SUPERPAVE VE MARSHALL DİZAYN YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLMİŞ ASFALT NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ FARKLILIKLARIN BELİRLENMESİ

Mustafa KESKİN

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Şubat-2011

Bu tez çalışması Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu Başkanlığı tarafından desteklenmiştir. Proje No:080238

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

Mustafa KESKİN'in **"Superpave ve Marshall dizayn yöntemleri ile üretilmiş asfalt numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki farklılıkların belirlenmesi"** başlıklı **İnşaat Mühendisliği** Anabilim Dalındaki, Yüksek Lisans Tezi 03.01.2011 tarihinde, aşağıdaki jüri tarafından Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

	Adı Soyadı	**İmza**
Üye (Tez Danışmanı)	**: Doç. Dr. SERKAN TAPKIN**	**……..**
Üye :	**: Doç. Dr. BURAK ŞENGÖZ**	**……..**
Üye :	**: Doç. Dr. PERVİZ AHMEDZADE**	**……..**

Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Enstitü Müdürü

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SUPERPAVE VE MARSHALL DİZAYN YÖNTEMLERİ İLE ÜRETİLMİŞ ASFALT NUMUNELERİN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİNDEKİ FARKLILIKLARIN BELİRLENMESİ

Mustafa KESKİN

Anadolu Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Serkan TAPKIN
2011, 280 sayfa

Son yıllarda karayollarında meydana gelen ve aşırı yüklerden ya da iklim değişikliklerinden oluşan bozulmaların neticesinde yol mühendisleri yeni uygulama gelişimlerine yönelmişlerdir. Özellikle oluklanma problemlerine karşı çözümsüzlük devam etmektedir. Bu problem, sürüş konforunu bozduğu gibi, seyahat güvenliğini de tehlikeye atmaktadır. Son çalışmalar ışığında bitüm modifiyesi bu probleme çare olabilmekte hatta iklim koşullarından meydana gelen bozulma ve çatlamalarında önüne geçebilmektedir.

Yollarda meydana gelen bozulmaların bir diğer nedeni ise mevcut dizayn prosedürünün gelişen teknolojiye ayak uyduramamasından kaynaklanmaktadır. Teknolojiyle birlikte yük taşıyan araçların taşıma kapasiteleri artmış, lastik iç basınçları ile dingil yüklerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Marshall dizayn metodu yıllardır kullanılmakta olan ve daha halen ülkemizde tercih edilen dizayn metodudur. Ancak bu dizayn sisteminde kullanılan sıkıştırma metodu, arazi üzerindeki silindiraj işlemini tam olarak modelleyememektedir. Bunun yerine geliştirilen yeni dizayn metotlarından en gerçekçisi Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) olarak isimlendirilen "Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar" dizayn metodudur.

Bu çalışmada, Superpave yöntemi ile hazırlanan katkısız ve polipropilen katkılı numuneler ile Marshall dizayn yöntemi ile hazırlanan numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri karşılaştırılmış, özellikle oluklanmaya karşı direnci anlayabilmek için tekrarlı sünme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca Superpave dizayn yöntemi 100 mm çaplı numuneler için hiçbir standart üretmediği için bu çalışmanın bir diğer amacı da bu numuneler için yeni bir standart önerilmesidir. Nitekim yapılan çalışmalar göstermiştir ki; orta hacimli trafikler için bu değer 40 dönüş sayısı olmalıdır. Ayrıca Superpave prosedürüyle üretilen numuneler, yürütülmüş olan tekrarlı sünme deneyleri sonucunda çok daha uzun ömürlüdür. Bu yöntemle bulunacak yeni optimum bitüm muhtevası değerleri daha düşük çıkacak ve bitüm yönünden de önemli ekonomik kazançlar sağlanacaktır.

Anahtar Kelimeler: Superpave, Modifiye Bitüm, Polipropilen Fiberler, Tekrarlı Sünme Deneyi, Superpave Yoğurmalı Kompaktörü

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ABSTRACT

Master of Science Thesis

DETERMINING PHYSICAL AND MECHANICAL DIFFERENCES OF ASPHALT SPECIMENS USING SUPERPAVE AND MARSHALL DESIGN METHODS

Mustafa KESKİN

Anadolu University
Graduate School of Sciences
Civil Engineering Program

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan TAPKIN
2011, 280 pages

In recent years, as a result of excessive loads and the climate changes, deteriorations have occured on highways, that headed towards the development of new applications by highway engineers. In particular, extreme axle loads continue to deadlock against rutting problems. This problem is disturbing driving comfort and travel safety. Bitumen modification can be a solution to solve this problem; it can help to prevent deteriorations and crackings which occurs by climatic changes.

Another reason for the deterioration of highways, in the existing design procedure is due to failure to comply with evolving technology. With this technology, there is a definite increase in the load carrying capacity of vehicles, tire pressures and axle loads. Marshall design method has been utilised for years and still being used in our country; is the preferred method of design. The compaction method used in Marshall design is not modelling exactly the process of actual rolling procedures. Instead, the new design methods have been developed, such as Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) which is more realistic than the other methods.

In this study, we compared physical and mechanical differences of HMA (Hot Mix Asphalt) and polypropylene modified HMA, using Superpave and Marshall design methods. Especially repeated creep tests were carried out to understand the resistance to rutting. In addition, there is no standard Superpave design procedure for 100 mm diameter samples. The other purpose of this study is produce a new standard for this samples. Indeed, studies showed that the gyration number should be 40 for the medium traffic volumes. Additionally the samples produced by Superpave procedure were more resistant to permanent deformations. Therefore it's established that the new optimum bitumen content values will be lower and consequently there will be financial benefit gained in terms of bitumen**.**

Keywords: Superpave, Modified Bitümen, Polypropylene Fibers, Repeated Creep Test, Superpave Gyratory Compactor

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

TEŞEKKÜR

Bu tezin her aşamasında benden hiçbir desteğini esirgemeyen ve bilgileriyle çalışmalarıma ışık tutan tez danışmanım ve Ulaştırma Ana Bilim Dalı Başkanı Sayın Doç. Dr. Serkan TAPKIN'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Jüri üyeleri Sayın Doç Dr. Perviz Ahmedzade ve Sayın Doç. Dr. Burak Şengöz'e çok uzak mesafelerden gelip tez çalışmamı dinledikleri ve çok değerli bilgileriyle eklemelerde bulundukları için ayrıca teşekkür ederim.

Ayrıca uzun yıllar süren eğitim-öğretim hayatımda bana maddi manevi her türlü desteği sunan anne babama, özellikle konuşmalarıyla beni sürekli motive eden ablam Dr. Selda Keskin GÜLER ve hayatıma sonsuz neşe kaynağı olan kardeşim Seyfettin Can KESKİN'e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarımın son kısmında yardımlarını benden esirgemeyen lisans öğrencileri, Özgür YURDAKUL, Eren BALABAN, Mustafa Berk ARPALI ve Ozan SÜLÜN'e teşekkür ederim.

Çalışma arkadaşım, ev arkadaşım, meslektaşım ve kuzenim İnş. Müh. Oğuzhan PİRPİROĞLU'na, arkadaşlarım, İnş. Müh. Osman BİLEN, Maden Müh. Süleyman BİÇER ve Maden Müh. Yusuf AYGÜN'e manevi desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

Bu tezin başından beri beni destekleyen Eskişehir Işık Yapı Denetim Ltd. Şti.'ne ve çalışanlarına, özellikle tecrübeleriyle bana yol gösteren, Sayın İnş. Müh. Özcan BADIN'a, yönetim kurulu başkanı Sayın İnş. Müh. Fesih BİNGÖL'e, tez süresince benimle beraber gecesini gündüzüne katıp ulaşım imkanlarımda sonsuz kolaylıklar sağlayan iş arkadaşım İsmail KARABAY'a, yine iş arkadaşlarım İnş. Müh. Emre ASLAN, İnş. Müh. Emrah SONAT ve Kenan ALTINTAŞ'a, ayrıca kardeşim kadar sevdiğim ve tanıştığımız günden beri bu tezle alakalı maddi manevi her türlü desteğini benden esirgemeyen Eskişehir Işık Yapı Denetim Ltd. Şti. Tepebaşı Belediyesi sorumlusu, Sayın Mehmet USLU'ya teşekkürlerimi sunarım.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ayrıca yine meslektaşlarım İnş. Müh. Burcu BİNGÜLLER ve İnş. Müh. Gülsüm ÖZDEMİR'e de katkılarından dolayı teşekkürü bir borç bilirim.

Son olarak ise Caner İnşaat Ltd. Şti. adına sevgili arkadaşım müteahhit Aykut ERTURAL'a yardımlarından ötürü ayrıca teşekkür ederim.

Mustafa KESKİN

Şubat-2011

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**

ABSTRACT ..... **ii**

TEŞEKKÜR ..... **iii**

İÇİNDEKİLER ..... **v**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **xi**

ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xviii**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **xxiv**

1. GİRİŞ **1**

2. REOLOJİ **5**

2.1. Elastik Malzemeler 6

2.2. Viskoz Malzemeler 7

2.3. Viskoelastik Malzemeler 8

2.3.1. Lineer viskoelastik modeller 8

2.3.2. Maxwell modeli 9

2.3.3. Kelvin modeli 11

2.3.4. Burger modeli 12

2.4. Bitümün Reolojik Karakteristikleri 14

2.4.1. Kalıcı deformasyon karakteristikleri 15

2.4.2. Oluklanma (tekerlek izi) oluşumunun incelenmesi 15

2.5. Viskoelastik Malzemelerin Sünme Davranışı 17

2.6. Bitümlü Karışımların Sünme Davranışı 23

3. BİTÜM MODİFİKASYONU **25**

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4. YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMALAR (SUPERPAVE) 39

4.1. Sıkıştırma Yöntemleri 41
4.2. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalarda Agrega Özellikleri 49
4.2.1. Agreganın mutabakat özellikleri 49
4.2.2. Agreganın kaynak özellikleri 50
4.2.3. Gradasyon 50
4.3. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalarda Bitüm Özellikleri 51
4.4. Superpave (Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar) Karışım Tasarımı 55
4.5. IPC Servopac Gyratory Compactor Deney Aleti 60
4.5.1. Teknik özet 62
4.5.2. Servopac'te yoğurma açısının ayarlanması 62
4.5.3. Kesme kuvvetinin hesaplanması 64
4.5.4. Birim ağırlığın hesaplanması 65
4.5.5. Hava boşluğunun hesaplanması 66

5. DENEYSEL ÇALISMALAR VE SONUÇLARI 67

5.1. Agrega 67
5.1.1. Kaba agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığının tayini 69
5.1.2. İnce agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığının tayini 70
5.1.3. Mineral filler zahiri özgül ağırlığının tayini 72
5.2. Bitüm 74
5.2.1. Penetrasyon deneyi 74
5.2.2. Yumuşama noktası deneyi 75
5.2.3. Parlama ve yanma noktası deneyi 78
5.2.4. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi 79
5.2.5. Özgül ağırlık deneyi 80
5.2.6. Bitüm deneylerinin sonuçları 81
5.2.7. Dönel viskozite deneyi 82
5.3. Polipropilen Fiberler 99

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.4. Superpave Yoğurmalı Kompaktör ile Yapılan Çalışmalar 102
5.4.1. Asfalt betonu numunelerinin hazırlanması 102
5.4.2. Marshall stabilite ve akma deneyi 113
5.4.3. Superpave yoğurmalı kompaktörü ile 100mm'lik kalıplarla hazırlanan numunelere yeni bir standart önerilmesi 114
5.5. Tekrarlı Sünme Deneyi 164
5.5.1. UTM-5P test aleti 164
5.5.2. Tekrarlı sünme deneyinin yapılışı 167
5.5.3. Tekrarlı sünme deneyinin sonuçları 168

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 233

KAYNAKLAR 240

Ek-1 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 30 ve 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 252

Ek-2 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 40, 45 ve 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 253

Ek-3 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 55 ve 60 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 254

Ek-4 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 70 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 255

Ek-5 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, farklı dönüş sayılarına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları 256

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-6 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, farklı dönüş sayılarına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri 257

Ek-7 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 30 ve 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 259

Ek-8 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 40, 45 ve 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 260

Ek-9 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 55, 60 ve 65 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 261

Ek-10 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 70 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 262

Ek-11 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları 263

Ek-12 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri 264

Ek-13 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 266

Ek-14 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları 267

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-15 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri 268

Ek-16 240 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 270

Ek-17 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 271

Ek-18 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları 272

Ek-19 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yoğurma açısına göre grafikleri 273

Ek-20 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 45 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 275

Ek-21 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri 276

Ek-22 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62.7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 277

Ek-23 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 278

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-24 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin, fiziksel özellikleri 279

Ek-25 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62.6 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri 280

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

2.1. Elastik Malzemelerde Gerilme Deformasyon ilişkisi 6
2.2. Viskozitenin tanımı 7
2.3. Lineer viskoelastik davranışın modellenmesi 9
2.4. Maxwell Modelde gerilme deformasyon ilişkisi 10
2.5. Kelvin Modelde gerilme deformasyon ilişkisi 12
2.6. Burger Modelde gerilme deformasyon ilişkisi 13
2.7. Esnek üstyapıda oluklanma oluşumu 16
2.8. Zayıf alt tabakalardan meydana gelen oluklanma 17
2.9. Zayıf asfalt kaplamalardan ötürü meydana gelen oluklanma 17
2.10. Tipik sünme eğrisi 18
2.11. Yıkım anına kadar olan tekrarlı sünme eğrisi 20
2.12. Gerilme, deformasyon ve rijitliğin zamanla değişimi 22
2.13. Tekrarlı yük altında oluşan deformasyon zaman grafiği 22
2.14. Marshall ve sünme testi arasındaki ilişki 24
2.15. Marshall ve tekerlek izinde oturma testi arasındaki ilişki 24
2.16. Sünme ve tekerlek izinde oturma testi arasındaki ilişki 24
3.1. Tip Fiberlerin Elektron Mikroskobu Görüntüleri 29
3.2 Kontrol ve fiber katkılı numunelerin tekrarlı sünme deneyi sonundaki görüntüleri 33
3.3 Viskozite-Sıcaklık Eğrileri 36
4.1 Texas Yoğurmalı Kompaktörü 43
4.2 Gradasyon Limitleri 50
4.3 Üç Farklı Asfalt Katılığının Isı ile Değişimi 52
4.4 Dikey Şahmerdan (ram) basıncı (F), yoğurma eğimi açısı (gyratory inclination angle) (α), ve dönme sayısı (gyration number) (n) değerlerinin üzerinde temsili gösterimi 57
4.5 Test numunesi hareket diyagramı 60
4.6 IPC Servopac Parçaları ve Aksesuarları 61
4.7 Kalıp Taşıyıcı Halka ve Tetik Mekanizmalarının Geometrik Dizlimi 62
4.8 Servopac Aktüatör Takımı 63

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4.9 Servopac Otomatik Kapakları 63
4.10 Sıkıştırma esnasında kalıp kesiti ve GLPA
4.11 Dönme Sayısı-Kesme Kuvveti grafiği 65
5.1 Agregaların granülometri eğrisi 68
5.2. Penetrasyon aleti 75
5.3. Bitüm ile doldurulmuş ve taşan kısmı kesilip alınmış numuneler 76
5.4. Gliserin içerisine yerleştirilmiş numuneler 77
5.5. Yumuşama noktası deneyi aleti 77
5.6. Parlama ve yanma noktası tespiti için kullanılan deney aleti 78
5.7. İnce film halinde ısıtma kaybı deney aleti ve deney numuneleri 79
5.8. (a) Saf su ile doldurulmuş piknometreler (b) Bitüm ve saf su ile doldurulmuş piknometreler 80
5.9. Brookfield Termosel Viskozimetresi ve parçaları 83
5.10. Spindle'ın alete takılması 84
5.11. Vizkosimetrenin şematik görünüşü 84
5.12. SC4-27 numaralı spindle boyutları 85
5.13. Rheocalc programı ana ekranı 86
5.14. Rheocalc programı deney programı hazırlama ekranı 86
5.15. Rheocalc programı viskozite deneyi anı 87
5.16. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-1) 89
5.17. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-2) 90
5.18. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-3) 90
5.19. 135°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 90
5.20. 165°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 91
5.21. 185°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 92
5.22. 165°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği 93
5.23. 165°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 94
5.24. 185°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 94
5.25. 185°C'de ‰ 7.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği 95
5.26. Brookfield Termosel Viskozimetresi 97
5.27. (a) – (b) Brookfield deneyinin yapılış anı, (c) SC4-27 numaralı spindle 98
5.28. M-03 tipi polipropilen 99

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.29. Aşınma tabakası Tip-2 gradasyonuna göre elenmiş agrega 102
5.30. Modifiye bitüm üretimi 103
5.31. 24 saat bekletilen numunelerin havada ve suda tartımı 104
5.32. Yoğurmalı Kompaktör ile numune hazırlanması 105
5.33. IPC Servopac Yoğurmalı Kompaktörü 106
5.34. Yoğurma sayısı-Hava Boşluğu Grafiği 107
5.35. Yoğurma sayısı-Kesme Kuvveti grafiği 108
5.36. Yoğurma sayısı-Yükseklik grafiği 109
5.37. Yoğurma sayısı-Birim Ağırlık grafiği 110
5.38. Yoğurma sayısı-Düşey basınç grafiği 111
5.39. Yoğurma sayısı-Yoğurma açısı grafiği 112
5.40. Su banyosunda bekletilen Marshall numuneleri 113
5.41. Marshall numunelerinin kırılması 114
5.42 (a): İnkubatör, (b): CDAS sistemi ve hava deposu (c) UTM-5P deney aleti 165
5.43 (a): Deformasyon eğimi-vuruş sayısı grafiği, (b): Birim Deformasyon - vuruş sayısı grafiği, (c): Uygulanan yük - vuruş sayısı grafiği, (d): Anlık modül-vuruş sayısı grafiği, (e): Anlık deformasyon-vuruş sayısı grafiği, (f): Sünme rijitliği-vuruş sayısı grafiği, (g): Sıcaklık-vuruş sayısı grafiği 166
5.44. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) 169
5.45. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) 170
5.46. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) 171
5.47. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) 172
5.48. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) 173
5.49. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) 174

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.50. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) 175
5.51. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) 176
5.52. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol) 179
5.53. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol) 180
5.54. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol) 181
5.55. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol) 182
5.56. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol) 183
5.57. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol) 184
5.58. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol) 185
5.59. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol) 186
5.60. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye) 190
5.61. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye) 191
5.62. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye) 192
5.63. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye) 193
5.64. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye) 194
5.65. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye) 195

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.66. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye) 196
5.67. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye) 197
5.68. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 199
5.69. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 200
5.70. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 201
5.71. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 202
5.72. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 203
5.73. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 204
5.74. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için) 205
5.75. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör için) 206
5.76. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 208
5.77. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 209
5.78. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 210
5.79. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 211

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.80 500 ms yükleme -1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 212
5.81. 500 ms yükleme -1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 213
5.82. 500 ms yükleme -2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 214
5.83. 500 ms yükleme - 2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 215
5.84. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 218
5.85. 500 ms yükleme - 500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 219
5.86. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 221
5.87. 500 ms yükleme - 1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 222
5.88. 500 ms yükleme -1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 224
5.89. 500 ms yükleme - 1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 225

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.90. 500 ms yükleme -2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri 226
5.91. 500 ms yükleme - 2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri 227
5.92. 10 MPa sünme rijitliği değerine erişemeyen numunelerin Microsoft Excel 2010 programıyla düzenletilmesi 230
5.93. 10 MPa sünme rijitliği değerine erişemeyen numunelerin Microsoft Excel 2010 programıyla düzenletilmesinden sonra çizilen yeni vuruş sayısı-sünme rijitliği grafiği 231

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ÇİZELGELER DİZİNİ

4.1. SHRP tarafından geliştirilen yeni test metotları 52
5.1. Aşınma tabakası Tip-2 için agrega gradasyonu ve şartname limitleri 67
5.2. Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi 70
5.3. İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi (Deney-1) 71
5.4. İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi (Deney-2) 72
5.5. İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi 72
5.6. Mineral fillerin zahiri özgül ağırlık değeri 73
5.7 Agrega özgül ağırlıkları 73
5.8. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri 74
5.9. Katkısız ve çeşitli oranlarda polipropilen katkısı kullanılarak modifiye edilmiş bitümlerin deney sonuçları 81
5.10. 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-1) 88
5.11. 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-2) 89
5.12. 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-3) 89
5.13. 135°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri 90
5.14. 165°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri 91
5.15. 185°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri 91
5.16. 165°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri 93
5.17. 165°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri 93
5.18. 185°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün viskozite değerleri 94
5.19. 185°C'de ‰ 7.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri 95
5.20. Dönel viskozite deneyi sonuçları 96
5.21. Çalışmada kullanılan polipropilen fiberlerin fiziksel özellikleri 100
5.14. Marshall numunelerin ortalama fiziksel ve mekanik değerleri 115
5.23 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (11-12-13.11.2009) 117

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.24 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (08-09-23.12.2009) 118
5.25 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25.12.2009) 120
5.26. Asfalt betonu dizayn kriterleri 122
5.27 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (06-07.01.2010) 124
5.28 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (08-11.01.2010) 125
5.29 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (13-14.01.2010) 127
5.30 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (15-18.01.2010) 128
5.31 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (19-20.01.2010) 129
5.32 Kasım 2009 – Ocak 2010 döneminde hazırlanmış olan 10 cm'lik yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri 131
5.33 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (21-25.01.2010) 132
5.34 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (26-27.01.2010) 133

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.35 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (28.01-01.02.2010) 135
5.36 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (02.02.2010) 136
5.37 Ocak 2010 – Şubat 2010 döneminde hazırlanmış olan 10cm'lik yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri 137
5.38 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (09-10-11.02.2010) 140
5.39 240 kPa ve 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (12-15.02.2010) 141
5.40 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (16-17.02.2010) 142
5.41 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (18-19.02.2010) 143
5.42 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (22-23.02.2010) 144
5.43 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25.02.2010) 146
5.44 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (26.02.2010) 147
5.45 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25-26.02.2010) 148

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.46 Katkısız Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması 149
5.47 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (01-02.03.2010) 151
5.48 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (03-04.03.2010) 152
5.49 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,3 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (09.03.2010) 153
5.50 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (10-11.03.2010) 154
5.51 ‰ 5.5PP katkılı Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması 156
5.52 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (12-15.03.2010) 157
5.53 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (16-17.03.2010) 159
5.54 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 2355 kg/m3 birim ağırlığa göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (23-24.03.2010) 160
5.55 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,6 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (25.12.2010-08.01.2011) 161
5.56 ‰ 3.0PP katkılı Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması 162
5.57. Marshall numuneleriyle Superpave numunelerinin karşılaştırılması 163

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.58. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için) 177
5.59. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için) 178
5.60. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için) 187
5.61. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneler için) 187
5.62. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için) 188
5.63. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için) 188
5.64. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için) 189
5.65. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için) 198
5.66. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 216
5.67. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 216

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.68. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 216
5.69. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 217
5.70. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 217
5.71. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 217
5.72. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 220
5.73. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 220
5.74. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 223
5.75. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 223
5.76. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Marshall numuneleri için) 228
5.77. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Gyratory numuneleri için) 228
6.1. Marshall numuneleriyle Superpave numunelerinin karşılaştırılması 236

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

σ	=	Eksenel Gerilme
τ	=	Kayma gerilmesi
E	=	Elastisite modülü
G	=	Kayma modülü
ε	=	Eksenel deformasyon
γ	=	Kayma deformasyonu
λ	=	Çekme veya basınç gerilmesinde viskozluk
η	=	Kayma gerilmesinde viskozluk
V	=	Relatif hız
d	=	Birim asfalt kalınlığı
F	=	Kuvvet
A	=	Alan
T	=	Sıcaklık
t	=	Zaman
$H_{(t)}$	=	Heaviside fonksiyonu
$\delta_{(t)}$	=	Dirac delta fonksiyonu
Ψ	=	Sünme fonksiyonu
$\%G_{mm}$	=	Maksimum yoğunluk yüzdesi
G_{sb}	=	Agrega Hacim Özgül Ağırlığı
V_a	=	Hava Boşluğu
V_f	=	Asfaltla Dolu Boşluk
V.M.A	=	Mineral Agregadaki Boşluk
PP	=	Polipropilen

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

1.GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde en çok tercih edilen ulaşım biçimi karayoludur. Karayollarına duyulan ihtiyaç gün geçtikçe daha da hızlı bir şekilde artmaktadır. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle beraber yük taşımacılığının deniz ve demir yollarından karayollarına doğru kayması ve mevcut yolların gün geçtikçe bu durumu daha da karşılayamaz hale gelmesiyle beraber ulaştırma mühendislerine duyulan ihtiyaç günbegün artmıştır.

Uzun yıllar boyunca dizaynçılar mevcut metotlarla ürettikleri yollardan yeterli verimi alabilmiş ancak özellikle 1970'li yıllardan itibaren trafik hacminin artması ve karayollarıyla taşınan yük miktarının fazlalaşması sebebiyle mevcut dizayn metotları bu gereksinimi karşılayamaz hale gelmiştir. Asfalt yollarda meydana gelen bozulmalar sürüş konforunu bozduğu gibi yollarda meydana gelen oturmalar seyahat güvenliğini de tehlikeli bir hale sokmaktadır.

Asfalt mühendisleri bütün bu problemleri bertaraf edebilmek amacıyla çeşitli arayışlara yönelmiş, ilk etapta daha düşük penetrasyonlu bitümler ile hazırlanan yolları tercih etmişler ancak istenilen servis ömürlerini yakalayamamışlardır. Bu aşamadan sonra özellikle büyük petrol şirketlerinin yürüttüğü çalışmalarla bitümün kimyasal özelliklerini değiştirerek, bitümü iklim koşullarına ve kaplama bozulmalarına daha dirençli hale getirebilmek için modifiye etme yoluna gitmişler ve istenilen koşulları yavaş yavaş sağlamaya başlamışlardır. Bu sayede asfaltın fiziksel ve mekanik özelliklerinde önemli oranlarda iyileşmeler görülmeye başlanmıştır.

Özellikle ülkemizdeki petrol fiyatlarının çok yüksek olmasıyla beraber beton yol üretimi için bazı girişimler yapılmış, beton yolların ilk maliyetinin çok yüksek olmasından ötürü yeterli bir çözüm olarak uygulamaya sunulamamıştır. Ülkemiz karayollarının ihtiyacı olan düşük maliyetli ve yüksek performanslı yollar için modifiye bitümün önemi artık kendini yavaş yavaş hissettirmeye başlamıştır. İşte bu yüzden tamamen yerli üretim olan polipropilen modifiye

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

edicisinin kullanımı yerli yapım yollar için ekonomik anlamda çok büyük bir adımdır.

Bütün bu gelişmelerin yanı sıra yıllar geçtikçe mevcut dizayn yöntemlerinin doğruluğu tartışılmaya başlanmış özellikle yıllardır kullanılagelen Marshall dizayn metodunun arazi koşullarına uygunluğu üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Zaten arazi çalışmalarındaki mevcut silindirlerle sıkıştırma işleminin, mekanik tokmak ile sıkıştırmayla arasında farklılıklar olacağı aşikardır. Özellikle mekanik tokmakla yapılan işlemlerde, büyük miktarlarda agrega parçalanması olmaktadır. Bu sebeple bilim adamları yeni sıkıştırma yöntemleri araştırmaya başlamış ve asfalt karışımların hazırlanırkenki silindiraj yoğurma etkisine en yakın olan Superpave metodu geliştirilmiş ve günümüzde de bu metot halen geliştirilmeye devam etmektedir.

Superpave (**Su**perior **Per**forming Asphalt **Pave**ments) olarak isimlendirilen "Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar" dizayn metodunda, asfalt numunesi hazırlanırken, sıcak karışıma bir yandan sabit dikey bir basınç tatbik edilirken, bir yandan da numune merkez ekseninde belirli bir açıyla döndürülür. Bu açıya da yoğurma açısı denir. İşte bu döndürme etkisiyle numune üzerinde oluşan kesme kuvveti, arazideki silindiraj işlemi sırasındaki yoğurma etkisiyle oluşan kesme kuvvetine benzemektedir. Dolayısıyla mevcut sistemi en güzel modelleyen sıkıştırma tekniklerinden biriside Superpave metodudur.

Ülkemiz bu yeni dizayn metodundan bir hayli uzak kalmıştır. Öyle ki, bu sistem yalnızca Anadolu Üniversitesi Ulaştırma laboratuvarlarında, T.C. Karayolları laboratuvarlarında ve Fırat Üniversitesi laboratuvarlarında bulunmaktadır.

Bu çalışma Superpave yoğurmalı kompaktörünü incelemesinin yanı sıra yurtdışında da henüz bir standardı bulunmayan 100 mm çaplı asfalt numuneleri için bir standart getirebilme amacındadır.

Çalışmanın ikinci bölümünde reoloji anlatılmıştır. En genel anlamıyla reolojinin tanımı verildikten sonra elastik, viskoz ve viskoelastik malzemelerden bahsedilmiş ve çeşitli viskoelastik modeller anlatılmıştır. Bölüm asfaltın gerilme-

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

deformasyon ilişkisi ve kimyasal yapısı hakkında bilgiler vererek devam etmekte, hemen ardındanda bitümlü malzemelerin reolojik karakteristiklerinden bahsetmektedir. Bu kısımda aynı zamanda da çeşitli oluklanma karakteristikleri ve bu karakteristiklerle ilgili daha önceden yapılmış çalışmalardan bahsedilmektedir. İkinci bölümde son olarak ise viskoelastik malzemelerin sünme davranışları hakkında detaylı bilgilere yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde bitüm modifikasyonu için literatür taraması yapılmış ve bu kısım için 47 farklı kaynaktan alıntılar yapılmıştır.

Dördüncü bölüm yüksek performanslı asfalt kaplamalar (Superpave) hakkında bilgiler içermektedir. Bu bölümde en genel bilgiler verildikten sonra konuyla ilgili daha önceden yapılan çalışmalardan bahsedilmiş hemen ardından da Superpave dizayn metodu için gerekli agrega ve bitüm özellikleri verilmiştir. Bölüm Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarında bulunan IPC Servopac Yoğurmalı Kompaktörünün teknik özelliklerinin anlatılmasıyla son bulmuştur.

Çalışmanın beşinci bölümü tamamen deneysel çalışmalara ayrılmıştır. İlk olarak deneylerde kullanılan agrega özelliklerini belirten deneyler uygulanmış, ardından katkısız, ‰ 3.0 ve ‰ 5.5 polipropilen (PP) katkılı bitüm numunelerinin bitüm deneyleri sonuçları verilmiştir. Bitümlere uygulanan deneyler sırası ile penetrasyon, yumuşama noktası deneyi, parlama ve yanma noktası deneyi, ince film halinde ısıtma kaybı deneyi, özgül ağırlık deneyi ve Brookfield viskozite deneyleridir. Agrega ve bitüm özelliklerinin belirlenmesinin ardından karışımlara uygulanan deneyler yapılmaya başlanmıştır. Çalışma öncelikle IPC Servopac ile hazırlanan toplam 958 adet numunenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin gösterilmesi hemen ardından da bu numunelerin 2008 senesinde Şenol Özcan tarafından yapılan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezindeki, Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarlarında hazırlanan Marshall numunelerinin fiziksel özellikleriyle kıyaslanmasıyla devam etmiştir. Gerekli karşılaştırmalar yapıldıktan sonra deney çalışmalarının son kısmı olan tekrarlı sünme deneylerine geçilmiştir. Bu kısımda öncelikle Servopac ile hazırlanan asfalt numunelerinin tekrarlı sünme deneyleri yapılarak oluklanmaya karşı dirençlerine bakılmış hemen ardından da bu çalışmaların 2007 senesinde Ün Uşar

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezindeki Anadolu Üniversitesi Ulaştırma Laboratuvarlarında yapılan tekrarlı sünme deneyi davranışlarıyla karşılaştırmalarına bakılmıştır.

Son bölüm olan "sonuçlar ve öneriler" kısmında ise tüm çalışma boyunca elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve ilerde yapılacak olan çalışmalar için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

2.REOLOJİ

Reoloji, bağımsız bir bilim dalı olarak yaklaşık yetmiş sene önce ortaya çıkmıştır. Reoloji bilimi bazı iyi bilinen malzemelerde normal olmayan özelliklerin gözlemlenmesi ve basit sorulara verilebilecek cevapların bir hayli zor olmasından dolayı ortaya çıkmıştır. Örneğin;

- Boya malzemesi sıvı bir malzemedir çünkü kaplara dökülüp saklanılabilir. Fakat neden birçok sıvının aksine akmadan duvarda kalırlar?
- Kil katı bir malzemedir, fakat kalıpların içerisinde şekil verebilirsiniz. Kalıbın içini herhangi bir sıvının yapabileceği şekilde işgal edebilir. Neden kil bir çeşit sıvı davranışı gösterir?
- Yoğurt yüksek viskoziteli olduğu için herhangi bir kabın dışında akmadan durabilir. Fakat yoğurdu karıştırırsanız viskozitesi düşer ve beklemeye bırakırsanız yeniden yükselir. Peki, bu durumda hangi viskozite değeri kabul edilmelidir?
- İnşaatlarda kullanılan dolgu malzemeleri sıvı olmalıdır çünkü bütün boşlukları kapaması ve doldurması gerekmektedir. Doldurma işleminin hemen ardından ise katılaşması gerekmektedir ve katılaşırlar. Bu tarz dolgu malzemeleri sıvı mıdır yoksa katı mı?

Bu örneklerden anlaşılmaktadır ki; bir malzemeyi katı ya da sıvı olarak tanımlamak yetersizdir. Malzemelerin karakteristiklerini anlayabilmek için yeni bir konsepte ihtiyaç vardır. Malzemelerin bu yeni özelliklerini anlamak için yapılan yeni buluşlar ve tanımlar dahilinde ortaya yeni bir terminoloji çıkmıştır. Malzemelerin karakteristiklerini anlamak ve ölçümler yapabilmek için yeni test metotlarına ihtiyaç vardır. İşte bu yeni fikirler ve çalışmalar dahilinde yeni uygulama alanları beklenmektedir. Bütün bunların temeli ise reolojidir [1].

Sıvı ve katı benzeri özellikler taşıyan malzemeler, doğrudan zamana bağımlı kabul edilir. Zamanın tek başına bir anlamı yoktur, ama malzeme yapısında gözlem süresi boyunca yer alan değişimlerin bir yansımasıdır [1],

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Reoloji, yükleme sırasında malzemelerde oluşan deformasyonu hem yüke hem de yükleme süresine göre inceleyen bilimdir [2].

Bir malzemenin mühendislik performansını tahmin edebilmek için o malzemenin gerilme-deformasyon davranışını anlayabilmek çok önemlidir. Bu durum genellikle laboratuvar koşullarında yapılan gerilme ya da deformasyon testleri ile açıklanmaktadır [3].

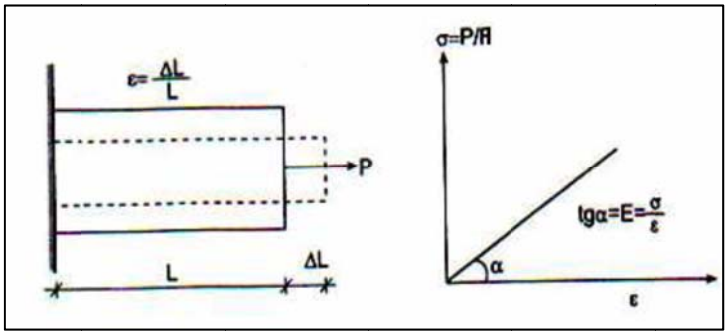
Mühendislikte kullanılan malzemeler gerilme-deformasyon ilişkisi yönünden üç gruba ayrılır. Bunlar;

- Elastik Malzemeler
- Viskoz Malzemeler
- Visko-Elastik Malzemeler [4]

2.1.Elastik Malzemeler

Elastik malzemelere gerilme uygulanırsa deformasyon, yükün miktarı ile doğru orantılı olarak artmaya baslar. Uygulanan gerilmenin kaldırılmasıyla beraber deformasyon da ortadan kalkar. Bu tip gerilme-deformasyon ilişkisine sahip malzemelerde, uygulanan eksenel gerilme (σ) ile eksenel deformasyon (ε) arasında doğrusal bir bağlantı vardır. Lineer elastik davranış denilen bu durum Hooke Yasası ile ifade edilir [5].

Elastik malzemelerde gerilme-deformasyon ilişkisi Şek.2.1'de görüldüğü gibi saptanır.



Şekil 2.1. Elastik Malzemelerde Gerilme Deformasyon ilişkisi [4]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Elastik malzemelerde gerilme-deformasyon ilişkisi Denklem 2.1. ile hesaplanır.

$$\sigma = E\varepsilon \quad \text{veya} \quad \tau = G\gamma \tag{2.1}$$

Burada;

σ: Gerilme (=P/A), kg/cm^2

τ: Kayma gerilmesi, kg/cm^2

E: Elastisite modülü, kg/cm^2

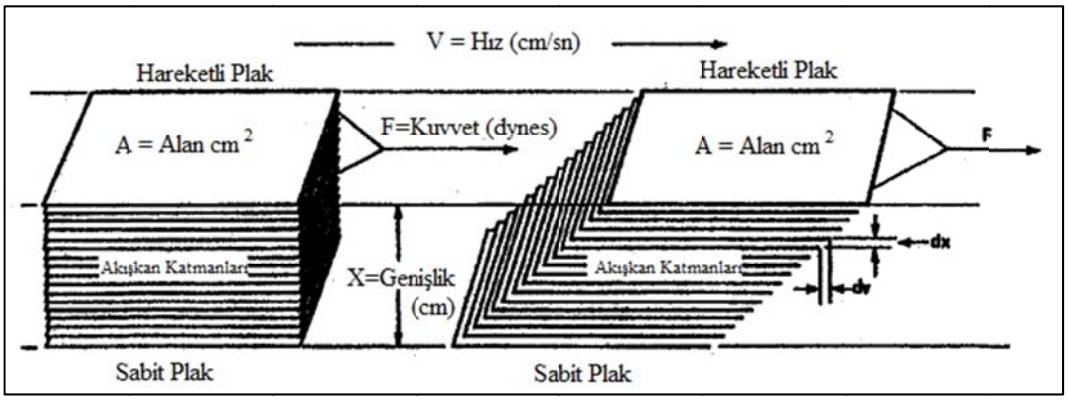
G: Kayma modülü, kg/cm^2

ε: Eksenel deformasyon

γ: Kayma deformasyonu [4]

2.2.Viskoz Malzemeler

Şekil 2.2'deki gibi bir sistemde alanı A cm^2 olan iki paralel plaka arasında bir akışkan olduğunu varsayalım. Hareket kabiliyetine sahip üst kısmına bir F kuvveti uygulandığında sabit bir V hızıyla hareket oluşacaktır. Alt kısım sabit olduğundan akışkanda şekildeki gibi farklı katmanlar oluşacak ve her katman için ayrı bir hız oluşacaktır (0 ve V hızları arasında) [6].



Şekil 2.2. Viskozitenin tanımı [6]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bu açıklamalar dahilinde aşağıdaki tanımlamalar yapılabilir.

$$\tau = Kuvvet\ /\ Alan = F/A\ dyne/cm^2 \quad (2.1)$$

$$\gamma = Hız\ /\ Plaklar\ arası\ uzaklık = V/X = cm/san/cm$$

$$\gamma = 1/san = (san^{-1}) \quad (2.2)$$

$$\eta = Kayma\ Gerilmesi\ /\ Kayma\ Hızı$$

$$\eta = \tau/\gamma = dyne \cdot san/cm^2 \quad (2.3)$$

Burada;

τ: Kayma gerilmesi,

γ: Kayma Hızı

η: Viskozite [6]

2.3.Viskoelastik Malzemeler

Bir malzemede gerilme meydana geldiği zaman oluşan deformasyon, o malzemenin hem elastik hem viskoz hem de viskoelastik özelliklerinin beraber meydana getirdiği deformasyondur [7].

Asfalt viskoelastik bir malzemedir. Sıcaklığa bağlı olarak; gevrek elastik, viskoelastik, viskoplastik, termoplastik, elastoplastik ve tam viskoz olmak üzere değişik reolojik durumlarda bulunur [8].

2.3.1. Lineer viskoelastik modeller

Bütün lineer viskoelastik modeller, Hooke'un yay modeli yada Newton'un piston modellerinden oluşturulmuştur. Hooke'un modeli denklem 2.1'de zaten gösterilmişti. En basit reolojik model elastik malzemelerdeki Young Modülüdür. Örneğin tamamen elastik bir malzeme zamandan tamamen bağımsız olarak hareket eder. Yükün kaldırılması ile bütün deformasyon geri kazanılır. Bu model elbette viskoelastik malzemeleri tanımlamada yetersizdir [9].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Zamana bağımlı viskoelastik malzemeler ise aşağıdaki denklem 2.4 ile ifade edilir. Ayrıca Şekil 2.3'de Lineer viskoelastik davranışın modellenmesi görülmektedir [10].

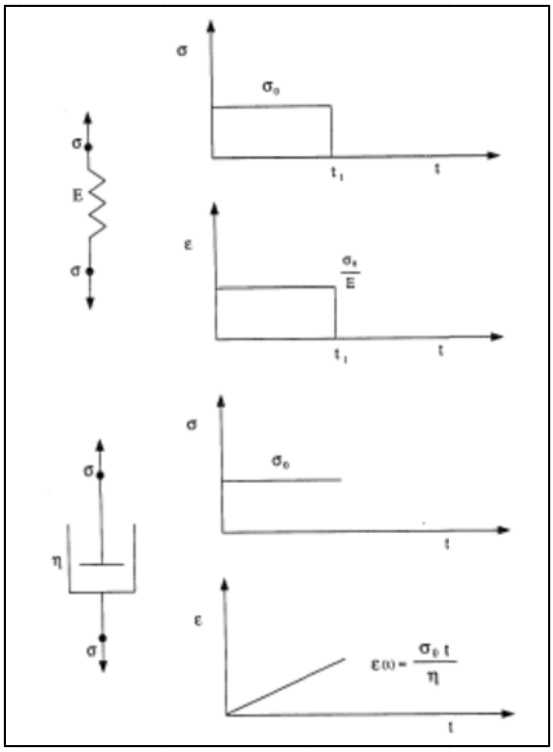
$$\sigma = \eta \frac{\delta \varepsilon}{\delta t} = \eta \dot{\varepsilon} \tag{2.4}$$

Burada;

σ: Gerilme

ε: Eksenel deformasyon

η: Viskozite sabiti.



Şekil 2.3. Lineer viskoelastik davranışın modellenmesi [10]

Viskoelastik malzemeler için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları Maxwell, Kelvin ve Burger Modelleridir.

2.3.2. Maxwell modeli

Viskoz ve elastik elemanlar için en basit kombinasyon Maxwell Modelidir. Bu modelde Şekil 2.4'de görüldüğü gibi bir yay ve bir piston seri olarak

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

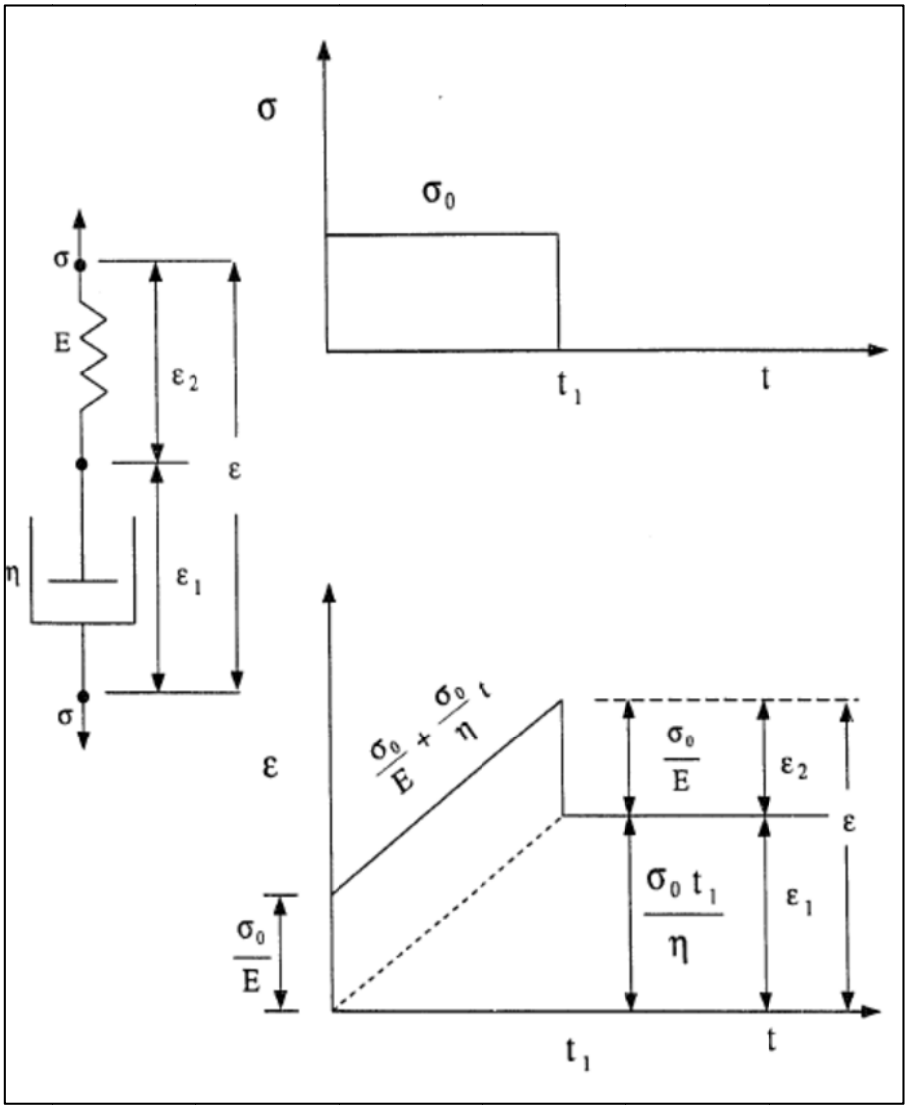
bağlanmıştır. Aşağıdaki denklemlerde yay ve piston için gerilme deformasyon denklemleri verilmiştir. (Denklem 2.5 ve 2.6)

$$\sigma = E\varepsilon_2 \tag{2.5}$$

$$\sigma = \eta\varepsilon_1 \tag{2.6}$$

Elemanlar seri olarak bağlandığı için toplam deformasyon elastik deformasyon ile viskoz deformasyonun toplamıdır. (Denklem 2.7)

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \tag{2.7}$$



Şekil 2.4. Maxwell Modelde gerilme deformasyon ilişkisi [10]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Gerilme zaman ilişkisi yük (σ), Elastisite Modülü (E) ve viskozitenin (η) bir fonksiyonu olarak, Denklem 2.8 ve Şekil 2.4'de görüldüğü gibi t anında bir gerilmeye sahiptir.

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E} + \frac{\sigma_0}{\eta} t \tag{2.8}$$

Denklem 2.8 ve Şekil 2.4'de görüldüğü gibi yükün ani olarak uygulanıp kaldırılmasıyla oluşan deformasyon hemen hemen elastik bir davranış sergilemektedir. Bu durum yalnızca Newtonyen davranış gösteren akışkanlar için geçerlidir. Bu yüzden Maxwell model ham asfalt çimentoları için kullanılabilir. Daha kompleks davranış gösteren viskoelastik asfalt ürünleri için ise farklı matematiksel denklemler kullanılması gerektiği aşikardır [11].

2.3.3. Kelvin modeli

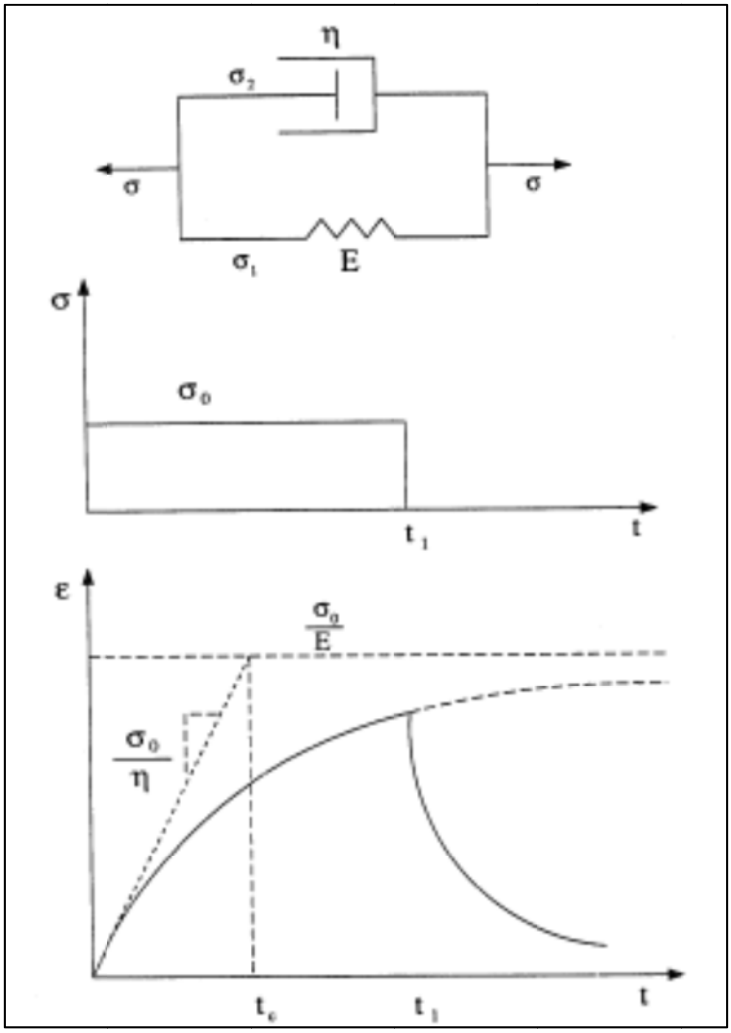
Kelvin modelde ise Hooke yayı ve Newton pistonu paralel olarak bağlanmıştır. Bu durumda oluşacak toplam yük piston ve yaya gelen toplam yükün toplamıdır. Gerekli formülasyonlar yapıldığında yükün uygulandığı ilk andaki deformasyon Denklem 2.9'da verildiği gibidir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma_0}{E}\left(1 - e^{\frac{-Et}{\eta}}\right) \tag{2.9}$$

Şekil 2.5'de görüldüğü üzere deformasyon, azalan bir oranla artmaktadır. Bu modeldeki yük ilk olarak viskoz eleman tarafından karşılanmaktadır. Yük altında viskoz eleman deforme olduktan sonra yük elastik elemana taşınır. Son olarak toplam kuvvet elastik eleman tarafından taşınmaktadır. Bu davranış elastiklik olarak adlandırılabilir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ne Maxwell, nede Kelvin Modeli tam olarak viskoelastik malzemelerin davranışlarını açıklayamamaktadır. Örneğin Kelvin modeli zamandan bağımsız yüklemeyi ya da boşaltmayı tanımlayamadığı gibi yükün boşaltılmasıyla oluşan anlık deformasyonları da tam olarak modelleyememektedir. Maxwell Model ise zamandan bağımsız davranışları gösterdiği için yük altında oluşan deformasyon azalmalarına çare olamamaktadır [10].



Şekil 2.5. Kelvin Modelde gerilme deformasyon ilişkisi [10]

2.3.4. Burger modeli

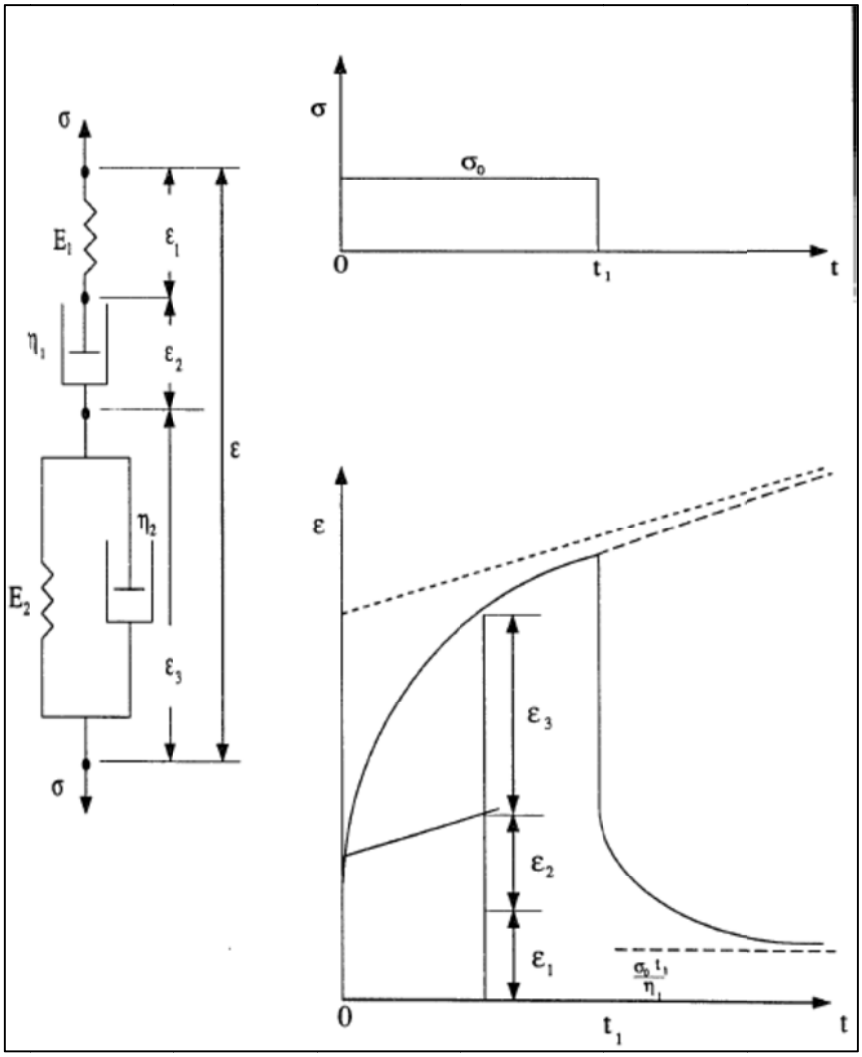
Bu modelde Şekil 2.6'da görüldüğü gibi Maxwell ve Kelvin modellerin seri olarak bağlanmasıyla oluşturulmuştur. t_1 anında oluşan deformasyon üç farklı elemanın deformasyonlarının toplamı olarak görülür, Maxwell modeldeki yay ve piston elemanlarının deformasyon toplamları ilk iki elemanı temsil eder, diğer

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

deformasyon elemanı ise Kelvin ünitesidir. Burger modelle sünme davranışı Denklem 2.10'da gösterilmiştir.

$$\varepsilon(t) = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{\eta_1} t + \frac{\sigma_0}{E_2}\left(1 - e^{\frac{-E_2 t}{\eta_2}}\right) \qquad (2.10)$$

Denklem 2.10'da gösterilen yük uygulandığı zaman (σ_0), anlık bir elastik deformasyon oluşmaktadır (σ_0/E_1) bunun ardından ise viskoz malzemede kalıcı bir deformasyon oluşur. Eğer t_1 anında yük kaldırılır ise σ_0/E_1 kadar elastik bir geri dönüşüm elde edilir. Bunun devamında ise deformasyonda $\sigma_0 t_1/\eta$ değeri kadar anlık bir azalma olur. Burger model sol-jel asfaltlar için en iyi model olarak düşünülmektedir [12].



Şekil 2.6. Burger Modelde gerilme deformasyon ilişkisi [10]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

2.4 Bitümün Reolojik Karakteristikleri

Bitümde, gerilme-deformasyon ilişkisi hem yükün miktarına hem de yükleme süresine bağlı olduğu için reolojik malzeme olarak kabul edilir.1936 yılında, Pfeiffer ve Van Doormal'in bitüm ve bitümlü karışımların reolojik davranışı üzerine yaptıkları araştırmayla başlayan dönem, sayısız araştırmacının bu konudaki benzer çalışmalarıyla devam etmiştir [2]. Van der Poel, yükleme süresi ve sıcaklığa bağlı olarak bitümün reolojik davranışını incelediği çalışmasında, bitümün viskoelastik özelliğini tanımlamaya çalışmıştır [13]. 1953 yılında yapılan bu çalışmadan bir yıl sonra, Mack bitümlü kaplamaların yük taşıma mukavemeti ve deformasyon mekanizması üzerine olan araştırmasının sonuçlarını yayınlamıştır [14]. 1960 yılında Pister ve Monismith'in viskoelastik esnek kaplamaların analizini, 1961 yılındaki Secor ve Monismith'in bitüm üzerindeki üç eksenli çalışması izlemiştir [15,16]. Hofstra ve Klomp, 1972 yılında, gerçek trafik şartlarının simule edilip uygulandığı esnek kaplamada oluşan kalıcı deformasyonları incelemiş ve sonuçlarını açıklamışlardır [17]. Hills, asfalt karışımların sünme özelliğini incelemiştir [18]. 1985 yılında Uzan, Sides ve Perl, asfalt karışımların performansını viskoelastoplastik modelle açıklamaya çalışmışlardır [19]. Parmar ve Bhatt ise 1986 yılında mastik asfaltın sünme altındaki reolojik davranışını incelemiştir [20]. Bir yıl sonra Khandal ve Koehler, reolojik özelliklerin kaplamalarda meydana gelen çatlaklar üzerindeki etkisini araştırmışlardır [21]. 1992 yılındaki bir başka araştırmada ise Kadar ve Remtulla modifiye bitüm karışımların mühendislik ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir [22]. Negulescu ve Daly, polimer modifiye asfaltın reolojisini araştırmışlardır [23]. 1996 yılındaki bu çalışmadan sonra 2000'li yıllarda da çeşitli araştırma ve çalışmalar yürütülmüştür. 2005 yılındaki iki çalışmadan biri Marastenanu, Clyne, McGraw, Li ve Velasquez tarafından yapılmıştır. Asfaltın yüksek sıcaklıktaki reolojik özelliklerini konu alan bu çalışmayı Syzdlo ve Mackiewicz'in "reolojik parametrelerdeki değişimin deformasyona etkisi" konulu çalışmaları izlemiştir [24,25].

Araştırmacıların üzerinde hemfikir olduğu ve karışımların reolojik özelliklerini kontrol ettiğini kabul ettikleri bazı faktörler vardır. Bunlar;

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

- Malzeme karakteristikleri,
- Malzeme kompozisyonu,
- Yükleme zamanı ve frekansı,
- Sıcaklıktır [26].

2.4.1. Kalıcı deformasyon karakteristikleri

Çoğu araştırmacı, asfalt mühendisliği ile ilgili çalışmalardaki öneminden dolayı, çalışmalarını esnek kaplamalarda meydana gelen kalıcı deformasyonlar (oluklanma ya da tekerlek izi) üzerinde yoğunlaştırmışlardır. Kalıcı deformasyonlar, kaplamanın servis yeteneğinde azalmaya neden olmaktadır. Tekerlek izlerinin zamanla çatlamaya uğraması ve su girişi ile birlikte kaplamada meydana gelen bozulma, bu duruma yardımcı olmaktadır. Bitümlü malzemelerde oluşan deformasyonlar daha çok ilkbahar sonlarında, yaz aylarında ve sonbahar başlarında oluşmaktadır. Bunun nedeni olarak, yılın bu dönemlerinde sıcaklıkların yükselmesi, don çözülmelerinin meydana gelmesi, yağmurlar, kanama ve kusma olaylarına eşlik eden oluklanmaların oluşması ve sonbaharda yinelenen yağışlar gösterilebilir. Kış aylarında ise zemin donarak asfalt kaplamaya destek olmaya başlamakta ve böylelikle kalıcı deformasyonların miktarında azalma görülmektedir [27].

2.4.2. Oluklanma (tekerlek izi) oluşumunun incelenmesi

Tekerlek izi oluşumu (oluklanma) asfalt betonu kaplamalarda görülen bozulma türlerinden biridir. Taşıt tekerleklerinin yola değme noktalarında, yol boyunca oluşan düşey kalıcı deformasyonlar olarak tanımlanır [28].

Ticari taşıt sayılarındaki artış, bunların dingil sistemlerinin değişmesi ve dingil ağırlıklarının artması, çift tekerlek yerine geniş tabanlı tek tekerlek kullanılması ve lastik iç basınçlarının artması nedenleriyle, oluklanma çözülmesi gereken bir sorun haline gelmiştir. Oluklanma oluşumuna neden olan başlıca faktörler; aşırı yükler, uzun süreli etkiyen yükler, aşırı yük tekrarı, uygun olmayan malzeme kullanımı, tasarım ve yapım hataları olarak sıralanabilir [28].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yolun enine düzgünlüğünün bozulmasına neden olan oluklanma oluşumu, konfor ve güvenlik açısından büyük bir sorun oluşturmaktadır. Şerit değiştirme sırasında araç kontrolü zorlaşmakta, yağışlı havalarda oluklanma oluşmuş kısımlarda su birikmekte ve buzlanmaya veya tekerleğin su filmi üzerinde kaymasına yol açmakta, dolayısıyla fren mesafesi uzamaktadır [28].



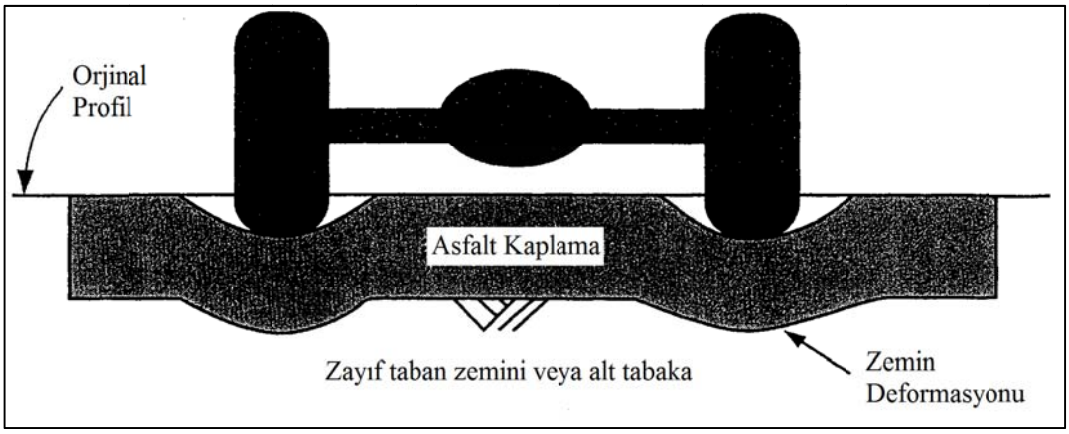
Şekil 2.7. Esnek üstyapıda oluklanma oluşumu [28].

- **Zayıf alt tabakalardan meydana gelen oluklanma**

Bitümlü tabakanın altındaki (taban zemini dahil) bir veya daha fazla tabakanın kendi içlerindeki deformasyonlarının sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin malzeme dayanımını aşmasıdır. Bu durumda tekerlek izinin etrafında kabarmalar oluşmaz (Şekil 2.8).

Bu tip oluklanma oluşumu genellikle gerçekteki trafik koşullarına uygun tasarlanmamış üstyapılarda görülür. Aynı zamanda uygun olmayan (düşük kaliteli) malzemenin kullanılmasından, malzemenin iyi sıkıştırılmamasından, kötü drenajdan, donma ve çözülme etkilerine karsı önlem alınmamasından da kaynaklanabilir [28].

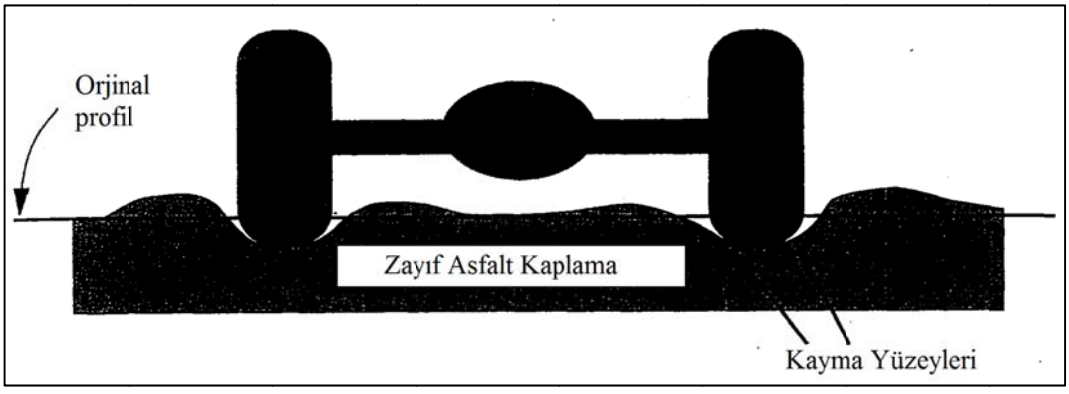
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 2.8. Zayıf alt tabakalardan meydana gelen oluklanma [29]

- **Zayıf asfalt kaplamalardan ötürü meydana gelen oluklanma**

Bitümlü tabaka veya tabakaların kendi içlerindeki deformasyonunun sonucudur. Bunun nedeni, yükten dolayı oluşan gerilmelerin bitümlü malzemenin stabilitesini aşmasıdır. Tekerlek izi etrafında kabarmalar oluşur (Şekil 2.9). Akma tekerlek izi, en çok, çıkış eğimli kesimlerde, kavsak yaklaşımlarında ve kurplarda, yani ağır taşıtların hızlarını azalttığı kesimlerde ve lastik ile kaplama arasındaki değme alanında ortaya çıkan teğetsel gerilmelerin yüksek olduğu kesimlerde oluşur [28].



Şekil 2.9. Zayıf asfalt kaplamalardan ötürü meydana gelen oluklanma [29]

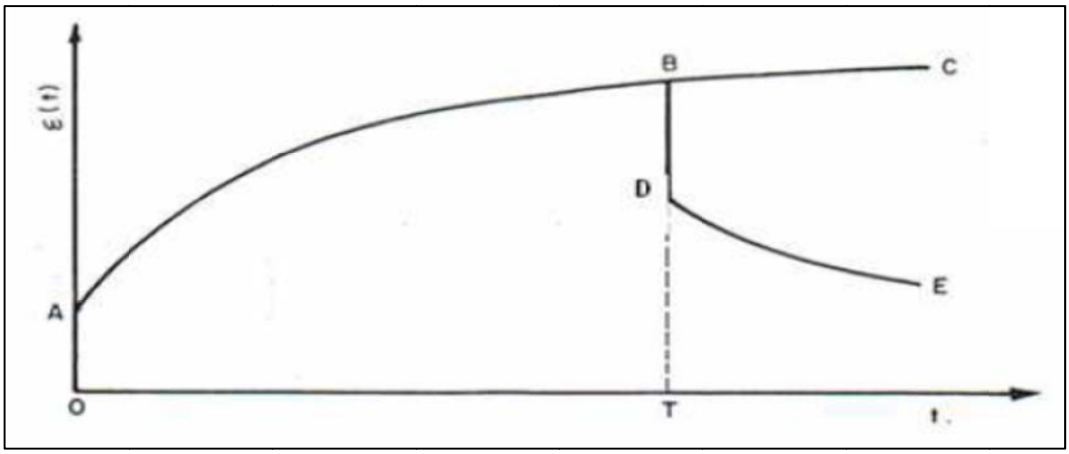
2.5. Viskoelastik Malzemelerin Sünme Davranışı

Jostrzebski tarafından yapılan tanıma göre; "sünme, sabit gerilmeye maruz kalan malzemede yavaş yavaş artarak meydana gelen deformasyondur" [30].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Oluşan deformasyon malzemenin elastik özelliğine göre değişmektedir [5]. Asfalt mühendisliği ile ilgili çalışmalarda kullanılan malzemelerin sünme özellikleri, sabit gerilme ve sıcaklık altında, zamana bağlı deformasyonları dikkate alınarak incelenir [26]. Bir numuneye zamana bağlı $\sigma_{(t)}$ gibi bir gerilme uygulandığında yine zamana bağlı olan $\varepsilon_{(t)}$ gibi bir birim deformasyon ölçülür. Gerilmenin $t = 0$ anında sıfır olduğu, $t > 0$ için de sabit bir değer (σ_0) aldığı varsayıldığında eğer malzeme elastik ise deformasyon da gerilmeye benzer bir davranış gösterir. $t = 0$ anına kadar gerilme olmadığı için deformasyon oluşmaz. Gerilmenin uygulanması ile birlikte, malzemenin rijitliğine bağlı olarak sabit bir deformasyon meydana gelir [5].

Aynı gerilmeye viskoelastik bir malzeme maruz kaldığında oluşan deformasyon eğrisi, Şekil 2.10'de gösterilen ABC eğrisine benzer şekildedir.



Şekil 2.10. Tipik sünme eğrisi [5]

$t = 0$ anına kadar viskoelastik malzemede deformasyon oluşmaz. Gerilmenin uygulanması ile birlikte malzemede ani bir deformasyon oluşur (OA). Gerilme sabit bir değere ulaşmasına rağmen, elastik malzemenin aksine, deformasyon sürekli artar. Bazı malzemelerde ABC eğrisinin eğimi sıfıra ulaşırken bazı malzemeler için de sıfırdan farklı sabit bir değere sahip olur.

$t = T$ anında gerilmenin kalkması ile birlikte elastik malzeme aniden eski haline (deformasyonsuz) dönerken, viskoelastik malzeme BDE ile gösterilen eğriye benzer bir davranış gösterir. Elastik bileşenden dolayı meydana gelen BD eğrisini, aşamalı olarak iyileşmeyi (deformasyonun geri kazanımı) gösteren DE eğrisi takip etmektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Gerilmenin uygulandığı *t = 0* anından numunenin yıkıldığı ana kadar olan tekrarlı sünme eğrisi ise Şekil 2.11'de görüldüğü gibidir. Bu grafiğe göre;

- **Ani Deformasyon (AB arası):** Gerilmenin uygulanması ile birlikte malzemede, zamandan bağımsız olarak ani bir deformasyon oluşur. Yükün kalkmasıyla beraber bu deformasyonun bir miktarı da, ani olarak, ortadan kalkar. Bu özellik, mekanik modellerdeki yay ile açıklanmaktadır.
- **Birincil Sünme Evresi (BC arası):** Gerilme devam ettiği müddetçe deformasyon artmaya devam eder. Kelvin Model'le açıklanan bu deformasyon, azalan bir oranla artmaktadır. Bu aşamada yük kaldırılırsa, deformasyonun bir kısmı ortadan kalkar.
- **İkincil Sünme Evresi (CD arası):** Deformasyon eğiminin doğrusal hale geldiği bu bölüm, Maxwell Model'deki piston ile ifade edilmektedir. Artık deformasyonda geri dönüş olmaz.
- **Üçüncül Sünme Evresi (DE arası) :**Bu bölümde, malzeme tamamen plastik olarak davranmakta ve deformasyon eğimi hızla artmaktadır [31].

Şekil 2.11'de görülen eğri tipik bir tekrarlı sünme eğrisidir ve her durumda malzemelerin bu davranışı yapması beklenemez. Deformasyon-zaman grafiğinin gerçek şekli elde edilmek istenirse aşağıdaki yol izlenmelidir.

Öncelikle yükün uygulandığı zaman seçilmelidir. Eğer yükün uygulandığı an, zaman çizelgesinin orijini olarak seçilirse, numune üzerindeki gerilme;

$$\sigma_{(t)} = \sigma_0 H_{(t)} \tag{2.11}$$

Burada;

$\sigma_{(t)}$; Sabit basınç gerilmesi

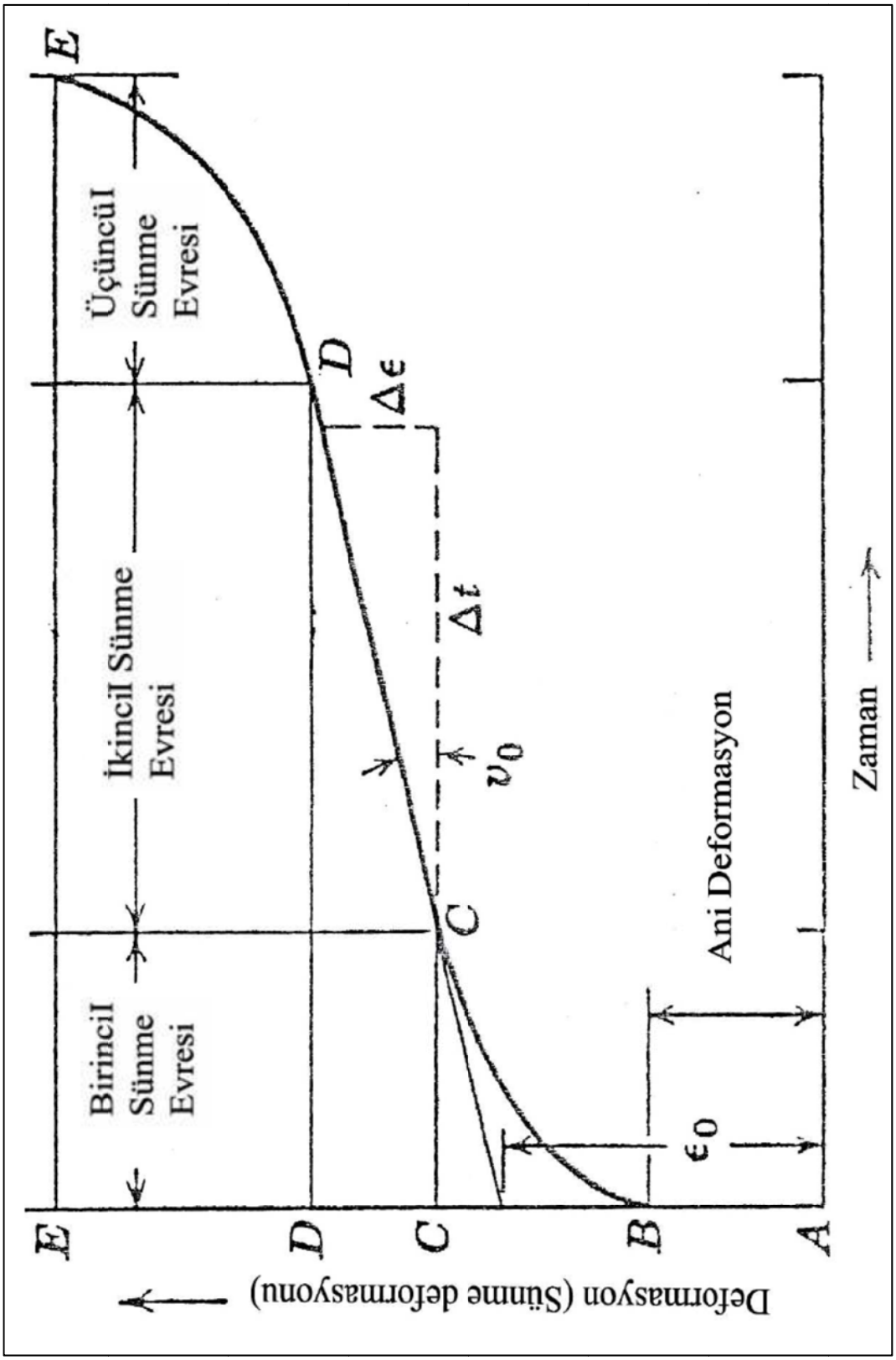
$H_{(t)}$; Heaviside fonksiyonu, $\begin{cases} H_{(t)} = 0, & t < 0 \\ H_{(t)} = 1, & t > 0 \end{cases}$

$$\frac{dH_{(t)}}{dt} = \delta_{(t)} \tag{2.12}$$

Burada;

$\delta_{(t)}$; Dirac delta fonksiyonu 'dur.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 2.11. Yıkım anına kadar olan tekrarlı sünme eğrisi [31]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yaşlanmamış viskoelastik malzemenin gerilme altındaki deformasyonu ise aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\varepsilon_{(t)} = \int_{-\infty}^{t} \Psi_{(t-z)} \sigma_{(z)} dz \qquad (2.13)$$

Burada;

$\Psi_{(t)}$ = Sünme fonksiyonu

$\sigma_{(z)}$ = z anındaki basınç gerilmesi, kg/cm^2 veya psi

$\varepsilon_{(t)}$ = t anındaki birim deformasyon

t ve z = zaman, saniye

Yukarıdaki denklem t anına kadar z süresi boyunca sabit gerilmeye maruz kalmış lineer viskoelastik malzemenin deformasyonunu göstermektedir. Malzemenin tek yönlü lineer davranışını gösterdiği için denklem;

$$\int_{a}^{b} f_{(x)} \delta_{(x-c)} dx = f_{(c)} \qquad (2.14)$$

şeklinde yazılabilir.

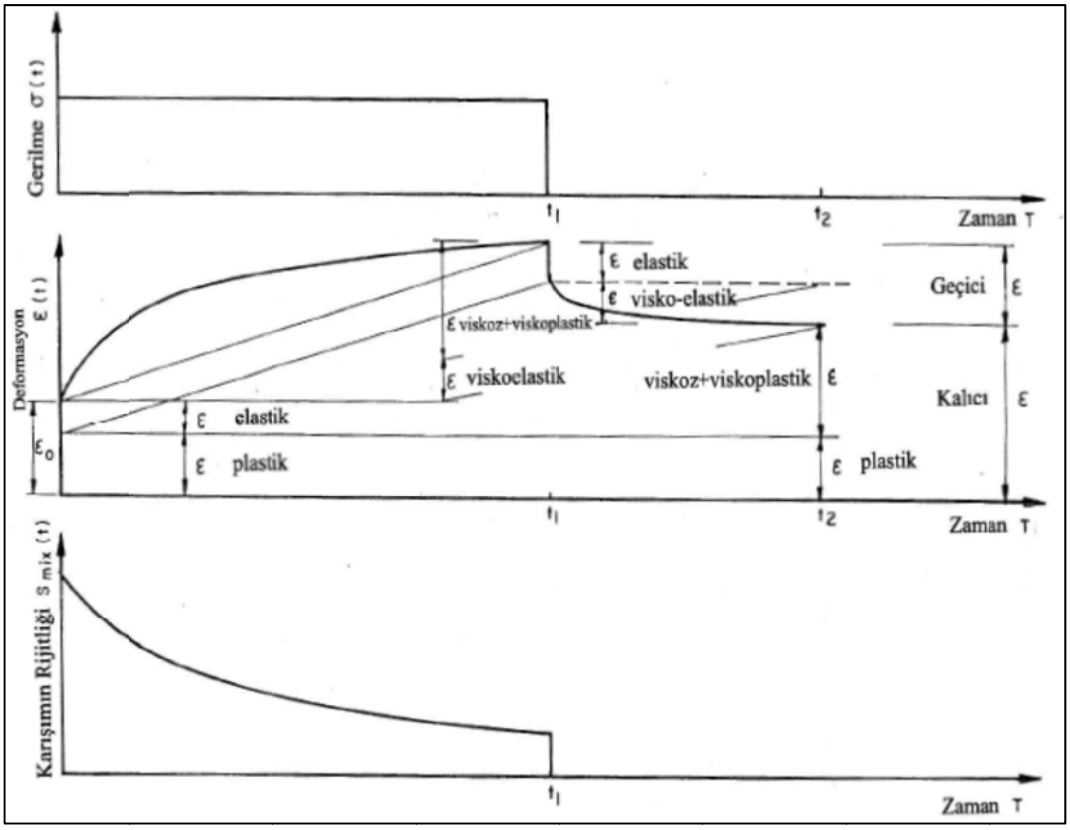
Denklem 2.11 ve 2.13'u kullanarak, Denklem 2.11'i yeniden yazmak mümkündür.

$$\varepsilon_{(t)} = \sigma_0 \Psi_{(t)} \qquad (2.15)$$

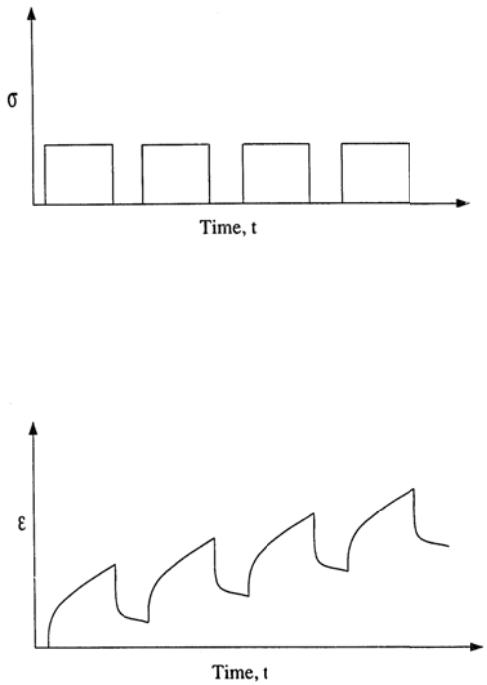
Şekil 2.12'de, t_1 süresi boyunca uygulanan yükün, t = t_1 anında kaldırılması ile birlikte viskoelastik malzemelerde oluşan deformasyon değişimi gösterilmektedir. Gerilme uygulandığı anda elastik ve plastik özellik taşıyan ani bir deformasyon oluşmaktadır. Gerilmenin ortadan kalktığı t = t_1 anına kadar deformasyon artmaktadır. Gerilmenin kalkması ile birlikte deformasyonda elastik ve viskoelastik özelliğe bağlı bir miktar azalma olmaktadır. Viskoz, viskoplastik ve plastik özellik taşıyan kısım ise kalıcı deformasyon olarak adlandırılmaktadır [5].

Şekil 2.13'de ise tekrarlı yük altında oluşan deformasyon - zaman grafiği gösterilmiştir [11].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 2.12. Gerilme, deformasyon ve rijitliğin zamanla değişimi [5]



Şekil 2.13. Tekrarlı yük altında oluşan deformasyon zaman grafiği [11]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

2.6. Bitümlü Karışımların Sünme Davranışı

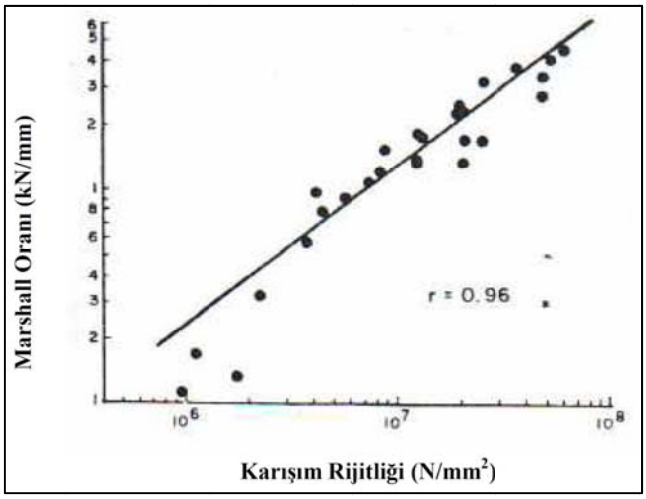
Bitümlü karışımların farklı yükleme şekilleri altında gösterdiği reolojik tepkiler, birçok araştırmacının çalışmasının konusu olmuştur. Asfalt kaplama teknolojisinde bu büyüyen isteğin nedeni, asfaltların viskoelastik özelliklerini hesaba katarak daha iyi performans gösteren kaplamalar dizayn etmektir. Daha önce ortaya konan tasarımlar, asfaltın sadece elastik bir malzeme olduğu düşünülerek yapılmıştır. Bunun üzerine 1970'lerin baslarında, Shell laboratuvarları daha kapsamlı bir araştırma başlatmıştır. Bu araştırmanın amacı bir asfalt karışım dizayn metodu geliştirmektir. Dizayn metodu yardımı ile tasarımcının mevcut malzemeleri kullanarak optimum karışım kompozisyonu elde etmesi planlanmıştır. Ayrıca geliştirilecek olan metodun, karışım kompozisyonu içindeki değişikliklerin performansı nasıl değiştireceği sorusuna cevap verebilmesine dikkat edilmiştir [5].

Sünme deneyinin uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesi için de Hilster, van der Loo ve İsveç Federal Teknoloji Enstitüsü tarafından bir metot geliştirilmiştir [32,33]. Deney sonuçları, bitüm rijitliğinin bir fonksiyonu olarak gösterilen karışım rijitliği terimi ile verilmiştir. Karışım rijitliği değeri, sabit gerilmenin ölçülen birim deformasyon değerine bölünmesi ile doğrudan hesaplanabilmektedir. Bitüm rijitliği ise Poel abağı gibi çeşitli teknikler kullanılarak elde edilebilmektedir. Hilster deformasyon karakteristiğinin bu şekilde gösterilmesinin bir avantaj olduğunu belirtmiştir. "Çünkü tekerlek izi derinliği karışım rijitliği değeri ile doğru orantılı olarak değişmektedir". Örneğin karışımda doğal kum yerine kırma kum kullanılması, karışım rijitliğinin % 30 artmasına ve tekerlek izi derinliğinin % 30 azalmasına neden olmaktadır [32].

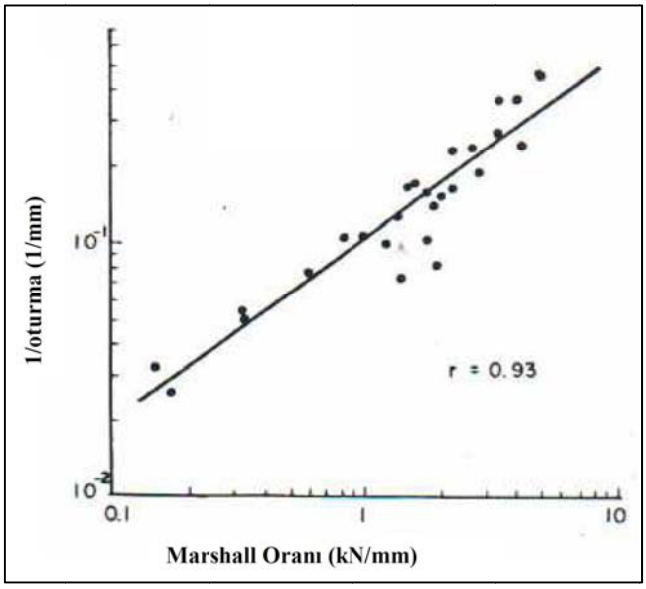
Brien, 1977 yılında yaptığı araştırmasında 27 farklı numune kullanmış ve bu numunelerle Marshall, Tekerlek İzinde Oturma ve Sünme deneylerini karşılaştırmıştır [34]. Yaptığı araştırma sonucunda su sonuçlara ulaşmıştır:

- Marshall Oranı (stabilite / akma, Marshall Quotient) değerleri ile sünme testinde elde edilen rijitlik değerleri Şekil 2.14'da görüldüğü gibidir.
- Tekerlek İzinde Oturma deneyinden elde edilen "1/oturma derinliği" değerlerinin, Marshall ve sünme deneylerindeki Q_m ve karışım rijitliği değerleri ile karşılaştırılması Şekil 2.15 ve 2.16'deki gibidir [34].

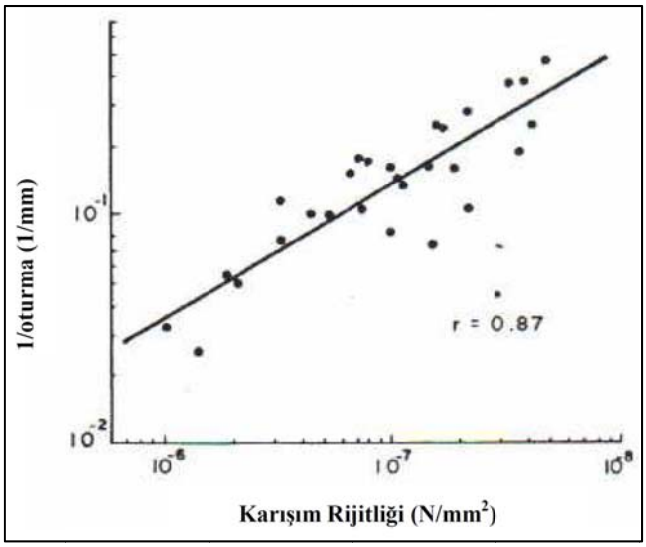
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 2.14. Marshall ve sünme testi arasındaki ilişki [34]



Şekil 2.15. Marshall ve tekerlek izinde oturma testi arasındaki ilişki [34]



Şekil 2.16. Sünme ve tekerlek izinde oturma testi arasındaki ilişki [34]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

3.BİTÜM MODİFİKASYONU

Bitümlerin doğal ve sentetik polimerlerle modifikasyonu için geliştirilen metotlara dair patent çalışmaları 1843 yılına kadar dayanmaktadır [35]. Test projelerinin uygulanmasına ilk olarak 1930'lu yıllarda Avrupa'da başlanmışken, Amerika kıtası ilk uygulamasını 1950'li yıllarda gerçekleştirmiştir. Güney Amerika'da yapılan çalışmada katkı malzemesi olarak neopren lateks kullanılmıştır [36]. 1970'li yılların sonuna kadar, polimer modifiye kullanımında Avrupa, Amerika'nın çok daha önünde yer almıştır. İlk maliyetlerin çok yüksek olması, polimer modifiye asfaltın Amerika'da kullanımının kısıtlı olmasına neden olmuştur. Buna karşın asfalt ömrü boyunca yapılan masrafların azalması, Avrupalı müteahhitlerin bitüm modifikasyonuna karşı ilgisini arttırmıştır [37]. 1980'lerin ortalarından itibaren yeni polimerlerin geliştirilmesi ile birlikte, Avrupa teknolojisi Amerika'da da kullanılmaya başlanmıştır [38,39]. Daha sonra Avustralya'da, Ulusal Asfalt Şartnamesi (National Asphalt Specification) adıyla modifiye bitümlere ilişkin bir şartname geliştirilmiştir [40]. FHWA (The United States Federal Highway Administration) tarafından geliştirilen bir ömür maliyet analizi yardımıyla, kauçuk içeren asfalt karışımların ömür maliyetlerinin hesaplanmasına çalışılmıştır [41].

1997 yılında, Amerika Birleşik Devletleri'nde, eyaletlerin ulaştırma departmanları üzerinde yapılan bir araştırma sonucunda; 50 eyaletin 47'sinin gelecek yıllarda modifiye bitüm kullanacağı tespit edilmiştir. Bu arada birçok değişik ülkede, polimer modifiye bitümün kaplama performansı üzerindeki yararlarını tespit etmek için, çeşitli araştırma grupları kurulmuştur. Bu gruplar tarafından çeşitli deney ve standartlar geliştirilmiştir [42].

2001 yılında Ohio Ulaştırma Bölümü'nden Kim ve Sargand, biri modifiye edilmemiş, biri SBS (stiren-bütadiyen-stiren) modifiyeli ve biri de SBR (stiren-bütadiyen-kauçuk) modifiyeli üç adet PG 70-22 bitümün, yorulma ve oluklanma dayanımını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda modifiye bitümlerin yorulma ve oluklanma mukavemetinin daha yüksek olduğunu bulmuşlardır [43].

2002 senesinde Kanada'da yapılan bir araştırmayla ile Hesp ve Roy sıcaklık ve yükleme etkisinin polimer modifiyeli asfalt sistemlerdeki akma

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

davranışını nasıl etkilediğini araştırmışlar ve bu bağlamda modifiyeli asfalt sistemlerin düşük sıcaklıklarda çok iyi performans sergilediğini bulmuşlar ancak bu iyileşmenin sıcaklık ve fiber malzeme çeşidine bağımlı olduğunu göstermişlerdir. [44]

Nevada'da 2003 yılında, 60°C'lik sıcaklık altında yapılan çalışmanın sonucunda; modifiye edilmiş bitümün viskozitesi, katkısız bitüme göre çok daha yüksek çıkmıştır. Penetrasyonun ise sıcaklık değişimlerine karsın çok az değiştiği gözlemlenmiştir [45].

Yine 2003 yılında Newcomb, yorulma çatlaklarının oluşmasının kaçınılmaz olduğuna dair fikirlerin yanlış olduğunu öne sürmüş ve asfalt tabaka altında kullanılacak polimer modifiyeli bir binder tabakası ile bunun önüne geçilebileceğini belirtmiştir. Binder tabakasının kalınlığının arttırılması ile birlikte kaplamanın yorulma çatlaklarına karşı direncinin artacağı ifade etmiştir [46].

2003 yılında yapılan diğer bir çalışmada, US Army Corps of Engineers (Amerikan Ordu Mühendisleri Birliği), yorulma, oluklanma, termal çatlaklar ve su zararlarına karşı en iyi direnci gösterecek ve ekonomik olacak bir asfalt modifiye malzemesi seçmeye çalışmıştır. Çalışmanın sonucunda seçilen SBS, SBR ve kauçuğun, yorulma özellikleri üzerinde belirgin etkiye sahip oldukları görülmüştür [47].

2003 yılında yayınlanan, modifiyeli asfalt karışımların soğuk havalardaki performans ve uygulanabilirliği isimli bir makale ile Alaskalı bilim adamları geniş çaplı bir araştırma ile bulgularını açıklamışlardır. Bu çalışma ile modifiye bitümlerin standart bitümlerle karşılaştırılması ve analiz edilmesinin yanı sıra asfalt karışımların özelliklerine muktedir olabilmek amaçlanmıştır. Polimer modifiyeli bağlayıcılar yaklaşık olarak kırk farklı kombinasyonla beş çeşit ana bitüm ve dört farklı polimer çeşidiyle karıştırılmıştır. Her bir kombinasyon; kıvamlılık, uyumluluk ve saklanılabilme durumları için test edilmiş ayrıca diğer soğuk ülkelerdeki şartnameleri araştıran birde anket çalışması yapılmıştır. Kısacası bu çalışma, bir anket çalışması ışığı altında en popüler şartnameyi işaret ederken, laboratuar çalışmaları sonuçlarıyla da kendini desteklemektedir [48]. Yapılan çalışmalar sonucunda, öncelikle polimer modifiye ürünleri hazırlanırken, çok geniş kapsamlı araştırmalar yapılmalı, kullanılacak olan bitüme katılacak olan

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

polimer miktarı optimum seviye ve şartlarda hazırlanılması gerektiğini belirtmişlerdir. Ancak bu şekilde, mümkün olan en düşük karışım sıcaklıklarında gelişmiş performanslı asfaltlar üretilebileceği belirtilmiştir. Bu tarz üretimlerin daha sonra oluşacak problemleri azaltacağı gibi kaplamanın servis ömrünü de uzatacağı anlaşılmıştır. Yine bu çalışma ile modifikasyonun oluklanmaya karşı direnci arttırmasının yanı sıra düşük ısı çatlaklarına karşıda normal bitümlere göre daha iyi performans sergilediği gösterilmiştir. Ayrıca son olarak yapılan çalışmalarda bütün bitümlerin (modifiyeli ya da modifiyesiz) minimum yumuşama noktası değerinin 48°C olması gerektiği gösterilmiştir [48].

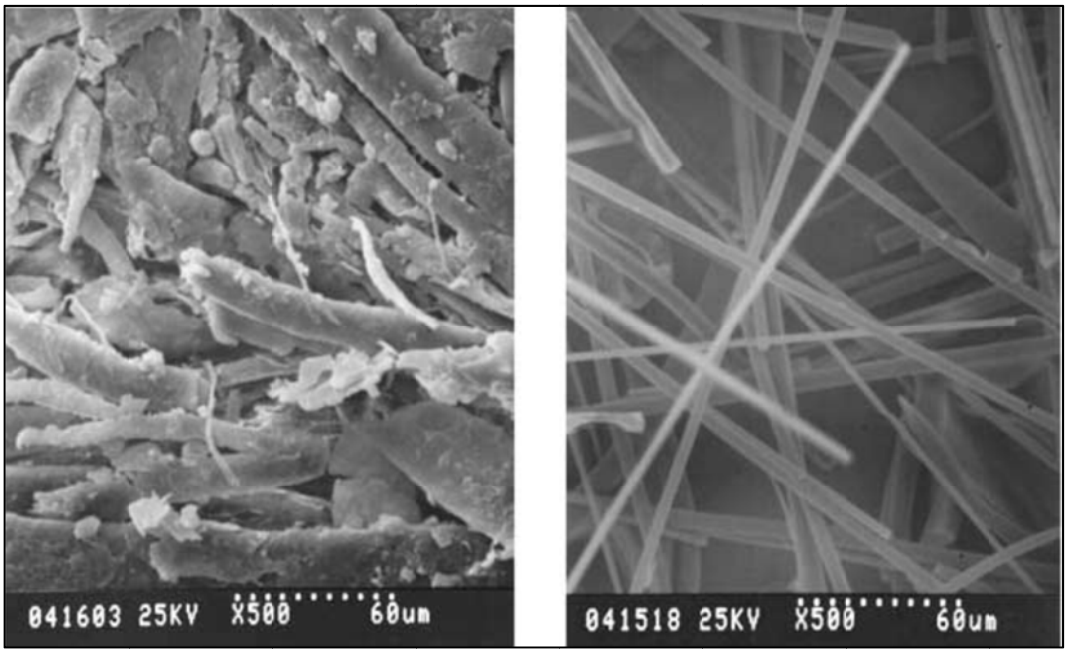
Yine 2003 senesinde, Chen, Liao ve Lin Taiwan'da, modifiye bitüme katılması gereken polimer miktarının belirlenmesi adı altında bir araştırma yapmış ve belirtildiği gibi optimum polimer miktarının nasıl belirlenmesi gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada iki tip bitüme farklı oranlarda SBS polimer malzemesi eklenmiş ve modifiye bitümlere yapılan testler ışığında araştırmacılara yol gösterilmiş, ayrıca elektron mikroskobu ile çekilen görüntülerle polimer malzemenin bitüm içerisine yayılışı incelenmiştir. Yapılan deneyler sonunda polimer modifiyeli bitümlerin malzemenin reolojik özelliklerini iyileştirdiği ve bununda bitümün içerisindeki polimer ağların dizilişiyle sağlandığı belirtilmiştir. Bu ağ dizilimini iki farklı şekilde incelersek, düşük polimer oranlarında polimerlerin bitümün içinde dağıldığı ve bitüm özelliklerini çok fazla etkilemediğini ancak yüksek polimer oranlarında polimer ağının bitüm içerisinde şekillenmeye başlaması ve yoğunlaşmasıyla bitümün, kompleks modülü, yumuşama noktası ve tokluğunu arttırdığını göstermişlerdir. Elektron mikroskobu görüntülerine göre polimer malzeme miktarı arttıkça, SBS, karışım içerisinde daha dominant bir hale gelmekte ve modifiyeli bitümün mekanik özelliklerinde artış olduğu belirtilmektedir. Oluklanmaya karşı direnç deneylerinden yüzde 6 oranında SBS miktarının optimum şartları sağladığı bulunmuştur. Son olarak ise bütün deney sonuçlarından optimum polimer miktarının reolojik özellikler ve kritik ağ dizilimlerine göre belirlenmesi gerektiği, çok fazla polimerin bitümle polimerler arasında ayrışmaya yol açacağı ve optimum miktarın değişik polimer oranlarındaki bitümlerde yumuşama noktası sıcaklığının 2°C değişime uğradığı noktanın seçilmesi gerektiğini bulmuşlar, bu noktanın da kritik ağ dizilimi noktası

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

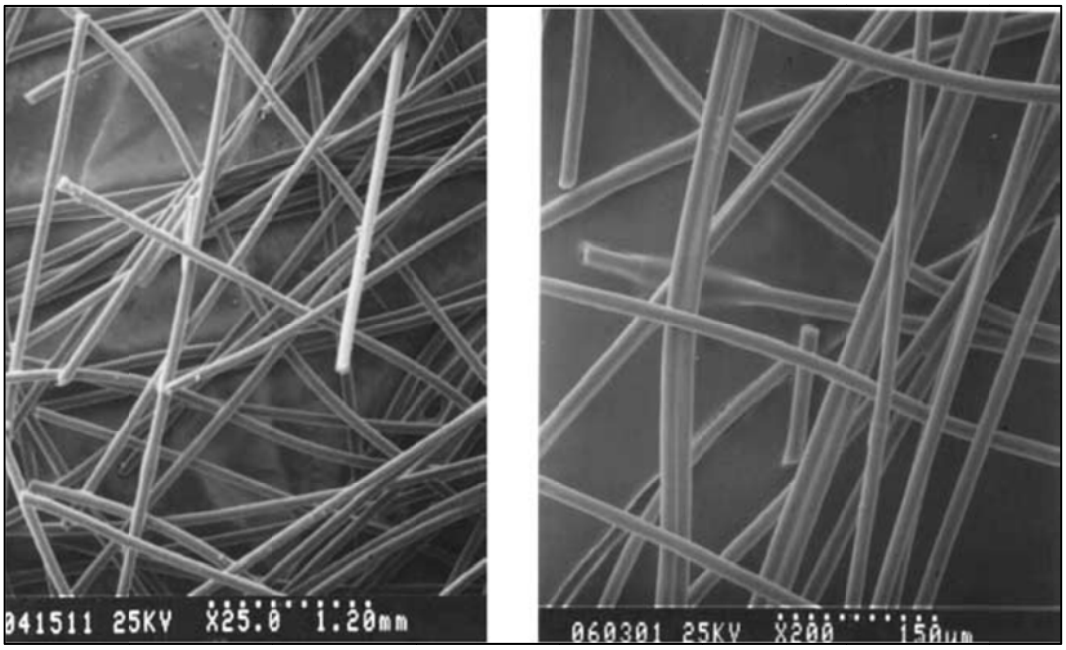
olduğunu belirtmişlerdir. Bu noktadan sonra polimer eklemenin malzemenin özelliklerini bozacağını belirtmişlerdir [49].

Chen ve Lin 2005 yılında farklı bir çalışma yayınlamış, bu çalışmayla da bitüme fiber donatı eklemenin bitümün davranışına nasıl etki ettiğini açıklamışlardır. Bu çalışmada farklı tip fiberler (selülozik, taş yünü ve polyester) kullanılmış, bunların bitümü özellikle mekanik açıdan nasıl etkilediği vurgulanmıştır. Bu yüzden viskozite, dayanıklılık, mikroskop ve reoloji deneyleri bitüm-fiber karışımını karakterize etmek için yapılmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki, fiber donatı etkisi, kritik bir noktaya kadar donatı eklenmesi arttıkça artmıştır. Yüksek karışım sıcaklıklarında katkılı bitümün viskozitesi normal bitüme oranla çok çok yüksek çıkmıştır. Bitüm–fiber karışımların çekmeye karşı mukavemeti fiber konsantrasyonun artmasıyla artmıştır. Çünkü fiberler çekme dayanımının çoğunu taşımaktadırlar. Yüksek çekme dayanımlarında fiberler ve bitüm arasında kuvvetli bir bağ oluştuğu ve güzel bir adezyon oluşturdukları da belirtilmiştir. Elektron mikroskobu ise fiberlerin bitüm içerisindeki dağılımından karışımın üç boyutlu donatı içeren bir yapı oluşturduğu gösterilmiş ancak fazla fiber eklemenin fiberler arasında sürtünme oluşturacağından dolayı dayanımı düşüreceği belirtilmiştir. Son olarak ise optimum fiber oranının fiber çeşidine, boya ve çapa göre değişebileceği belirtilmiştir. Ayrıca makalede gösterilen elektron mikroskobu görüntüleriyle farklı çeşit fiberlerin mikroskop görüntüleri yayınlanmış ve selülozik ve mineral fiberlerin hemen hemen aynı performansı gösterdiği polipropilen fiberlerin ise yüksek yumuşama değerlerinden ötürü, yüksek sıcaklıkta dayanım isteniyorsa bu tip fiberlerin kullanılabileceği belirtilmiştir [50].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(a) Organik Fiberler (b) Mineral Fiberler



(c) Polyester-l (d) Polyester-s

Şekil 3.1 Tip Fiberin Elektron Mikroskobu Görüntüleri [50]

2007 yılında Yıldırım, farklı fiber çeşitleriyle detaylı bir literatür taraması yapmış ve her birinin asfalt performansına nasıl etkidiğini belirtmiştir. Doğal

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

kauçuk için oluklanmaya karşı direnci ve düktilite özelliklerini artırmasına rağmen, asfaltın ayrışmaya karşı daha duyarlı hale geldiği ve kompatibilite problemleri gösterdiğini belirtmiş, lastik kauçuk kullanımının asfalt modifiye malzemesi olarak çevresel açıdan iyi olmasına rağmen oluklanma ve yansıma çatlaklarındaki performansı düşüreceğini belirtmiştir. Fakat bazı özel durumlarda, yüksek karışım sıcaklıkları ve uzun sıkıştırma durumlarında asfalt karışımla ayrışmasının önüne geçilmesi gerektiğini de belirtmiştir [51]. SBR (Stiren – Bütadiyen Kauçuk) eklentisi asfaltın düşük sıcaklık düktilite değerlerini iyileştirdiği, viskozitesini artırdığı, elastik geri kazanım özelliklerini geliştirdiği ve adezyon ve kohezyon özelliklerini geliştirdiğini göstermiştir. Ayrıca emülsiyonun içinde kullanılan su bazlı SBR lateks kullanımının da emülsiyonun özelliklerini geliştirdiği belirtilmiştir [51]. Modifiyeli asfalt malzemelerde SBS (Stiren – Bütadiyen - Stiren) malzemenin SBR malzeme ile yer değiştirmesi sonucunda kompatibilitenin daha iyi olduğu ve çekmeye karşı daha dirençli olduğu belirtilmiştir. Zaten şuanda en çok kullanılan polimer malzeme SBS'dir. SBS modifiyeli asfaltın elastisitesini arttırdığı gibi aynı zamanda da geri dönüşümlü bir malzemedir. SBS modifiyeli bitümler düşük sıcaklıklarda diğer bitüm çeşitlerine göre çok daha iyi performans göstermektedir [48]. Yıldırım makalede son olarak Elvaloy® isimli modifiye ediciden bahsetmiştir. Bu malzeme asfalt ile kimyasal bir bağ oluşturduğundan asfalt karışımın saklanma, taşınma ve yerleştirilmesi aşamalarında hiçbir ayrışmaya maruz kalmamasını gerçekleştirmektedir. Kaplamanın neme olan direncini arttırdığı gibi, yüksek sıcaklıklardaki DSR (Dynamic Shear Rheometer) deneylerinde de en iyi performansı göstermiştir [51].

Yine aynı sene içerisinde aynı dergide yayınlanan bir makalede Kanada'da yapılan bir çalışmada SBS modifiyeli bitümün sünme davranışı araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar ışığında, polimer modifiyeli asfalt malzemelerin zaman bağımlı mikro yapılar olduğu belirtilmiş bu nedenle yüksek yüklemelerde büyük deformasyonlar meydana geldiği belirtilmiştir. Bu çeşitli yüklemeler sonucunda modifiyeli asfalt malzemelerin klasik lineer viskoelastik davranış gösteren malzemelerden daha farklı davrandığı ve lineer viskoelastik modellere göre test edilmemesi gerektiği belirtilmiştir [52].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yılmaz ve Ahmedzade'nin 2008 senesindeki çalışmasında bitümlü bağlayıcıların kısa dönem yaşlanmasını laboratuvar ortamına yansıtmak amacıyla en çok kullanılan iki yöntem olan İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (TFOT) ve Dönel İnce Film Halinde Isıtma Deneyi (RTFOT) yöntemleri karşılaştırılmıştır. B 160/220 ana bağlayıcısına dört farklı oranda (% 1,5–3,0–4,5–6,0) Stiren-Bütadiyen-Stiren (SBS) ilave edilerek modifiye bağlayıcılar hazırlanmıştır. Saf ve modifiye bağlayıcılar TFOT ve RTFOT yöntemleriyle yaşlandırılmıştır. Yaşlandırılmamış ve TFOT ile RTFOT yöntemleri ile yaşlandırılmış bağlayıcılara penetrasyon ve yumuşama noktası deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca bağlayıcıların ısıya karşı duyarlılıkları ve yaşlandırma etkisiyle meydana gelen kütle kayıpları belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yaşlandırmadan önce ve sonra SBS içeriği arttıkça bağlayıcıların yumuşama noktası değerlerinin arttığı, penetrasyon ve ısıya karşı duyarlılıklarının azaldığı belirlenmiştir. TFOT yönteminde RTFOT yöntemine göre daha fazla yaşlanma meydana geldiği, penetrasyon değerlerinin daha düşük, kütle kaybı ve yumuşama noktası değerlerinin ise daha yüksek olduğu, ısıya karşı duyarlılıklarının benzer olduğu belirlenmiştir [53].

Ahmedzade 2008 yılında polyester reçine ile modifiye ettiği bitüm hakkında bir araştırma yapmış ve AC-10 bitüme % 0,75 oranında polyester reçine eklenilmiş modifiye bitümlü asfalt karışımların, AC-5 saf bitümlü asfalt karışımlara göre mekanik özelliklerinin çok daha iyi olduğunu göstermiştir [54].

2008 yılında Tapkın, polipropilen fiberlerin asfalt performansına etkileri adı altında bir çalışma yapmıştır. Uzun yıllardır inşaat mühendisliğinde kullanılan polipropilen malzemenin, betonda 3 boyutlu olarak ikincil bir donatı görevi gördüğü gibi, bitümle olan adezyonundan dolayı asfalt malzemelerinde de bir şekilde kuvvetlendirme ve iyileştirme yapabileceğini ispat etmiştir. Optimum bitüm oranında polipropilen fiberlerle hazırlanan asfalt karışım numunelerinin Marshall Stabilite değerlerinin arttığını ve akma değerlerinin de dikkate değer bir şekilde azaldığını göstermiştir. Ayrıca bu numunelerin yorulma ömürleri de normale göre yaklaşık % 27 oranında artmıştır. Polipropilen, asfalt karışımların özelliklerini pozitif yönde etkilemiştir. Oluklanmaya karşı direnç artmış, asfaltın yorulma ömrü uzamış ve yansıma çalkakların da azalma gözlemlenmiştir. Bu

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

nedenle, polipropilen fiber katkısının asfalt karışımlara çok yararlı olduğu ispatlanmıştır [55].

Yine aynı sene içerisinde Tapkın'ın yürüttüğü yüksek lisans tez çalışmasında PP fiber modifiyeli karışımların fiziksel ve kimyasal özellikleri araştırılmış, statik sünme ve Marshall testlerinin yanı sıra Elektron mikroskobu görüntüleri ışığında optimum PP miktarına karar verilmiştir. PP fiber modifiyesi asfalt karışımların özelliklerini bir hayli arttırmış, statik sünme deneyleri sonucunda birim deformasyon değerleri % 60 oranlarında düşmüş, İlk rijitlik değerlerinde % 129'luk bir artış gözlenirken, son rijitlik değerlerinde ise % 149 oranında bir büyüme olmuştur. Bunun yanı sıra PP modifiyesi ile bitüm oranında % 30'luk bir ekonomik iyileşme sağlanacağı gösterilmiş ve son olarak da statik sünme, Marshall testleri ve Elektron mikroskobu görüntüleri sonucunda optimum PP oranının agreganın ağırlığınca ‰ 5.5 olması gerektiği belirtilmiştir [27].

Tahran'da 2009 senesinde modifiye asfaltın sünme ilişkisini anlamak için Khodaii, A. ve Mehrara, A. bir çalışma yapmışlar, tekrarlı yük altında modifiye edilmiş ve edilmemiş olan asfalt numunelerini karşılaştırmışlardır. Modifiye edici olarak da SBS malzemesi kullanmışlardır. Araştırma sonucunda, kaba gradasyonlu numunelerin anlık deformasyonlara karşı daha dirençli olduğunu, SBS modifiyesinin sıcaklık hassasiyetini azalttığını ve kompatibilitelerini arttırdığını belirtmişlerdir. Bunun yanında 40°C ve 50°C sıcaklıktaki 100 kPa'lık yükleme paterninin tekrarlı sünme deneyi modeli için yeterli olmadığını belirtmişlerdir [56].

2009 yılında Şengöz ve arkadaşları yaptıkları araştırma ile farklı tip modifiye edicilerle (SBS, EVA ve EBA) 50/70 penetrasyonlu saf bitümü karıştırmışlardır. Yapılan konvansiyonel deneyler ve elektron mikroskobu görüntüleri ertesinde, modifiye edilmiş bitümlerin ana özellikleri ve morfolojilerinin polimer tipine ve miktarına bağlı olduğunu belirtmişler, polimer modifiyesinin penetrasyon, yumuşama noktası ve sıcaklık hassasiyeti gibi konvansiyonel özelliklerini iyileştirdiğini göstermişlerdir. Son olarak ise polimer oranıyla polimerlerin yüzdece dağılma alanları arasında bir ilişki olduğunu belirtmişlerdir [57].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yine 2009 yılında Tapkın ve diğerleri, asfaltın sünme davranışı ile ilgili bir çalışma hazırlamış bu çalışmada da polipropilenin asfalt içerisindeki davranışı incelenmiştir. Bu çalışmada 50/70 penetrasyonlu bitüme modifiye yapıldıktan sonra marshall stabilitesi deney aletiyle stabilite ve akma değerlerine bakılmış, UTM-5P deney aleti ile de modifiyeli ve modifiyesiz numunelerin reolojik davranışları incelenmiştir. Ayrıca çalışmada 3 tip polipropilen (M-03, M-09 ve atık polipropilen) kullanılmış, modifikasyon 165-170°C'deki bitüm ile fiberlerin dakikada 500 devir yapabilen mikser ile 2 saat karıştırılmasıyla yapılmıştır. Tekrarlı sünme deneyi için numuneler 24 saat 50°C'de bekletilmiş, numunelerin farklı yükleme şekilleriyle nasıl davrandığını anlayabilmek için 3 farklı yükleme paterni seçilmiştir (100,207 ve 500 kPa). 500 kPa'lık yükleme paterni (yaklaşık 73 psi) standart yük olarak seçilmiştir çünkü 73 psi yüklü bir kamyondaki dingil yükünü en uygun şekilde modellemektedir. Yükleme peridotları ise bütün yükleme numuneleri için 500 ms seçilmiş, dinlenme süreleri de 500, 1000, 1500 ve 2000 ms olarak seçilmiştir [58]. Bütün bu çalışmalardan şu sonuçlara varmışlardır; En kullanışlı polipropilen M-03 tipli fiberlerdir. Asfalt karışımlara polipropilen eklenmesi numunelerin Marshall değerlerini yaklaşık % 20 oranında artırmıştır. Numunelerin rijitliklerinde gözle görülür bir şekilde olumlu yönde artış yaşanmıştır. Çeşitli tekrarlı yüklemeler altındaki sünme davranışı modifiyeli numunelerde 5-12 kat artış göstermiştir. Kontrol numunelerinin rijitlikleri bozulduğu anda polipropilen katkılı numuneler halen orijinal değerlerinin % 50'sini korumaktadır (Şek. 3.2) Bütün analizlerin sonucu göstermiştir ki tekrarlı yükleme altında polipropilen fiber katkısı numunelerin ömrünü arttırmıştır [58].



Şekil 3.2 Kontrol ve fiber katkılı numunelerin tekrarlı sünme deneyi sonundaki görüntüleri [58]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bu bölümde Abtahi, Sheikhzadeh ve Hejazi'nin 2009 yılındaki çalışmasından bahsedilecektir. Bu çalışma 2009 yılına kadar fiber malzemelerle yapılan bütün modifiye asfalt çalışmaların bir özeti niteliğindedir. Bu yüzdende bu bölümde bu makaleye geniş yer ayırılmıştır [59].

Bu makaleye göre, fiberler; modifiye asfaltın vizkoelasikliğini değiştirmekte [60], dinamik modül değerlerini [61], neme karşı hassasiyeti [62], sünme uyumunu, oluklanmaya karşı direnci [63] ve donma – çözülmeye karşı direnci artırmaktadır [64]. Bunun yanında yansıma çatlaklarını da azaltmaktadır [55,64,65]. Öte yandan araştırmalar göstermiştir ki, fiber katkılı modifiye asfaltlar; yaşlanmaya, yorulma çatlaklarına, nem etkisine, kusmalara ve yansıma çatlaklarına karşı dirençlidirler [66].

Abtahi ve diğerlerinin çalışması, fiber modifiyesinin bazı problemlerini anlatarak devam etmektedir. Özellikle fiber modifiyesi hakkında yeteri kadar standart bulunmaması durumunun, modifiye asfaltın en büyük handikaplarından biri olduğunu belirtmişlerdir. Abtahi bu noktadan sonra makalesine fiberler için geniş kapsamlı bir tarihi araştırma yaparak devam etmiş, öyle ki; fiber kullanımının 4000 yıl öncesine dayandığını modern gelişmelerin ise 1960'ların başlarında başladığını belirtmektedir. Makale farklı fiber tipleri için yapılan çalışmaları özetlemekle devam etmektedir. Öncelikle geniş bir kullanımı olan polipropilen fiberlerden bahsedilmiştir [59].

Polipropilen fiberler betonlarda üç boyutlu donatı özelliği görmektedir, fiberler sayesinde beton daha kuvvetli ve dayanıklı olmaktadır [67,68]. Polipropilen fiberler Birleşik Devletlerde ayrıca modifiye edici olarak asfalt karışımlarda da kullanılmaktadır. ODOT (Ohio State Department of Transportation) yüksek performanslı asfalt karışımlarda polipropilen kullanımının nasıl yapılmasını gerektiğini anlatan bir standart yayınlamıştır [69]. 1993 yılında yapılan bir çalışmayla asfalt karışımlar üzerindeki yansıma çatlaklarını azaltmak amacı ile bir çalışma yapılmış, polipropilen fiberlerin kullanıldığı numunelerde bu durum sağlanmıştır [70]. Huang ve White'ın polipropilen modifiyesiyle yaptığı çalışmayla fiber katkılı ve katkısız numuneleri karşılaştırmış ve fiber katkılı numunelerin daha rijit ve yorulma ömürlerinin daha uzun olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca fiber malzemenin erime noktasının çok düşük olmasının

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

büyük bir problem olduğunu ve fiber modifiyeli asfaltların viskoelastik davranışının daha iyi anlaşılmasını sağlayacak araştırmalar yapılması gerektiğini önermişlerdir [60]. Daha sonra Tapkın'ın yapmış olduğu yoğun araştırmalar sonucu polipropilen katkılı asfalt numunelerin optimum bitüm oranında imal edilmesi gerektiği bulunmuş, ayrıca Marshall stabilitesi değerlerinin arttığı akma değerlerinin ise azaldığı gösterilmiştir. Ayrıca polipropilen katkılı numunelerin oluklanmaya karşı daha iyi direnç gösterdiği, yorulma ömrünün uzadığı ve yansıma çatlaklarının azaldığı belirtilmiştir [55]. Bundan sonra karşılaştırmalı bir çalışmayla Abtahi, 12 mm uzunluğundaki polipropilenlerin karışıma ağırlıkça % 0,125 oranında karıştırılmasıyla elde edilen numunelerin, SBS modifikasyonuna göre daha istenen sonuçlar verdiğini göstermiştir [71]. Başka bir araştırma programında ise polipropilen fiberlerin erime noktalarının düşük olmasından dolayı (162°C) performans bakımından diğer modifiye edicilere göre daha avantajlı olduğu belirtilmiştir. [72]. Son olarak Tapkın, bitüme 3 mm uzunluğundaki polipropilen fiberlerin % 0,3 oranında karıştırılmasının fiber modifiyeli asfaltlar için en iyi sonucu verdiğini marshall ve sünme deneyleriyle bulmuş, modifiyeli bitümün polipropilenle 2 saat boyunca 163°C'de ve 500rpm karıştırma hızıyla hazırlanması gerektiğini belirtmiştir. Bu takdirde marshall stabilitesi değerlerinin % 20 oranında arttığını ve sünme davranışlarının da katkısız numunelere göre 5-12 kat daha iyi olduğunu göstermiştir [58,73].

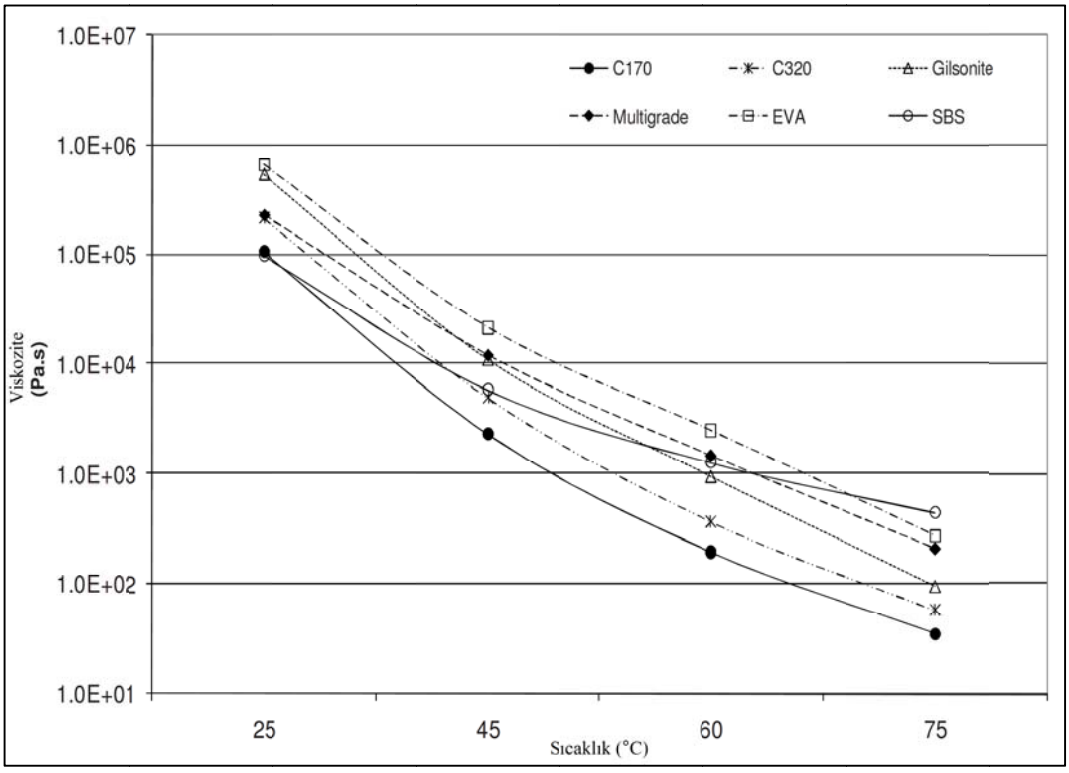
Abtahi'nin çalışması daha sonra sırasıyla polyester fiberler, mineral fiberler, selüloz fiberler, karbon fiberler, cam fiberler ve naylon fiberler hakkındaki araştırmalardan detaylı olarak bahsetmektedir. Sonuç olarak bu çalışma, asfalt karışımlarda kullanılacak olan fiber malzemelerin avantajları ve dezavantajları hakkında araştırmacılara ışık tutmaktadır [59].

2009 yılına ait Zhou, Li ve Zhang'e ait bir çalışmada da PP, selüloz ve polyester fiber katkılı numuneler kontrol numuneleriyle karşılaştırılmış, DSR (Dynamic–Shear-Rheometer) deneyi ve tekerlek izi deneyi (Wheel-Tracking-Test) sonuçlarında bitüm-fiber katkısının anlık deformasyonlara karşı en güzel direnci sağladığı vurgulanmıştır [74].

Son yıllarda yayınlanan çalışmalara göz atılacak olursa, özellikle 2010 yılındaki çalışmalarda önemli ilerlemeler kaydedilmiştir. İlk olarak Avustralya'da

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

yapılan bir çalışmada bitümlü malzemelerin karakteristikleri tekrarlı sünme davranışıyla açıklanmaya çalışılmış, yapılan detaylı araştırmada dördü modifiyeli olmak üzere 6 farklı bitümlü malzeme karşılaştırılmıştır. Çalışmada yoğurmalı kompaktörle hazırlanan ve 4 farklı yükleme paterni ile 50°C'de MATTA deney aletinde tekrarlı sünme deneyinde tabi tutulmuş asfalt numuneleri gözlemlenmiştir. Ayrıca yine fikir vermesi açısından aynı karakterdeki numuneler (% 5 ± 0,5 hava boşluklu) Marshall Stabilitesi deney aletinde de denenmiş EVA (Etilen Vinil Asetat) elastomerinin SBS, gilsonit ve diğer bileşimlere göre çok daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Tekrarlı sünme sonuçlarına göz atılacak olursa, normal bitümlü karışımların 1,000-10,000 vuruş aralığında bozulduğu, SBS, gilsonit ve Multigrade modifiyeli numunelerin 10,000-100,000 vuruş arasında, EVA modifiyeli bitümlerin ise 100,000-1,000,000 vuruş arasında bozulduğu gösterilmiştir. Çalışma son olarak ARRB'nin (Australian Road Research Board) özel bir viskozite ölçme tekniğiyle devam etmiş, farklı sıcaklıklarda modifiye edilmiş ve edilmemiş bitümlerin viskoziteleri hakkında araştırmacılara ışık tutmuştur [75].



Şekil 3.3 Viskozite-Sıcaklık Eğrileri [75]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Sonuç olarak çalışma sıcak havalarda ve ağır trafik yükleri altında en iyi modifiye edici olarak EVA'yı önermektedir [75].

2009 yılında yapılan bir başka çalışmayla Tapkın ve diğerleri, sinir ağlarının (YSA) polipropilen (PP) ile modifiye edilmiş asfalt karışımların tekrarlı sünme deney sonuçlarının tahmin edebilmesi amacıyla bir çalışma yürütmüştür. Marshall numuneleri (M-03 tipi polipropilen fiberler kullanılarak hazırlanmış), optimum bitüm muhtevasında, Universal test makinesi (UTM-5P) kullanılarak reolojik/sünme davranışlarını tekrarlı yükleme altında belirleyebilmek amacıyla test edilmişlerdir. Daha önceden hazırlanmış Marshall numunelerine belirli bir sıcaklık altında değişik yük değerleri ve yükleme paternleri uygulanmıştır. Görülmüştür ki polipropilen fiberlerin eklenmesiyle Marshall stabilitelerinde artış akma değerlerinde düşüşler ve böylece tekrarlı sünme deneyindeki servis ömürlerinde önemli artışlar meydana gelmiştir. Önerilen YSA modeli standard Marshall numunelerinin polipropilen tipi, numune yüksekliği, birim ağırlık, mineral agregadaki boşluk, asfalt ile dolu boşluk, hava boşluğu ve dinlenme periyodu ile vuruş sayısı gibi tekrarlı sünme deneyi özelliklerini kullanarak, mekanik deneyler sonucunda elde edilen akümüle eden birim deformasyon değerlerinin tahmin edilmesinde kullanılmıştır. Buna ek olarak parametrik analizlerde yürütülmüştür. Parametrik analizlerin sonuçları tekrarlı sünme deneylerine tabii tutulan Marshall numunelerinin akümüle eden birim deformasyonlarının belirlenmesinde son derece iyi bir vasıta olmuştur [73].

2010 yılındaki diğer çalışmalara göz atacak olursak, Xu Chen ve Prozzi yine fiberlerin oluklanmaya ve anlık deformasyonlara karşı dirençli olduklarını ancak donmaz-çözünme ve su etkisine karşı yeteri kadar direnç göstermediklerini belirtmişler [76], Huang ve White ise daha önceden dökülmüş olan araziden alınan numunelerle yapılan çalışmalarda numunelerin fiziksel özelliklerini, yorulma ömürlerini ve kompleks modüllerini incelemişler, fiberlerin asfaltın ömrünü uzattığını gözlemlemişlerdir [77]. Uzak doğuda yapılan geniş kapsamlı çalışmalarda da farklı tiplerde fiberler birbirine karıştırılmış (Polipropilen [PP] / waste ground rubber tire powder [WGRT]) (maleic anhydride-grafted styrene-ethylene-butylene-styrene [SEBS-g-MA]) sonuç olarak malzemenin mekanik

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

özelliklerini ve düktilite değerlerinin iyileştiği, yapay sinir ağları genetik algoritması kullanılarak gösterilmiştir [78,79].

Son olarak 2010 yılında Tapkın, Çevik ve Uşar'ın beraber yaptıkları çalışma, sinir ağlarının (SA) polipropilen (PP) ile modifiye edilmiş asfalt karışımların Marshall test sonuçlarının tahminine yönelik bir uygulamadır. PP fiberler bitümlü bağlayıcıyı modifiye etmek ve elde edilen asfalt karışımın fiziksel ve mekanik özelliklerini geliştirmek için kullanılmışlardır. Değişik tipteki PP fiberler ve ayrıca atık PP ile optimum bitüm muhtevasında imal edilen numuneler üzerinde Marshall stabilite ve akma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucu görülmüştür ki polipropilen fiberlerin eklenmesiyle Marshall stabilite ve Marshall Oranı değerlerinde (ki bu bir tür yalancı rijitlik değeridir) önemli artışlar gözlemlenmiştir. Önerilen sinir ağı modeli PP tipi, PP yüzdesi, bitüm yüzdesi, numune yüksekliği, birim ağırlık, mineral agregadaki boşluk, asfalt ile dolu boşluk ve hava boşluğu değerlerini kullanarak, mekanik deneylerin sonunda Marshall stabilitesi, akma ve Marshall Oranı değerlerini tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Stabilite, akma ve Marshall Oranı değerlerinin, önerilen sinir ağı modeline dayanan açık formülasyonu elde edilmiş ve araştırmacıların sonraki çalışmalarında kullanabilmeleri için prezante edilmiştir. Buna ek olarak parametrik analizlerde yürütülmüştür. Parametrik analizlerin sonuçları Marshall numunelerinin mekanik özelliklerinin değerlendirilmesinde son derece başarılı olmuştur. [80].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4.YÜKSEK PERFORMANSLI ASFALT KAPLAMALAR (SUPERPAVE)

Türkiye'de ve dünyanın birçok ülkesinde, yoğun bitümlü karışımların laboratuvar ortamında tasarlanmasında kullanılan "Marshall" karışım dizaynı İkinci Dünya Savaşı'nın patlak vermesinden hemen öncesinden beri kullanılagelmekte olan bir dizayn yöntemi olarak literatürdeki yerini almıştır [81]. Marshall karışım dizaynı prosedürünün dünya çapında bu kadar rağbet görmesinin en temel nedenlerinden biri ise laboratuar numunelerinin hazırlanması ve test edilmesi içim gereken ekipmanın, "Hveem" dizayn prosedüründen (Marshall karışım dizaynı ile aynı tarihlerde geliştirilmeye başlanmış bir dizayn prosedürü) çok daha ekonomik olmasıdır [82]. Sonuç olarak, Marshall metodu, asfalt betonu endüstrisi için oldukça rağbet gören bir dizayn yöntemi olarak 1980'lerin başına kadar kullanılagelen bir yöntem olmuştur. Ancak 1980'lerde özellikle Amerika Birleşik Devletleri yol ağında ağır taşıt trafiğinden ve asfalt betonu kaplamaların servis ömürleri boyunca çok erken ortaya çıkan oluklanma (tekerlek izinde oturma) problemlerinden dolayı Marshall metodu ile dizayn edilen kaplamaların sorgulanması zorunlu bir hal almıştır. Literatüre de geçmiş olan birçok vakada, bilim adamları, karışıma ilave edilen bitümlü bağlayıcı oranının fazlalığının, oluklanmaları yaratan temel neden olarak ele alınması gerektiğini ileri sürmüşlerdir [83]. Ancak uygulamada yer alan birçok mühendis ise, Marshall dizaynının temel prensibi olan darbeleme yoluyla sıkıştırma etkisinin, gerçek kaplamalarda gözlemlenecek yoğunlukları tatmin edilir şekilde temsil edemeyeceğini ileri sürmüşlerdir. Bu konu, 1980'lerin sonunda Amerika Birleşik Devletlerinde yürütülmesine başlanılan milli bir çalışma olarak Stratejik Karayolu Araştırma Programı (Strategic Highway Research Program) [SHRP] ile irdelenmeye başlanmıştır [81-85]. Bu çok büyük ve kapsamlı araştırma programının çıktılarından biri ise yeni bir karışım dizayn metodu olan Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) [Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar] programının geliştirilmiş olmasıdır.

Superpave, SHRP programının bir parçasıdır. Bu program 1987 yılında başlamış, 1992 yılında sona ermiş ve 150,000,000 Amerikan Dolarlık bütçesiyle karayolu elemanlarının performanslarını bir bütün olarak arttırmayı hedefleyen bir

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

program olmuştur [84]. SHRP'ın asfalt araştırma programının bütçesi 50,000,000 Amerikan Dolarıdır ve programın hedefi kaplama performansını direkt olarak etkileyen bitümlü bağlayıcıların, agregaların ve asfalt betonunun özelliklerini tanımlamak ve performans bazlı şartnamelerin oluşturulmasına yönelik test metotları geliştirmek olmuştur. Ortaya çıkan sonuçlar, asfalt betonu karışım dizaynı ve performans esaslı deneyler için yeni bir sistemi olmuş ve Superpave adını almıştır. Bu metot A.B.D. eyaletleri için yavaş yavaş adapte olunan ve ekstrem sıcaklıklar ve ağır taşıt yükleri için bir karışım dizayn yöntemi olarak kabul gören bir sistem haline gelmiştir. Superpave, asfalt betonu karışım dizaynını standardize ederken agrega seçimi, iklime bağlı olarak bitümlü bağlayıcı seçimi, trafiğe bağlı kompaksiyon (sıkışma) ve volümetrik özelliklere bağlı olarak agrega iskeleti ve asfalt bağlayıcı oranı tayinini de dizayn prosedürüne yeni elemanlar olarak dahil etmektedir. Superpave sistemi birbiriyle ilişkili üç alandan meydana gelmektedir. Bunlar;

1. Performans sınıfı bitümlü bağlayıcı sınıflaması ve kaplamanın maruz kaldığı sıcaklık limitlerinde yürütülecek olan temel deneyler [84,85,86-89]
2. Agrega kriterleri ve deneyleri [84,85]
3. Karışım dizayn sistemi (hem Superpave yoğurmalı kompaktörü ile volümetrik analiz hem de analiz/performans tahmini) [82]

olmak üzere üç temel başlık altında incelenebilir. Sistemin kaplama performansını tahmin etmeye yarayan karışım analizi kısmı ise halen araştırma ve geliştirme aşamasındadır [84-89].

Yukarıda belirtilmiş olduğu üzere Marshall dizaynı yöntemi halen tüm dünyada ve Türkiye'de yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Marshall karışım dizaynı birçok üniversite, araştırma merkezi ve özel sektör laboratuvarlarının vazgeçilmez bir dizayn yöntemidir. Ancak bu dizayn yönteminin arazi uygulamaları yanındaki en büyük handikabı, asfalt karışımları sıkıştırmak için uygulanmakta olan tokmaklama tekniğinin silindir vasıtasıyla yapılan sıkıştırmayı tam olarak temsil edememesidir. Ayrıca bölgesel iklim özelliklerinin, gece-gündüz ve yaz-kış sıcaklık değişimlerinin tam anlamıyla işin içerisine katılmamasından dolayı imal edilen asfalt betonu kaplamaların istenilen performans seviyesine ulaşamamaları da çok önemli bir sorun olarak karşımıza

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

çıkmaktadır. Marshall dizayn yöntemi ile hazırlanmış olan karışımların, yapısal olarak sağlam olan yol kesitlerinde bile oluklanma problemiyle karşı karşıya kalması A.B.D.'de olduğu kadar dünyanın birçok farklı ülkesinde de bilim adamlarının çare bulması gereken sorunların en başında gelenlerinden biri olmuştur. Son olarak ise sıkıştırmada tokmak kullanılmasının briketlerdeki agregalarda darbeler sonucu kırılmalara yol açması nedeni ile çok büyük dezavantajlara sahiptir. Çeşitli ülkelerdeki çalışmaların yanında A.B.D.'de uygulamaya konulan SHRP programıyla beraber, Superpave Gyratory Compactor (SGC) [Superpave Yoğurmalı Kompaktörü] ile gerçekleştirilen ve Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar (Superpave) adı verilen tamamı ile yeni bir karışım tasarım metodu geliştirilmiştir. Yani yoğurmalı kompaktör kullanılarak hazırlanan asfalt karışımlar yeni nesil bir kaplama dizaynı geliştirmek için yola çıkılmış olan bu programın en temel öğesi ve vazgeçilmezi konumundadır. Bu kompaktör ve yeni deney ve ekipmanlarının geliştirilmesiyle ortaya çıkan Superpave yöntemi artık tüm dünyada kabul görmeye başlamıştır. Yeni yapılan karışım dizaynları da AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) ve ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarına göre değerlendirilen yeni şartnameler ışığında yapılmaya başlanmıştır [81,85].

4.1. Sıkıştırma Yöntemleri

Bu bölümde Superpave dizayn yöntemleri kullanılarak yoğurmalı kompaktör ile yapılmış olan ve aynı zamanda da farklı kompaksiyon tekniklerini karşılaştırılan çalışmalar kronolojik olarak sunulmuştur. 1950'lerin başında Valerga bitümlü karışımların kompaksiyonun da statik yüklemenin, darbelemenin ve yoğurmanın etkilerini araştıran karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır. Valerga, bitümlü karışımlardan oluşan laboratuar test numunelerinin sıkıştırılmasının Hveem stabilometre ve kohezyometresinde ölçülen stabilite ve kohezyon değerlerinde derin bir etkisi olduğunu belirtmiştir. Değişik kompaksiyon metotlarının, sıkıştırılmış karışımlar aynı yoğunluğa sahip olsalar bile, değişik stabilite değerleri verdiğini bulmuştur. Bu gözlemleme, Valerga'nın değişik

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

kompaksiyon yöntemlerinin parçacıkların farklı oryantasyon ve yerleşimlerinin stabiliteyi ve deformasyona karşı direnci etkilediği sonucuna varmasını sağlamıştır. Ayrıca bu etkileşim sadece yoğunluğu ve boşluk oranını değiştirmenin ötesinde bir olaydır [90].

NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) sponsorluğunda yürütülen bir çalışmada, beş kompaksiyon aparatının arazi sıkışmasını temsil etme yeteneği karşılaştırılmıştır. Seçilen kompaksiyon aparatlarının değerlendirilmesi kullanıma hazır halde bulunabilmeleri, karışımın hazırlanmasında sağladıkları kolaylıklar ve asfalt karışımından sorumlu kurumlar tarafından kullanılma potansiyelleri gibi faktörler göz önüne alarak yapılmıştır. Değerlendirmeye alınan aparatlar şunlardır:

- Hareketli çelik tekerlek simülatörü
- Texas yoğurmalı kompaktörü (Şekil 4.1)
- California yoğurmalı kompaktörü
- Marshall kompaktörü
- Arizona titreşimli-yoğurmalı kompaktör

Bu bahsedilen beş laboratuar kompaksiyon aparatının arazi kompaksiyonunu temsil edebilme yetenekleri, laboratuvarda sıkıştırılmış numunelerle araziden alınan karotlar arasındaki malzeme özelliklerinin (esneklik modülü, endirekt çekme mukavemetleri, yıkım anındaki deformasyon ve çekme sünme deney verisi) benzerliğine dayanmaktadır. Test sonuçları göstermiştir ki arazi kompaksiyon yöntemleriyle birebir örtüşen tek bir laboratuar kompaksiyon yöntemi olmamasına rağmen, Texas yoğurmalı kompaktörü araziden alınan karotlara en yakın malzeme özelliklerine sahip karışımlar hazırlamak için en ideal aparattır. California yoğurmalı kompaktörü ve hareketli çelik tekerlek simülatörü ikinci ve üçüncü en uygun aparatlardır (aralarında çok az bir fark vardır). Arizona titreşimli-yoğurmalı kompaktör ve Marshall darbeli kompaktör araziden elde edilen karotlara benzer malzeme özellikleri göstermeleri açısından son iki sırada yer almışlardır [91].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 4.1 Texas yoğurmalı kompaktörü [92]

Scherocman ve Accot [93], kompaksiyonun ve kompaksiyon derecesini asfalt karışımların bozulmalarına yol açan temel faktörlere olan etkilerini uzun yıllar boyunca gözlemlemiş ve araştırmışlardır. Bu faktörlerin başlıca tekerlek izinde oturmalar (oluklanmalar veya kalıcı deformasyonlar), yorulma çatlakları (timsah sırtı çatlaklar), düşük ısı çatlakları ve nemden dolayı ortaya çıkan zararlardır. Sonuç olarak birçok faktörün (çevresel etkiler, tabaka kalınlığı, karışım özellikleri, kompaksiyon ekipmanı tipi ve silindir operasyonu gibi), düşük ısı çatlamaları hariç, kaplama performansını etkilemekte önemli rol oynadığı anlaşılmıştır.

Sigurjonsson ve Ruth [94], bilinen performans göstergelerine sahip asfalt-agrega karışımlarının oluklanmaya karşı dirençlerinin belirlenmesinde yoğurmalı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

kompaktörü kullanmışlardır. Sonuç olarak yoğurmalı kompaktörün, bağlayıcı oranı, gradasyon ve mineral filler oranlarındaki değişimlere karşı hassas olmayan karışımlar üretebildiğini görmüşlerdir. Bu temel sonuç, mevcut dizaynların olmazsa olmazı durumunda bulunan çoklu parametreler kriterinin gerekliliğini ortadan kaldırmış ve dizayn ve kalite kontrol süreçlerinin son derece kolay bir hale getirilmesine yol açmıştır.

Button ve arkadaşları tarafından yürütülen bir çalışmada ise dört tip kompaksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla:

- Exxon dönen tekerlek
- Texas yoğurmalı kompaktör
- Dönen başlı Marshall kompaktörü
- Elf doğrusal yoğurmalı kompaktördür.

Her bir kompaksiyon yöntemi ile laboratuar ortamında üretilen numuneler, her karışımın malzeme davranışını modellemeleri bakımından yüklemenin çekme ve basma kesme modlarında test edilmişlerdir. Test sonuçları araziden alınan karot numuneleriyle karşılaştırılmış ve istatistiki olarak analiz edilmiştir. Analizler göstermiştir ki Texas yoğurmalı kompaktörüyle hazırlanan numuneler araziden alınan karot numuneleriyle benzer özellik göstermişlerdir. Exxon ve Elf kompaktörlerinin karot numuneleriyle benzerlik gösterme olasılığı aynıdır. Dönen başlıklı Marshall kompaktörünün karot numuneleriyle benzerlik gösterme oranı ise en düşüktür (sırasıyla % 73, % 64, ve % 50). Button ve arkadaşları Exxon kompaktörünün kullanırken diğer kompaksiyon metotlarıyla hazırlanan numunelere oranla hava boşluklarını kontrol etmekte zorluklarla karşılaşmışlardır. Sonuç olarak asfaltın rutin karışım dizaynı ve test edilmesi için Texas yoğurmalı kompaktörünün daha uygun olduğu kanaatine varmışlardır. Bu çalışma yoğurmalı kompaksiyonun diğer kompaksiyon metotlarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir [95].

Maupin'in [96] çalışmasında ise, optimum bitüm muhtevasını belirlemek üzere çeşitli metotlar mukayese edilmiştir. 50 ve 75 darbeli kompaksiyonu, iki değişik marka Superpave yoğurmalı kompaktör, USACE (United States Army Corps of Engineers) yoğurmalı kompaktörü mukayeseye tabi tutulmuştur. Maksimum müsaade edilebilir bitüm muhtevasının belirlenmesi için Georgia

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

yüklemeli tekerlek deneyi yapılmıştır. USACE yoğurmalı kompaktörü ve 75 darbeli Marshall kompaksiyonu optimum bitüm muhtevasını belirlemede en büyük farklılıkları göstermiştir. İki adet Superpave yoğurmalı kompaktörü ise son derece mukayese edilebilir sonuçlar vermiştir [96]. Bu sonuçlar ışığında değişik kompaksiyon aparatları arasında, Superpave yoğurmalı kompaktörünün kompaksiyon aparatı olarak tercih edilmesinin ne kadar yerinde bir tercih olacağı aşikardır.

Khan ve arkadaşları [97] çalışmasının ana amacı ise değişik laboratuar kompaksiyon metotlarının karşılaştırılması ve arazideki kompaksiyona benzer veya yakın bir laboratuar kompaksiyon metodunun seçilmesidir. Yürütülmüş olan çalışmada beş adet kompaksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bunlar: Marshall otomatik ve manüel kompaksiyon, Kaliforniya yoğurmalı kompaksiyon ve dönme açıları 1.25° ve 6° olmak üzere iki farklı Superpave yoğurmalı kompaksiyondur. Beş laboratuar kompaksiyon metodunun değerlendirilme kriterleri laboratuvarda sıkıştırılmış numunelerle araziden alınan karotların malzeme özelliklerinin örtüşmesiyle alakalıdır. İncelenen fiziksel ve mekanik özellikler, hava boşlukları, hacim özgül ağırlığı, esneklik modülü ve statik sünme davranışıdır. Bu çalışma sonunda görülmüştür ki dönme açısı 1.25° olan Superpave yoğurmalı kompaktörü araziden alınan karotların malzeme özelliklerini en iyi temsil etmiştir.

Literatürde mevcut bulunan kompaksiyon yöntemlerini karşılaştırmak için başka bir çalışma da Suudi Arabistan'da yürütülmüştür. Bu çalışmada, laboratuar ve arazideki sıkıştırma oranlarını birbiriyle mukayese etmek için temelde iki farklı sıkıştırma yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan birinci temel yöntem Marshall otomatik tokmağı ile Marshall el tokmağı, diğeri de Kaliforniya yoğurmalı kompaktörü, Superpave 1.25° açılı yoğurmalı kompaktörü ile 6° açılı yoğurmalı kompaktördür. Yürütülen bu çalışmada Suudi Arabistan'ın dört farklı bölgesinden seçilen malzemelerden elde edilen numuneler kullanılmıştır. Karşılaştırmada elastisite modülü, hacim özgül ağırlığı gibi parametreler de dikkate alınmıştır. Malzeme olarak yerel kireçtaşı bazlı agrega ile 60/70 penetrasyonlu bitümlü bağlayıcı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan Superpave 1.25°'lik yoğurmalı kompaktörle sıkıştırılan numuneler, araziden alınan karot numuneleriyle en büyük benzerliği göstermişlerdir. Benzerlik açısından ikinci en iyi sıradaki davranışı ise

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

6°'lik yoğurmalı kompaktör ile hazırlanmış olan numuneler göstermişlerdir. Marshall otomatik tokmağı ile sıkıştırılan numuneler, araziden alınan karot numunelerine göre en farklı değerleri vermiştir. Marshall el tokmağı ile elde edilen değerler beklenenden daha iyi çıkmıştır. Kaliforniya yoğurmalı kompaktörü ile elde edilen numuneler de hava boşluğu bakımından araziden alınan karot numunelerine en yakın sonuç vermiştir [98].

Çeşitli asfalt dizayn yöntemlerinin karşılaştırıldığı bir başka çalışma da A.B.D.'deki Virginia Üniversitesi'nde yapılmıştır. Bu çalışmada altı farklı karışım numunesi Marshall ve Superpave yöntemleri ile hazırlanarak Marshall otomatik tokmağı ve 1.25°'lik Superpave yoğurmalı kompaktöründe sıkıştırılmıştır. Burada, Marshall dizaynında hem 50 vuruş hem de 75 vuruş ile hazırlanmış numuneler kullanılmıştır. Bütün numuneler için %4 hava boşluğunda elde edilen dizayn asfalt içerikleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan bütün numunelerde %4 hava boşluğunda Superpave yoğurmalı kompaksiyon yöntemi ile hazırlanan numuneler, 75 vuruş ile hazırlanan Marshall numuneleriyle kıyas edildiğinde daha az dizayn bitüm muhtevaları vermiştir [99].

Colorado Üniversitesi'nden Ray Brown isimli araştırmacı tarafından yapılan çalışmada, Marshall ve Superpave yoğurmalı kompaksiyon yöntemlerinin karşılaştırıldığı çalışmalar derlenmiştir. Bu çalışmanın en genel sonuçları verilmek istenirse, değişik bilim adamlarının yürütmüş oldukları çalışmalarda, Superpave yoğurmalı kompaktörü ile hazırlanan numunelerin optimum bitüm muhtevalarının Marshall yöntemi ile hazırlanan numunelere oranla belirli oranda düşük çıktığı görülmüştür. Hava boşluğu oranları ise sabit kalırken mineral agregadaki boşluk oranlarıysa yine önemli miktarda düşük çıkmaktadır. Bu da yine Superpave yoğurmalı kompaksiyon yönteminin tercih edilebilir olduğuna kuvvetli bir kanıt teşkil etmektedir [100].

Peterson ve arkadaşları, asfalt kaplamaların düzgün sıkıştırılmasının, kaplamanın uzun ömürlü olması ve kabul edilebilir bir performans seviyesinde hizmet vermesinde son derece önemli bir faktör olduğunu belirtmişler, ayrıca laboratuar sıkıştırmasının karışım dizaynının önemli bir parçası olduğunu da ifade etmişlerdir. Karışım dizaynı prosedürünün etkili olabilmesi için, laboratuar sıkıştırmasının arazi sıkıştırmasını yeterince temsil etmesi gerekmektedir. Bu

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

çalışmada, arazi ve laboratuar sıkışmasını değerlendirmek üzere Superpave kesme deneyi ile ölçülen mekanik özellikler değerlendirilmiştir. Arazi sıkışması, değişik kompaksiyon paternleriyle sıkıştırılmış üç yol test kesiminde gözlemlenmiştir. Laboratuar sıkışması ise Superpave yoğurmalı kompaktörünün çeşitli parametrelerin ayarlanması ile sağlanmıştır. Çalışmanın sonuçlarına göre, mevcut yoğurma protokolünün, aynı malzeme ve aynı boşluk oranında üretilen numunelerde, araziden alınan karotlardan önemli derecede farklı mekanik özellikler sergilediği görülmüştür. Yoğurmanın belli parametrelerindeki ayarlamalarla, kaplamadan alınan karotların mekanik özelliklerinin daha iyi temsil edebilen numuneler üretilebildiği de belirtilmiştir [101].

Jackson ise çalışmasında çok farklı bir şey denemiş ve alışılmışın dışında olarak 100 mm çapındaki silindir numunelerle çalışmıştır. Superpave yoğurmalı kompaktörü ile hazırlanan karışımlar prosedür gereği çoğunlukla 150 mm çapındaki kalıplarla hazırlanır. Bu çalışmada, 150 mm'lik numuneler ile 100 mm'lik numuneler hazırlanarak bir karşılaştırma yapılmış ve ikisi arasında çok büyük teknik farklılıklar olmadığı belirtilmiştir. Ancak 100 mm çaplı karışımlar hazırlanırken kullanılacak olan agrega çapı maksimum 1 in olmalıdır [102].

Buchanan ve Brown uzun süreli araştırmalarında mekanik Marshall tokmağı ve 3 farklı Superpave yoğurmalı kompaktörle istatistiki bir araştırma yapmış ve kesinlikle yoğurmalı kompaktörlerin daha iyi sonuçlar verdiğini ispatlamış ancak yoğurmalı kompaktörlerle hazırlanan karışımların özgül ağırlık değerlerinde farklılıklar olduğu, bu tutarsızlıklarında karışım dizaynı değerleri ve saha ile laboratuvar koşulları arasındaki farklılıklar gibi test farklılıklarından oluştuğunu belirtmişlerdir [103].

McGennis ve arkadaşları ise yaptıkları kapsamlı araştırmalar sonucunda 100 mm ve 150 mm'lik kalıplarla hazırlanan karışımların çok farklı sonuçlar verdiğini göstermiş, 150 mm çaplı kalıplarla hazırlanan karışımlar için bir şartname olmasına rağmen 100 mm çaplı kalıplarla hazırlanan karışımlar için bir şartname olmadığından bu konu üzerinde kapsamlı bir araştırma yapılması gerektiğini önermişlerdir. Bunun yanı sıra farklı karışım sıcaklıklarıyla hazırlanan numuneleri incelemişler ve karışım sıcaklıklarının modifiye edilmemiş asfaltlar

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

için çok büyük farklılıklar doğurmadığını ancak modifiyeli bitümler için ise bunun tam tersi bir durum söz konusu olduğunu göstermişlerdir [104].

2007 yılında Avustralya da yayınlanan "Austroads Report" isimli çok geniş kapsamlı bir araştırmayla, Avustralya yolları için teknik bir şartname oluşturulmaya çalışmış, bununla beraber Superpave yoğurmalı kompaktörleri ve sonuçları hakkında çok geniş bilgiler sunulmuştur [105].

Öncelikle farklı trafik yoğunlukları için yoğurma sayısı önermeleri yapılmaya çalışılmış, bunun içinde yoğurmalı kompaktörle bulunan birim ağırlık ve hava boşlukları sonuçlarıyla Marshall tokmağı sonucu bulunan değerler karşılaştırılmış; 35 Marshall vuruşu için 50, 50 vuruş için 80 ve 75 vuruş için 120 yoğurma sayısına denk geleceği belirtilmiştir [105].

İkinci olarak laboratuvarlarda hazırlanan (Marshall ve Superpave) karışımlardaki agrega dizilimleri ile sahadan elde edilen karot numunelerindeki agrega dizilimleri, agregaların yatayla yaptıkları açılarına göre karşılaştırılmış, yine Superpave yoğurmalı kompaktörleriyle hazırlanan numunelerin sahadan alınan numunelere daha çok benzediği ispatlanmıştır [105].

Daha sonraki çalışmada yuvarlak şekilli agrega içeren karışımlar hazırlanmış ve bu karışımlar maksimum yoğurma sayısı kadar (350) yoğrularak kompaktörlerde hazırlanmış ve beklenildiği gibi düşük hava boşlukları içeren numuneler hazırlanmıştır. Yapılan tekerlek izi testi sonuçlarına bakılınca yuvarlak şekilli agregalarla hazırlanan karışımların ne kadar sıkıştırılırsa sıkıştırılsın oluklanmaya karşı direncinin çok düşük olduğu ispatlanmıştır [105].

Çalışmalar uzun süre yoğurmalı kompaktörde kalan numunelerin son durumlarının araştırılmasıyla devam etmiştir. Bu aşamada 100 mm çaplı kalıplarda hazırlanan karışımlar 240 kPa dikey kuvvet altında ve 2°'lik dönme açısıyla 350 dönüş yapacak şekilde hazırlanarak test edilmiş ve yoğurmalı kompaktör içerisinde fazla kalan numunelerde içsel sürtünmeden ötürü ayrışmalar olduğu gözlenmiş bunun yanı sıra sıcaklıklarda önemli düşüşler yaşanmıştır. Şöyle ki; 150°C'de hazırlanan karışımların ısısı 350 dönüş sonunda ortalarında yaklaşık 115°C'ye, numunenin kenarlarında ise yaklaşık 100°C'lere kadar soğumuşlardır [105].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4.2. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalarda Agrega Özellikleri

Mineral agrega özellikleri, asfalt karışımların performansı için çok önemlidir. Marshall ve Hveem metotları herhangi bir agrega prosedürüne bağımlı değillerdir. Diğer taraftan Superpave karışım dizaynı direkt olarak agrega kriterleriyle yapılır [29].

Yüksek performanslı asfalt kaplamaların dizaynı aşamasında agrega özelliklerinin belirlenmesinde iki farklı kategori geliştirilmiştir.

- Mutabakat özellikleri
- Kaynak özellikleri

4.2.1. Agreganın mutabakat özellikleri

SHRP (Strategic Highway Research Program) tarafından yapılan araştırmalar göstermiştir ki, agreganın mutabakat özellikleri sıcak asfalt karışımların performansı için son derece önemlidir. Bu özellikler trafik hacmi ve agreganın kaplama içerisindeki şekillenmeleri durumlarını karşılayabiliyor olmalıdır. Yüksek hacimli trafikler ve yüzey pürüzlülüğü için agreganın mutabakat özelliklerinin titizlikle incelenmesi gerekmektedir [29].

Sıcak asfalt karışımlar için birçok farklı deney kullanılsa da, Superpave dizaynı için kullanılan agregaların mutabakat özelliklerinin tayininde aşağıdaki metotlar kullanılır.

- Kaba agreganın biçimi
- İnce agreganın biçimi
- Yassı ve ince-uzun daneler
- Kil miktarı

Kaba ve ince agrega biçimliliği araştırılırken, Superpave sıcak asfalt karışımlarda özellikle yüksek içsel sürtünme aramaktadır. Bunun sebebi ise yüksek içsel sürtünme durumlarında yüksek kesme kuvvetleri oluşacak, bu durumda da oluklanmaya karşı direnç artacaktır. Yassı ve ince uzun danelerin bir limite sokulması amacı ise sıcak karışımların uygulama sırasında ya da trafik

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

yükleri altında kırılmalarını önleyebilmektir. Kil oranının ayarlanması ise agrega ve bitüm arasında iyi bir adezyon oluşturabilmek için yapılmaktadır [29].

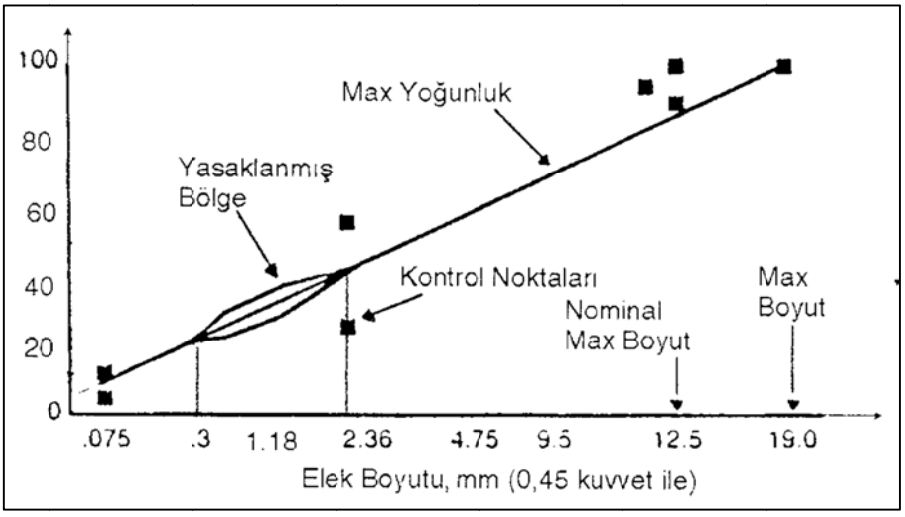
4.2.2. Agreganın kaynak özellikleri

Agreganın kaynak özellikleri, yerel agrega özelliklerinin her zaman değerlendirilmesi gerektiği için yapılır. Bu özelliklerin çok önemli olmasına rağmen Superpave, bu özellikler için herhangi bir kritik alt ve üst değerler oluşturmamıştır. Çünkü her agrega kaynağına göre çok farklı değerler alacaktır. Agreganın kaynak özellikleri aşağıdaki gibi ele alınmalıdır [29].

- Aşınma direnci
- Don dayanıklılığı
- Yabancı madde miktarı

4.2.3 Gradasyon

Agrega gradasyonu için Superpave 0,45 kuvvet gradasyon grafiği kullanılır. Yeni bir gradasyon dizaynı için gradasyon, kontrol noktaları arasından geçmelidir ancak yasaklanmış bölgeden geçmemelidir (Şekil 4.2). Yasaklanmış bölge şartı, maksimum yoğunluk hattından uzaklaşmayı gerektirir. Maksimum yoğunluk gradasyonu genellikle yetersiz V.M.A (agrega içindeki boşluk) sağladığından ve boşluk içine yetersiz asfalt bağlayıcı gireceğinden dolayı karışımın durabilitesini azaltacaktır [29].



Şekil 4.2 Gradasyon Limitleri [4,29]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4.3. Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalarda Bitüm Özellikleri

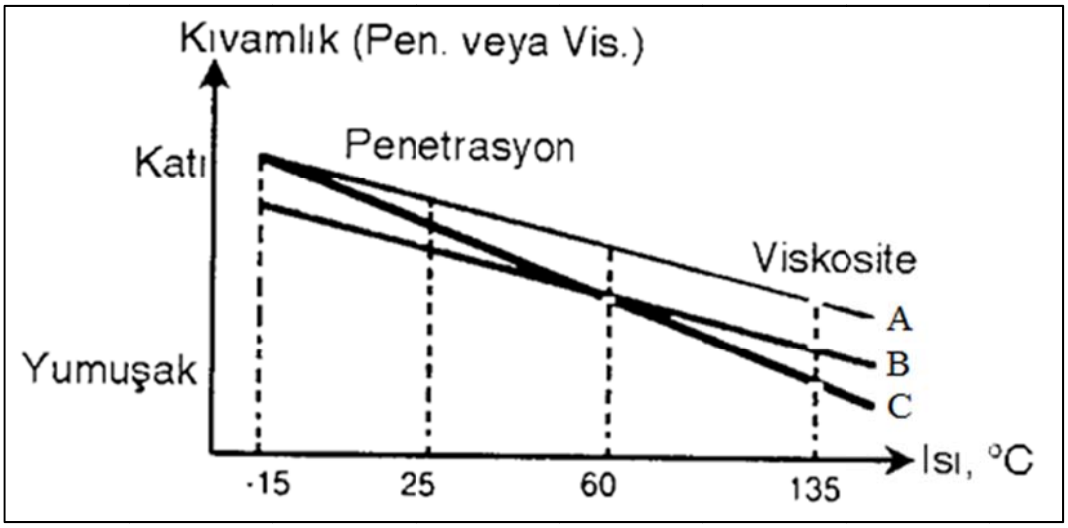
Asfalt bağlayıcıların kimyasal özelliklerinin çok karmaşık olmasından dolayı deneyler, bitümün fiziksel özelliklerini karakterize edecek şekilde sunulur. Bu fiziksel özellikleri belirleyici testler standart test sıcaklıklarında yapılır ve kriterleri karşılayıp karşılamadığına bakılır.

Ancak geleneksel test yöntemlerinde bazı kısıtlı durumlar mevcuttur. Bu testlerin çoğu ampiriktir. Yani deney sonuçlarının anlamlı olabilmesi için ileri düzeyde saha tecrübesi gerekmektedir. Örneğin penetrasyon testi bitümün kıvamlılığını temsil eder. Fakat asfaltın penetrasyonuyla tecrübeyle elde edilen performans arasında hiçbir bağlantı yoktur.

Ampirik testler ve geleneksel standartlar için başka bir kısıtlama ise, tipik kaplama sıcaklıkları hakkında tam bir bilgi veremiyor olmalıdır. Viskozite akışkanlığı ifade eden temel ölçüm olmasına rağmen sadece yüksek ısılardaki davranışlar hakkında bilgi vermektedir. Standart test sıcaklıkları 60°C ve 135°C'dir. Düşük sıcaklıklardaki elastik davranışların performansı ise bu sıcaklık derecelerinde tam olarak tahmin edilemezler. Bilindiği gibi penetrasyon sadece orta sıcaklıklardaki kıvamlılığı tarifler (25°C). Düşük sıcaklıklardaki davranışlar derecelendirme sisteminde kullanılmazlar [29].

Asfalt bağlayıcıların şartnamelerinde, viskozite ve penetrasyon değerleri derecelendirildiği zaman, bağlayıcılar farklı sıcaklıklarda çok farklı karakteristikler gösterirler. Örnek olarak Şekil 4.1'de üç farklı bağlayıcının viskozite derecelendirmesi görülmektedir. Bu üç bağlayıcı 60°C'de beklenilen limitler dahilindedir. 25°C'de penetrasyon değerleri görülmekte ve 135°C'de minimum viskozite değerlerine sahiptirler. A ve B numuneleri bütün sıcaklıklarda farklı kıvamlılık gösterseler de, kıvamlılıkları ısıya bağlı olarak birbirine paralel artmakta veya azalmaktadır. A ve C numuneleri ise düşük sıcaklıklarda aynı kıvamlılıkta olmalarına rağmen yüksek sıcaklıklarda birbirlerinden tamamen farklı davranmaktadırlar. Son olarak B ve C numuneleri 60°C'de aynı kıvamlılıkta olsalar da farklı sıcaklıklarda tamamen farklı davranışlar göstermektedirler [29].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 4.3 Üç Farklı Asfalt Katılığının Isı ile Değişimi [4,29]

Bu üç çeşit asfaltın bağlayıcının da aynı kıvamlılık sınıfında olduğu düşünülürse, karışım aşamasında tam olarak aynı karakteristikte olamayacakları anlaşılmaktadır. Aynı şekilde kaplamalarında soğuk yada sıcak havalardaki performanslarından da iyi bir performans beklenilemez.

Çizelge 4.1 SHRP tarafından geliştirilen yeni test metotları [29]

CİHAZ	AMAÇ
İnce Film Halinde Isınma Kabı (Rolling Thin Film Oven-RTFO) Basınçla Yaşlandırma Kabı (Pressure Aging Vessel-PAV)	Bağlayıcının sertleşme (yaşlanma) karakteristiklerini belirlemek.
Dinamik Kayma Reometresi (Dynamic Shear Rheometer-DSR)	Yüksek ve orta sıcaklıklarda bağlayıcının özelliklerini ölçmek.
Rostasyonal Viskozimetre (Rotational Viscometer-RV)	Yüksek sıcaklıklarda bağlayıcının özelliklerini ölçmek.
Eğilme Kirişi Reometresi (Bending Beam Rheometer-BBR) Direkt Çekem Testi (Direct Tension Tester-DTT)	Düşük sıcaklıklarda bağlayıcının özelliklerini ölçmek.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Asfalt bağlayıcıları kıvamlılıkları yerine performans esasına dayalı olarak sınıflandırabilmek için SHRP (The Strategic Highway Research Program) tarafından geliştirilen yeni test metotları geliştirilmiştir. Bu test metotları Çizelge 4.1'de gösterilmiştir [29].

Performans esaslı bağlayıcı sınıfının seçimi kaplamanın hizmet edeceği iklim koşulları esas alınarak yapılmaktadır. Bunun için kaplamanın sahip olacağı maksimum ve minimum ısılara göre bağlayıcı sınıfı seçilmektedir. Örneğin, asfalt PG58-34 olarak sınıflandırılmışsa bağlayıcı +58°C için yüksek ısıda ve -34°C için düşük ısıda Çizelge 4.1'de belirtilen testler uygulandığında aranılan fiziksel özellikleri sağlamalıdır. "Max. kaplama dizayn ısısı" ve "Min. kaplama dizayn ısısı", Denklem 4.1 ve 4.2 ile dizaynçı tarafından belirlenmelidir [4].

$$T_{min} = T_{hv} - 0{,}000618En^2 + 6{,}26Log(H + 25) - Z(4{,}4 + 0{,}52\sigma_{hv}^2)^{1/2} \quad (4.1)$$

Burada;

T_{min}: Min kaplama dizayn ısısı, °C

T_{hv} : Düşük hava ısısı, °C

En : Enlem, derece

H : Yüzey altındaki derinlik, mm (H= 0 olarak alınabilir)

σ_{hv} : Ortalama düşük hava ısısının standart sapması, °C

Z : 2,055, %98 güvenirlilik için katsayı

$$T_{max} = (T_{h7} - 0{,}000618En^2 + 0{,}2289En + 42{,}2)(0{,}9545) - 17{,}78 \quad (4.2)$$

Burada;

T_{max}: 20 mm derinlikte Max kaplama dizayn ısısı, °C

T_{h7} : 7 gün ortalama yüksek hava ısısı, °C

Bu hesaplamalar için yeterli verinin meteorolojiden elde edilmesi veya bunun için yazılmış bilgisayar programı ile veya ülkenin karayolu kuruluşu tarafından hazırlanacak coğrafik bölgelere göre maksimum ve minimum kaplama ısıları tayin edilmelidir. Zira performans esaslı asfalt sınıflaması için asfaltın

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

maruz kalacağı maksimum ve minimum ısılar esas alınmaktadır. Performans esaslı asfalt bağlayıcılara ait fiziksel gereklilikler tüm sınıflar için aynı iken sadece fiziksel özellikleri belirlemede maksimum veya minimum test ısıları göz önüne alınmaktadır. Bunun için önce yukarıda anlatıldığı gibi, maksimum ve minimum kaplama ısısı tayin edilmeli ve buna göre asfalt bağlayıcı sınıfı seçilmelidir. Daha sonra aşağıda anlatıldığı gibi seçilen bağlayıcı sınıfı "trafik hızı" ve "yükleme şartları" için düzeltilmelidir. Kaplamanın belirli sayıda hızlı ve hareketli yüklere maruz kaldığı kabul edilerek asfalt kaplama kalınlıları ve karışımı dizayn edilmektedir. Ancak yüksek ısı dizayn şartlarında yükleme hızının kaplamanın performansı üzerindeki ilave etkileri göz önüne alınmalıdır. Bunun için;

- Yavaş hareket eden dizayn yüklerinde asfalt bağlayıcı yüksek ısı sınıfı bir üst sınıf olarak seçilmelidir. Yani PG 58 sınıfı yerine PG 64 sınıfı seçilecektir.
- Hareketsiz (veya statik) dizayn yüklerinde asfalt bağlayıcı yüksek ısı sınıfı iki üst sınıf olarak seçilmelidir. Yani PG 58 sınıfı yerine PG 70 sınıfı seçilecektir.
- Yavaş hareket eden dizayn yükleri tırmanma şeridi, çok eğimli ve ağır trafik yüklerinin olduğu kent dışı ve kentsel yollar, vb. için uygulanabilir. Hareketsiz dizayn yükleri ağır taşıt otoparkları, yükleme/boşaltma platformları, otobüs durakları, kavşaklar, vb. için uygulanabilir.

Aynı şekilde yüksek sayılan ağır trafik yükleri içinde bağlayıcı sınıfında düzeltme yapılmalıdır. Bunun için;

- Tahmin edilen trafik $10x10^6$ ile $30x10^6$ SDYTS (Standart Dingil Yükü Tekerrür Sayısı) arasında ise dizaynçı iklime esas olarak seçtiği asfalt bağlayıcı sınıfını bir üst yüksek ısı sınıfı olarak seçebilir.
- Tahmin edilen $30x10^6$ SDYTS'den fazla ise iklime esas olarak seçilen asfalt bağlayıcı sınıfını üst yüksek ısı sınıfı olarak seçebilir.

Bağlayıcı sınıfının yukarda bahsedildiği gibi seçilmesi toplam kaplama performansı için bir garanti sağlamaz. Zira yorulma çatlakları kaplamanın yapısı ve trafik etkisi ile meydana gelir. Ayrıca kalıcı deformasyonlar (teker izi) büyük ölçüde agrega tarafından sağlanan karışımın kayma mukavemetine bağlı iken

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

düşük ısı çatlaklarından asfalt bağlayıcı sorumludur. Dolayısıyla dizayncı asfalt bağlayıcı sınıfını seçerken birçok faktörü göz önüne almak durumundadır [4].

4.4.Superpave (Yüksek Performanslı Asfalt Kaplamalar) Karışım Tasarımı

Superpave karışım dizaynı, Marshall karışım dizaynından çok farklı olan bir karışım dizaynı ve sıkıştırma prosedürü geliştirilmiştir. Aşağıda bu konuyla ilgili bilgiler verilecektir. Öncelikle Superpave yoğurmalı kompaktöründen bahsetmek gerekmektedir. AASHTO şartnamesine göre bu sistem, dikey eksenden 1.25°'lik bir açı ile dönen ve aynı anda numuneye 600 kPa (araştırma tipi olanlarda bu 1000 kPa' ya kadar çıkabilmektedir) düşey basınç uygulayan bir sistemdir. Bu yöntemde, elde edilen sonuçlar arazi numunelerinden elde edilen yoğunluk değerlerine son derece yakın çıkmaktadır. Daha öncede ifade edilmiş olduğu üzere Marshall dizaynı yöntemi halen tüm dünyada ve Türkiye' de kullanılmaktadır. Marshall karışım dizaynı yöntemi birçok üniversite, araştırma merkezi ve özel sektör laboratuvarının vazgeçilmez bir dizayn yöntemidir. Ancak bu dizayn yönteminin arazi uygulamaları yanındaki en büyük handikabı, asfalt karışımları sıkıştırmak için uygulanmakta olan tokmaklama tekniğinin silindir vasıtasıyla yapılan sıkıştırmayı tam olarak temsil edememesidir. Ayrıca bölgesel iklim özelliklerinin, gece-gündüz yaz-kış sıcaklık değişimlerinin tam anlamıyla işin içerisine katılmamasından dolayı imal edilen asfalt betonu kaplamaların istenilen performans seviyesine ulaşamamaları da çok önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Marshall dizayn yöntemi ile hazırlanmış olan karışımların, yapısal olarak sağlam olan yol kesitlerinde bile oluklanma problemiyle karşı karşıya kalması A.B.D.' de olduğu kadar dünyanın farklı birçok ülkesinde de bilim adamlarının çare bulması gerek bir sorun olmuştur. Son olarak ise sıkıştırmada tokmak kullanılmasının briketlerdeki agregalarda darbeler sonucu kırılmalara yol açması nedeni ile çok büyük dezavantajlara sahiptir. Yoğurmalı kompaktörde ise, numune üzerine dikey bir basınç verilirken, belli bir eğilme açısıyla koni çizecek tarzda dönerek sallama hareketi yapılmaktadır. Bu hareket numune içinde kayma gerilmeleri doğurarak bir "yoğurma" etkisi oluşturmakta ve agrega tanelerini, kırılma ve ezilmeye maruz bırakmadan yönlendirerek uygulamadaki sıkıştırmaya benzer bir sıkışmayı sağlamaktadır. Superpave

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

yoğurmalı kompaktörü , “kneading kompaktör” ve “kesme deney makinesinin” bir karışımı olarak işlemekte olan bir cihazdır. Aşındırma (abrasion) etkilerini gerçekçi bir şekilde temsil etmektedir. Bu etkiler, esnek kaplamada tekrarlı gerilme ve malzeme kütlelerinin daneler arası hareketinden kaynaklanmaktadır. Bu sıkıştırma metodu, esnek kaplamalar üzerindeki artan yük ve araçların lastik basıncını temsil etmek için geliştirilmiştir. Optimum bitüm muhtevasını belirlemek ve yoğunluk için gerekli değerleri elde etmek üzere ASTM D3387 ile standartlaştırılmıştır [106]. Yoğurmalı kompaksiyonun 3 temel parametresi vardır; dikey şahmerdan (ram) basıncı, dönme sayısı (gyration number) ve yoğurma eğimi açısı (gyratory inclination angle).

Yoğurmalı kompaktör kullanılarak gerçekleştirilen bir Superpave karışım dizaynında asfalt numune hazırlamak için izlenilmesi gereken aşamalar ve araştırmada dikkat edilmesi gereken hususlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

1. Tüm deneyler boyunca kullanılacak her bir agrega karışımı için N_{diz} (N_{dizayn}) değerinde %4 hava boşluğunu elde etmek amacıyla yaklaşık asfalt içeriği çeşitli yazılımların ve ampirik denklemlerin kullanılması vasıtası ile hesaplanır.

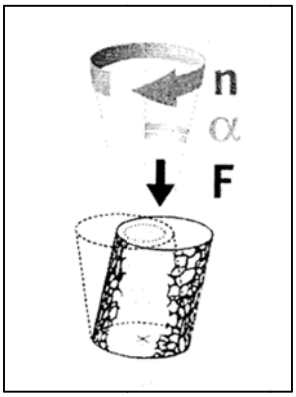
2. Hesaplanmış olan bu asfalt içeriği değerini kullanarak, her bir karışım için en az 2 adet numune Superpave yoğurmalı kompaktöründe hazırlanır. Yoğurmalı kompaktör yalnızca numune sıkıştırmakla kalmaz, aynı zamanda karışımın sıkıştırılabilme yeteneği hakkında da bilgi verir. Yoğurmalı kompaktörün temel çalışma prensibi, sabit basınç ve sabit yoğurma açısında sıkıştırma işlemini tamamlamasıdır.

3. Superpave yoğurmalı kompaktörü ile sıkıştırma öncesinde agrega ve bitümlü bağlayıcı (modifiye edilmiş veya edilmemiş), uygun karışım sıcaklığında bir araya getirilir. Bu karışım sıcaklığı Superpave karışım dizaynı ile ilgili tüm kaynaklarda da verilen ampirik bir formülasyona gerekli parametrelerin girilmesi ile elde edilir [84,85]. Hazırlanmış olan bu sıcak karışım, tam 2 saat boyunca 135°C’lik etüvde dağınık bir şekilde (sıkıştırmaya başlamadan önceki gevşek halde) yaşlanmaya bırakılır. Daha sonraki 30 dakika içerisinde ise, karışım, tedrici olarak sıkıştırma sıcaklığına getirilir. Kalıp ve diğer gerekli aparatlar, tercihan başka bir etüvde, son derece dikkatli bir şekilde yapılması gerekilen bir ön ısıtma

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

prosedürüyle yine sıkıştırma sıcaklına getirilir. Çeşitli numune yükseklikleri ve bunlar için gerekli olan sıcak karışım miktarları ise değişik şekillerde hesaplanmaktadır. 115 mm numune yüksekliği elde etmek için gerekli sıcak karışım miktarı, önceden sıkıştırma ısısına kadar özenle ısıtılmış olan kalıba, özel filtre kağıtları arasına gelecek şekilde yerleştirilir. Agregaların, bitümün ve polipropilen katkının özgül ağırlıklarına bağlı olarak yaklaşık 4900 gr. sıcak karışım, 115 mm yükseklik için gerekli olan numune ağırlığıdır. Kalıp iç çapı 150 mm dir. Ancak Superpave yoğurmalı kompaktörü ile birlikte gelen ve standart Marshall numunelerine benzer numunelerin üretilebilmesine yarayacak olan iç çapı 100 mm olan kalıpların içine ise yaklaşık olarak 1200 gr sıcak karışım yerleştirmek gerekecektir. Görüldüğü üzere Superpave yoğurmalı kompaktöründe çok değişik yükseklik ve çaplarda asfalt numuneleri üretmek mümkün olabilmektedir. Bu da araştırma yapılabilirliği açısından son derece büyük önem arz etmektedir.

4. Superpave yoğurmalı kompaktöründe asfalt karışım cihaza yerleştirilme işlemi tamamlandığında, tokmak sabit 600kPa (**F**) basınca ayarlanır. Alt ve üst kısımları birbirine paralel olarak ve aynı zamanda silindirin orijinal eksenine dik biçimde kalıp (1.25° açıyla,**α**) eğik olarak yerleştirilir. Basınç sabitlenip numunenin dönmesi engellendikten sonra, dakikada 30 dönüş hızıyla (30rpm, **n**), merkezi eksenle 1.25° açı yapacak şekilde kalıp yoğrulma etkisine maruz bırakılır. Numune sıkışmaya devam ederken, her dönmeden sonra yaklaşık 0.1 mm de bir ölçüm alınır. **F, α** ve **n** değerlerini gösterir basit bir illüstrasyon Şekil 4.4'de verilmektedir.



Şekil 4.4 Dikey Şahmerdan (ram) basıncı **(F)**, yoğurma eğimi açısı (gyratory inclination angle) **(α)**, ve dönme sayısı (gyration number) **(n)** değerlerinin şekil üzerinde temsili gösterimi

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5. Dizayn yoğurma sayısı (N_{diz}), ortalama yüksek hava sıcaklığı ve ölçülen trafik miktarına bağlı bir parametredir. Asfalt numune N_{diz} değerine kadar sıkıştırılır ve bir numune çıkarıcıyla kalıbın üst tarafından çıkarılır. Bu numune çıkarıcılar yeni nesil yoğurmalı kompaktörlerde artık sistemin bir parçası olarak üretilmektedirler.

6. Asfalt karışımın sıkıştırılması bittikten sonra, hazırlanmış olan her bir numunenin birim ağırlığı (bulk denisty) ölçülür ve yoğurma esnasında her 0.1 mm de bir alınan yükseklikler kullanılarak, karışımın çeşitli yoğurma sayılarındaki yoğunluk değerleri belirlenir. Bu yoğunluklar maksimum yoğunluk yüzdesine ($\%G_{mm}$) dönüştürülür. Bir grafik çizilir ve bu grafiğin x ekseni, yarı logaritmik olarak yoğurma sayısı ve y ekseniyle maksimum yoğunluğun yüzdesi olacak biçimde düzenlenir.

7. Daha önceden belirlenmiş olan trafik ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak, $N_{başlangıç}$ ($N_{baş}$), N_{dizayn} (N_{diz}) ve $N_{maximum}$ (N_{max}) dönel yoğurma sayıları belirlenir. $N_{baş}$: silindiraj başlangıcı, N_{diz}: sıkıştırılmış ve başlangıç trafik yüklemesi yapılmış karışımı, N_{max}: asfalt kaplamanın hizmet ömrü sonunu ifade eder. Karışım için $N_{baş}$ da (7-10 dönel yoğurma) G_{mm} değeri %89' dan az olmalıdır. Eğer fazla olursa, karışımın hızlı sıkışmaya olan meyli artar. $N_{max\ da,}$ karışımın G_{mm} si %98' den az olmamalıdır. Çünkü hizmet ömrü boyunca kaplamanın maruz kalacağı trafik yüklerine karşı asfalt karışım düşük de olsa bir hava boşluğunu içermelidir. Bu hava boşluğu değeri kanama ve kusma olaylarına karşı kaplamanın bir anlamda sigortası konumundadır.

8. Her agrega gradasyonu için hazırlanan 2 adet numunenin yükseklik bilgileri ve hacim özgül ağırlık değerlerini kullanarak $\%G_{mm}$ için her karışıma ait başlangıç, dizayn ve maksimum dönel yoğurma değerleri aşağıda verilen denklem vasıtasıyla belirlenir;

$$\%G_{mm}(N) = \frac{h(N)}{h} \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \qquad (4.3)$$

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

9. Yoğurma yükseklik verisi ve aynı zamanda V_a yüzdesi (hava boşluğu), V.M.A yüzdesi (mineral agregadaki boşluk) ve V_f (asfaltla dolu boşluk) yüzdelerini hesaplamada şöyle kullanılır,

$$\%VMA = 100 - \frac{(\%G_{mm} \times G_{mm} \times P_s)}{G_{sb}} \qquad (4.4)$$

Burada;

P_s : Agrega Yüzdesi

G_{sb} : Agrega Hacim Özgül Ağırlığı

$$\%V_f = 100 - \frac{\%VMA - (100 - \%G_{mm})}{\%VMA} \qquad (4.5)$$

10. Bu bilgilerle, N_{diz}' da %4 boşluk elde etmek için tahmin edilen %V.M.A ve $\%V_f$ değerleri yeniden rahatlıkla hesaplanabilir. Sonuçta ince malzeme (filler) için beklenen değerler yaklaşık olarak bulunabilir.

11. Bu tahmini değerlere dayanarak hazırlanan her karışım, trafik ve maksimum agrega boyutuna bağlı hacimsel dizayn kriterlerini kullanarak asfalt mühendisliği kriterlerine uygun şekilde değerlendirilebilir. Bu bilgileri kullanarak, optimum agrega karışımı seçilebilir. Superpave karışım dizaynı için tipik kriterler şöyledir;

$\%G_{mm}$ ($N_{baş}$)	< %89	(Tüm karışımlar için)
$\%G_{mm}$ (N_{diz})	= %89	(Dizayn hedefi)
$\%G_{mm}$ ($N_{baş}$)	> %89	(Tüm karışımlar için)
%V.M.A	min. %13	(19mm nominal agrega boyutu için)
%Vf	%65 – 75	(10 ~ 30x10^7 ESAL için)

12. Agrega karışımının seçiminden hemen sonra, optimum bitüm muhtevası belirlenmelidir. Seçilen agrega karışımıyla, tahmin edilen bitüm muhtevasında ve tahmini değerlere eklenen -%1, -%0.5, +%0.5, +%1 değerlerde, yoğurmalı kompaktör kullanarak 2'şer adet numune hazırlanır.

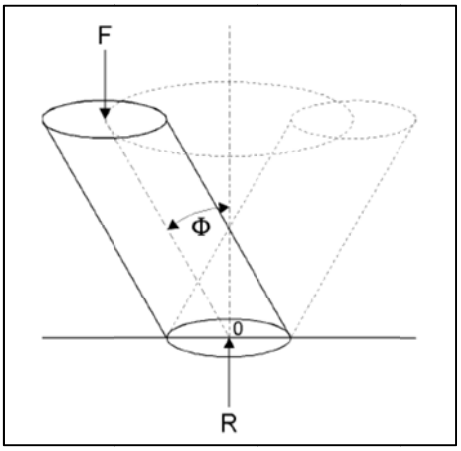
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

13. Yoğurmalı kompaktörle hazırlanan numunelerden hesaplanan hacim özgül ağırlık (G_{mb}) değerleri, $N_{baş}$, N_{diz} ve N_{max}' daki % G_{mm} hesabı için kullanılır. Bu bilgiler aynı zamanda her karışımın % V.M.A, % V_f ve ince malzeme (filler) dağılımının hesabı için de kullanılmaktadır. Bu bilgiler optimum bitüm muhtevasını belirlemek adına yeniden dizayn kriterleri olarak da değerlendirilebilirler [84,85].

4.5. IPC Servopac Gyratory Compactor Deney Aleti

IPC Servopac deney aleti, otomatik kontrollü ve hava basıncı ile basınç uygulayabilen bir deney aletidir. Alet asfalt numunelerinin, laboratuvar koşullarında, arazi koşullarına en yakın şekilde sıkıştırılabilmek amacıyla dizayn edilmiştir. Servopac'in kontrol sisteminin yanı sıra bağımsız birde kontrol paneli vardır. Servopac'in kontrol sistemi sayesinde, çeşitli sıkıştırma durumları için bilgiler saklanabilir ve monitörize edebilir. [107]

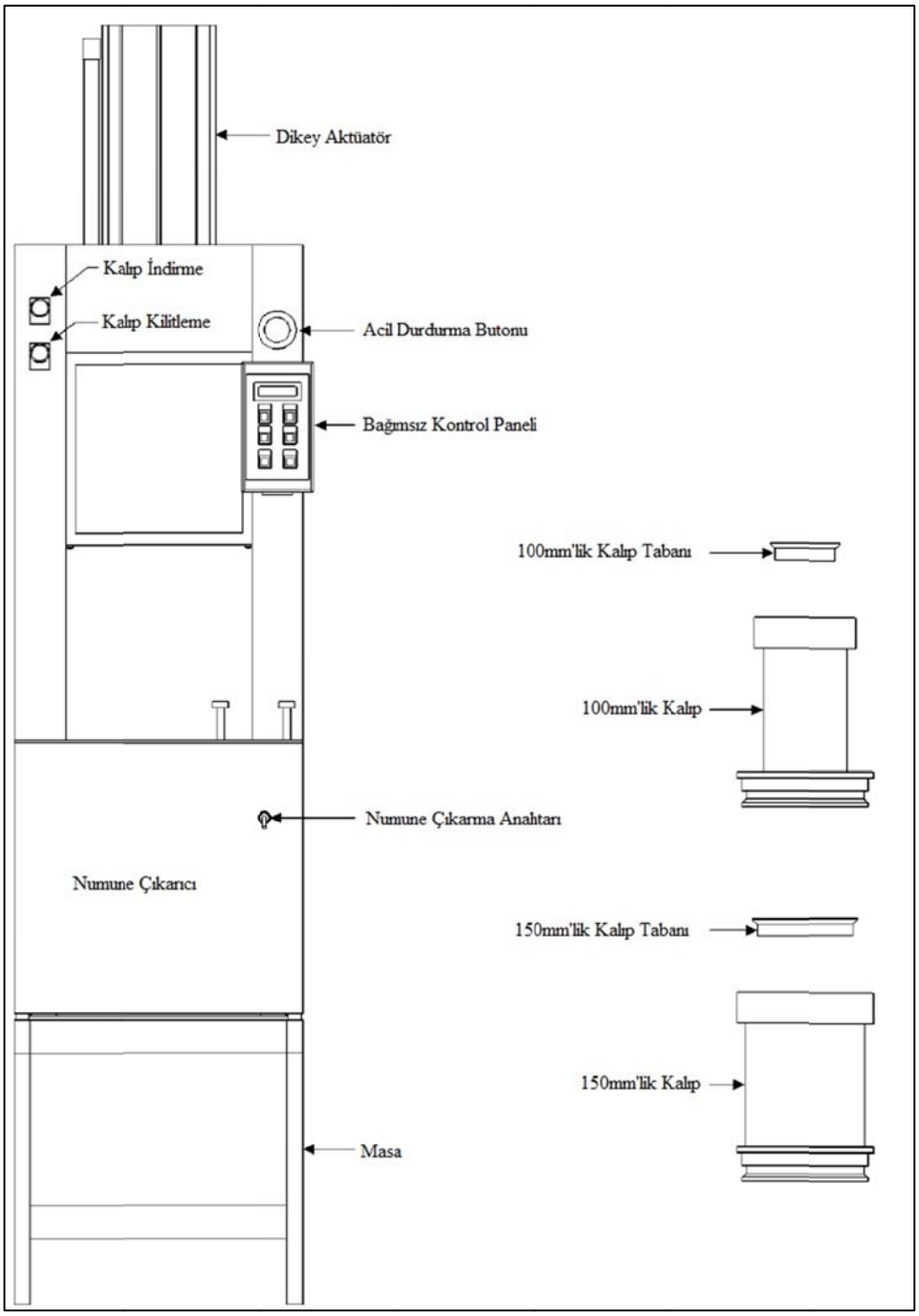
Sıkıştırma aynı zamanda statik yükleme ve kesme hareketleriyle tatbik edilir. Test numunesi yoğurma esnasında orta noktasından konik bir hal almaktadır. Bu koniklik deney esnasında 3 derece kadar olabilmektedir. Test bittiğinde numune yine eksenine dik bir şekilde konumlanır (Şekil 4.5) [107].



Şekil 4.5 Test numunesi hareket diyagramı [107]

Şahmerdan basıncı, dijital ve otomatik kontrollü hava basıncı kapakçıkları sayesinde sağlanır. Yükleme hücresi ile düşey basınç ölçülebilir ve sinyaller sayesinde düşey basınç sıkıştırma boyunca gözlemlenebilir [107].

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 4.6 IPC Servopac Parçaları ve Aksesuarları [107].

Güvenlik nedenlerinden ötürü, aletin ön tarafında kayar bir cam kapak bulunmaktadır. Kapak tamamen basınçla ve otomatik olarak hareket etmektedir. Numune sıkıştırılma işlemi başlamadan hemen önce kapanır, sıkıştırma tamamlandığında ise yine otomatik olarak açılır. Yine aletin ön yüzünde acil durumlar için birde kapatma butonu bulunmaktadır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

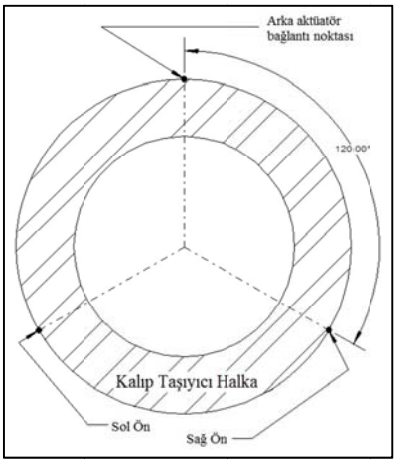
IPC Servopac deney aleti aynı zamanda önyüzünde küçük bir LCD ekran ve mini klavye barındırmaktadır. Bu ekran sayesinde bazı basit fonksiyonlar alete girilebilir (Düşey basınç, açı ve yoğurma hızının yanı sıra, hedeflenen numune yüksekliği ya da yoğurma sayısı gibi). Ya da anlık numune yüksekliği veya yoğurma sayısı gibi değerler bu ekrandan takip edilebilir. Elbette bu bağımsız kontrol panelinin yerine deney aletine bir bilgisayar bağlanarak bütün bilgiler daha detaylı olarak gözlemlenebilir veya değerler girilerek çıktılar alınabilir [107].

4.5.1.Teknik özet

Servopac hava basıncıyla çalışan ve hidrolik test aletleriyle hemen hemen benzer özellikler gösteren elektrikli-havalı otomatik kapakları olan bir deney düzeneğidir (Şekil 4.6). Bu otomatik kapaklar dijital geri-besleme kontrol sistemiyle idare edilirler. Bu sistem düşey basınç ve yoğurma açısını ayarlar. Makinenin bu ayarlarını yapabilmek için gerekli değerler kontrol paneline ya da özel Servopac yazılımına girilebilir [108].

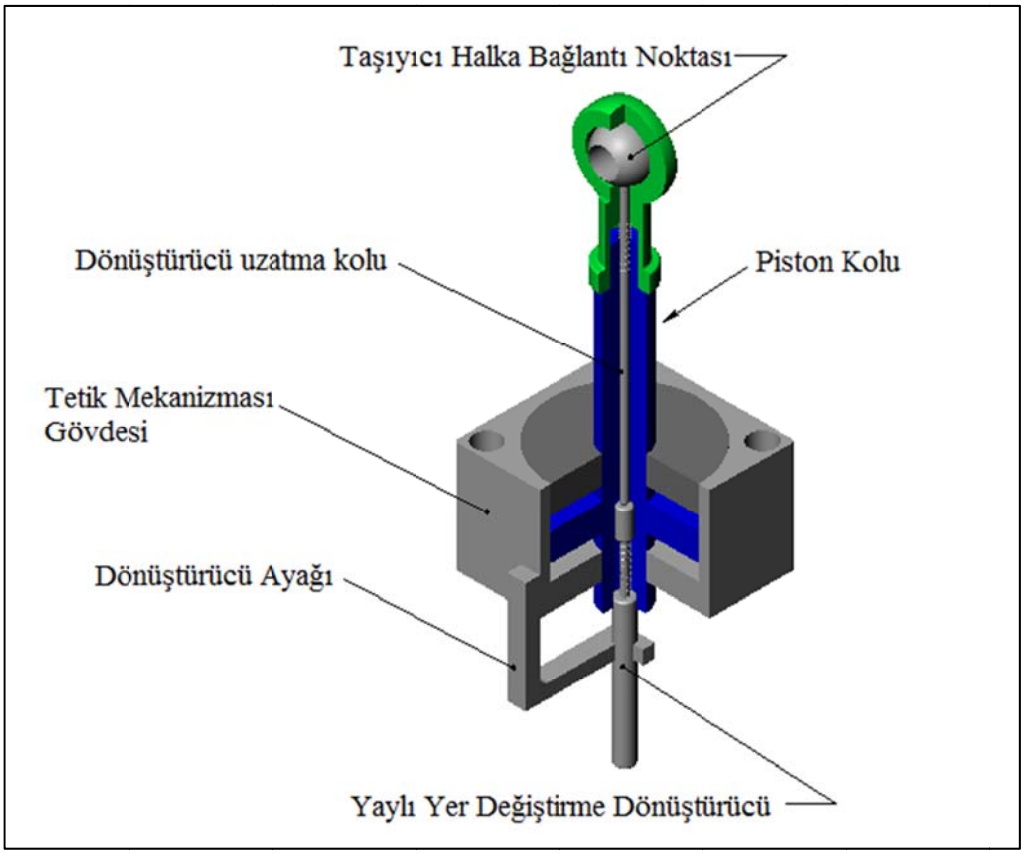
4.5.2.Servopac'te yoğurma açısının ayarlanması

Kalıp taşıyıcı halkanın etrafına 120 derece ara ile 3 adet tetik mekanizması yerleştirilmiştir (Şekil 4.7). Elektronik kontrol sistemi, otomatik kapaklar vasıtasıyla bu tetik mekanizmasına sinüsoidal dalgalar gönderir. Bu dalgaların büyüklüğü açıyı, frekansı da yoğurma sayısını ayarlar. Kalıp taşıyıcı halka ile hareket sağlayan mil üzerindeki dönüştürücüler sayesinde geri-besleme sinyalleri ile yer değiştirmeler okunur (Şekil 4.8).

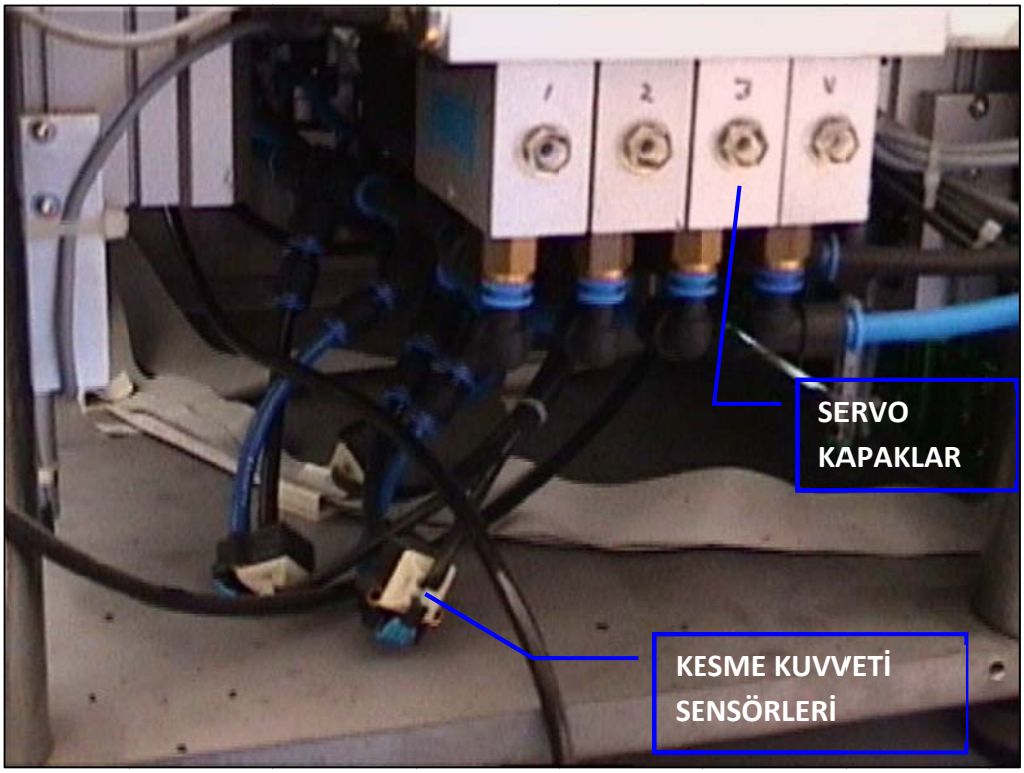


Şekil 4.7 Kalıp Taşıyıcı Halka ve Tetik Mekanizmalarının Geometrik Dizlimi [108]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 4.8 Servopac Aktüatör Takımı [108]



Şekil 4.9 Servopac Otomatik Kapakları [108]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

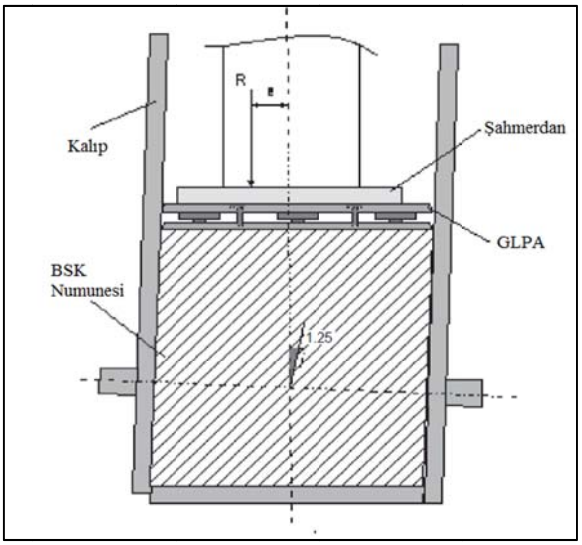
4.5.3.Kesme kuvvetinin hesaplanması

Kesme Kuvveti Şekil 4.8'de görülen basınç dönüştürücüleri ve Şekil 4.6'da görülen geometrik şekil sayesinde hesaplanır.

$$\tau = \frac{2PL}{Ah} \tag{4.6}$$

Yukarıda verilen denklem ile deney esnasında grafikle gösterilen değerler hesaplanır. Burada; τ kuvvet, P tetik mekanizması üzerindeki ortalama yük, L uygulamanın yapıldığı tetik mekanizmasına olan radyal uzaklık, A numunenin kesit alanı ve h ise numunenin yüksekliğini temsil etmektedir [108].

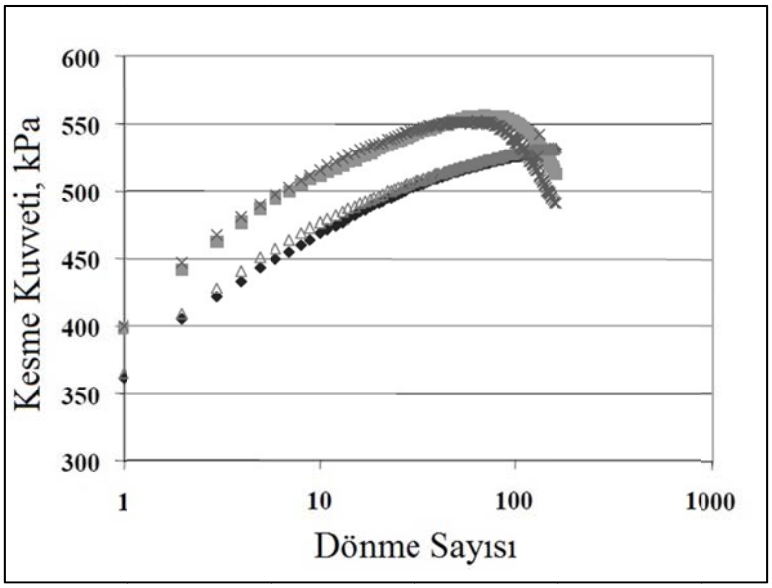
Sıkıştırma sırasında kesme direncinin ölçülebilmesi işlemi, 2000 yılında Wisconsin Üniversitesinde GLPA (Gyratory Loadcell and Plate Assembly) isimli basit ve silindirik bir cihazın geliştirilmesiyle mümkün olmuştur (Şekil 4.10). GLPA isimli bu cihaz ile okunan kesme direncinin bitümlü asfalt karışımların sıkışabilirlikleri ve trafik yükleri altında oluklanmaya karşı direnç için iyi bir gösterge olabilmesi hedeflenmiştir. Bu cihaz karışımın üzerinde duracak şekilde sıkıştırma ünitesinin altında bulunmaktadır. Bu cihaz sayesinde yoğurmalı kompaksiyon sırasında sürekli olarak kesme direnci ölçülebilmektedir. Ayrıca kesme kuvveti agrega gradasyonuna, bitüm oranına ve sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir [92].



Şekil 4.10 Sıkıştırma esnasında kalıp kesiti ve GLPA [109]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Kesme kuvveti sıkıştırma anında maksimum değerine ulaştıktan sonra tekrar azalma eğilimindedir (Şekil 4.11). Maksimum kesme kuvvetinin oluştuğu dönüş sayısı değeri (N-SR_{max}), numunenin oluklanmaya karşı direnci hakkında fikir verebilmesinden ötürü çok önemlidir. Bu değer agrega yapısı ve bitüm oranına göre değişebilmektedir [110].



Şekil 4.11 Dönme Sayısı-Kesme Kuvveti grafiği [110]

4.5.4.Birim ağırlığın hesaplanması

Numunelerin birim ağırlığı; numunenin çapı (D), testten önce operatör tarafından girilen numune ağırlığı ve test esnasında ölçülen yükseklik değerlerine göre kg/m^3 cinsinden hesaplanır. Önce numunenin hacmi hesaplanır, daha sonrasında da hacim değerinden birim ağırlık değerine geçilir.

$$Hacim = Yükseklik \times \pi(D/2)^2 \quad (4.7)$$

$$Birim\ Ağırlık = Ağırlık/Hacim \quad (4.8)$$

Numunenin birim ağırlığı sıkıştırma boyunca yazılımın grafik ekranında izlenebilir. Bunun yanı sıra birim ağırlık değerlerinden numunenin hava boşlukları da hesaplanabilir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

4.5.5.Hava boşluğunun hesaplanması

Hava Boşluğu yüzdesi deney sırası boyunca numunenin birim ağırlığı ve daha önce yine operatör tarafından girilen maksimum birim ağırlık değerleriyle hesaplanır [108].

$$\%\ Hava\ Boşluğu = 100 \times \frac{(Maksimum\ Özgül\ Ağırlık - Birim\ Ağırlık)}{Maksimum\ Özgül\ Ağırlık} \quad (4.9)$$

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5. DENEYSEL ÇALISMALAR VE SONUÇLARI

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin şartname limitleri, yapılan deneyler ve bu deneyler sonucu elde edilen veriler sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

5.1. Agrega

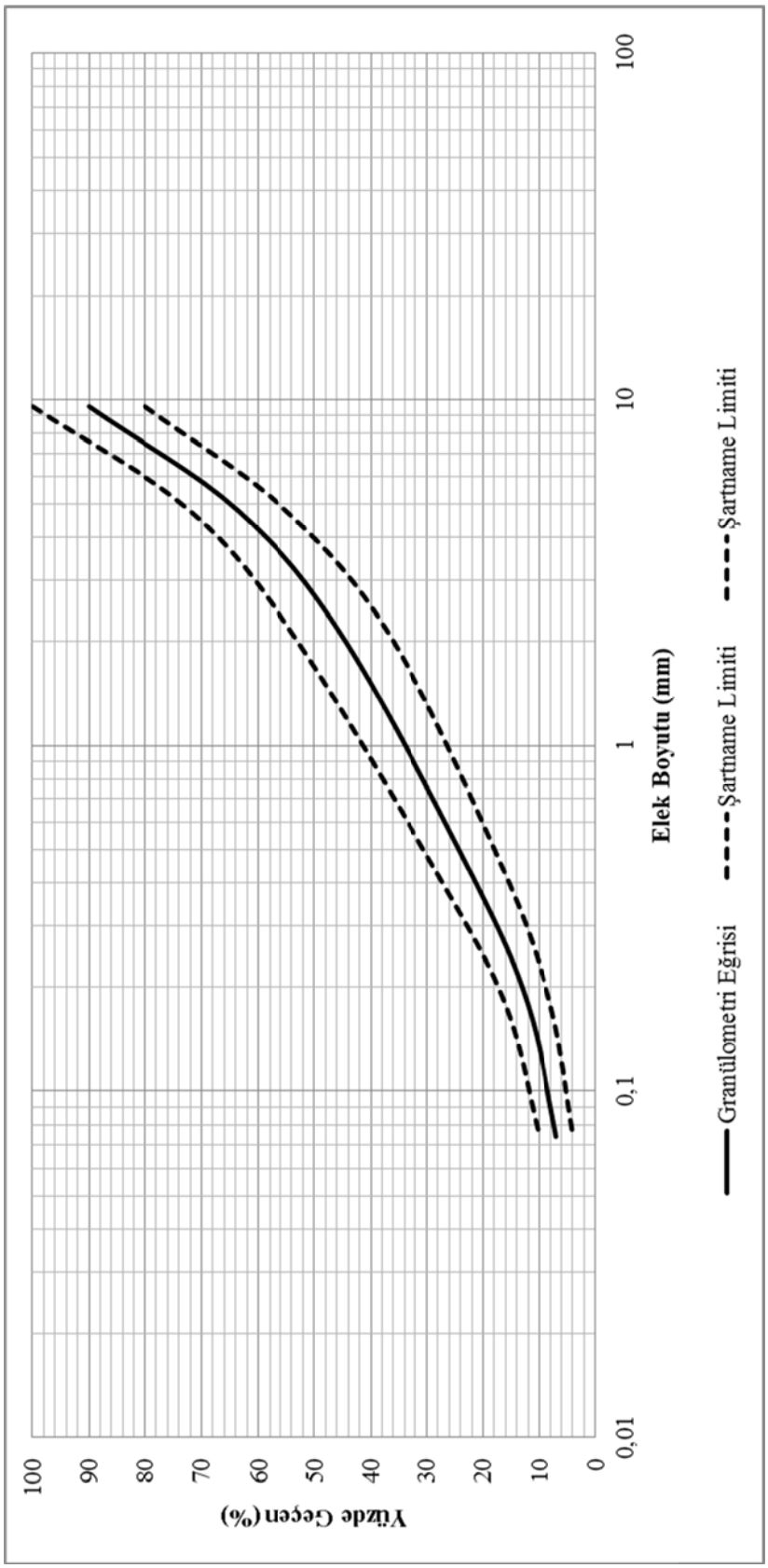
Laboratuar çalışmaları sırasında kullanılan kalker bazlı kırma taş agrega, Eskişehir Güçlü Hazır Beton santralinden elde edilmiştir. Deneyler için hazırlanan karışımlarda, Karayolu Teknik Şartnamesinde belirtilen karışım tiplerinden "Aşınma Tabakası Tip-2" gradasyonu kullanılmıştır (Çizelge 5.1) [111]. Tip-2 agrega gradasyonuna ait granülometre eğrisi Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Aşınma tabakası Tip-2 için agrega gradasyonu ve şartname limitleri [111]

Elek Boyutu (mm)	Şartname Limitleri	% Geçen	% Kalan	Ağırlık (gr)
12,7	100	0	0	
9,52	80-100	90,0	10,0	110,0
4,76	55-72	63,5	26,5	291,5
2,00	36-53	44,5	19,0	209,0
0,42	16-28	22,0	22,5	247,5
0,177	8-16	12,0	10,0	110,0
0,074	4-10	7,0	5,0	55,0
Filler			7,0	77,0

Yukarıdaki tablodan da görülebileceği üzere standart bir asfalt numunesi hazırlamak için 1100 gr agrega kullanılmıştır. Superpave Yoğurmalı Kompaktör, Marshall ve sünme deneyleri sonuçlarını yorumlamada yardımcı olması için agrega karışımının birim ağırlığı bulunmuştur. "Bir agreganın birim ağırlığı, o agreganın birim hacimdeki ağırlığının, aynı hacimde ve 20-25°C'deki suyun ağırlığına oranıdır" [112]. Agrega karışımınım birim ağırlığını elde etmek için kaba agrega, ince agrega ve fillere ait birim ağırlık değerlerini bilmek gerekir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.1 Agregaların granülometri eğrisi

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.1.1. Kaba agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığının tayini

Bu deney 4.75 mm (no.4) elek üzerinde kalan tane boyutundaki agregalara uygulanır. Kaba agregadan 2 kg ağırlığında numune alınır. Numune, agrega gradasyonunu temsil etmek zorundadır. Deney numunesi, yıkanarak bir tepsi içine konur ve 24 saat boyunca kurutulur. Emici özelliği olan bir bez üzerinde doygun yüzey kuru hale gelinceye kadar kurutulan numune tartılır. Numune, tel sepet içinde, 25±1°C sıcaklık ve 977±2 kg/m^3 yoğunluğa sahip suya daldırılır ve tartılır. Tartım sonrası tel sepetten çıkarılıp bir tepsiye konulan agrega, 110±5°C sıcaklıkta etüvde kurutulur. Sabit kütleye ulasan agrega 1-3 saat kadar soğutulur. Kuru numune tartılır ve tartım kaydedilir [112]. Kaba agregaya ait özgül ağırlık sonuçları Çizelge 5.2'de verilmiştir.

$$Hacim\ \text{Özgül}\ Ağırlık = \frac{A}{B - C} \tag{5.1}$$

$$Yaş\ Hacim\ \text{Özgül}\ Ağırlık = \frac{B}{B - C} \tag{5.2}$$

$$Zahiri\ \text{Özgül}\ Ağırlık = \frac{A}{A - C} \tag{5.3}$$

$$Absorpsiyon\%'si = \frac{B - A}{A} \times 100 \tag{5.4}$$

Burada;

A = Kuru malzemenin havadaki ağırlığı, gr

B = Doygun yüzey kuru malzemenin ağırlığı, gr

C = Malzemenin sudaki ağırlığı, gr

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.2 Kaba agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi

		Numune 1	Numune 2	Ortalama
A	Kuru malzemenin havadaki ağırlığı, gr	2986,9	2981,4	
B	Doygun yüzey kuru malzemenin ağırlığı, gr	2993,6	2986,1	
C	Sudaki ağırlık, gr	1885,0	1882,5	
Hacim özgül ağırlık, kg/m^3		2694,0	2702,0	2698,0
Doygun yüzey kuru ağırlık, kg/m^3		2700,0	2706,0	2703,0
Zahiri özgül ağırlık, kg/m^3		2711,0	2713,0	2712,0
Absorpsiyon yüzdesi, %		0,2243	0,1576	0,1910
Standart		ASTM C 127-04		

5.1.2. İnce agrega su absorpsiyonu ve özgül ağırlığının tayini

4.75 mm ile 0.075 mm arasındaki elekler arasında kalan malzemeden, agrega gradasyonunu temsil edecek şekilde 1000 gr numune alınır. 200 no'lu elekte yıkanan malzeme 24 saat boyunca tepsi içinde bekletilir. 24 saat sonunda numune, malzeme kaybına neden olmadan süzülür. Tepsi içindeki numune, sıcak hava akımına tutulur.

Numunenin doygun-yüzey kuru hale geldiği, koni metodu ile tespit edilir. Bu metot, bir koni ve bir sıkıştırma çubuğu ile uygulanır. Numune üç seferde koninin içine yerleştirilir. Her seferde 25 vuruş yapılır. Vuruşlar, malzemenin 5mm üzerinden yapılır. Sıkıştırma işlemi sonunda koni kaldırılır. Eğer numune doygun-yüzey kuru hale gelmişse, serbest şekilde dökülür. Çökme yoksa kurutma işlemine devam edilir.

Doygun-yüzey kuru hale gelinceye kadar kurutulan numunenin 500gr'lık kısmı piknometre içine konur ve piknometre ile tartılır. Numune yüksekliğini geçinceye kadar içine su doldurulan piknometre, iki yönde döndürülerek çalkalanır. Hava kabarcıkları çıkmayana kadar isleme devam edilir. İşlem sonunda işaret çizgisine kadar piknometreye su ilave edilir. 25±1°C'ye ayarlı su banyosuna yerleştirilir. Su ve malzemenin 25°C'ye ulaşmasının ardından piknometre, banyodan çıkarılır. Suyun işaret çizgisinde olup olmadığı kontrol edilir ve hemen tartılır. Piknometredeki numune tepsiye konulup 110±5°C'de kurutulur. Etüvden

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

çıkarılıp oda sıcaklığında soğutulan numunenin kuru numune ağırlığı tartılır [112].

$$Hacim\ Özgül\ Ağırlık = \frac{E}{B + C - A - D} \tag{5.5}$$

$$Yaş\ Hacim\ Özgül\ Ağırlık = \frac{C - A}{B + C - A - D} \tag{5.6}$$

$$Zahiri\ Özgül\ Ağırlık = \frac{E}{B + E - D} \tag{5.7}$$

$$Absorpsiyon\%'si = \frac{C - A - E}{E} \times 100 \tag{5.8}$$

Burada;

A = Piknometre ağırlığı, gr

B = Piknometre + su ağırlığı, gr

C = Piknometre + doygun yüzey kuru numune ağırlığı, gr

D = Piknometre + su + numune ağırlığı, gr

E = Kuru numune ağırlığı, gr

Çizelge 5.3 İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi (Deney-1)

		Numune 1	Numune 2	Ortalama
A	Piknometre ağırlığı, gr	175,378	180,964	
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	1169,000	1174,800	
C	Piknometre + doygun yüzey kuru numune ağırlığı, gr	666,200	586,600	
D	Piknometre + su + numune ağırlığı, gr	1478,300	1430,400	
E	Kuru numune ağırlığı, gr	487,000	402,800	
Hacim özgül ağırlık, kg/m^3		2683	2685	2684
Doygun yüzey kuru ağırlık, kg/m^3		2704	2704	2704
Zahiri özgül ağırlık, kg/m^3		2741	2736	2739
Absorpsiyon yüzdesi, %		0,785	0,704	0,744
Standart		ASTM C 128-04		

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.4 İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi (Deney-2)

		Numune 1	Numune 2	Ortalama
A	Piknometre ağırlığı, gr	175,391	180,995	
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	1169,000	1174,100	
C	Piknometre + doygun yüzey kuru numune ağırlığı, gr	607,100	627,600	
D	Piknometre + su + numune ağırlığı, gr	1441,600	1456,400	
E	Kuru numune ağırlığı, gr	425,900	442,200	
Hacim özgül ağırlık, kg/m^3		2677	2691	2684
Doygun yüzey kuru ağırlık, kg/m^3		2713	2718	2716
Zahiri özgül ağırlık, kg/m^3		2778	2765	2772
Absorpsiyon yüzdesi, %		1,364	0,996	1,180
Standart		ASTM C 128-04		

İnce agreganın özgül ağırlığı tayini için deney iki kez yapılmış ve sonuçları Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4 ile verilmiştir. Yukarıda yapılan iki farklı deney sonunda bulunan sonuçların ortalamaları alınmış ve ince agreganın özgül ağırlığı tayin edilmiştir. Bulunan son değerler ise Çizelge 5.5 ile verilmiştir.

Çizelge 5.5 İnce agreganın özgül ağırlık değerleri ve su absorpsiyonu yüzdesi

	Deney-1	Deney-2	Ortalama
Hacim özgül ağırlık, kg/m^3	2684	2684	2684
Doygun yüzey kuru ağırlık, kg/m^3	2704	2716	2710
Zahiri özgül ağırlık, kg/m^3	2739	2772	2756
Absorpsiyon yüzdesi, %	0,744	1,180	0,962

5.1.3. Mineral filler zahiri özgül ağırlığının tayini

110±5°C'de en az 4 saat kurutulan numune, soğutulduktan sonra özgül ağırlık şişesine, şişenin üçte biri dolacak şekilde boşaltılır. Şişe, kuru ve temiz kapakla kapatılır ve tartılır. Daha sonra şişenin yarısına kadar su doldurulur. Ağzı kapatılmış şişe birkaç kez tezgaha vurularak, en az 5 dakika bir vakum desikatörle içerisinde bulunan hava çıkartılır. Hava kabarcıkları tamamen bitince ağzına kadar su ile doldurulan şişe 25±1°C'lik su banyosunda en az 60 dakika bekletilir. İşlem

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

sonunda banyodan çıkarılan şişe kurutulup tartılır. Deney sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

$$Zahiri\ Özgül\ Ağırlık = \frac{A}{A + B - C} \tag{5.9}$$

Burada;

A = Kuru numune ağırlığı, gr

B = Piknometre + su ağırlığı, gr

C = Piknometre + su + numune ağırlığı, gr

Çizelge 5.6 Mineral fillerin zahiri özgül ağırlık değeri

		Numune 1	Numune 2	Ortalama
A	Kuru numune ağırlığı, gr	49,86	50,37	
B	Piknometre + su ağırlığı, gr	632,37	649,94	
C	Piknometre + su + numune ağırlığı, gr	664,09	681,85	
Hacim özgül ağırlık, kg/m^3		2749	2729	2739
Standart		ASTM D 854-83		

Çalışmalarımızda kullanılacak olan agrega özgül ağırlıkları aşağıda Çizelge 5.7 ile verilmiştir.

Çizelge 5.7 Agrega özgül ağırlıkları

	Özgül Ağırlık (kg/m^3)
Kaba Agrega Özgül Ağırlığı	2712
İnce Agrega Özgül Ağırlığı	2756
Mineral Filler Özgül Ağırlığı	2739

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.2. Bitüm

Bu bölümde, ilk olarak bitüme uygulanan deneyler hakkında genel bilgi verilmiştir. Bu bilgilerin akabinde katkısız ve çeşitli polipropilen oranlarında modifiye edilmiş bitüm üzerindeki deneylerin sonuçları verilmiştir. Kullanılan bitüm; İzmit TÜPRAŞ rafinerisinden getirtilmiş 50-70 penetrasyonlu bitümdür. Bitüme ait şartname limitleri Çizelge 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Yol yapımında kullanılan kaplama sınıfı bitümün özellikleri [111]

DENEY ADI	Standart	Birim	Değer
Penetrasyon, 25°C	ASTM D 5-97	1/10 mm	50-70
Yumuşama Noktası	ASTM D 36-95	°C	46-54
Düktilite, 25°C	ASTM D 113-99	cm	+100
Parlama Noktası	ASTM D 92-02	°C	min 230
Yanma Noktası	ASTM D 92-02	°C	min 270
İnce Film Halinde Isıtma Kaybı	ASTM D 1754-97	%	Maks. 0.5
Özgül Ağırlık	ASTM D 70-76	kg/m^3	1.0-1.1

5.2.1. Penetrasyon deneyi

Penetrasyon ölçmek için kullanılan alete penetrometre denir. Deneyde kullanılacak numuneler 30 dakika boyunca 25°C'da bekletilir. Deney sırasında, penetrasyon cihazı düzgün bir yere yerleştirilir ve gösterge sıfıra getirilir. Su banyosunda bekletilen numuneler, deney sırasında sıcaklığın korunması için 25°C'daki su içinde cihaza yerleştirilir. 100 gr ağırlığındaki iğne, numune yüzeyine ancak değecek şekilde ayarlanır. İğne, 5 saniye süresince serbest bırakılır. 5 saniyelik zaman bitiminde penetrasyon değeri okunur. Kabın kenarından ve birbirinden 1'er cm'lik uzaklıkta en az 3 okuma yapılır. 0.1 mm cinsinden okunan bu okumalar, en kısa zamanda yapılmalıdır. İğne, her seferinde uygun bir çözücü yardımı ile (karbon tetra klorür, tri klor etilen, benzin) ısıtılmış bezle silinir. Sonra kuru bezle temizlenir [113] (Şekil 5.2).

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bitümlü bağlayıcının penetrasyon değeri yükseldikçe viskozite değeri düşecektir. Yani bağlayıcının akmaya karsı direnci azalacaktır. Buna bağlı olarak penetrasyon değeri kıvamlılıkla ters orantılı olacaktır.



Şekil 5.2. Penetrasyon aleti

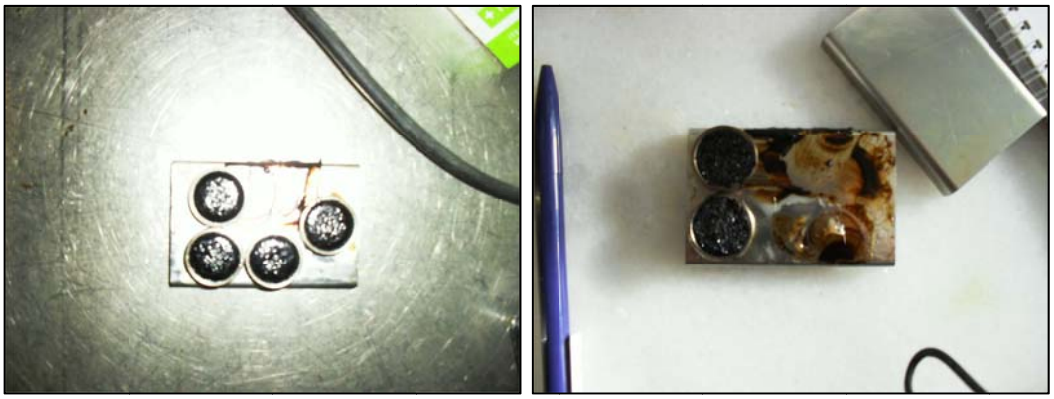
5.2.2. Yumuşama noktası deneyi

Bitümlerin sıcaklık değişimlerine karsı olan duyarlılıklarını ölçmek için en kısa ve en basit yöntem halka ve bilye yöntemi ile yumuşama noktasının bulunmasıdır.

Yumuşama noktası, 5°C'lık bir su banyosu içine yerleştirilmiş, üzerinde bir bilye bulunan, standart bir kalıp içerisindeki bitümlü maddenin dakikada 5°C ısıtılmasıyla, yumuşayan malzemenin tabana değdiği anda termometrede okunan sıcaklıktır.

Deneye başlamadan önce, halka bir pirinç levha üzerine oturtulur. Daha önceden vazelinle yağlanmış olan levha üzerindeki halkanın üstünden asacak şekilde, eritilmiş bitüm ile doldurulur. Bir saat süre ile soğutulur, taşan kısım ısıtılmış bir ıspatula ile kesilip alınır (Şekil 5.3).

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.3. Bitüm ile doldurulmuş ve taşan kısmı kesilip alınmış numuneler.

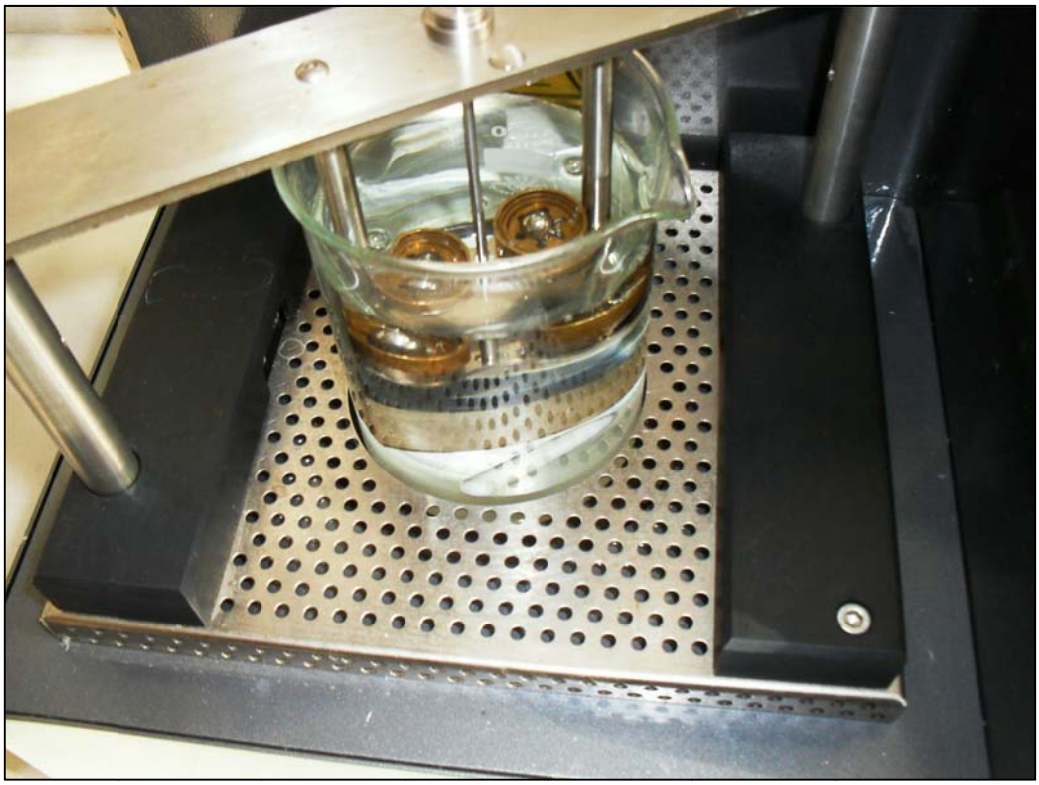
Yumuşama noktası 80ºC'den daha düşük olan bitümlere deneyin uygulanması su şekildedir: beher 5ºC'ye kadar soğutulmuş saf su ile tabandan yaklaşık 9 cm yüksekliğe kadar doldurulur. Numuneyi taşıyan halkanın alt yüzü banyonun tabanından 2.5 cm yukarıda olacak şekilde yerleştirilir. Bu arada bilye suya konur. Aletin kendi otomatik ısı okuyucusu halkanın alt yüzü ile aynı düzeyde ve halkadan 0.5 cm uzaklıkta bulunacak şekilde banyoya sarkıtılır. Su banyosunun sıcaklığı 15 dakika süreyle 5ºC'de sabit tutulur. Sonra bilye uygun bir maşa yardımı ile halka içindeki numunenin tam ortasına yerleştirilir. Banyonun suyu ilk 3 dakikadan sonra dakikada 5ºC yükselecek şekilde ısıtılır. Sıcaklığın artması ile yumuşayan malzemenin, banyonun tabanına değdiği anda termometreden okunan sıcaklık yumuşama noktası olarak kaydedilir [113].

Yumuşama noktası 80°C'den yüksek olan bitümlü maddelerle deney yapılırken de yine yukarıda anlatılan şekilde yapılır ancak saf su yerine gliserin kullanılmalıdır. Bu çalışmalarda başlangıç noktası 32°C olmalıdır [112]. Özellikle PP içeren bitümlü malzemelerde 80°C'ye kadar bir okuma yapılamadığından çalışma esnasında gliserin kullanılmıştır (Şekil 5.4).

Yumuşama noktasının tayini iki numune üzerinde yapılmalı ve sonuç bu iki değerin ortalaması olarak verilmelidir [112].

Bu deney için İtalyan Controls firmasının otomatik yumuşama noktası deney aleti kullanılmıştır (Şekil 5.5). Alete su ile test ya da gliserin ile test seçeneklerinden herhangi birinin komutu verildiğinde, kendi kendine standartta geçen bütün ısıtma ve sıcaklık okuma işlemlerini yapabildiği gibi foto-elektriksel sensörleri sayesinde yumuşamanın gerçekleştiği, numunenin banyonun tabanına değdiği andaki sıcaklığı otomatik olarak kayıt edebilmektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.4. Gliserin içerisine yerleştirilmiş numuneler.



Şekil 5.5. Yumuşama noktası deneyi aleti

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.2.3. Parlama ve yanma noktası deneyi

Isıtılarak akıcı hale getirilen bitüm, standart boyutlara sahip olan deney kabına dökülür. Numune, sıcaklık dakikada 14-17°C artacak şekilde ısıtılır. Tahmin edilen parlama noktası sıcaklığı ile bitümün sıcaklığı arasında 28°C'lik bir fark kaldığı zaman sıcaklık artısı dakikada 5.5°C olacak şekilde ayarlanır. Parlama noktası sıcaklığını tespit etmek için bitümün üzerinde, her 2°C'lik artış sonrası alev gezdirilir. Bitümün alev ile teması sonucu ilk parladığı andaki sıcaklık parlama noktasıdır. Numunenin 5 saniye boyunca yandığı sıcaklık ise yanma noktası sıcaklığıdır [113].



Şekil 5.6. Parlama ve yanma noktası tespiti için kullanılan deney aleti

Bu deneyin amacı, şantiyede bitümün yanmadan hangi ısıya kadar emniyetle ısıtılabileceğinin tespit edilmesidir [114].

Bu deneyde kullanılan Petrotest'in otomatik aleti sayesinde de deney başlatıldıktan sonra bütün işlem otomatik olarak makinanın kendisi tarafından yapılmakta ve sıcaklık okuyucu sensörü sayesinde parlamanın olduğu noktayı ve aynı şekilde yanmanın gerçekleştiği noktayı da otomatik olarak kendi hafızasına almaktadır (Şekil 5.6).

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.2.4. İnce film halinde ısıtma kaybı deneyi

Bitümün bünyesinde bulunan uçucu maddelerin oranı ve yaslanmaya karşı direncini tespit edebilmek için yapılan deney sırasında, standart deney kabına akıcı haldeki bitüm yerleştirilir. Deney kabına doldurulan numunenin 3.2 mm'lik yüksekliği, 50.72 gr'lık bitüme denk gelmektedir. Bu miktara yakın şekilde kaba konulan numune, oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılır. Daha sonra sıcaklığı 163°C'ye ayarlı deney aleti içinde 5 saat 15 dakika boyunca 5 devir/dakika hızla döndürülür. Bu süre sonunda numune oda sıcaklığında soğumaya bırakılır ve tekrar tartılır. İki tartım arasındaki farkın, numunenin ilk ağırlığına oranı alınır [113] (Şekil 5.7).

PP katkılı numunelerde 3.2 mm'lik yüksekliği sağlamak için PP katkılı numunelerin özgül ağırlığına bakılmış ve yaklaşık kaç gr olacağı hesaplanıp o kadar numune konulmuştur. Örneğin ‰ 5.5 PP katkılı numuneler için 3,2 mm'lik yüksekliği sağlayabilmek için, ‰ 5.5 PP katkılı bitümün özgül ağırlık değeri olan 1011 kg/m^3 özgül ağırlık değeri ile yapılan hesaplama sonucunda 49.80 gr numune konması gerektiği anlaşılmıştır.



Şekil 5.7. İnce film halinde ısıtma kaybı deney aleti ve deney numuneleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.2.5. Özgül ağırlık deneyi

Karışımın özgül ağırlığını hesaplamak için, agrega özgül ağırlıklarının yanı sıra, bitümün özgül ağırlığı da bilinmelidir. Bu deney piknometre yardımı ile yapılır. Önce piknometrenin kuru ve temiz haldeki ağırlığı belirlenir. İkinci olarak piknometre saf su ile doldurulur ve bir kapakla kapatılır. Saf su ve piknometre, sıcaklıkları 25±1°C olana kadar su banyosunda bekletilir. İstenen sıcaklık değerine ulaşıldığında piknometre sudan çıkarılır. Hemen kurutulan piknometrenin su ile dolu ağırlığı tartılır. Piknometrenin içinden saf su alınıp, yarısına kadar bitüm ile doldurulur. Piknometre + bitüm ağırlığı bulunur. Son olarak piknometrenin içindeki boşluk saf su ile doldurulur ve piknometre yeniden su banyosuna yerleştirilir. Yaklaşık 1 saat sonunda banyodan çıkarılan piknometre tartılır ve piknometre + bitüm + su ağırlığı bulunmuş olur. Bu tartımlardan bitümün özgül ağırlığını bulmak için [113];

$$\text{Özgül Ağırlık} = \frac{c - a}{(b - a) - (d - c)} \qquad (5.10)$$

denklemi kullanılır. Burada;

a = Boş piknometre ağırlığı, gr

b = Saf su ile dolu piknometre ağırlığı, gr

c = Yarısına kadar bitüm dolu piknometre ağırlığı, gr

d = Bitüm, saf su ve piknometre ağırlığı, gr

Şekil 58'de, yarısına kadar bitüm ve geri kalanı saf su ile doldurulmuş 50 ml'lik iki piknometre görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 5.8. (a) Saf su ile doldurulmuş piknometreler (b) Bitüm ve saf su ile doldurulmuş piknometreler

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.2.6 Bitüm deneylerinin sonuçları

Bölüm 5.2'de anlatılan bitüm deneylerinin, katkısız ve çeşitli oranlarda katkı kullanılarak modifiye edilmiş bitümlere uygulanması ile elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Katkısız ve çeşitli oranlarda polipropilen katkısı kullanılarak modifiye edilmiş bitümlerin deney sonuçları.

PP Katkı Miktarı (‰)	Özgül Ağırlık (kg/m^3)	Isınma Kaybı (%)	Parlama Noktası (°C)	Yanma Noktası (°C)	Yumuşama Noktası (°C)	Penetrasyon (dmm)
0.0	1028	0,052	354,4	374,3	48,0	74,1[(1)]
3.0	1018	0,031	310,0	346,2	69,3	32,6
5.5	1014	0,011	287,2	306,1	155,9	23,3

Bitümlü bağlayıcıya eklenen polipropilen miktarı arttıkça, modifiye edilmiş bitümün özgül ağırlık değerleri azalmıştır. Bu durum, polipropilenin özgül ağırlığının 910 kg/m^3 olmasından kaynaklanmaktadır.

Isınma kaybı değerleri ise katkısız bitümde % 0,052 iken, ‰ 5.5 polipropilen katkılı bitümde % 0,011'e düşmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç ise polipropilen katkısının bitümlü bağlayıcıyı, ısınma kaybına karsı çok daha az duyarlı bir hale getirmesidir. Bu da bitümün polipropilen katkısıyla birlikte artık şantiye ortamında, bitümlü karışım hazırlamak için ısıtılmasıyla ortaya çıkacak uçucu madde kayıplarından azami derecede koruma sağlayacağının bir ifadesidir.

Polipropilen katkısı ile parlama ve yanma noktalarında oluşan azalmada dikkat çekici bir husustur. Bu değerler göz önüne alındığında polipropilen katkılı bitüm, şantiye ortamında, parlama ve yanmaya karşı daha hassas bir hale gelmektedir.

[(1)] Çalışmalarımızda kullandığımız 50/70 penetrasyonlu bitümün penetrasyon değerinin 70 dmm penetrasyon değerinden yüksek çıkması; Türkiye'de üretilen bitümlerin olması gereken penetrasyon sınıflandırması limitleri dahilinde olmadığını göstermektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yumuşama noktası değeri ise katkısız bitümde 48.00°C iken ‰ 5.5 polipropilen katkılı bitümde 155.9°C'a çıkmıştır. Bu da polipropilen katkılı bitümün sıcaklık hassasiyetinin son derece azaldığını göstermektedir. Sıcak iklimin hüküm sürdüğü yol kesimleri için bu özellik değişimi son derece tercih edilir bir değişimdir.

Son olarak katkısız bitümün penetrasyon değeri 74,1 dmm iken ‰ 5.5 polipropilen katkılı bitümün penetrasyon değeri 23.3 dmm'ye düşmüştür. Bu da bitümün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ne oranda iyileştiğinin başka bir önemli göstergesidir. Bu sayede polipropilen katkılı bitümün, özellikle tekerlek izinde oturma yani oluklanma problemine karsı ne kadar önemli bir kazanım gösterdiği ispatlanmıştır.

5.2.7 Dönel viskozite deneyi

ASTM D 4402-84 standardına göre bu deney 38 - 260°C sıcaklık arasındaki bitüm numunelerinin viskozitelerini ölçebilmek için uygulanır.

Bu standarda göre viskozite değeri, newtonien ya da non-newtonien akışkanlar için, kayma gerilmesinin kayma hızına olan oranıdır. Asfalt bağlayıcı sınıflamasında pascal-saniye birimi kullanılır. Dönüştürme için 1000 cP = 1 Pa·s eşitliği kullanılır. Brookfield Termosel Viskozimetresi bu prosedür için viskozluğu ölçebilecek bir alettir. Viskozite dışardan sıcaklık kontrollü termosel sayesinde ısıtılabilen bir kap içerisinde, belirli bir tork ile döndürülen spindle (mil) ile örnek numuneye karşı ölçülen bağıl dirençtir [115].

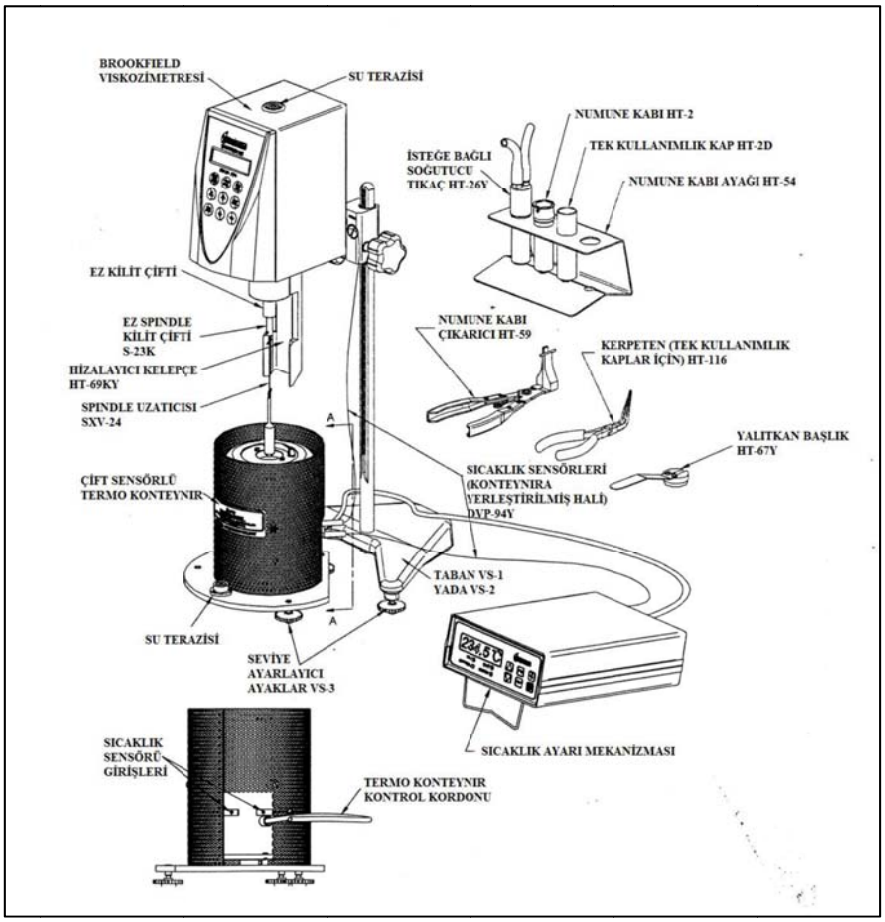
Deney Brookfield Termosel Viskozimetresi (LV, RV, HA ya da HB serilerinden herhangi biri), Brookfield Termosel Viskozimetresi için farklı ölçülerdeki spindlelar, ısı kontrol ünitesi, SCR kontrollü sensör ve grafik çizebilen bir yazılım ile yapılır [115].

Deney kabına doldurulacak numunenin yaklaşık olarak 8-10 ml olması gerekmektedir. Konulacak numunenin ağırlığı özgül ağırlığı sayesinde hesaplanabilir. Numunenin kaba dökülmesinden sonra seçilen spindle da kabın içine konur ve kap Brookfield haznesine yerleştirilir. Yerleştirme esnasında akışkan malzemenin seviyesi spindle'ın üst konik kısmından yaklaşık 3,2 mm

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

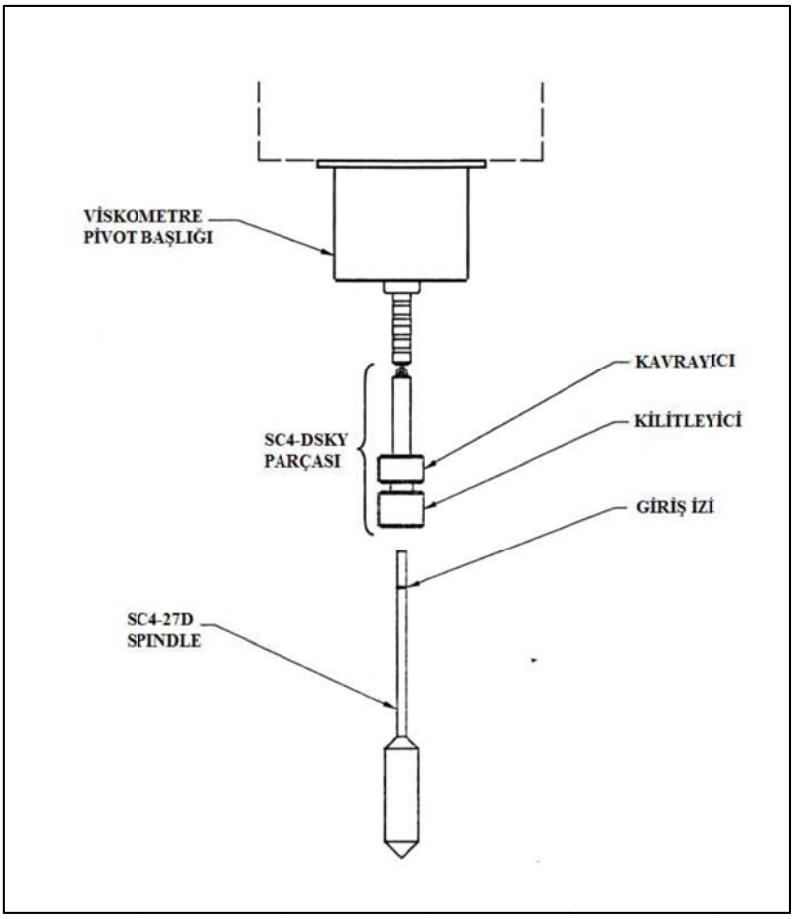
yukarıda olmalıdır. Numune alete yerleştirildikten sonra yaklaşık 15 dakika bitümün girilen sıcaklığa gelmesi beklenir. Daha sonra RV, HA ve HB modeller için deney 20 rpm de LV modeller için 12 rpm de döndürülmeye başlanır. Her sıcaklık için 60 s de bir üç okuma alınmalıdır. Eğer en düşük okuma sıcaklığında değerler 98 birimden fazla ise dönüş hızı değiştirilmeli ve deneye devam edilmeli, eğer diğer sıcaklık derecelerinde de değerler 98 birimden fazla ise bir küçük spindle seçilerek deney yeniden yapılmalıdır. Son olarak deney sonuçlarına her zaman test sıcaklığı spindle numarası ve dönüş hızı yazılmalıdır [115]. Bitüm 135°C'de maksimum 3 Pa·s viskozluğa sahip olmalıdır [29].

Sistemin teknik özelliklerini gösterir fotoğraflar Şekil 5.9, 5.10 ve 5.11'de gösterildiği gibidir.

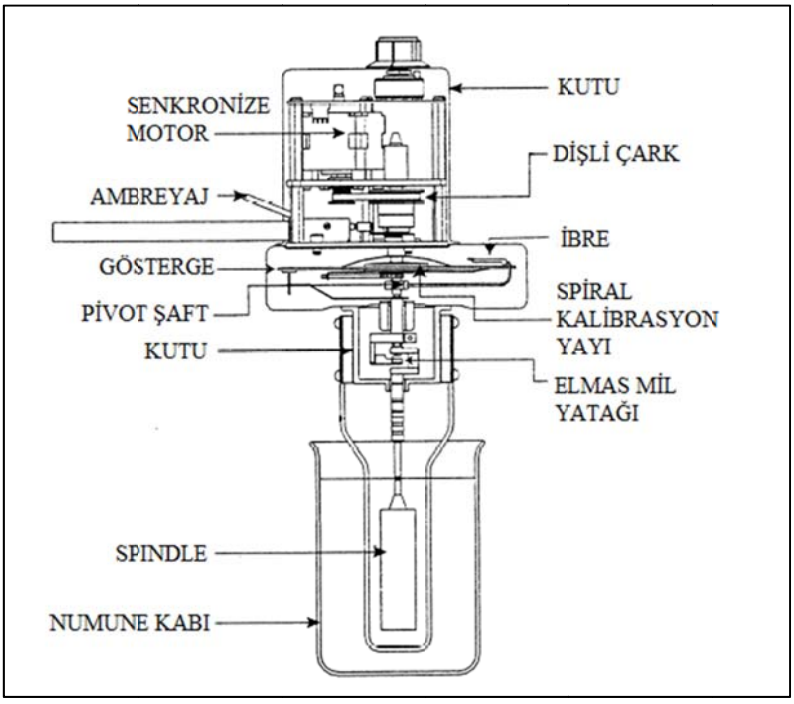


Şekil 5.9. Brookfield Termosel Viskozimetresi ve parçaları [116]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.10. Spindle'ın alete takılması [116]

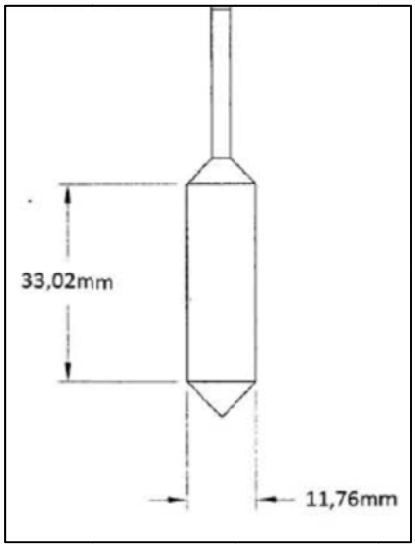


Şekil 5.11. Viskozimetrenin şematik görünüşü [117]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Airey 2003 yılında yayınladığı bir makalede, polimer modifiyeli bitümün reolojik özelliklerini araştırmış, dinamik kayma reometresi (Dynamic Shear Rhometer [DSR]) ile yaptığı araştırmalarda kontrol numunesi bitümlere farklı oranlarda stiren-bütadiyen-stiren (SBS) elastomeri ekleyerek malzemelerin viskozluklarını incelemiştir. Çalışmalar göstermiştir ki, bitüm içerisindeki polimer miktarı arttıkça malzemenin elastik bağları kuvvetlenmiş, viskoziteleri, kompleks modülleri artmış ve elastik davranışları daha da iyileşmiştir. Ancak yaşlandırılmış modifiyeli bitümlerde SBS polimer moleküllerinde azalma olduğu görülmüş bu yüzden de numunelerin elastik özelliklerinin azaldığı anlaşılmıştır [118].

Yapılan çalışmalar RV tip Brookfield Termosel Viskozimetresi ile yapılmıştır. Deneyler SC4-27 numaralı spindle ile değişik sıcaklıklarda ve değişik dönüş hızlarında tekrarlanmıştır. SC4-27 numaralı spindle'ın boyutları Şekil 5.12'de verilmiştir. Numune kabında standartta belirtildiği üzere 10.5 ml bitüm yani kontrol numuneleri için 10.8 gr, PP katkılı numuneler için 10,6 gr numune konularak hazırlanmıştır.

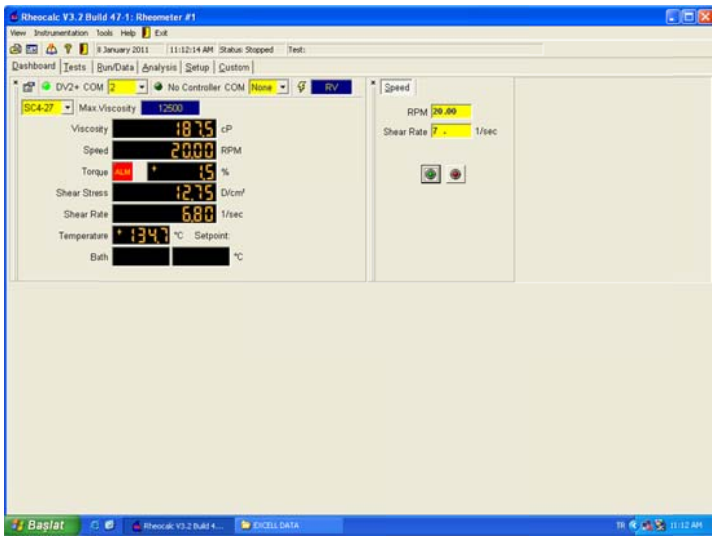


Şekil 5.12. SC4-27 numaralı spindle boyutları [117]

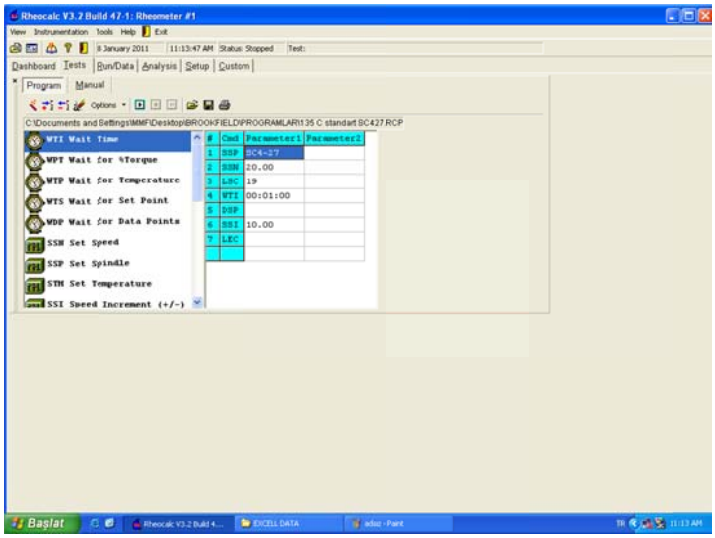
Sistem aynı zamanda bir bilgisayara bağlıdır. Rheocalc isimli bir yazılım tarafından değerler anlık olarak okunabilmektedir. Şekil 5.13'de yazılımın ana sayfası görülmektedir. Bu ekranda anlık olarak sıcaklığı görebildiğimiz gibi, girilen dönme hızına göre viskozite değerini de anlık olarak cP cinsinden okunabilmektedir. Aynı zamanda bu programa nasıl bir test istediğiniz daha

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

önceden girilebilmekte ve yazılım deneyi kendi kendine otomatik olarak yapabilmektedir. Örneğin sistemin sıcaklığı ne kadar hızla ne kadar süre dönmesi gerektiği ne kadar beklemesi gerektiği belirtilerek deney devam edebilmektedir. Şekil 5.14'de programın yazılabileceği ekranı 5.15'de ise deney esnasındaki görüntüler verilmiştir. Yapılan çalışma 20 rpm'lik dönüş hızıyla başlatılmış ve bir dakika boyunca döndürüldükten sonra okuma alınmış bir dakika beklenmiş ve yine aynı dakikanın sonunda 30 rpm'e çıkılmış bu şekilde birer dakika arayla 200 rpm dönüş hızına kadar devam etmiştir. Farklı sıcaklıklarla yapılan sonuçlar aşağıda verilmiştir [115].

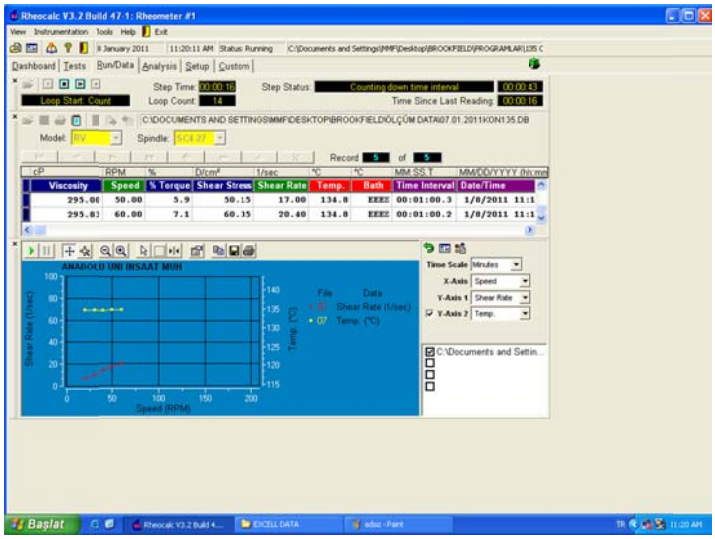


Şekil 5.13. Rheocalc programı ana ekranı



Şekil 5.14. Rheocalc programı deney programı hazırlama ekranı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.15. Rheocalc programı viskozite deneyi anı

Çalışmalara ilk etapta kontrol numunelerinin test edilmesiyle başlanmıştır. Bu amaçla yapılan 3 farklı deneyin sonuçları Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12'de verilmiştir. Ayrıca bu deneylerin hız viskozite grafikleri de Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'de gösterildiği gibidir. Görüldüğü gibi çalışmalarımızda kullanılan bitümün 135°C'de ve 20 rpm'lik dönüş hızında viskozitesi üç deneyin ortalaması alındığında, 0,166 Pa·s çıkmıştır (Çizelge 5.10, 5.11 ve 5.12). Ancak üniform bir dağılış açısından sağlıklı bir şey söylemek için 100 rpm ve 200 rpm arası çok az değişim gösteren viskozite değerini kullanmak çok daha iyi olacaktır. Zaten 20 rpm dönüş hızında olması gerekli tork değerlerine erişilememiştir. Sağlıklı okumalar için tork değeri % 10 değerinden fazla olmalıdır. Dolayısıyla bu sıcaklıkta bitüm SC4-27 numaralı spindle ile 100-200 rpm arası yaklaşık olarak 0,347 Pa·s değer vermektedir.

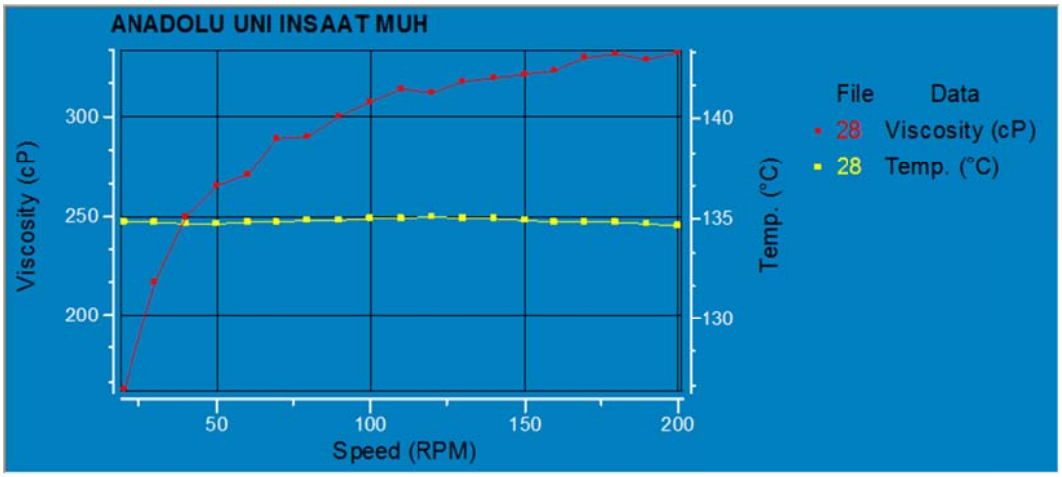
Viskozite deneylerinin ikinci aşamasında ‰ 3.0 polipropilen katkılı numunelerin araştırması yapılmıştır. Bu amaçla 3 farklı sıcaklık için çalışma yapılmıştır. Polipropilen katkılı numuneler hazırlanırken, kontrol numunelerinin aksine numunenin ısıtıcı içinde 30 dk. beklenmesi işlemi uygulanmamıştır. Çünkü polipropilen maddesinin doğası gereği bu kadar süre ile bitüm içinde karışmadan bekleyen malzeme bozulmaktadır. Bu sebeple karıştırıcıdan çıkarılan ve kaba alınan numune hızlı bir şekilde ısıtıcıya yerleştirilmiş ve hemen deneye başlanmıştır. ‰ 3.0 PP katkılı numuneler ilk olarak 135°C'de test edilmiştir (Çizelge 5.13). Bu deney sonucuna göre 20 rpm dönüş hızında ‰ 3.0 PP katkılı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

numunelerin viskozite değeri 0,400 Pa·s çıkmıştır. Ayrıca 100-200 rpm dönüş aralığındaki viskozite değeri ise yaklaşık olarak; 0,744 Pa·s hesaplanmıştır. Çizelge 5.14'de verilen ve 165°C'de test edilen numunelerde ise beklenildiği gibi viskozite değerleri düşmüştür. 20 rpm dönüş hızında 0,263 Pa·s, 100-200 rpm dönüş aralığında ise 0,209 Pa·s değerleri okunmuştur. Son olarak ‰ 3.0 PP katkılı numunelerle yapılan çalışmalarda sıcaklık iyice artırılmış ve 185°C'de deney uygulanmıştır (Çizelge 5.15). Bu sıcaklıkta ve 20 rpm dönüş hızında okunan değer 0,075 Pa·s, 100-200 rpm dönüş hızları arasında ise 0,114 Pa·s dir. Ayrıca ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin dönüş hızı viskozite grafikleri Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21 ile verilmiştir.

Çizelge 5.10 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-1)

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (°C)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
175,00	20,00	1,40	11,90	6,80	134,95	00:01:03.6	SC4-27	RV	12/5/2010 4:21:22 PM
241,67	30,00	2,90	24,65	10,20	135,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:22:22 PM
275,00	40,00	4,40	37,40	13,60	135,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:23:22 PM
295,00	50,00	5,90	50,15	17,00	134,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:24:23 PM
320,83	60,00	7,70	65,45	20,40	134,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:25:23 PM
321,43	70,00	9,00	76,50	23,80	134,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:26:23 PM
331,25	80,00	10,60	90,10	27,20	134,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:27:23 PM
338,89	90,00	12,20	103,70	30,60	134,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:28:23 PM
345,00	100,00	13,80	117,30	34,00	134,68	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/5/2010 4:29:24 PM
350,00	110,00	15,40	130,90	37,40	134,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:30:24 PM
347,92	120,00	16,70	141,95	40,80	134,78	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/5/2010 4:31:24 PM
350,00	130,00	18,20	154,70	44,20	134,83	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:32:24 PM
358,93	140,00	20,10	170,85	47,60	134,90	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/5/2010 4:33:25 PM
358,33	150,00	21,50	182,75	51,00	134,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:34:25 PM
359,38	160,00	23,00	195,50	54,40	134,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:35:25 PM
360,29	170,00	24,50	208,25	57,80	134,95	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/5/2010 4:36:26 PM
363,89	180,00	26,20	222,70	61,20	134,93	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:37:26 PM
365,79	190,00	27,80	236,30	64,60	134,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:38:26 PM
366,25	200,00	29,30	249,05	68,00	134,83	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/5/2010 4:39:26 PM

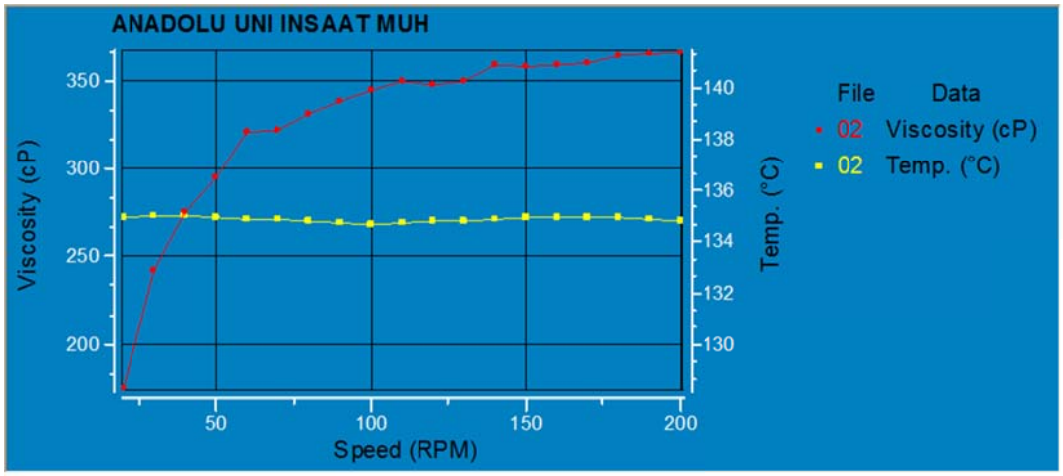


Şekil 5.16. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-1)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.11 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-2)

Viskozite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/san)	Sıcaklık (°C)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
162,50	20,00	1,30	11,05	6,80	134,83	00:01:02.6	SC4-27	RV	11/28/2010 4:49:23 PM
216,67	30,00	2,60	22,10	10,20	134,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:50:23 PM
250,00	40,00	4,00	34,00	13,60	134,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:51:24 PM
265,00	50,00	5,30	45,05	17,00	134,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:52:24 PM
270,83	60,00	6,50	55,25	20,40	134,80	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 4:53:24 PM
289,29	70,00	8,10	68,85	23,80	134,83	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:54:24 PM
290,63	80,00	9,30	79,05	27,20	134,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:55:25 PM
300,00	90,00	10,80	91,80	30,60	134,93	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 4:56:25 PM
307,50	100,00	12,30	104,55	34,00	135,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:57:25 PM
313,64	110,00	13,80	117,30	37,40	135,03	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 4:58:25 PM
312,50	120,00	15,00	127,50	40,80	135,08	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 4:59:26 PM
317,31	130,00	16,50	140,25	44,20	135,03	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:00:26 PM
319,64	140,00	17,90	152,15	47,60	135,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:01:26 PM
321,67	150,00	19,30	164,05	51,00	134,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:02:26 PM
323,44	160,00	20,70	175,95	54,40	134,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:03:27 PM
329,41	170,00	22,40	190,40	57,80	134,83	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:04:27 PM
331,94	180,00	23,90	203,15	61,20	134,83	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:05:27 PM
328,95	190,00	25,00	212,50	64,60	134,78	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:06:27 PM
332,50	200,00	26,60	226,10	68,00	134,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:07:28 PM

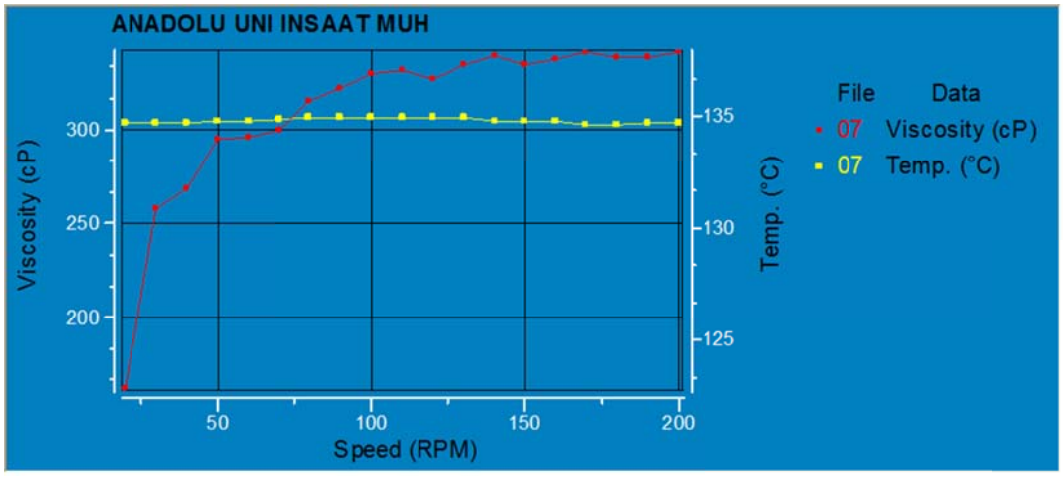


Şekil 5.17. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-2)

Çizelge 5.12 135°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri (Deney-3)

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (°C)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
162,50	20,00	1,30	11,05	6,80	134,68	00:01:02.8	SC4-27	RV	1/8/2011 11:15:57 AM
258,33	30,00	3,10	26,35	10,20	134,70	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:16:58 AM
268,75	40,00	4,30	36,55	13,60	134,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:17:58 AM
295,00	50,00	5,90	50,15	17,00	134,75	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:18:58 AM
295,83	60,00	7,10	60,35	20,40	134,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:19:58 AM
300,00	70,00	8,40	71,40	23,80	134,88	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:20:59 AM
315,63	80,00	10,10	85,85	27,20	134,93	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:21:59 AM
322,22	90,00	11,60	98,60	30,60	134,95	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:22:59 AM
330,00	100,00	13,20	112,20	34,00	134,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:23:59 AM
331,82	110,00	14,60	124,10	37,40	134,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:25:00 AM
327,08	120,00	15,70	133,45	40,80	134,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:26:00 AM
334,62	130,00	17,40	147,90	44,20	134,90	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:27:00 AM
339,29	140,00	19,00	161,50	47,60	134,80	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:28:00 AM
335,00	150,00	20,10	170,85	51,00	134,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:29:01 AM
337,50	160,00	21,60	183,60	54,40	134,75	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:30:01 AM
341,18	170,00	23,20	197,20	57,80	134,63	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:31:01 AM
338,89	180,00	24,40	207,40	61,20	134,63	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:32:01 AM
338,16	190,00	25,70	218,45	64,60	134,68	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:33:02 AM
341,25	200,00	27,30	232,05	68,00	134,73	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:34:02 AM

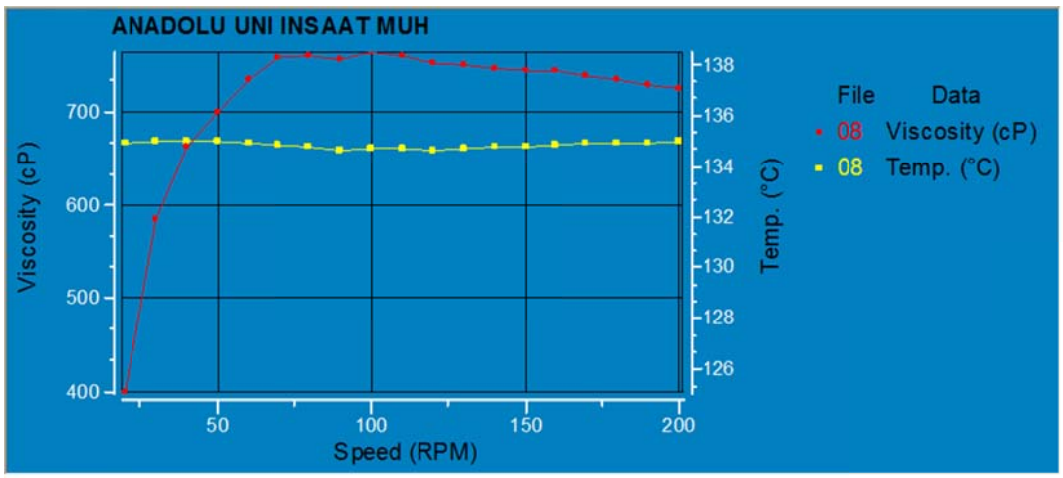
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.18. 135°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği (Deney-3)

Çizelge 5.13 135°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
400,00	20,00	3,20	27,20	6,80	134,93	00:01:00.9	SC4-27	RV	1/8/2011 11:57:48 AM
583,33	30,00	7,00	59,50	10,20	134,95	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 11:58:49 AM
662,50	40,00	10,60	90,10	13,60	134,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 11:59:49 AM
700,00	50,00	14,00	119,00	17,00	134,98	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 12:00:49 PM
733,33	60,00	17,60	149,60	20,40	134,93	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:01:49 PM
757,14	70,00	21,20	180,20	23,80	134,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:02:49 PM
759,38	80,00	24,30	206,55	27,20	134,75	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:03:50 PM
755,56	90,00	27,20	231,20	30,60	134,63	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:04:50 PM
762,50	100,00	30,50	259,25	34,00	134,68	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 12:05:50 PM
759,09	110,00	33,40	283,90	37,40	134,68	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:06:50 PM
752,08	120,00	36,10	306,85	40,80	134,63	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:07:51 PM
750,00	130,00	39,00	331,50	44,20	134,68	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 12:08:51 PM
746,43	140,00	41,80	355,30	47,60	134,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:09:51 PM
743,33	150,00	44,60	379,10	51,00	134,75	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:10:51 PM
743,75	160,00	47,60	404,60	54,40	134,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:11:52 PM
738,24	170,00	50,20	426,70	57,80	134,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:12:52 PM
733,33	180,00	52,80	448,80	61,20	134,93	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 12:13:52 PM
727,63	190,00	55,30	470,05	64,60	134,93	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:14:52 PM
725,00	200,00	58,00	493,00	68,00	134,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 12:15:53 PM

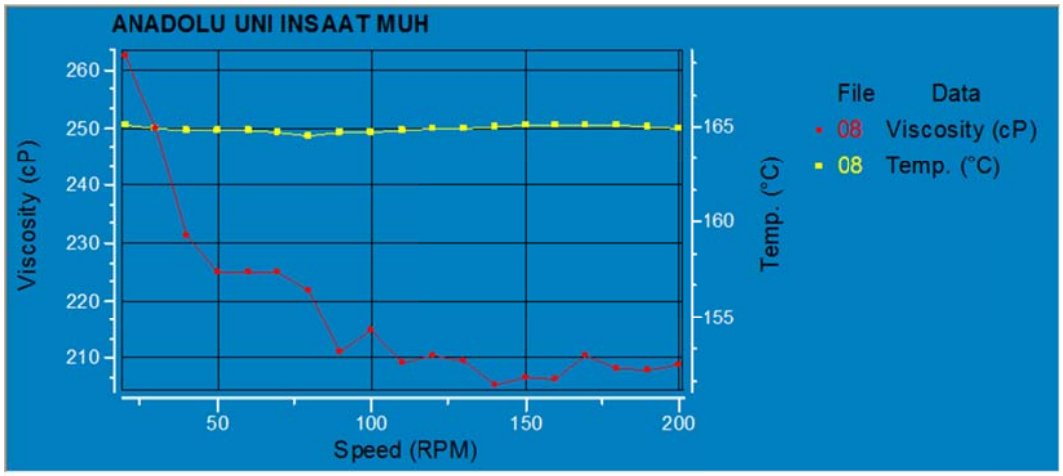


Şekil 5.19. 135°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.14 165°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
262,50	20,00	2,10	17,85	6,80	165,05	00:01:03.0	SC4-27	RV	1/8/2011 1:27:32 PM
250,00	30,00	3,00	25,50	10,20	164,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:28:33 PM
231,25	40,00	3,70	31,45	13,60	164,80	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:29:33 PM
225,00	50,00	4,50	38,25	17,00	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:30:33 PM
225,00	60,00	5,40	45,90	20,40	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:31:33 PM
225,00	70,00	6,30	53,55	23,80	164,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:32:34 PM
221,88	80,00	7,10	60,35	27,20	164,55	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:33:34 PM
211,11	90,00	7,60	64,60	30,60	164,70	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:34:34 PM
215,00	100,00	8,60	73,10	34,00	164,75	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:35:34 PM
209,09	110,00	9,20	78,20	37,40	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:36:35 PM
210,42	120,00	10,10	85,85	40,80	164,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:37:35 PM
209,62	130,00	10,90	92,65	44,20	164,95	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:38:35 PM
205,36	140,00	11,50	97,75	47,60	164,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:39:35 PM
206,67	150,00	12,40	105,40	51,00	165,10	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:40:36 PM
206,25	160,00	13,20	112,20	54,40	165,10	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:41:36 PM
210,29	170,00	14,30	121,55	57,80	165,05	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:42:36 PM
208,33	180,00	15,00	127,50	61,20	165,05	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:43:36 PM
207,89	190,00	15,80	134,30	64,60	165,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 1:44:37 PM
208,75	200,00	16,70	141,95	68,00	164,93	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 1:45:37 PM



Şekil 5.20. 165°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

Çizelge 5.15 185°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
75,00	20,00	0,60	5,10	6,80	184,60	00:01:01.7	SC4-27	RV	1/8/2011 2:12:57 PM
108,33	30,00	1,30	11,05	10,20	184,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:13:57 PM
106,25	40,00	1,70	14,45	13,60	184,83	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 2:14:57 PM
120,00	50,00	2,40	20,40	17,00	184,85	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:15:58 PM
116,67	60,00	2,80	23,80	20,40	184,88	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 2:16:58 PM
114,29	70,00	3,20	27,20	23,80	184,95	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:17:58 PM
115,63	80,00	3,70	31,45	27,20	184,93	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:18:58 PM
113,89	90,00	4,10	34,85	30,60	184,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:19:59 PM
120,00	100,00	4,80	40,80	34,00	184,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:20:59 PM
115,91	110,00	5,10	43,35	37,40	184,55	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:21:59 PM
112,50	120,00	5,40	45,90	40,80	184,48	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:22:59 PM
117,31	130,00	6,10	51,85	44,20	184,43	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 2:24:00 PM
114,29	140,00	6,40	54,40	47,60	184,40	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 2:25:00 PM
113,33	150,00	6,80	57,80	51,00	184,53	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:26:00 PM
110,94	160,00	7,10	60,35	54,40	184,60	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:27:00 PM
110,29	170,00	7,50	63,75	57,80	184,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:28:01 PM
112,50	180,00	8,10	68,85	61,20	184,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:29:01 PM
113,16	190,00	8,60	73,10	64,60	184,83	00:01:00.2	SC4-27	RV	1/8/2011 2:30:01 PM
112,50	200,00	9,00	76,50	68,00	184,88	00:01:00.3	SC4-27	RV	1/8/2011 2:31:01 PM

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.21. 185°C'de ‰ 3.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

Bir sonraki çalışmada ise kontrol numunesi bitümün 165°C'deki davranışı merak edilmiş 40 rpm'den daha düşük dönüş hızlarında yeterli yüzdece tork oluşmadığından dolayı herhangi bir okunma yapılamamış hatta deney sonuna kadar yeterli tork oluşmamasına rağmen 100-200 rpm arası viskozite değeri yaklaşık olarak 0,068 Pa·s olarak okunabilmiştir (Çizelge 5.16). 165°C'deki hız viskozite grafiği de Şekil 5.22'de verilmiştir.

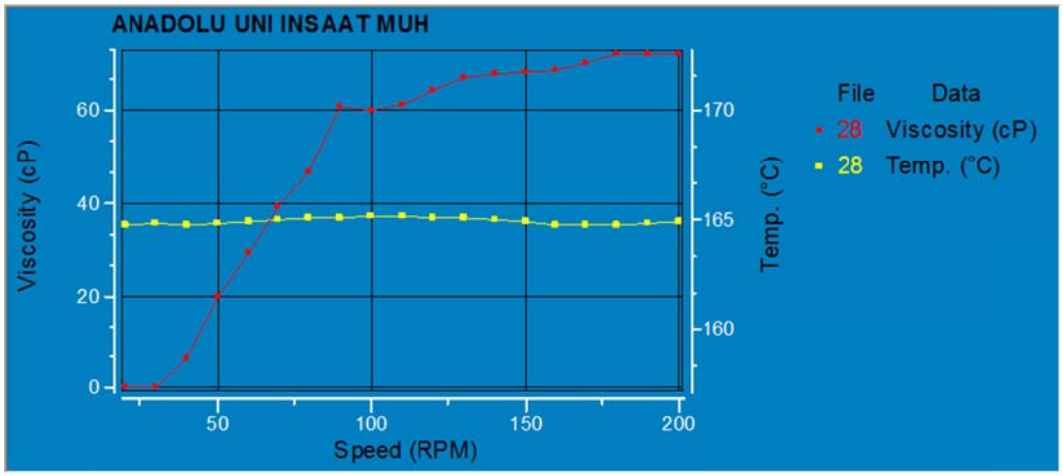
Çalışmalarımız ‰ 5.5 polipropilen katkılı numunelerin özelliklerini araştırarak devam etmiştir. Öncelikle 135°C'de test edilmeye çalışılan numunelerden herhangi bir okuma alınamamıştır. Bunun üzerine sıcaklık artırılmış ve deney 165°C'de denenmiştir (Çizelge 5.17). Bu deneyde 20 rpm'de 0,450 Pa·s değer okunmuştur. Ancak görüldüğü gibi yeterli torkun oluştuğu 100-200 rpm dönüş sayısı aralığında bu değer 0,428 Pa·s dir. Bu sıcaklıktaki viskozite hız grafiği Şekil 5.23'de verilmiştir.

‰ 5.5 PP katkılı numunelerin son olarak Brookfield deney aletinde 185°C'deki davranışı incelenmiş 50 rpm'e kadar yeterli tork oluşmadığından bir değer okunamamış ancak yine üniform bir dağılım elde edebilmek için 100-200 rpm arası değerlerin ortalaması alınmıştır. Bu sıcaklıktaki viskozite değerinin 0,120 Pa·s olduğu söylenebilir (Çizelge 5.18). Şekil 5.24 ise 185°C'deki ‰ 5.5 PP katkılı numunenin hız viskozite grafiğini göstermektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.16 165°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
0,00	20,00	-1,00	0,00	6,80	164,78	00:01:02.5	SC4-27	RV	11/28/2010 5:26:11 PM
0,00	30,00	-0,40	0,00	10,20	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:27:11 PM
6,25	40,00	0,10	0,85	13,60	164,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:28:11 PM
20,00	50,00	0,40	3,40	17,00	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:29:11 PM
29,17	60,00	0,70	5,95	20,40	164,93	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:30:12 PM
39,29	70,00	1,10	9,35	23,80	165,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:31:12 PM
46,88	80,00	1,50	12,75	27,20	165,10	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:32:12 PM
61,11	90,00	2,20	18,70	30,60	165,13	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:33:12 PM
60,00	100,00	2,40	20,40	34,00	165,20	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:34:13 PM
61,36	110,00	2,70	22,95	37,40	165,20	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:35:13 PM
64,58	120,00	3,10	26,35	40,80	165,13	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:36:13 PM
67,31	130,00	3,50	29,75	44,20	165,05	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:37:13 PM
67,86	140,00	3,80	32,30	47,60	165,00	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:38:14 PM
68,33	150,00	4,10	34,85	51,00	164,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:39:14 PM
68,75	160,00	4,40	37,40	54,40	164,78	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:40:14 PM
70,59	170,00	4,80	40,80	57,80	164,78	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/28/2010 5:41:14 PM
72,22	180,00	5,20	44,20	61,20	164,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:42:15 PM
72,37	190,00	5,50	46,75	64,60	164,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:43:15 PM
72,50	200,00	5,80	49,30	68,00	164,90	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/28/2010 5:44:15 PM

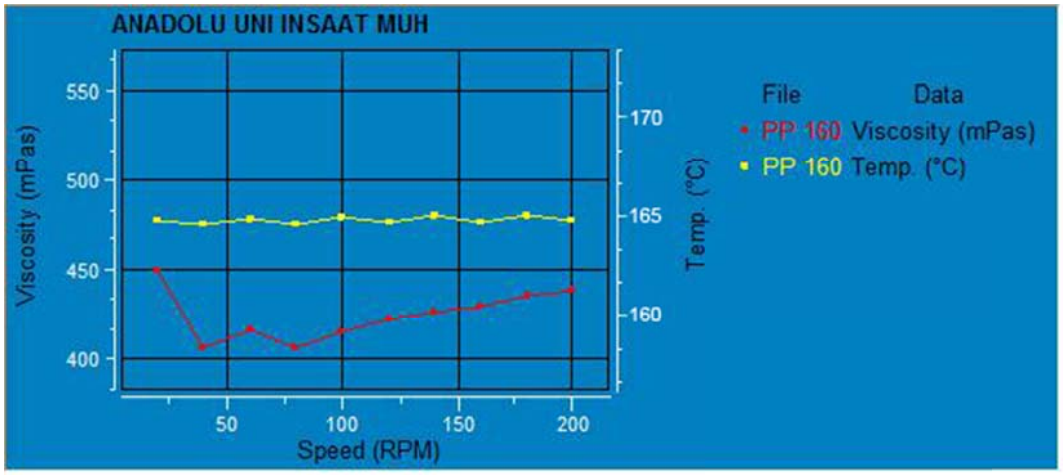


Şekil 5.22. 165°C'de kontrol numunesinin hız viskozite grafiği

Çizelge 5.17 165°C'de kontrol numunesi bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
450,00	20,00	3,60	30,60	6,80	164,78	00:00:32.0	SC4-27	RV	1/15/2010 5:06:35 PM
406,25	40,00	6,50	55,25	13,60	164,60	00:00:30.2	SC4-27	RV	1/15/2010 5:07:05 PM
416,67	60,00	10,00	85,00	20,40	164,85	00:00:30.3	SC4-27	RV	1/15/2010 5:07:35 PM
406,25	80,00	13,00	110,50	27,20	164,63	00:00:30.2	SC4-27	RV	1/15/2010 5:08:05 PM
415,00	100,00	16,60	141,10	34,00	164,95	00:00:30.3	SC4-27	RV	1/15/2010 5:08:36 PM
422,92	120,00	20,30	172,55	40,80	164,65	00:00:30.3	SC4-27	RV	1/15/2010 5:09:06 PM
426,79	140,00	23,90	203,15	47,60	165,00	00:00:30.3	SC4-27	RV	1/15/2010 5:09:36 PM
429,69	160,00	27,50	233,75	54,40	164,68	00:00:30.5	SC4-27	RV	1/15/2010 5:10:07 PM
436,11	180,00	31,40	266,90	61,20	165,03	00:00:30.8	SC4-27	RV	1/15/2010 5:10:38 PM
438,75	200,00	35,10	298,35	68,00	164,75	00:00:30.5	SC4-27	RV	1/15/2010 5:11:08 PM

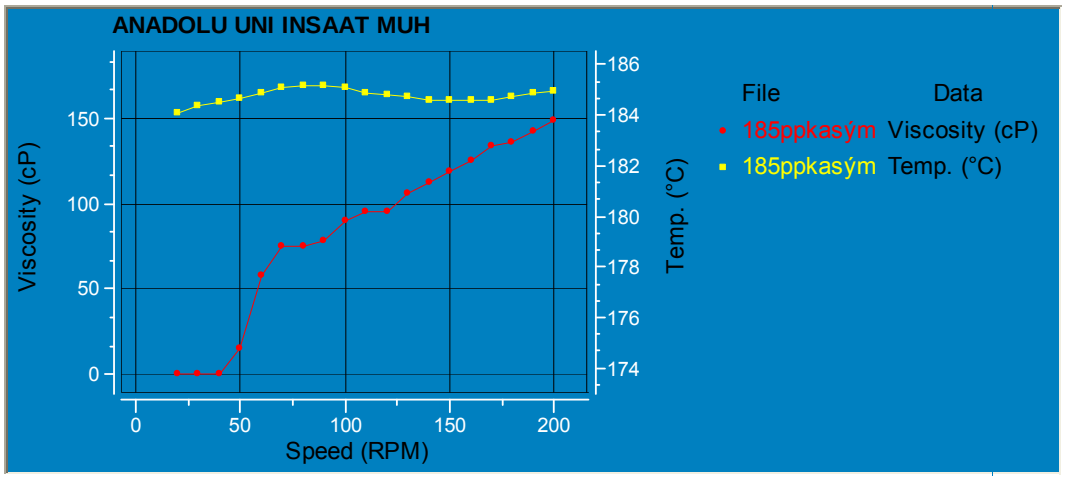
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.23. 165°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

Çizelge 5.18 185°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (°C)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
0,00	20,00	-1,20	0,00	6,80	184,08	00:01:01.1	SC4-27	RV	11/10/2010 7:14:40 PM
0,00	30,00	-0,40	0,00	10,20	184,38	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:15:40 PM
0,00	40,00	0,00	0,00	13,60	184,53	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:16:40 PM
15,00	50,00	0,30	2,55	17,00	184,68	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:17:41 PM
58,33	60,00	1,40	11,90	20,40	184,85	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:18:41 PM
75,00	70,00	2,10	17,85	23,80	185,10	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:19:41 PM
75,00	80,00	2,40	20,40	27,20	185,15	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:20:41 PM
77,78	90,00	2,80	23,80	30,60	185,15	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:21:42 PM
90,00	100,00	3,60	30,60	34,00	185,13	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:22:42 PM
95,45	110,00	4,20	35,70	37,40	184,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:23:42 PM
95,83	120,00	4,60	39,10	40,80	184,78	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:24:42 PM
105,77	130,00	5,50	46,75	44,20	184,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:25:43 PM
112,50	140,00	6,30	53,55	47,60	184,58	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:26:43 PM
118,33	150,00	7,10	60,35	51,00	184,58	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:27:43 PM
125,00	160,00	8,00	68,00	54,40	184,58	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:28:43 PM
133,82	170,00	9,10	77,35	57,80	184,60	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:29:44 PM
136,11	180,00	9,80	83,30	61,20	184,75	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:30:44 PM
142,11	190,00	10,80	91,80	64,60	184,85	00:01:00.2	SC4-27	RV	11/10/2010 7:31:44 PM
148,75	200,00	11,90	101,15	68,00	184,98	00:01:00.3	SC4-27	RV	11/10/2010 7:32:44 PM



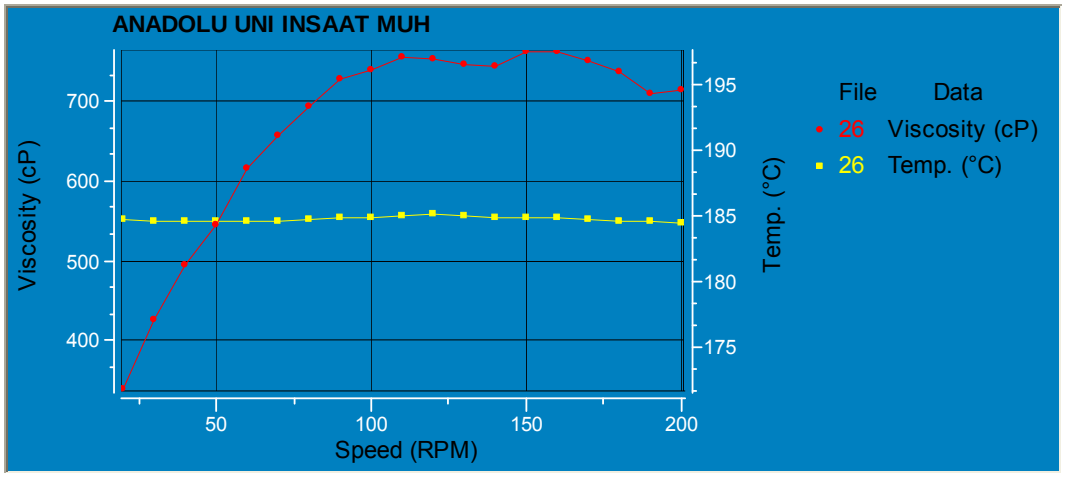
Şekil 5.24. 185°C'de ‰ 5.5 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.19 185°C'de ‰ 7.0 PP katkılı bitümün viskozite değerleri

Vizkosite (cP)	Dönüş Hızı (rpm)	Tork (%)	Kayma Gerilmesi (D/cm2)	Kayma Hızı (1/sn)	Sıcaklık (ºC)	Geçen Süre	Spindle	Model	Tarih
337,50	20,00	2,70	22,95	6,80	184,75	00:01:03.0	SC4-27	RV	12/26/2010 2:07:42 PM
425,00	30,00	5,10	43,35	10,20	184,60	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:08:42 PM
493,75	40,00	7,90	67,15	13,60	184,58	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:09:42 PM
545,00	50,00	10,90	92,65	17,00	184,58	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:10:43 PM
616,67	60,00	14,80	125,80	20,40	184,55	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:11:43 PM
657,14	70,00	18,40	156,40	23,80	184,60	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:12:43 PM
693,75	80,00	22,20	188,70	27,20	184,73	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:13:43 PM
727,78	90,00	26,20	222,70	30,60	184,80	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:14:44 PM
740,00	100,00	29,60	251,60	34,00	184,88	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:15:44 PM
754,55	110,00	33,20	282,20	37,40	184,95	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:16:44 PM
754,17	120,00	36,20	307,70	40,80	185,10	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:17:44 PM
746,15	130,00	38,80	329,80	44,20	184,98	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:18:45 PM
744,64	140,00	41,70	354,45	47,60	184,88	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:19:45 PM
763,33	150,00	45,80	389,30	51,00	184,85	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:20:45 PM
762,50	160,00	48,80	414,80	54,40	184,78	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:21:45 PM
750,00	170,00	51,00	433,50	57,80	184,63	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:22:46 PM
737,50	180,00	53,10	451,35	61,20	184,58	00:01:00.2	SC4-27	RV	12/26/2010 2:23:46 PM
710,53	190,00	54,00	459,00	64,60	184,53	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:24:46 PM
713,75	200,00	57,10	485,35	68,00	184,45	00:01:00.3	SC4-27	RV	12/26/2010 2:25:46 PM

Brookfield deney aletiyle son olarak ‰ 7.0 polipropilen katkılı bitüm numunelerinin davranışı incelenmiş ve deney 185°C uygulanmıştır (Çizelge 5.19). Bu deneyde de 20 rpm de yeterli tork oluşmamasına rağmen 0,338 Pa·s viskozite değeri okunabilmiştir. Ayrıca 100-200 rpm dönüş sayıları arasında da, 0,743 Pa·s değeri hesaplanmıştır. Son olarak Şekil 5.25'de hız viskozite grafiği verilmiştir.



Şekil 5.25. 185°C'de ‰ 7.0 PP katkılı bitümün hız viskozite grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.20 Dönel viskozite deneyi sonuçları

NUMUNE ADI	20 rpm'de VİSKOZİTE DEĞERİ (Pa·s)	100 rpm'de VİSKOZİTE DEĞERİ (Pa·s)	200 rpm'de VİSKOZİTE DEĞERİ (Pa·s)
135°C'de kontrol numunesi	0,166	0,218	0,341
165°C'de kontrol numunesi	-	0,060	0,073
135°C'de ‰ 3.0PP katkılı numune	0,400	0,763	0,725
165°C'de ‰ 3.0PP katkılı numune	0,263	0,215	0,209
185°C'de ‰ 3.0PP katkılı numune	0,075	0,120	0,112
165°C'de ‰ 5.5PP katkılı numune	0,450	0,415	0,439
185°C'de ‰ 5.5PP katkılı numune	-	0,090	0,149
185°C'de ‰ 7.0PP katkılı numune	0,338	0,740	0,714

Çizelge 5.20'de, yapılan bütün viskozite deneylerinin sonucları verilmiştir. Brookfield deneyleri sonucunda görülmüştür ki; bitüm numuneleri sıcaklık düştükçe daha viskoz bir hal almaktadır. Kontrol numunemizin değeri 135°C'de SC4-27 numaralı spindle ile 0,166 Pa·s çıkmıştır. Bu değer 3,0 Pa·s değerinden küçük olduğu için bitümün deneylerde kullanılmasında bir sakınca yoktur. Aynı sıcaklıkta ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin viskozite değeri 0,400 Pa·s olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi ‰ 3.0'lük bir katkıda bile bitümün viskozite değeri yaklaşık 2,5 kat artmıştır. Daha yüksek katkılı bitümlerin viskozitelerini ölçebilmek için standardın dışına çıkılmış ve viskozite değerlerinin okunabilmesi için sıcaklık arttırılmıştır. Ayrıca 20 rpm dönüş hızında okumalar alınamadığı için ara değer olan 100 rpm ve 200 rpm dönüş hızları kıyaslama için kullanılmıştır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Özellikle 165°C'de yapılan çalışmalar son derece belirleyici olmuştur. Bu sıcaklıkta ‰ 3.0 PP katkısı bitümün viskozitesini yaklaşık 3 kat, ‰ 5.5 PP katkısı ise yine yaklaşık olarak 6 kat arttırmıştır. Son olarak ise 185°C'de yapılan çalışmalara bakılacak olursa, öncelikle bu sıcaklıkta kontrol numunesi bitüm için mevcut spindle ile okuma yapabilmek mümkün değildir. Bu sebeple ‰ 3.0 ve ‰ 7.0 PP katkılı bitüm numunelerinin viskozite değerlerini karşılaştıracak olursak, özellikle 100 rpm ve 200 rpm dönüş hızlarında bir kıyaslama yapılır ise, viskozite değerlerinin 6 kat arttığı görülmektedir. Daha önceki karşılaştırmalarımızı bu duruma uyarlar isek; ‰ 7.0 PP katkılı bitüm numunelerinin viskozite değerleri yaklaşık 15 kat artmıştır diyebiliriz.

Sonuç olarak; viskozite deneyleri sonucunda beklenildiği gibi bitüm düşük sıcaklıklarda daha viskoz bir halde bulunmaktadır. Polipropilen modifiyesi ise bitümün viskozluğunu arttıran bir uygulamadır. Buda sıcak iklimli bölgelerde polipropilen modifiyesinin çok daha tercih edilebilir bir uygulama olduğunun bir başka göstergesidir.

Aşağıda Şekil 5.26 ve 5.27'de deneylerde kullanılan RV tip Brookfield Termosel Viskozimetresini, deneyin yapılış anını ve deneylerde kullanılan SC4-27 numaralı spindle gösterilmiştir.

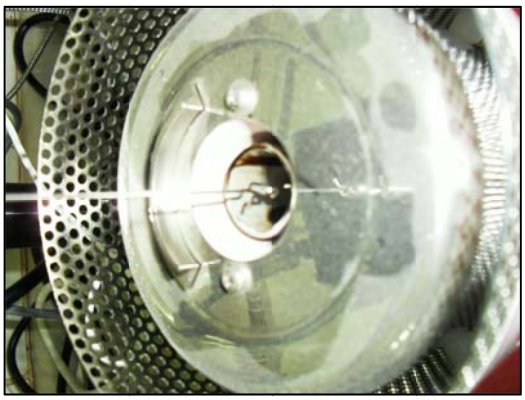


Şekil 5.26. Brookfield Termosel Viskozimetresi

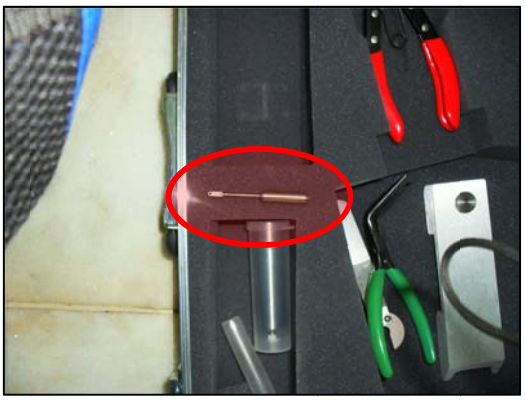
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(a)



(b)



(c)

Şekil 5.27. (a) – (b) Brookfield deneyinin yapılış anı, (c) SC4-27 numaralı spindle

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.3. Polipropilen Fiberler

Superpave ve Marshall numunelerinin hazırlanmasında, bitüm ve bitümlü sıcak karışımlarda katkı malzemesi olarak M-03 tipi polipropilen kullanılmıştır. Burada M tipi polipropilen fiberlerin imalatı hakkında bilgi verilmesi uygundur. "M", İngilizce "Multifilament" kelimesinin kısaltılmışıdır. Filament sözcüğünün kelime anlamı incelenecek olursa, filament saç kılı gibi yuvarlak bir kesite sahip olan anlamına gelmektedir. Bu saç kılı gibi yuvarlak kesite sahip olan polipropilen fiberlerin üretilme aşamaları ise şöyledir: polipropilen ilk olarak granül haldedir ve yarıçapı 2 ya da 3 mm olan boncuklardan oluşmaktadır. Bu boncuklar eritme yöntemiyle ekstrüder makinasından geçirilmektedir. Ekstrüder makinası özel bir makina olup, polipropilen fiber imalathanelerinde kullanılmaktadır. Eriyen her bir polipropilen hammaddesi, ekstrüder makinası ağzında bulunan 72 ya da 144 delikten akıtılarak (delik sayılarında makinadan makinaya fark olmaktadır) fırınlama aşamasına gelmektedir. Multifilament tipi polipropilen fiberler adı verilmesinin sebebi, bu fiber demetlerinde (buklelerinde) 72 ya da 144 adet fiber bulunmasından kaynaklanmaktadır. Fırınlama aşamasında bu akıtılan filamentler, özel bir işlem vasıtası ile gerdirilmektedir. Burada polipropilen fiberler önemli ölçüde mukavemet kazanmaktadırlar. Daha sonra bu polipropilen fiberler bobinlere sarılmaktadır. İplik haline gelen bu fiber demetleri çeşitli boylarda (bu boylar 3, 6, 9, 12 veya 19 mm olmaktadırlar) kesilerek paketlenmekte ve kullanıma hazır hale gelmektedirler. Şekil 5.28'den de görülebileceği üzere, tüm deneysel çalışmalar boyunca kullanılmış olan M-03 tipi polipropilen fiberler, bu tip 3 mm uzunluğunda demetler halinde paketlerden çıkmakta ve daha sonra ise bitümle karıştırılmaktadırlar.



Şekil 5.28. M-03 tipi polipropilen

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

3mm nominal uzunluğa sahip bu plastomer tipi polimer katkı malzemesi, agreganın ağırlıkça ‰ 3.0 ve 5.5'i oranında bitüme karıştırılması suretiyle tüm deneysel çalışmalar boyunca kullanılmıştır. Böylece literatürde "ıslak karışım" adı altında anılan tipte bir bitüm modifikasyonu gerçekleştirilmiştir. Tapkın, polipropilen fiberlerin asfalt üzerindeki etkisini incelemiştir [55]. Bu çalışma sırasında kullanılan fiberlerin fiziksel özellikleri Çizelge 5.21'de verilmiştir.

Çizelge 5.21 Çalışmada kullanılan polipropilen fiberlerin fiziksel özellikleri [55]

Karakteristikler	**Değer**	**Standart**
Homojenlik, %	%100	—
Renk	Saydam	—
Uzunluk, mm	3-50	—
Erime sıcaklığı, °C	160	—
Maksimum işletme sıcaklığı, ^{o}C	82	—
Isı İletkenliği, 10^{-4} cal/cm-sec-°C	2.6-2.8	ASTM C-177
Özgül Ağırlık, kg/m^3	905	ASTM D-792
Yanma Noktası, ^{o}C	590	
Kırılganlık geçiş sıcaklığı, ^{o}C	-18	
%40'lık NaOH solüsyonunda 20°C'da 1000 saat kaldıktan sonra mukavemetinin yüzdesi cinsinden alkali rezistansı	99.5	
Su emme, %	< 0.01	ASTM D-570
20°C ve %65 bağıl nemlilikte nem muhafazası	< 0.1%	ASTM D-265
Kopma dayanımı, MPa	31-41	ASTM D-638
Uzama, %	≥ 33	
Kopmada uzama, %	100-600	ASTM D-638

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çekme dayanımı, MPa	33	ASTM D-638
Basınç dayanımı, MPa	48	ASTM D-695
Basınç modülü, MPa	—	—
Eğilme mukavemeti, MPa	41-55	ASTM D-790
Çekme modülü, MPa	1345	ASTM D-638
Çekmede uzama, %	12	ASTM D-638
Esneme dayanımı, MPa	48	ASTM D-790
Esneme modülü, MPa	1241	ASTM D-790
İzod darbe dayanımı, J/m	101	ASTM D-256
Sertlik (Rockwell)	92	ASTM D-785
Isıl genleşme katsayısı, m/m/ $^{\circ}$C, 10^{-5}	6	ASTM D-696
Isıyla deformasyon sıcaklığı, °C (at 0.46 MPa and 1.82 MPa)	99/52	ASTM D-648
Voltaj direnci (V/mil) kısa zamanlı, 0.32 cm kalınlık	500-660	ASTM D-149
Dielektrik sabiti 1 kHz'de	2.25	ASTM D-150
Dielektrik sabiti 1 kHz'de	2.25	ASTM D-150
Yitirgenlik faktörü 1 kHz'de	0.0005- 0.0018	ASTM D-150
Spesifik hacim direnci (ohm-cm) 50% RH'de	$8.5x10^{14}$	ASTM D-257
Ark direnci (sec)	160	ASTM D-495

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.4. Superpave Yoğurmalı Kompaktör ile Yapılan Çalışmalar

5.4.1. Asfalt betonu numunelerinin hazırlanması

Her bir karışımda 1100 gr agrega kullanılmıştır (Şekil 5.29). Kullanılan 1100 gr ağırlığındaki agrega, Çizelge 5.1'de belirtilen agrega gradasyonuna (Aşınma Tabakası Tip-2) göre hazırlanmıştır [111]. Agrega numuneleri 24 saat boyunca 170°C'ye ayarlanmış etüvde bekletilmiş ve karıştırma sıcaklığına getirilmişlerdir.



Şekil 5.29. Aşınma tabakası Tip-2 gradasyonuna göre elenmiş agrega

Karışımlarda, katkılı ve katkısız olmak üzere iki farklı bitüm kullanılmıştır. Katkısız bitüm hazırlanırken, kullanılacak bitüm miktarı önceden %5 olarak belirlenmiştir. Karışımın sağlıklı olması için bitüm de 170°C'ye kadar ısıtılmıştır. Modifiye bitüm hazırlanırken kullanılan katkı malzemesinin (polipropilen) miktarı ‰ 3.0 ile ‰ 5.5 olarak seçilmiştir. Bu oranlar agreganın ağırlığı esas alınarak hesaplanmıştır. 170°C'ye kadar ısıtılmış bitüm, dakikada en az 500 devir yapacak şekilde ayarlanmış mikser yardımı ile karıştırılmıştır. Miktarı hesaplanmış polipropilen, bitümün içine karıştırma işlemi sırasında yavaş yavaş eklenmiştir. Sıcaklığın sabit kalmasına dikkat edilerek yapılan bu karıştırma işlemi 2 saat sürmüştür.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.30. Modifiye bitüm üretimi

Karışım sırasında, bitüm veya agrega ile temas edebilen her türlü aparat da 170°C'ye kadar ısıtılmıştır. Bunu yapmaktaki amaç, malzemelerin en iyi şekilde karışmasını sağlamaktır. Tüm malzeme ve aparatlar istenen sıcaklığa getirildiğinde bitümlü karışımın hazırlanmasına başlanmıştır. Önce 1100 gr agrega karışım kabına yerleştirilmiştir. Daha sonra bitüm, agrega karışımına eklenmiş ve mikserde karıştırılmıştır. Karışım süresi en az 2 dakika olarak ayarlanmıştır. Numuneler kalıba yerleştirilmeden önce karışım sıcaklıkları ölçülmüş ve kontrol numuneleri için karışım sıcaklığı 145°C iken PP katkılı numunelerde ise 160°C olarak ayarlanmıştır. Karıştırma işleminin ardından numune üç aşamada kalıba yerleştirilmiştir. Kullanılan kalıbın çapı 100 mm'dir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Daha sonra Superpave yoğurmalı kompaktöre yerleştirilen numune, alete girilen değer kadar yoğrulmuştur. Bu değer yoğurma sayısı, birim ağırlık ya da istenilen yükseklik olarak girilebilir. 100 mm'lik kalıplarla ilgili bu konuda herhangi bir standart olmadığından dolayı çalışma sürekli yeni yoğurma sayıları yükseklik ya da birim ağırlık değerleri girilerek sürdürülmüş ve yeni bir değer önerilmeye çalışılmıştır. Kullanılan Superpave yoğurmalı kompaktörü maksimum 999kPa'lık basınç uygulayabilmekte ve yoğurma açısı 3 dereceye kadar bilgisayar destekli olarak değiştirilebilmektedir. Ayrıca sistem dakikada 3 ila 60 devir yapabilme yetisine sahiptir. Çalışmalarımızın hepsinde, yoğurma işlemi 30devir/dak yoğurma hızında yapılmıştır.

Yoğurma işlemi bittikten sonra aletin üzerinde bulunan ve hava ile çalışan bir mekanizma ile numuneler kalıptan çıkarılmış çıkarılan numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakılmıştır. Tüm bu işlemler maksimum 10 dakika içinde bitirilmiştir. Marshall stabilite ve akma deneyi yapılmadan önce 24 saat bekletilen numunelerin, yükseklikleri ile havadaki ve sudaki ağırlıkları ölçülmüştür (Şekil 5.31). Bu değerler Marshall deneyi formlarının hazırlanmasında kullanılmıştır.

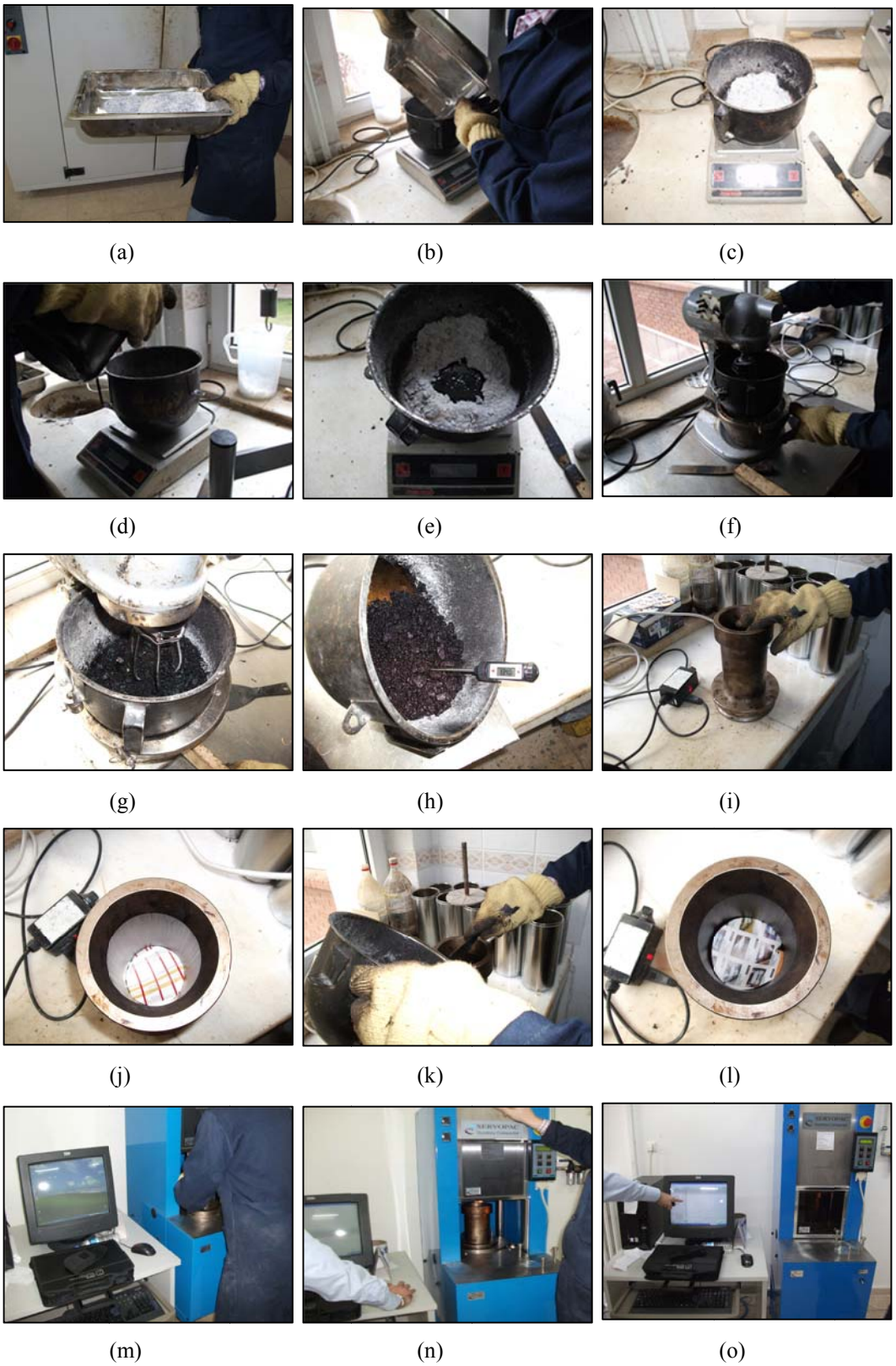






Şekil 5.31. 24 saat bekletilen numunelerin havada ve suda tartımı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(a) (b) (c)

(d) (e) (f)

(g) (h) (i)

(j) (k) (l)

(m) (n) (o)

Şekil 5.32. Yoğurmalı Kompaktör ile numune hazırlanması

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

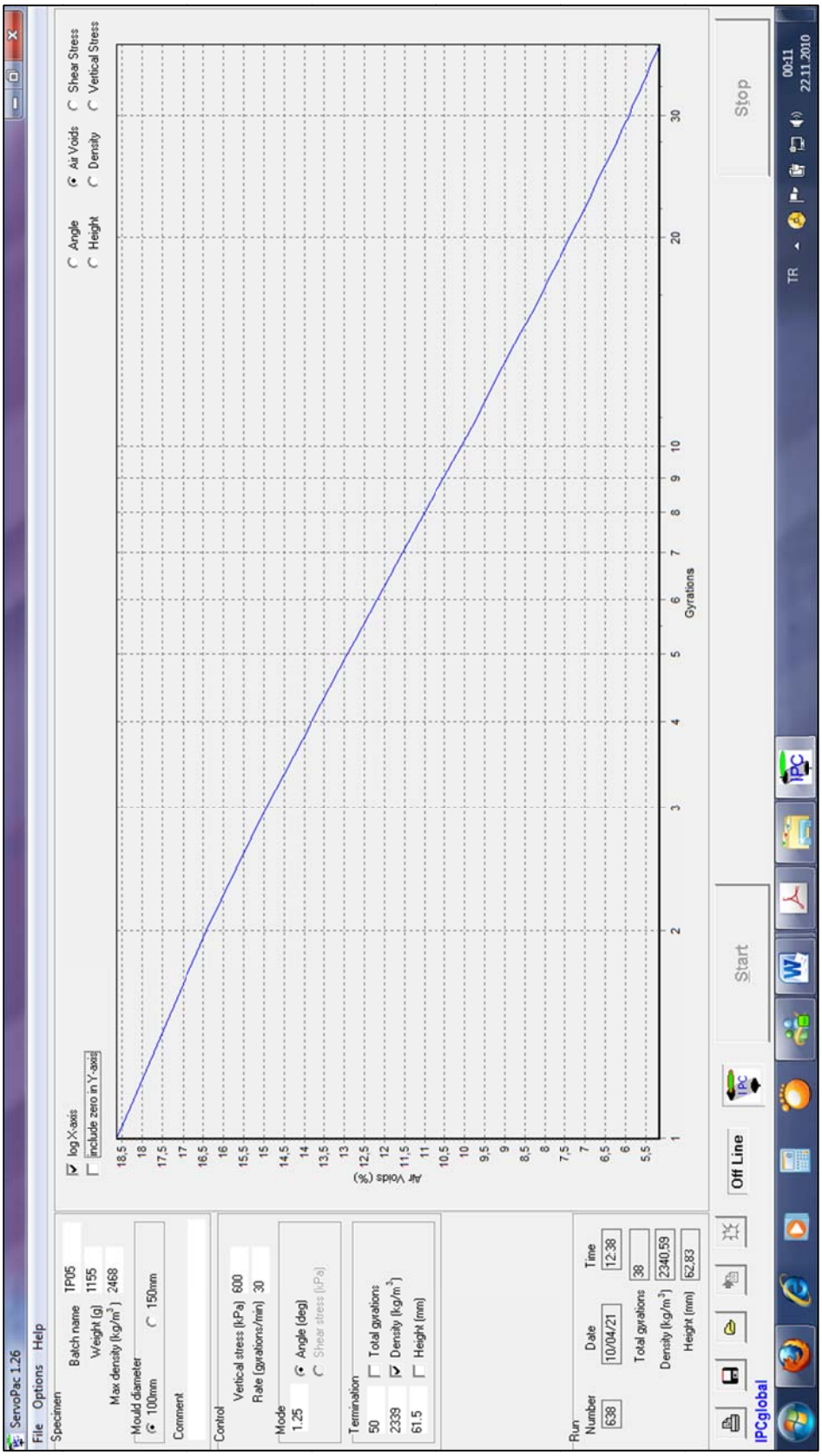


Şekil 5.33. IPC Servopac Yoğurmalı Kompaktörü

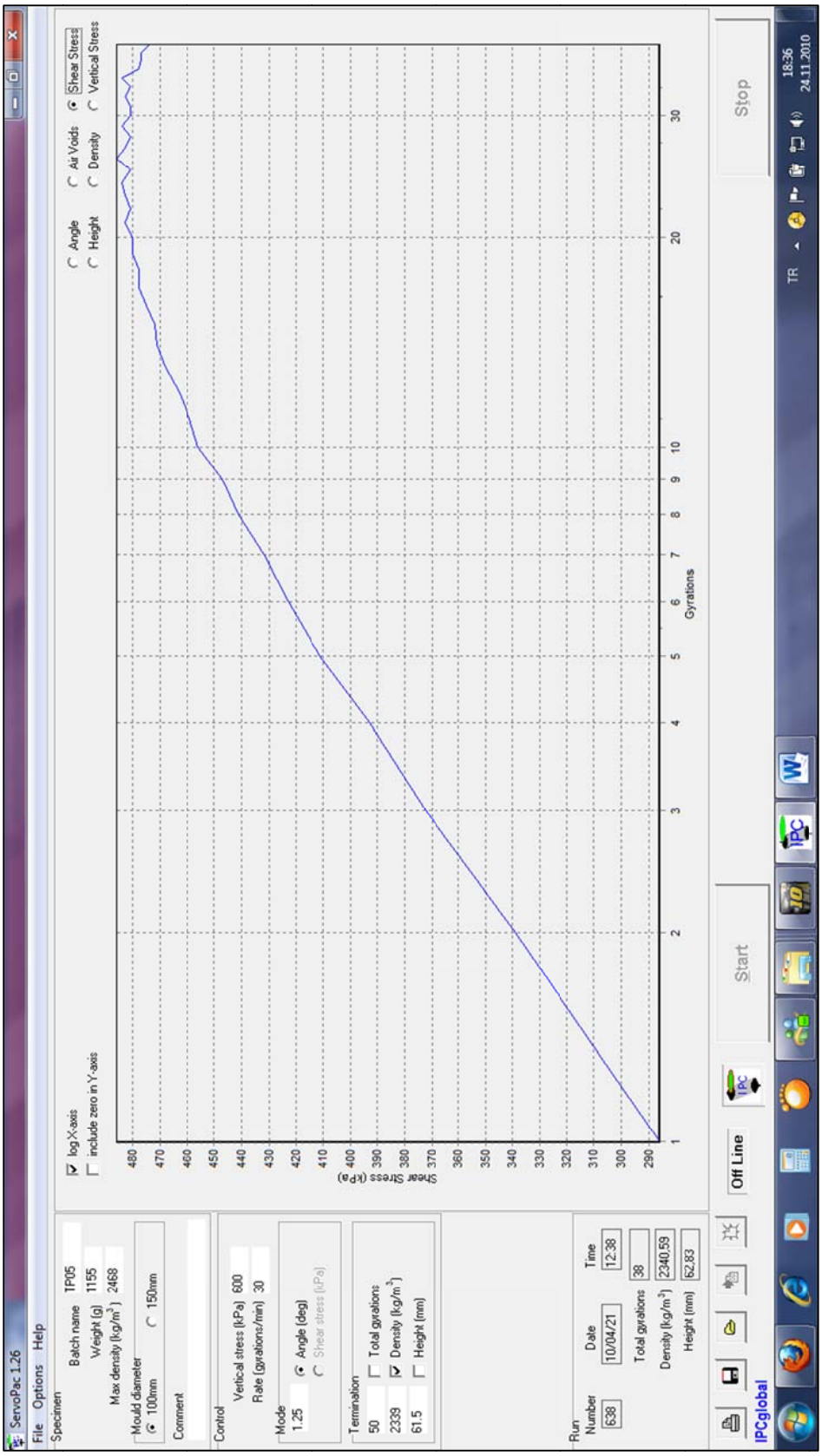
Asfalt betonu karışımlarının hazırlanılması işleminin safhaları tam olarak Şekil 5.32'de gösterilmiştir. Şekil 5.33'de ise IPC Servopac Yoğurmalı Kompaktörü ve kompaktöre bağlı kompresör görülmektedir.

Yoğurmalı kompaktör ile yapılan deneyler esnasında, çalışmanın dördüncü bölümünde de bahsedildiği üzere bilgisayar üzerinden anlık bilgiler grafikler üzerinden kontrol edilebilmektedir. Aşağıdaki şekillerde deney esnası sırasında anlık olarak görüntülenebilen bu grafikler görülmektedir. Şekil 5.34'den 5.39'a kadar göstermiş olduğumuz grafiklerde deney esnasında sırasıyla, yoğurma sayısına karşılık gelen; hava boşluğu, kesme kuvveti, yükseklik, birim ağırlık, düşey basınç ve yoğurma açısı grafikleri verilmiştir. Bu grafiklerde bütün numuneler için sıkıştırmayla beraber hava basıncı ve yükseklik değerleri azalan, birim ağırlık değerleri artan, kesme kuvveti değerleri maksimum bir noktaya kadar arttıktan sonra azalan, düşey basınç ve yoğurma açısı değerleri ise sabit birer fonksiyon olarak gözlemlenmelidir.

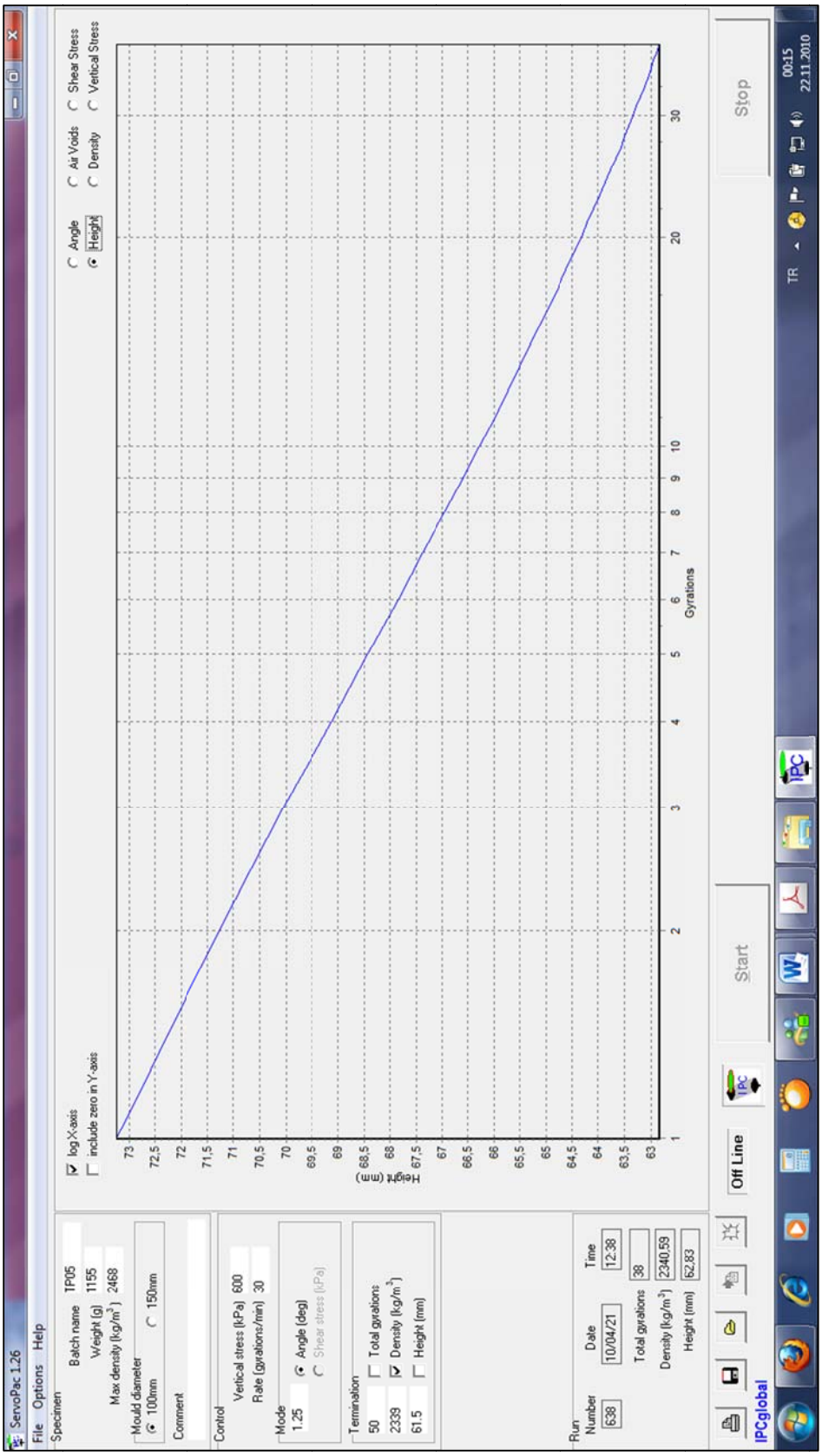
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



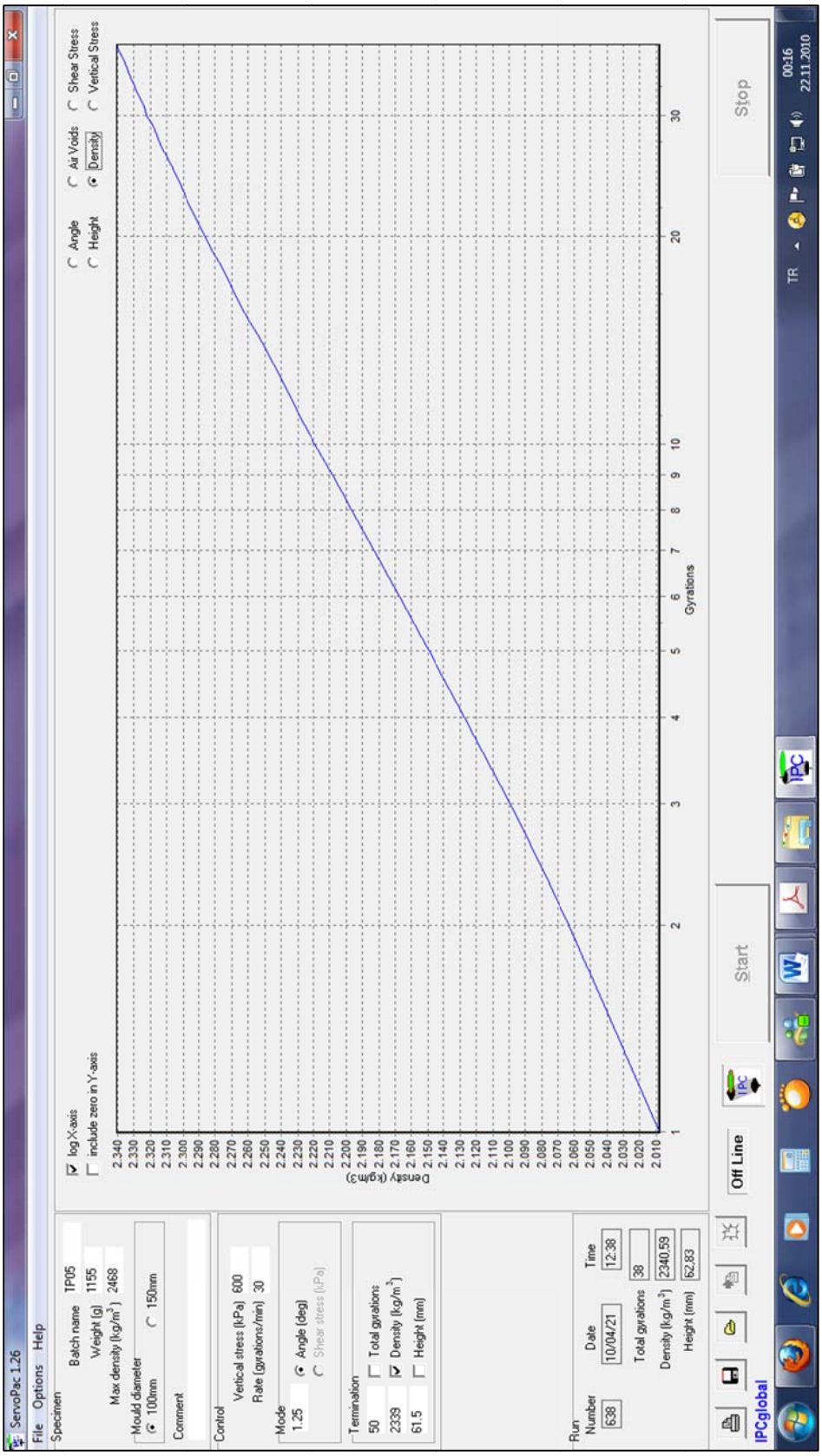
Şekil 5.34. Yoğurma sayısı-Hava Boşluğu Grafiği



Şekil 5.35. Yoğurma sayısı-Kesme Kuvveti grafiği

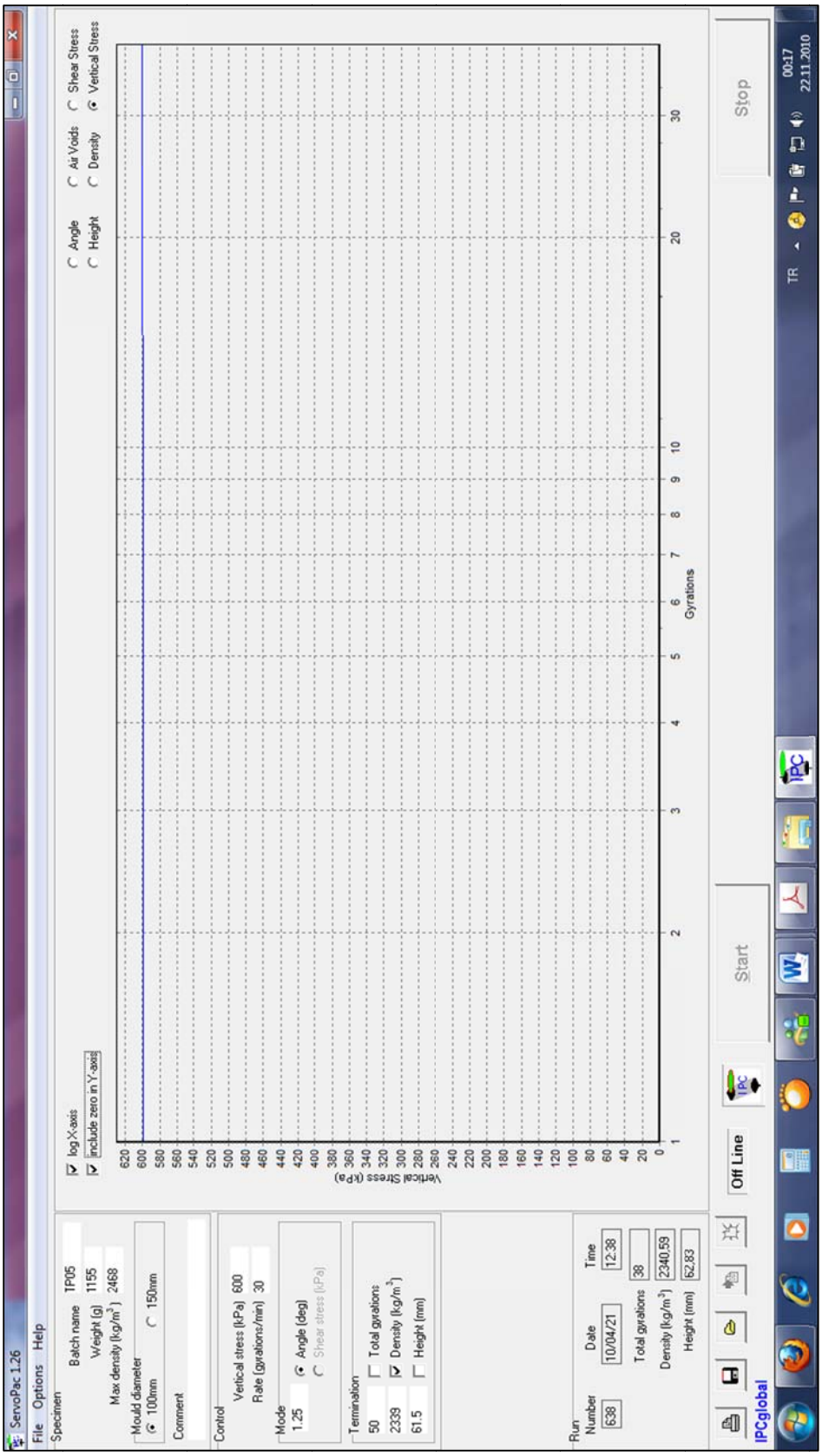


Şekil 5.36. Yoğurma sayısı-Yükseklik grafiği

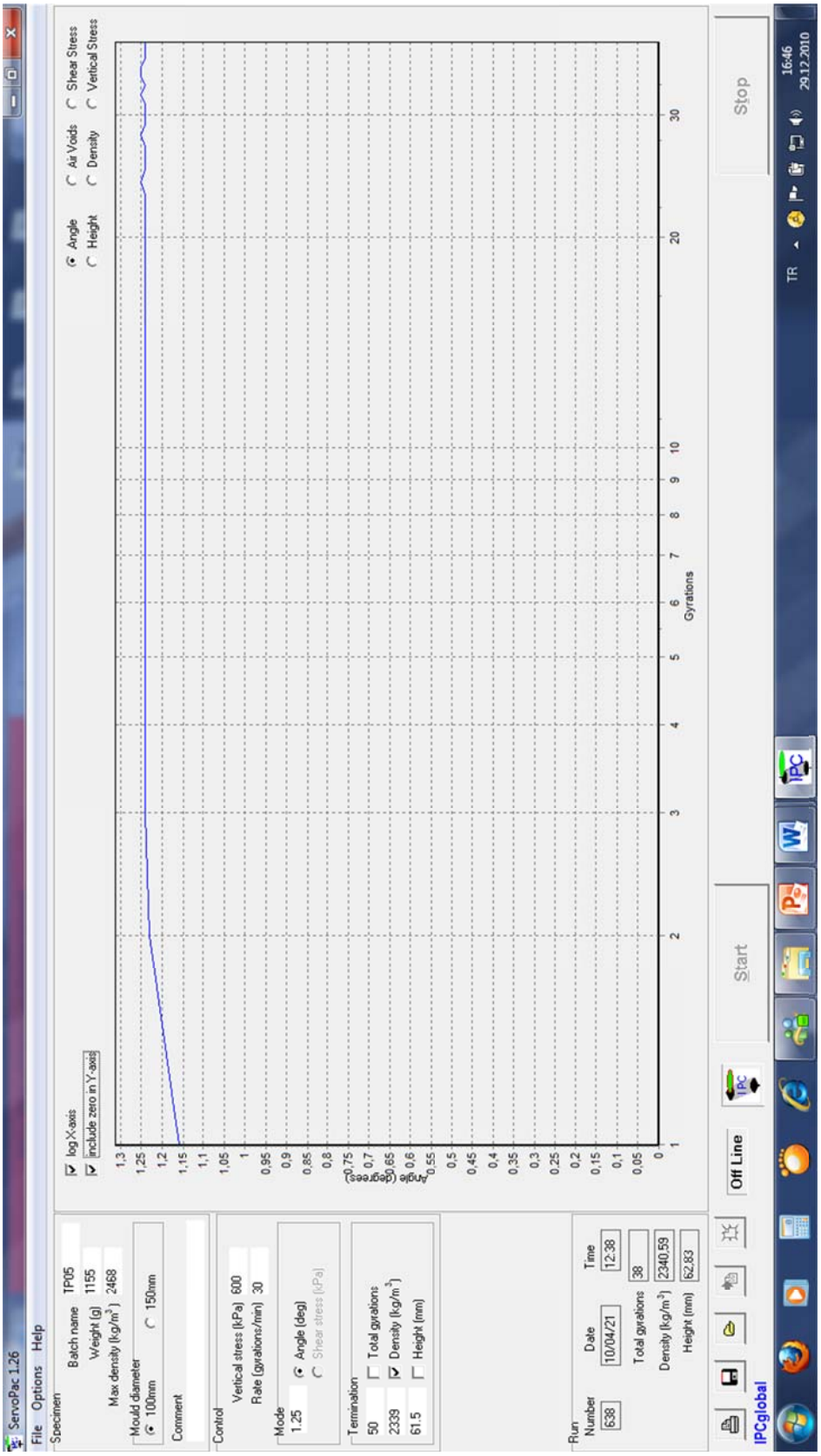


Şekil 5.37. Yoğurma sayısı-Birim Ağırlık grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.38. Yoğurma sayısı-Düşey basınç grafiği



Şekil 5.39. Yoğurma sayısı-Yoğurma açısı grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.4.2. Marshall stabilite ve akma deneyi

Bu deney metodu, Marshall stabilite ve akma deney aleti yardımıyla bitümlü karışımlarından hazırlanan silindirik briketlerin yanal yüzeylerine yükleme yaparak plastik akmaya karsı direncin ölçümünü kapsar. Ülkemiz karayollarında bitümlü karışımlara uygulanan stabilite deneyi Marshall deneyidir. Bu deney esas olarak bir serbest basınç deneyi olup numune yüklendiği sırada tamamen sınırlanmaz.

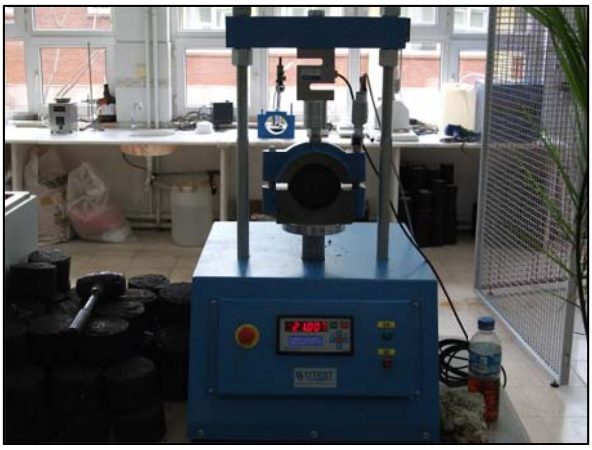
Numuneler, istenilen sıcaklığa getirilmeleri maksadı ile 30 dakika su banyosunda bekletilir (Şekil 5.40). Banyo sıcaklığı asfalt çimentolu briketler için 60ºC'dir. Numune çelik bir halkanın iki segmanı arasına yerleştirilir. Yük ve akma göstergeleri sıfırlanır. Maksimum yüke erişinceye kadar, dakikada 50.8 mm'lik (2 inç) bir hızla yükleme yapılır (Şekil 5.41). Maksimum yük ve akma değeri kaydedilir. Deney numunesinin su banyosundan çıkarılıp, maksimum yük saptamasına kadar geçen süre 30 saniyeden fazla olmamalıdır. Eğer numune yüksekliği 63.5 mm'den (2.5 inç) farklıysa Marshall stabilite düzeltme katsayıları kullanılarak stabilite değerlerine düzeltme faktörü uygulanır.

Deneyde; üst segman sabittir. Alt segman yükleme hızı 50.8 mm/dakikadır. Basınç arttıkça stabilometrede okunan değer artarak maksimuma ulaşır, daha sonra düşmeye baslar. Bu anda numune kırılır. Stabilometrede okunan maksimum değer yardımıyla bitümlü karışımın stabilitesi saptanır. "Marshall stabilitesi" adı verilen bu değer örneğin kırılmasını sağlayan kg cinsinden toplam yük miktarıdır. Kırılma sırasında numunenin çökme ya da hareket miktarı da ölçülür. Buna "akma" denir.



Şekil 5.40. Su banyosunda bekletilen Marshall numuneleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.41. Marshall numunelerinin kırılması

5.4.3. Superpave yoğurmalı kompaktörü ile 100 mm'lik kalıplarla hazırlanan numunelere yeni bir standart önerilmesi

Çok uzun yıllardan beri, (yoğurmalı kompaktörlerin ve türevlerinin esnek üstyapı elemanları ile ilgili çalışmalar yapan laboratuvarlarda kullanılmaya başlamasından bu yana geçen neredeyse tam 60 yıllık bir zaman dilimine tekabül etmektedir) laboratuar ortamında yürütülen çalışmalarda, üretilen bitümlü sıcak karışım numunelerinin neredeyse %99.999'u 150 mm iç çapında kalıplarla hazırlanmış olan yaklaşık 5 kg ağırlığındaki numuneler üretimine yönelik idi. Bu numunelerden daha sonra alınan 10 cm'lik karotlar ve bazen de direkt olarak 150 mm çaplı numunelerin kullanılmasıyla (bu numuneler tabi çok değişik yüksekliklerde, ama genellikle 115 mm yükseklikte üretilmektedir) mekanik deneylere tabi tutulmaları vesilesiyle birçok bilimsel yayın yapılmıştır [102]. 150 mm çapında, 115 mm yüksekliğinde ve yaklaşık olarak 5 kg ağırlığındaki bu numunelerin, 100 mm çapındaki kalıplarla üretilen numunelere göre, 3 ana başlık altında toplanabilecek önemli olumsuzlukları bulunmaktadır. Bunlar:

1) 100 mm çapında kalıplar kullanılarak asfalt numuneler üretildiğinde, numuneleri hazırlamak için gerekli olan malzeme miktarı % 400 oranında azalmaktadır. Böylece, numune hazırlamak için harcanan süre, numuneleri depolama alanı ve numunelerin taşınması işlemleri için harcanan zamandan da önemli oranda tasarruf edilmektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

2) 100 mm çapında üretilmiş olan numuneler ile konvansiyonel mekanik testleri (ki bunlar Marshall stabilite ve akma, değişik sıcaklık ve yükleme paternlerinde UTM ile tekrarlı ve statik sünme deneyleri, yorulma deneyleri ve rijitlik modülü deneyleri vs.) laboratuar ortamında yürütmek çok kolay, hızlı ve ekonomiktir.
3) Tüm dünyadaki, yoğun bitümlü sıcak karışımlar ile yapılan aşınma tabakası dizaynlarında kullanılan maksimum agrega boyutu 25.4 mm'dir (1inch); bu yüzden ASTM, AASHTO ve KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) standartlarına göre de 150 mm'lik kalıp kullanılarak numune hazırlamaya, çok ender durumlar dışında gerek bulunmamaktadır [102]

Dördüncü bölümdeki literatür taramalarından da anlaşılacağı gibi 150 mm çaplı asfalt numuneler için Superpave tasarım dizaynı bir standart geliştirdiği halde 100 mm çaplı numuneler için henüz bir standart geliştirilememiştir. Bu nedenle bu çalışmanın asıl amaçlarından biride literatüre yeni bir önerme sunabilmektir.

İşte bu amaçla Anadolu Üniversitesi Ulaştırma laboratuvarlarında Superpave Yoğurmalı Kompaktöründe toplam 983 adet 100 mm çapında asfalt numunesi hazırlanmıştır (Yaklaşık 1,1 ton). Bu numunelerin fiziksel özelliklerinin uygunluğu için, daha önceden yine aynı laboratuvarda hazırlanılmış olan Marshall numunelerinin fiziksel özellikleriyle karşılaştırılmıştır. 2008 senesinde Şenol Özcan tarafından hazırlanan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezindeki Marshall numunelerin fiziksel özelliklerine yakın fiziksel özelliklerdeki numuneler üretilmeye çalışılmıştır.

2008 senesinde hazırlanan tezdeki numunelerin ortalama fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 5.22'de verilmiştir [27].

Çizelge 5.22 Marshall numunelerin ortalama fiziksel ve mekanik değerleri [27]

Polipropilen Miktarı (‰)	**Stabilite (kg)**	**Birim Ağırlık (kg/m^3)**	**Hava Boşluğu (%)**	**V_f (%)**	**V.M.A (%)**	**Akma (mm)**	**Marshall Oranı (kg/mm)**
0.0	1294,355	2465	3,443	76,990	14,919	3,463	376,899
3.0	1542,140	2432	4,707	70,710	16,033	2,982	523,329
5.5	1917,643	2394	6,214	64,261	17,360	2,678	755,850

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çalışmada fiziksel anlamda bir benzerlik için kontrol ve PP katkılı numunelerinin fiziksel özelliklerinin; hava boşluğu, asfaltla dolu boşluk, V.M.A ve birim ağırlık değerleri kontrol edilmiştir. Stabilite, Akma ve Marshall Oranı gibi mekanik özellikleri gösterir değerleri karışım dizaynının farklı olması sebebiyle zaten farklı değerler olarak kendini göstermesi beklenmektedir. PP katkılı numuneler için ise 2008 senesinde Şenol ÖZCAN tarafından yapılan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezinde bulunan ve PP modifiyesi için optimum değer olan ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması yapılmıştır.

Ayrıca çalışmalarımızın bir sonraki bölümünde Marshall ve Superpave numunelerinin tekrarlı sünme deneyleri karşılaştırılacak olması sebebiyle ve 2007 senesinde Ün UŞAR tarafından yapılan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezindeki Marshall numunelerinin ‰ 3.0 PP katkısıyla hazırlanılmış olmasından ötürü ‰ 3.0 PP katkılı numunelerinde fiziksel ve mekanik özelliklerini karşılaştırma gereği oluşmuştur.

Servopac ile yapılan bütün çalışmalarda çalışmanın gidişatına göre (özellikle aletin çok kapsamlı olmasından ötürü), hazırlanan asfalt betonu numunelerinin; yoğurma sayısı, numune yüksekliği, birim ağırlık, düşey basınç ve açı parametrelerinin sürekli olarak değiştirilmesi ile hazırlanmıştır. Hazırlanılan 100 mm çaplı numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.23'den 5.57'ye kadar olan tablolarla gösterilmiştir. Tablolar kronolojik sırada verilmiş olup, isimlendirilirken döküldükleri tarihlere göre isimlendirilmiştir. Tablo üzerinde sıkıştırma parametreleri verilmiş, yoğurma işleminin bitirilmesi istenilen durum bitiş kısımlarında açıklanmıştır. PP katkısı kısımlarında ise hazırlanan asfalt betonu içerisindeki PP oranları belirtilmiştir. Ayrıca yine tabloların üst kısımlarında farklı tarz sıkıştırmalar notlar bölümünde ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Tablolar Marshall deney formlarının bir benzeri olup, numune özellikleri ile karşılaştırılması açısından fazladan yoğurma sayısı (GYR SAYISI) sütunları ve açı çalışmaları için gerekli görülen yerlerde yoğurma açısı sütunları eklenmiştir. Bütün bu çalışmaların en son halleri (parametre değişikliklerinin numunelerin özelliklerine etkisinin anlaşılabilmesi için) bir özet niteliğinde ve çeşitli tablo ve grafiklerle ekler kısmında verilecektir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.23 600 kPa dişey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (11-12-13.11.2009)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³		BİTİŞ: GYR SAYISI											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 0.0 ‰		NOT: 12.NUMUNE 2452 kg/m3, 13,14 VE 16. NUMUNELER 2445 kg/m3, 15.NUMUNE 2435 kg/m3 BİRİM AĞIRLIKTA BİTİRİLMİŞTİR.											
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{ass})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,00	1135,3	677,5	457,8	2480	2533	11,681	86,229	2,090	13,771	84,820	2,078	2480	100	1511,6	1,10000	1662,760	3,545	469,044
2	5,000	4,762	61,00	1142,9	681,4	461,5	2476	2533	11,664	86,110	2,225	13,890	83,980	2,212	2476	105	1386,5	1,07000	1483,555	3,600	412,099
3	5,000	4,762	61,00	1140,4	679,8	460,6	2476	2533	11,662	86,090	2,248	13,910	83,836	2,236	2476	105	1355,1	1,07000	1449,957	3,690	392,942
4	5,000	4,762	60,40	1133,9	671,9	462,0	2454	2533	11,560	85,340	3,100	14,660	78,854	3,087	2454	105	1200,3	1,09000	1308,327	3,692	354,368
5	5,000	4,762	60,10	1129,9	669,8	460,1	2456	2533	11,567	85,390	3,043	14,610	79,171	3,031	2456	105	1229,3	1,10000	1352,230	3,620	373,544
6	5,000	4,762	61,00	1153,2	687,2	466,0	2475	2533	11,656	86,047	2,297	13,953	83,539	2,284	2475	110	1436,2	1,07000	1536,734	3,956	388,457
7	5,000	4,762	59,60	1136,4	679,6	456,8	2488	2533	11,717	86,502	1,781	13,498	86,806	1,768	2488	110	1321,1	1,11000	1466,421	4,027	364,147
8	5,000	4,762	60,00	1136,6	678,3	458,3	2480	2533	11,681	86,234	2,085	13,766	84,853	2,072	2480	110	1370,0	1,10000	1507,000	3,664	411,299
9	5,000	4,762	60,20	1141,0	680,5	460,5	2478	2533	11,670	86,154	2,176	13,846	84,286	2,163	2478	110	1441,2	1,09000	1570,908	3,633	432,400
10	5,000	4,762	60,20	1142,0	681,5	460,5	2480	2533	11,681	86,229	2,090	13,771	84,823	2,077	2480	110	1382,4	1,09000	1506,816	3,355	449,125
11	5,000	4,762	59,50	1133,7	676,9	456,8	2482	2533	11,690	86,296	2,014	13,704	85,301	2,002	2482	110	1401,1	1,12000	1569,232	3,628	432,534
12	5,000	4,762	60,00	1140,1	680,5	459,6	2481	2533	11,684	86,254	2,062	13,746	85,002	2,049	2481	154	1390,7	1,10000	1529,770	3,705	412,893
13	5,000	4,762	60,00	1136,5	678,3	458,2	2480	2533	11,683	86,245	2,072	13,755	84,933	2,060	2480	96	1573,0	1,10000	1730,300	3,731	463,763
14	5,000	4,762	60,10	1143,9	683,8	460,1	2486	2533	11,710	86,448	1,842	13,552	86,409	1,829	2486	79	1507,4	1,10000	1658,140	3,812	434,979
15	5,000	4,762	60,10	1139,0	679,0	460,0	2476	2533	11,663	86,096	2,241	13,904	83,881	2,228	2476	62	1369,2	1,10000	1506,120	3,550	424,259
16	5,000	4,762	60,00	1139,5	681,1	458,4	2486	2533	11,708	86,435	1,857	13,565	86,312	1,844	2486	71	1457,7	1,10000	1603,470	3,634	441,241
17	5,000	4,762	60,00	1143,7	682,8	460,9	2481	2533	11,688	86,283	2,029	13,717	85,206	2,017	2481	110	1500,0	1,10000	1650,000	3,664	450,328
18	5,000	4,762	59,50	1137,9	681,9	456,0	2495	2533	11,754	86,768	1,479	13,232	88,824	1,466	2495	110	1512,4	1,12000	1693,888	4,569	370,735
19	5,000	4,762	59,00	1122,1	670,8	451,3	2486	2533	11,711	86,454	1,835	13,546	86,454	1,822	2486	110	1403,1	1,13000	1585,503	3,539	448,009
20	5,000	4,762	60,00	1142,1	683,5	458,6	2490	2533	11,730	86,594	1,676	13,406	87,500	1,663	2490	110	1414,7	1,10000	1556,170	3,379	460,542
21	5,000	4,762	59,50	1132,7	676,9	455,8	2485	2533	11,705	86,409	1,886	13,591	86,123	1,873	2485	110	1339,4	1,12000	1500,128	3,569	420,322
22	5,000	4,762	59,20	1131,6	677,6	454,0	2493	2533	11,740	86,667	1,593	13,333	88,055	1,580	2493	110	1541,5	1,12000	1726,480	3,713	464,982
23	5,000	4,762	59,50	1139,6	682,1	457,5	2491	2533	11,733	86,612	1,655	13,388	87,637	1,642	2491	110	1570,5	1,12000	1758,960	3,405	516,581
24	5,000	4,762	60,40	1152,0	688,5	463,5	2485	2533	11,707	86,421	1,872	13,579	86,214	1,859	2485	110	1414,7	1,09000	1542,023	3,658	421,548
Ort.																					

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³		BİTİŞ: GYR SAYISI											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 5,5 ‰													
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{ass})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,70	1129,7	671,7	458,0	2467	2533	11,618	85,766	2,616	14,234	81,622	2,603	2467	110	1912,7	1,11000	2123,097	3,760	564,653
2	5,000	4,762	59,80	1141,5	680,1	461,4	2474	2533	11,653	86,023	2,324	13,977	83,374	2,311	2474	110	2087,7	1,11000	2317,347	3,636	637,334
3	5,000	4,762	61,50	1157,7	686,0	471,7	2454	2533	11,560	85,339	3,101	14,661	78,850	3,088	2454	70	2070,6	1,05000	2174,130	3,491	622,781
4	5,000	4,762	60,80	1147,7	681,3	466,4	2461	2533	11,590	85,563	2,846	14,437	80,286	2,833	2461	95	2181,9	1,07000	2334,633	3,792	615,673
5	5,000	4,762	59,70	1134,8	675,7	459,1	2472	2533	11,642	85,947	2,411	14,053	82,846	2,398	2472	110	2038,9	1,11000	2263,179	5,766	392,504
6	5,000	4,762	60,00	1139,6	679,6	460,0	2477	2533	11,669	86,142	2,190	13,858	84,200	2,177	2477	110	2006,4	1,10000	2207,040	3,451	639,536
7	5,000	4,762	60,50	1155,8	689,0	466,8	2476	2533	11,662	86,094	2,244	13,906	83,862	2,231	2476	146	2198,2	1,08000	2374,056	3,414	695,388
Ort.			**60,29**									**14,161**	**82,149**	**2,520**	**2469**	**107**			**2256,212**	**3,901**	**595,410**

Çizelge 5.24 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (08-09-23.12.2009)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³						SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI						PP KATKISI : 0,0 ‰						BİTİŞ: GYR SAYISI					
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,99	1142,6	682,4	460,2	2483	2538	11,501	86,331	2,168	13,669	84,139	2,155	2483	100	1524,000	1,09969	1675,928	4,069	411,877
2	5,000	4,762	60,52	1145,3	681,0	464,3	2467	2538	11,426	85,771	2,803	14,229	80,302	2,790	2467	100	1409,700	1,08313	1526,888	3,872	394,341
3	5,000	4,762	60,23	1143,1	682,3	460,8	2481	2538	11,491	86,256	2,253	13,744	83,609	2,240	2481	100	1413,900	1,09219	1544,247	3,748	412,019
4	5,000	4,762	60,04	1140,5	679,6	460,9	2475	2538	11,462	86,041	2,496	13,959	82,117	2,483	2475	95	1552,300	1,09813	1704,627	4,136	412,144
5	5,000	4,762	60,62	1150,2	685,3	464,9	2474	2538	11,460	86,027	2,513	13,973	82,016	2,500	2474	95	1461,900	1,08000	1578,852	3,722	424,195
6	5,000	4,762	59,97	1142,0	682,2	459,8	2484	2538	11,505	86,361	2,134	13,639	84,351	2,122	2484	95	1428,800	1,10031	1572,123	3,683	426,859
7	5,000	4,762	59,80	1129,5	672,6	456,9	2472	2538	11,451	85,957	2,591	14,043	81,547	2,578	2472	90	1443,700	1,10563	1596,198	3,710	430,242
8	5,000	4,762	59,23	1130,7	676,6	454,1	2490	2538	11,534	86,579	1,887	13,421	85,943	1,874	2490	90	1452,800	1,12344	1632,134	4,201	388,511
9	5,000	4,762	60,20	1143,6	682,5	461,1	2480	2538	11,489	86,238	2,274	13,762	83,479	2,261	2480	90	1451,100	1,09313	1586,241	4,208	376,958
10	5,000	4,762	60,98	1150,9	684,7	466,2	2469	2538	11,435	85,839	2,726	14,161	80,752	2,713	2469	85	1436,200	1,06875	1534,939	3,927	390,868
11	5,000	4,762	60,81	1148,1	684,9	463,2	2479	2538	11,482	86,185	2,334	13,815	83,107	2,321	2479	85	1456,100	1,07406	1563,939	3,845	406,746
12	5,000	4,762	59,90	1136,0	677,0	459,0	2475	2538	11,464	86,057	2,479	13,943	82,221	2,466	2475	85	1399,800	1,10250	1543,280	3,810	405,060
Ort.			**60,19**									**13,863**	**82,799**	**2,375**	**2477**	**93**			**1588,283**	**3,911**	**406,652**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³						SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI						PP KATKISI : 5,5 ‰						BİTİŞ: GYR SAYISI					
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	65,26	1145,4	648,3	497,1	2304	2538	10,673	80,118	9,208	19,882	53,685	9,196	2304	100	1247,500	0,92600	1155,185	4,161	277,622
2	5,000	4,762	65,60	1152,8	648,4	504,4	2285	2538	10,587	79,469	9,944	20,531	51,565	9,932	2285	100	1389,900	0,91750	1275,233	4,875	261,586
3	5,000	4,762	64,58	1151,0	657,8	493,2	2334	2538	10,810	81,147	8,043	18,853	57,339	8,031	2334	100	1616,200	0,94418	1525,984	4,387	347,842
4	5,000	4,762	61,64	1149,5	672,8	476,7	2411	2538	11,170	83,846	4,984	16,154	69,147	4,972	2411	95	2347,600	1,04813	2460,590	3,555	692,149
5	5,000	4,762	62,51	1152,8	675,1	477,7	2413	2538	11,179	83,911	4,911	16,089	69,478	4,898	2413	95	2171,400	1,02475	2225,142	3,605	617,238
6	5,000	4,762	64,75	1153,7	658,8	494,9	2331	2538	10,798	81,058	8,144	18,942	57,007	8,132	2331	95	1493,300	0,93955	1403,030	4,293	326,818
7	5,000	4,762	63,47	1152,4	667,9	484,5	2379	2538	11,018	82,704	6,278	17,296	63,703	6,266	2379	90	1928,500	1,00075	1929,946	4,152	464,823
8	5,000	4,762	63,63	1150,9	665,2	485,7	2370	2538	10,976	82,393	6,631	17,607	62,339	6,619	2370	90	1748,300	0,98960	1730,118	4,046	427,612
9	5,000	4,762	62,99	1141,3	662,9	478,4	2386	2538	11,051	82,952	5,997	17,048	64,822	5,985	2386	90	1699,300	1,01275	1720,966	4,100	419,748
10	5,000	4,762	62,99	1157,6	677,0	480,6	2409	2538	11,157	83,752	5,091	16,248	68,668	5,079	2409	85	1966,700	1,01275	1991,775	4,028	494,482
11	5,000	4,762	64,68	1150,2	658,7	491,5	2340	2538	10,840	81,371	7,789	18,629	58,189	7,777	2340	85	1590,500	0,94145	1497,376	4,281	349,773
12	5,000	4,762	61,43	1149,7	679,3	470,4	2444	2538	11,322	84,984	3,695	15,016	75,395	3,682	2444	85	2264,000	1,05469	2387,818	3,969	601,617
13	5,000	4,762	64,37	1146,9	654,7	492,2	2330	2538	10,794	81,022	8,184	18,978	56,875	8,172	2330	95	1369,200	0,94991	1300,617	4,475	290,641
14	5,000	4,762	65,38	1148,3	643,4	504,9	2274	2538	10,535	79,080	10,385	20,920	50,360	10,373	2274	110	1206,100	0,92300	1113,230	4,422	251,748
15	5,000	4,762	62,63	1148,6	667,9	480,7	2389	2538	11,068	83,083	5,848	16,917	65,428	5,836	2389	115	1853,800	1,02175	1894,120	3,957	478,676
16	5,000	4,762	62,45	1145,8	667,8	478,0	2397	2538	11,104	83,349	5,547	16,651	66,684	5,535	2397	115	1662,700	1,02625	1706,346	3,517	485,171
17	5,000	4,762	63,05	1148,2	666,2	482,0	2382	2538	11,035	82,830	6,135	17,170	64,268	6,123	2382	120	1798,100	1,01125	1818,329	3,654	497,627
18	5,000	4,762	63,81	1149,1	658,1	491,0	2340	2538	10,841	81,376	7,783	18,624	58,208	7,771	2340	120	1625,400	0,97520	1585,090	3,605	439,692
19	5,000	4,762	63,49	1148,9	662,2	486,7	2361	2538	10,935	82,080	6,985	17,920	61,021	6,973	2361	125	1653,600	1,00025	1654,013	3,943	419,481
20	5,000	4,762	62,13	1148,4	671,9	476,5	2410	2538	11,164	83,801	5,035	16,199	68,917	5,023	2410	125	1958,400	1,03425	2025,475	3,711	545,803
21	5,000	4,762	62,02	1146,1	669,8	476,3	2406	2538	11,146	83,668	5,185	16,332	68,249	5,173	2406	130	1905,300	1,03700	1975,796	3,846	513,728
22	5,000	4,762	61,64	1144,2	673,3	470,9	2430	2538	11,255	84,487	4,257	15,513	72,556	4,245	2430	130	1925,200	1,04813	2017,860	3,796	531,575
23	5,000	4,762	64,77	1144,6	650,0	494,6	2314	2538	10,720	80,467	8,813	19,533	54,881	8,801	2314	130	1418,000	0,93900	1331,502	4,595	289,772
24	5,000	4,762	61,53	1149,0	678,1	470,9	2440	2538	11,303	84,842	3,856	15,158	74,564	3,843	2440	135	2266,400	1,05156	2383,256	3,992	597,008
Ort.			**63,37**									**17,592**	**63,056**	**6,601**	**2370**	**107**			**1754,533**	**4,040**	**442,593**

İlk olarak 600 kPa basınç ve 1.25 derecelik yoğurma açısıyla numuneler hazırlanmaya başlanmıştır. Çizelge 5.23'de ilk çalışmaların fiziksel ve mekanik özelliklerini görmekteyiz. Bu sonuçlar göstermiştir ki kontrol ve PP katkılı numunelerde, yüksek dönme sayılarında (GYR number), numunelerin hava boşlukları normalin çok çok altında seyretmektedir.

Çizelge 5.24'de ise görüldüğü gibi dönüş sayılarında kontrollü düşüşler yapılarak fiziksel özellikler anlaşılmaya çalışılmıştır. Kontrollü numunelerde 100 dönüşten başlanarak her 3 numunede bir dönüş sayısı 5 dönüş azaltılmıştır ancak hava boşlukları değerleri yine aranan değerlerin çok çok altında bulunmuştur. Katkılı numunelerde de yine kontrol numunelerinde yapıldığı gibi önce dönüş sayısı azaltılmış sonrasında artırılmış hatta 135 dönüş sayısına kadar çıkılmış ancak yine de aranılan özelliklerde numunelere rastlanılmamıştır.

Bir sonraki kısımda, Yoğurmalı Kompaktör ile 25.12.2009 tarihinden 22.04.2010 tarihine kadar, belirli bir mantık silsilesi dahilinde, dönüş sayısı (gyration number), birim ağırlık, numune yüksekliği, basınç, dönme açısı gibi çok çeşitli kontrollü değişkenlerin değiştirilmesi ve bu değişiklikler sonucu ortaya çıkan durumların analizi ile yürütülmüş olan yaklaşık "720 (yedi yüz yirmi)" adet 10 cm'lik Marshall replikalarının fiziksel ve mekanik test sonuçları ve bu sonuçlar üzerine yapılan yorumlar verilmiştir.

Yoğurmalı kompaktör kullanılarak ve de bir anlamda cihazın kalibrasyonunu sağlamaya yönelik olarak üretilmiş olan ilk seri numunelerden sonra çalışmalara asıl baz teşkil edecek olan numunelerin üretilmesine başlanmıştır. Aşağıda Çizelge 5.25 ila 5.55 arasında verilen ve döküm tarihleriyle gruplanmış olan 10 cm'lik Marshall replikası numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri tabüler halde sunulmuştur. Bu numuneler, kontrol ve polipropilen fiberler (M-03 tipi) ile modifiye edilmiş olarak üretilmişlerdir. Çok değişik parametreler (dönüş sayısı [gyration number], birim ağırlık, numune yüksekliği, basınç, dönme açısı vb.) değiştirilerek hazırlanmıştır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.25 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25.12.2009)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³		BİTİŞ: GYR SAYISI											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰													
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,79	1148,0	682,7	465,3	2467	2538	11,429	85,788	2,783	14,212	80,417	2,770	2467	75	1404,800	1,07469	1509,725	3,894	387,705
2	5,000	4,762	60,17	1137,0	676,3	460,7	2468	2538	11,432	85,815	2,753	14,185	80,591	2,740	2468	75	1228,400	1,09406	1343,943	3,520	381,802
3	5,000	4,762	60,19	1128,5	671,4	457,1	2469	2538	11,436	85,844	2,720	14,156	80,785	2,707	2469	70	1269,800	1,09344	1388,450	3,640	381,442
4	5,000	4,762	60,50	1140,9	680,1	460,8	2476	2538	11,469	86,090	2,441	13,910	82,452	2,428	2476	70	1367,500	1,08375	1482,028	3,846	385,343
5	5,000	4,762	59,99	1132,7	673,8	458,9	2468	2538	11,434	85,825	2,741	14,175	80,662	2,728	2468	70	1394,800	1,09969	1533,848	4,198	365,376
6	5,000	4,762	60,47	1148,1	683,7	464,4	2472	2538	11,452	85,962	2,586	14,038	81,577	2,573	2472	65	1397,300	1,08469	1515,637	4,570	331,649
7	5,000	4,762	60,62	1148,9	683,8	465,1	2470	2538	11,443	85,892	2,665	14,108	81,109	2,652	2470	65	1351,800	1,08000	1459,944	3,647	400,314
8	5,000	4,762	61,52	1146,9	677,5	469,4	2443	2538	11,318	84,957	3,725	15,043	75,240	3,712	2443	60	1283,100	1,05188	1349,667	3,640	370,788
9	5,000	4,762	60,77	1150,1	684,3	465,8	2469	2538	11,437	85,853	2,710	14,147	80,845	2,697	2469	60	1343,500	1,07531	1444,679	4,507	320,541
10	5,000	4,762	60,27	1144,1	683,0	461,1	2481	2538	11,494	86,276	2,231	13,724	83,745	2,218	2481	80	1428,800	1,09094	1558,735	3,656	426,350
11	5,000	4,762	60,07	1143,4	683,5	459,9	2486	2538	11,517	86,448	2,036	13,552	84,979	2,023	2486	80	1519,100	1,09719	1666,741	3,623	460,045
12	5,000	4,762	60,29	1149,6	686,7	462,9	2483	2538	11,504	86,353	2,143	13,647	84,298	2,130	2483	80	1417,200	1,09031	1545,187	4,521	341,780
Ort.			**60,47**									**14,075**	**81,392**	**2,615**	**2471**	**71**			**1483,215**	**3,939**	**379,428**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³		BİTİŞ: GYR SAYISI (10,11 VE 12. NUMUNELER 60.7mm YÜKSEKLİĞE GÖRE)											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰		NOT: 10-16 ARASI NUMUNELER 240kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISIYLA SIKIŞTIRILMIŞTIR											
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,47	1149,1	673,2	475,9	2415	2538	11,185	83,958	4,857	16,042	69,721	4,845	2415	55	1347,600	1,05344	1419,616	8,007	177,297
2	5,000	4,762	59,47	1145,9	681,1	464,8	2465	2538	11,420	85,723	2,857	14,277	79,991	2,844	2465	152	1611,200	1,11594	1798,003	3,985	451,193
3	5,000	4,762	60,48	1147,2	677,8	469,4	2444	2538	11,321	84,980	3,699	15,020	75,371	3,687	2444	60	1418,800	1,08438	1538,518	3,885	396,015
4	5,000	4,762	60,78	1140,4	669,5	470,9	2422	2538	11,218	84,207	4,575	15,793	71,031	4,563	2422	60	1239,200	1,07500	1332,140	2,876	463,192
5	5,000	4,762	60,70	1144,8	676,1	468,7	2443	2538	11,314	84,928	3,757	15,072	75,070	3,745	2443	70	1340,200	1,07750	1444,066	3,841	375,961
6	5,000	4,762	60,69	1154,8	684,7	470,1	2456	2538	11,379	85,415	3,206	14,585	78,020	3,193	2456	99	1483,400	1,07781	1598,823	3,869	413,239
7	5,000	4,762	60,69	1144,6	674,8	469,8	2436	2538	11,286	84,715	3,999	15,285	73,834	3,987	2436	68	1364,200	1,07781	1470,348	4,078	360,556
8	5,000	4,762	60,70	1155,5	685,1	470,4	2456	2538	11,379	85,412	3,209	14,588	78,003	3,196	2456	96	1485,000	1,07750	1600,088	4,284	373,503
9	5,000	4,762	60,70	1145,5	674,5	471,0	2432	2538	11,266	84,565	4,169	15,435	72,991	4,156	2432	75	1452,800	1,07750	1565,392	3,987	392,624
10	5,000	4,762	60,69	1142,1	675,1	467,0	2446	2538	11,329	85,037	3,635	14,963	75,709	3,622	2446	92	1278,100	1,07781	1377,549	4,912	280,446
11	5,000	4,762	60,70	1153,8	685,2	468,6	2462	2538	11,406	85,614	2,980	14,386	79,285	2,967	2462	159	1336,900	1,07750	1440,510	4,592	313,700
12	5,000	4,762	60,67	1136,5	670,1	466,4	2437	2538	11,288	84,729	3,984	15,271	73,912	3,971	2437	92	1210,200	1,07844	1305,128	4,287	304,439
13	5,000	4,762	60,69	1168,8	695,7	473,1	2471	2538	11,444	85,903	2,654	14,097	81,177	2,641	2471	357	1341,800	1,07781	1446,205	5,327	271,486
14	5,000	4,762	61,17	1144,0	673,4	470,6	2431	2538	11,261	84,526	4,213	15,474	72,773	4,200	2431	100	1250,800	1,06281	1329,363	4,431	300,014
15	5,000	4,762	61,95	1150,1	675,4	474,7	2423	2538	11,223	84,243	4,534	15,757	71,226	4,521	2423	100	1307,900	1,03875	1358,581	4,000	339,645
16	5,000	4,762	60,71	1141,0	674,5	466,5	2446	2538	11,330	85,046	3,624	14,954	75,763	3,612	2446	120	1337,700	1,07719	1440,957	4,434	324,979
Ort.																					

Çizelge 5.25'de gözlemlenebileceği üzere bu ardışık iki gün boyunca süren çalışmalarda, dönüş sayısı parametresi hedef alınarak kontrol numuneleri üretilmiştir (polipropilen ile modifiye edilmemiş). Bu üretilmiş olan 28 adet numune (600 kPa düşey basınç, 1.25° dönme açısı), bazı parametreler değiştirilerek üretilmiştir. 24.12.2009 tarihinde üretilmiş olan numunelerde, diğer tüm parametreler sabit tutularak, gyration number (dönüş sayısı) değerleri 60 (2 tane), 65 (2 tane), 70 (3 tane), 75 (2 tane) ve 80 (3 tane) olmak üzere 12 adet 100 mm'lik numune üretilmiştir. Bu gibi değişik paternler uygulayarak deney yapılmasının sebebi, literatürde 150 mm çaplı kalıplarla hazırlanmış olan yoğurmalı kompaktör numuneleri için belirli bir konsensüs ve yine eşdeğer dingil yükleri için kabul edilmiş olan dönüş sayılarının mevcut olmasına rağmen 100 mm'lik numuneler için bu değerlerin bırakın standartlaşmış olması, üzerinde çok sınırlı sayıda çalışma yapılmış olmasından dolayıdır [105].

25.12.2009 tarihinde üretilmiş olan numunelerin (Çizelge 5.25) 10 ila 16 arasında olanları 600 kPa düşey basınç-1.25° dönme açısı değil, 240 kPa düşey basınç-2° dönme açısı kullanılarak hazırlanmıştır [105]. Bu da literatürdeki mevcut bulunan çalışmalardan yine önemli derecede farklılık gösteren ve devam eden deneysel çalışmaların çeşitli aşamalarında titizlikle irdelenmiş ve daha da detaylı bir şekilde irdelenecek olan bir noktadır. Bu 240 kPa düşey basınç - 2° dönme açısı kullanılarak hazırlanan numuneler, esasen Avustralya'da kullanılagelen ve Marshall numunelerinin hazırlanma sistemini (darbeleme enerjisi ve tokmaklama sayısı bazında) Yoğurmalı Kompaktörlerde simule ederek, Marshall replikası (V.M.A., V_f, V_a, Stabilite, akma, Marshall oranı vs.) üretimine yönelik bir araştırma tipi yükleme simülasyon tekniğidir. Esasen bu tekniğin yoğun olarak kullanılmış olduğu ve benimsendiği pek fazla bir çalışma literatürde bulunmamaktadır [105]. Ancak "Austroads Report, A Review of Austroads Gyratory Compaction Research, Austroads Project No: TT1135" isimli bir ARRB raporu olan (henüz resmiyet kazanmamış) bu çalışmada, laboratuvarımızda bulunan IPC Servopac yoğurmalı kompaktörü ve bir alt modeli ile yürütülmüş olan yoğun çalışmalar sonucu ortaya çıkan "deneyimler" bir anlamda sunulmakta ve irdelenmektedir [105]. Çizelge 5.25'den gözlemlenebileceği gibi, ilk olarak 60 dönüş sayısı, daha önceki çalışmalardan elde etmiş olduğumuz veriler ışığında

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

optimal dönüş sayısı olarak düşünülmüştür. Ancak bu dönemde hazırlanmış olan numuneler yine cihazın kalibrasyonu için bir anlamda "test numunesi" olarak kullanılmış olmasından ötürü, zaman zaman sağlıksız sonuçlarda elde edilmiştir (bakınız numune 2 [152 dönüş sayısı] ve numune 13 [357 dönüş sayısı]).

Çizelge 5.26. Asfalt betonu dizayn kriterleri [111]

	Minimum	**Maksimum**
Marshall Stabilitesi, kg	900	-
Boşluk, V_a, %	3	5
Asfaltla dolu boşluk, V_f, %	65	75
Mineral agregadaki boşluk, V.M.A,%	14	-
Akma, mm	2	4
Filler/bitüm oranı	-	1.5
Bitüm (ağırlıkça, yüzde)	4.0	7.0

Yukarıda Çizelge 5.26'da gözlemlenebilecek asfalt betonu dizayn kriterlerine göre, yoğurmalı kompaktör kullanılarak hazırlanmış olan 100 mm'lik numunelerin ilk 12 adetlik kısmı, minimum V.M.A kriterini sağlamakta, ancak V_f değerleri limitlerin çok üzerinde ve buna bağlı olarak ta V_a değerleri minimum değerlerin altında bulunmaktadır. Stabilite değerleri beklenen değerler olan 1200 kg'ın çok üzerinde olup, akma değerleri ise tam tersine beklenen değer olan 3 mm'den çok daha fazladır. Marshall oranı (Stabilite/akma) değerleri ise belirli kararları verebilmek için yeterli değildir. Bu sebepten ötürü, ikinci serideki ilk dört çalışma sonucu 60.7 mm numune yüksekliğine sahip numuneler bir baz teşkil ederek bir miktar numune daha hazırlanmış (KGM şartnamelerine en uygun fiziksel özellikleri taşıdığından dolayı) ve test edilmiştir. 10 ila 16 arası

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

numuneler hazırlanırken ise 240 kPa düşey basınç-2°dönme açısı kullanılmıştır. Bu numunelerin fiziksel ve mekanik deney sonuçları incelendiğinde görülmüştür ki bu değişik yükleme basıncı ve açısı kullanılarak hazırlanan numunelerin tam sağlıklı bir şekilde Marshall replikası üretebilmesi için çok daha fazla ve etraflı analizlerin yapılması şarttır. Bu yüzden çalışmanın ilerleyen aşamalarında bu konuya yeniden dönülecektir.

Çizelge 5.28'de bulunan 24 adet optimal - optimum polipropilen katkısının ‰ 5.5 olduğu ve optimum bitüm muhtevasında hazırlanmış "katkılı" numunelere örneklerdir. Bu değerlerin analizinden de görülebileceği üzere, dönüş sayısı parametresi, Marshall numunesi replikası üretilebilmesi açısından irdelenmiş ve 600 kPa düşey basınç - 1.25° dönme açısı kullanılarak 3 adet 110 dönüş, 3 adet 120 dönüş, 6 adet 115 dönüş, 3 adet 105 dönüş, 3 adet 100 dönüş, 3 adet 95 dönüş ve son olarak 3 adet 90 dönüş sayısı ile asfalt numuneler üretilmiştir. Numunelerin fiziksel özelliklerinin belki de en belirleyici olanı V_a (Hava boşluğu) değerleri analiz edildiğinde çok açık bir şekilde görülmektedir ki, şartname limitlerinden (hem Marshall dizaynı, hem de Superpave dizaynı için % 4) yaklaşık olarak % 2 oranında daha az boşluklu numuneler üretilmiştir. Bunun yanı sıra V.M.A değerleri yine Şekil 5.22'de gösterilen eski çalışmaya göre % 3.5-3.75 oranında az, V_f değerleri yaklaşık % 19 oranında fazla ve mekanik deney sonuçları olan Marshall stabilitesi ve akma değerleri ise sırasıyla % 13 ve % 6 fazladır. En belirleyici kriter olarak kabul edilen Marshall Oranı değerleri ise % 6.5 oranında eski çalışmalara nazaran daha fazladır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.27 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (06-07.01.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³			İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³			FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³			BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³			AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			PP KATKISI : 0,0 ‰			SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI BİTİŞ: GYR SAYISI (1,2 VE 3. NUMUNELER 60.7mm YÜKSEKLİĞE GÖRE) NOT: 1-6 ARASI NUMUNELER 240kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISIYLA SIKIŞTIRILMIŞTIR								
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,68	1136,9	668,7	468,2	2428	2538	11,248	84,432	4,319	15,568	72,254	4,307	2428	66	1222,600	1,07813	1318,122	4,029	327,159
2	5,000	4,762	60,70	1145,2	677,5	467,7	2449	2538	11,342	85,140	3,518	14,860	76,327	3,505	2449	93	1384,900	1,07750	1492,230	4,530	329,411
3	5,000	4,762	60,69	1148,3	680,3	468,0	2454	2538	11,366	85,316	3,319	14,684	77,400	3,306	2454	103	1413,000	1,07781	1522,946	3,332	457,066
4	5,000	4,762	60,27	1140,0	675,8	464,2	2456	2538	11,376	85,392	3,232	14,608	77,876	3,219	2456	110	1417,200	1,09094	1546,080	4,524	341,751
5	5,000	4,762	60,50	1138,9	672,9	466,0	2444	2538	11,321	84,980	3,699	15,020	75,375	3,686	2444	110	1265,700	1,08375	1371,702	4,496	305,094
6	5,000	4,762	60,72	1143,0	675,5	467,5	2445	2538	11,325	85,013	3,662	14,987	75,566	3,649	2445	110	1305,400	1,07688	1405,759	4,528	310,459
7	5,000	4,762	60,91	1144,8	675,4	469,4	2439	2538	11,297	84,802	3,901	15,198	74,333	3,888	2439	70	1378,300	1,07094	1476,077	4,210	350,612
8	5,000	4,762	61,22	1153,3	681,2	472,1	2443	2538	11,316	84,943	3,741	15,057	75,154	3,728	2443	70	1392,300	1,06125	1477,578	3,991	370,228
9	5,000	4,762	60,84	1150,6	679,5	471,1	2442	2538	11,314	84,924	3,763	15,076	75,043	3,750	2442	70	1380,700	1,07313	1481,671	3,669	403,835
10	5,000	4,762	60,36	1140,7	674,0	466,7	2444	2538	11,322	84,987	3,691	15,013	75,414	3,678	2444	70	1435,400	1,08813	1561,902	3,970	393,426
11	5,000	4,762	60,33	1149,2	682,2	467,0	2461	2538	11,399	85,565	3,036	14,435	78,969	3,023	2461	70	1468,500	1,08906	1599,285	3,686	433,881
12	5,000	4,762	60,57	1149,2	679,5	469,7	2447	2538	11,333	85,073	3,593	14,927	75,928	3,580	2447	70	1457,700	1,08156	1576,590	3,896	404,669
Ort.																					

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³			İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³			FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³			BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg/m³			AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			PP KATKISI : 5,5 ‰			SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI BİTİŞ: GYR SAYISI (5,7 VE 9. NUMUNELER 60.7mm 8. NUMUNE 61.7mm YÜKSEKLİĞE GÖRE) NOT: 7-9 ARASI NUMUNELER 240kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISIYLA SIKIŞTIRILMIŞTIR								
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,80	1142,7	683,1	459,6	2486	2533	11,711	86,451	1,838	13,549	86,433	1,825	2486	110	2043,800	1,10563	2259,687	4,029	560,855
2	5,000	4,762	60,80	1154,6	688,0	466,6	2474	2533	11,655	86,041	2,304	13,959	83,495	2,291	2474	110	1973,400	1,07438	2120,181	3,834	552,995
3	5,000	4,762	60,57	1150,0	684,2	465,8	2469	2533	11,629	85,845	2,526	14,155	82,154	2,513	2469	110	2181,100	1,08156	2358,991	3,724	633,456
4	5,000	4,762	59,86	1142,8	682,6	460,2	2483	2533	11,696	86,346	1,958	13,654	85,663	1,945	2483	110	1970,900	1,10375	2175,381	3,898	558,076
5	5,000	4,762	60,83	1156,9	690,0	466,9	2478	2533	11,671	86,157	2,172	13,843	84,309	2,159	2478	130	1970,000	1,07344	2114,677	4,213	501,941
6	5,000	4,762	60,38	1145,9	683,8	462,1	2480	2533	11,680	86,224	2,096	13,776	84,786	2,083	2480	110	1823,900	1,08750	1983,491	4,052	489,509
7	5,000	4,762	61,41	1151,3	682,9	468,4	2458	2533	11,577	85,465	2,957	14,535	79,652	2,945	2458	271	1975,900	1,05531	2085,187	3,811	547,150
8	5,000	4,762	61,68	1146,2	677,8	468,4	2447	2533	11,526	85,087	3,387	14,913	77,286	3,375	2447	36	1720,900	1,04688	1801,576	4,294	419,557
9	5,000	4,762	61,69	1149,0	678,4	470,6	2442	2533	11,500	84,896	3,604	15,104	76,138	3,591	2442	252	1959,300	1,04656	2050,525	4,120	497,700
10	5,000	4,762	60,94	1147,8	681,2	466,6	2460	2533	11,586	85,534	2,879	14,466	80,096	2,867	2460	120	2166,500	1,07000	2318,155	3,804	609,399
11	5,000	4,762	60,60	1148,3	683,5	464,8	2471	2533	11,636	85,903	2,461	14,097	82,545	2,448	2471	120	2195,700	1,08063	2372,739	3,755	631,888
12	5,000	4,762	61,01	1153,9	684,5	469,4	2458	2533	11,579	85,476	2,946	14,524	79,720	2,933	2458	120	2310,300	1,06781	2466,961	4,307	572,780
Ort.																					

Çizelge 5.28 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (08-11.01.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1011 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739 kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0 kg / m³	PP KATKISI :	5,5 ‰	

BİRİKET NO	AÇ %	AÇ %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
						d-e	d/(d-e)		b*gr/(SG$_{asf}$)	(100-b)*gr/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p * Düzeltme F.			mm	q/s
1	5,000	4,762	59,78	1140,6	681,5	459,1	2484	2533	11,702	86,386	1,912	13,614	85,956	1,899	2484	110	2043,000	1,10625	2260,069	3,695	611,656
2	5,000	4,762	60,14	1148,8	686,0	462,8	2482	2533	11,692	86,312	1,997	13,688	85,414	1,984	2482	110	2000,800	1,09500	2190,876	4,308	508,560
3	5,000	4,762	62,78	1157,7	676,2	481,5	2404	2533	11,325	83,602	5,073	16,398	69,063	5,060	2404	110	1967,600	1,01800	2003,017	3,911	512,150
4	5,000	4,762	63,65	1150,9	662,1	488,8	2355	2533	11,090	81,870	7,040	18,130	61,170	7,028	2355	120	1514,900	0,98800	1496,721	4,208	355,685
5	5,000	4,762	59,80	1146,5	685,4	461,1	2486	2533	11,711	86,456	1,832	13,544	86,472	1,819	2486	120	2200,600	1,10563	2433,049	3,855	631,141
6	5,000	4,762	60,15	1150,3	686,8	463,5	2482	2533	11,689	86,294	2,017	13,706	85,286	2,004	2482	120	2173,800	1,09469	2379,637	3,943	603,509
7	5,000	4,762	60,03	1148,6	686,0	462,6	2483	2533	11,695	86,334	1,971	13,666	85,576	1,958	2483	115	2063,300	1,09844	2266,411	3,708	611,222
8	5,000	4,762	60,14	1146,9	684,8	462,1	2482	2533	11,690	86,299	2,010	13,701	85,326	1,998	2482	115	2170,500	1,09500	2376,698	3,813	623,314
9	5,000	4,762	60,47	1153,3	688,4	464,9	2481	2533	11,685	86,258	2,057	13,742	85,031	2,044	2481	115	2152,700	1,08469	2335,012	4,251	549,285
10	5,000	4,762	59,90	1145,3	684,3	461,0	2484	2533	11,702	86,385	1,914	13,615	85,945	1,901	2484	115	2042,200	1,10250	2251,526	3,852	584,508
11	5,000	4,762	60,32	1153,8	690,1	463,7	2488	2533	11,720	86,519	1,761	13,481	86,937	1,748	2488	115	2127,500	1,08938	2317,656	3,659	633,412
12	5,000	4,762	60,15	1152,2	688,6	463,6	2485	2533	11,706	86,418	1,876	13,582	86,187	1,863	2485	115	1978,400	1,09469	2165,735	4,063	533,038
Ort.			60,61									14,239	82,364	2,609	2466	115			2206,367	3,939	563,123

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1011 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739 kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0 kg / m³	PP KATKISI :	5,5 ‰	

BİRİKET NO	AÇ %	AÇ %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
						d-e	d/(d-e)		b*gr/(SG$_{asf}$)	(100-b)*gr/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p * Düzeltme F.			mm	q/s
1	5,000	4,762	59,78	1142,5	680,5	462,0	2473	2533	11,648	85,987	2,365	14,013	83,121	2,352	2473	105	2039,800	1,10625	2256,529	3,865	583,837
2	5,000	4,762	60,51	1155,5	688,8	466,7	2476	2533	11,662	86,090	2,249	13,910	83,835	2,236	2476	105	1930,200	1,08344	2091,256	4,154	503,432
3	5,000	4,762	60,23	1151,1	687,3	463,8	2482	2533	11,690	86,298	2,012	13,702	85,316	1,999	2482	105	2042,200	1,09219	2230,470	4,433	503,151
4	5,000	4,762	60,17	1149,8	686,1	463,7	2480	2533	11,679	86,219	2,102	13,781	84,750	2,089	2480	100	1954,300	1,09406	2138,121	3,574	598,243
5	5,000	4,762	60,54	1155,1	688,2	466,9	2474	2533	11,653	86,023	2,324	13,977	83,370	2,312	2474	100	1915,100	1,08250	2073,096	4,168	497,384
6	5,000	4,762	60,56	1155,3	688,7	466,6	2476	2533	11,662	86,093	2,245	13,907	83,859	2,232	2476	100	2045,400	1,08188	2212,877	3,965	558,103
7	5,000	4,762	60,38	1151,4	687,0	464,4	2479	2533	11,678	86,209	2,113	13,791	84,678	2,100	2479	95	1990,800	1,08750	2164,995	3,990	542,605
8	5,000	4,762	60,40	1153,2	687,5	465,7	2476	2533	11,663	86,103	2,234	13,897	83,927	2,221	2476	95	2000,800	1,08688	2174,630	4,075	533,651
9	5,000	4,762	60,40	1154,0	688,5	465,5	2479	2533	11,677	86,200	2,124	13,800	84,610	2,111	2479	95	1906,900	1,06868	2072,571	4,158	498,454
10	5,000	4,762	60,31	1148,8	684,7	464,1	2475	2533	11,659	86,070	2,271	13,930	83,697	2,258	2475	90	2065,800	1,08969	2251,082	4,206	535,207
11	5,000	4,762	60,27	1151,3	686,5	464,8	2477	2533	11,667	86,127	2,206	13,873	84,099	2,193	2477	90	2095,800	1,09094	2286,392	4,049	564,681
12	5,000	4,762	60,81	1154,0	687,2	466,8	2472	2533	11,644	85,959	2,396	14,041	82,932	2,384	2472	90	1877,900	1,07406	2016,977	4,186	481,839
Ort.			60,36									13,885	84,016	2,207	2477	98			2164,083	4,069	533,382

Yine 24 adet optimal-optimum polipropilen katkısının ‰ 5.5 olduğu ve optimum bitüm muhtevasında hazırlanmış "katkılı" numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 5.29'da verilmiştir

Çizelge 5.29'dan görülebileceği üzere bu serideki deney paterni yine Marshall replikası üretebilmek adına dönüş sayıları değiştirilerek uygulamalarından ibarettir. Öncelikle 85 dönüş sayısından başlayarak 70'e kadar üçer üçer azalışlarla 12 adet numune üretilmiştir. Bu numuneler polipropilen ile modifiye edilmiş numuneler olup (ilk 12 adet numune), bu numunelerdeki V_a, V.M.A, V_f, stabilite ve akma değerlerindeki orijinal Marshall numunelerine göre gözlemlenen farklılıklar sırasıyla; % 21 azalış, % 32 artış, % 66 azalış, % 18 artış ve % 0.2 azalış şeklindedir. Bu değerlerden de gözlemlenebileceği üzere sadece "akma" değerleri" sağlıklı bir şekilde simule edilebilmiştir. Son olarak ise Marshall Oranı değerleri ise % 18 artmıştır.

Daha sonraki gün hazırlanan 12 adet numunede ise, 70 dönüş sayısını daha etraflıca irdeleyebilmek için bütün numuneler bu dönüş sayısı kullanılarak hazırlanmıştır. Ancak bu numuneler kontrol numuneleridir. Yine bu sonuçların irdelenmesinden görülebileceği üzere, V_a değerleri inanılmaz derecede düşük çıkmıştır. Marshall oranı değerleri ise göreceli olarak Marshall numunelerininkine yakın çıksa da stabilite ve akma değerlerinde büyük farklılıklar vardır ve bundan sonraki çalışmalarda bunlar göz önüne alınarak analizlere devam edilmiştir.

Çizelge 5.30'da verilen 24 değer, iki seri halinde, kontrol ve polipropilen katkılı numunelerin 70 dönüş sayısı kullanılarak birer set daha dökülmelerinden ibarettir. Aslında bu seriler daha evvelki serilerde hazırlanmış olan 70 dönüş sayılı numuneleri bir anlamda kontrol etmek amacıyla dökülmüşlerdir. Burada karışım birim ağırlıklarındaki çok daha stabil değerler (asfalt numunelerin havadaki ve sudaki tartımları sonucu hesaplatılan) hemen göze çarpmaktadır. Ancak yine de V_a (hava boşluğu) değerlerinin standartlarda belirtilen değerlerin çok çok altında olması ve diğer fiziksel ve mekanik özeliklerinde bu değerlere eşlik etmeleri sonucu bu seride bulunan 24 numune"70" dönüş sayısının bir optimal dönüş sayısı miktarı olmadığını açıkça göstermektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.29 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (13-14.01.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg/m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³	PP KATKISI : 5,5 ‰	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI	BİTİŞ: GYR SAYISI

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,96	1145,6	683,2	462,4	2478	2533	11,669	86,146	2,185	13,854	84,229	2,172	2478	85	2092,600	1,10063	2303,178	3,636	633,437
2	5,000	4,762	60,47	1154,4	689,1	465,3	2481	2533	11,686	86,266	2,048	13,734	85,088	2,035	2481	85	2047,900	1,08469	2221,337	3,791	585,950
3	5,000	4,762	60,42	1153,1	687,8	465,3	2478	2533	11,672	86,169	2,158	13,831	84,396	2,145	2478	85	1982,500	1,08625	2153,491	3,700	582,024
4	5,000	4,762	60,23	1152,0	687,6	464,4	2481	2533	11,684	86,254	2,062	13,746	84,999	2,049	2481	80	2153,500	1,09219	2352,031	3,928	598,786
5	5,000	4,762	60,18	1149,9	686,4	463,5	2481	2533	11,685	86,264	2,051	13,736	85,070	2,038	2481	80	2050,300	1,09375	2242,516	3,742	599,283
6	5,000	4,762	60,37	1151,2	686,6	464,6	2478	2533	11,671	86,157	2,172	13,843	84,308	2,159	2478	80	2073,100	1,08781	2255,139	3,855	584,991
7	5,000	4,762	60,44	1151,6	686,9	464,7	2478	2533	11,672	86,168	2,159	13,832	84,389	2,147	2478	75	2101,500	1,08563	2281,451	3,883	587,549
8	5,000	4,762	60,63	1153,9	687,5	466,5	2474	2533	11,652	86,016	2,332	13,984	83,325	2,319	2474	75	1889,500	1,07969	2040,074	3,945	517,129
9	5,000	4,762	60,47	1151,3	686,7	464,6	2478	2533	11,672	86,164	2,164	13,836	84,361	2,151	2478	75	2179,500	1,08469	2364,082	3,762	628,411
10	5,000	4,762	60,46	1152,9	687,9	465,0	2479	2533	11,678	86,210	2,112	13,790	84,684	2,099	2479	70	2037,300	1,08500	2210,471	3,730	592,619
11	5,000	4,762	60,46	1153,0	688,1	464,9	2480	2533	11,682	86,236	2,083	13,764	84,870	2,070	2480	70	2190,000	1,08500	2376,150	4,077	582,818
12	5,000	4,762	60,63	1154,4	689,1	465,3	2481	2533	11,686	86,266	2,048	13,734	85,088	2,035	2481	70	2069,800	1,07969	2234,742	3,968	563,191
Ort.			**60,39**									**13,807**	**84,567**	**2,118**	**2479**	**78**			**2252,888**	**3,835**	**588,016**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³	PP KATKISI : 0,0 ‰	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI	BİTİŞ: GYR SAYISI

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,36	1144,9	686,9	458,0	2500	2538	11,579	86,920	1,500	13,080	88,530	1,487	2500	70	1498,300	1,11938	1677,167	4,510	371,877
2	5,000	4,762	60,20	1153,1	690,1	463,0	2490	2538	11,536	86,597	1,866	13,403	86,076	1,853	2490	70	1440,300	1,09313	1574,435	4,576	344,064
3	5,000	4,762	59,80	1149,1	688,6	460,5	2495	2538	11,559	86,765	1,676	13,235	87,339	1,663	2495	70	1465,200	1,10563	1619,969	4,028	402,177
4	5,000	4,762	60,09	1152,5	690,4	462,1	2494	2538	11,553	86,721	1,726	13,279	87,001	1,713	2494	70	1380,700	1,09656	1514,020	4,208	359,796
5	5,000	4,762	59,97	1153,7	691,4	462,3	2496	2538	11,560	86,774	1,666	13,226	87,401	1,654	2496	70	1481,700	1,10031	1630,329	4,486	363,426
6	5,000	4,762	59,80	1150,3	689,9	460,4	2498	2538	11,573	86,875	1,552	13,125	88,178	1,539	2498	70	1506,600	1,10563	1665,742	4,261	390,928
7	5,000	4,762	59,76	1151,0	689,6	461,4	2495	2538	11,555	86,739	1,705	13,261	87,141	1,692	2495	70	1555,600	1,10688	1721,863	4,343	396,468
8	5,000	4,762	60,10	1151,9	689,4	462,5	2491	2538	11,537	86,601	1,862	13,399	86,101	1,849	2491	70	1458,600	1,09625	1598,990	4,368	366,069
9	5,000	4,762	59,96	1148,8	688,3	460,5	2495	2538	11,556	86,743	1,701	13,257	87,167	1,688	2495	70	1487,500	1,10063	1637,187	4,132	396,221
10	5,000	4,762	59,93	1151,0	689,4	461,6	2494	2538	11,550	86,702	1,748	13,298	86,857	1,735	2494	70	1481,700	1,10156	1632,181	3,925	415,842
11	5,000	4,762	59,87	1151,5	689,8	461,7	2494	2538	11,553	86,721	1,726	13,279	86,999	1,713	2494	70	1437,900	1,10344	1586,636	4,217	376,248
12	5,000	4,762	59,86	1150,7	690,0	460,7	2498	2538	11,570	86,849	1,582	13,151	87,975	1,569	2498	70	1500,000	1,10375	1655,625	4,627	357,818
Ort.			**59,89**									**13,249**	**87,230**	**1,680**	**2495**	**70**			**1626,179**	**4,307**	**378,411**

Çizelge 5.30 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (15-18.01.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg/m³			SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			BİTİŞ: GYR SAYISI											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 5,5 ‰														
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,01	1143,1	680,8	462,3	2473	2533	11,646	85,976	2,377	14,024	83,048	2,365	2473	70	1977,500	1,09906	2173,391	3,980	546,078
2	5,000	4,762	60,88	1157,7	688,3	469,4	2466	2533	11,617	85,757	2,626	14,243	81,563	2,613	2466	70	2047,900	1,07188	2195,103	4,463	491,845
3	5,000	4,762	60,70	1155,6	687,4	468,2	2468	2533	11,625	85,821	2,553	14,179	81,991	2,541	2468	70	2010,500	1,07750	2166,314	3,818	567,395
4	5,000	4,762	60,61	1154,0	686,3	467,7	2467	2533	11,622	85,794	2,584	14,206	81,808	2,572	2467	70	2088,500	1,08031	2256,227	4,011	562,510
5	5,000	4,762	60,72	1154,1	687,0	467,1	2471	2533	11,638	85,912	2,451	14,088	82,605	2,438	2471	70	2046,300	1,07688	2203,620	3,639	605,556
6	5,000	4,762	60,89	1155,3	685,9	469,4	2461	2533	11,593	85,580	2,828	14,420	80,390	2,815	2461	70	2066,000	1,07156	2213,843	3,661	604,710
7	5,000	4,762	60,54	1150,1	684,2	465,9	2469	2533	11,627	85,834	2,538	14,166	82,080	2,526	2469	70	2129,100	1,08250	2304,751	4,171	552,566
8	5,000	4,762	61,07	1154,2	685,7	468,5	2464	2533	11,604	85,662	2,734	14,338	80,933	2,721	2464	70	1944,300	1,06594	2072,507	3,797	545,828
9	5,000	4,762	59,82	1149,3	686,9	462,4	2486	2533	11,707	86,424	1,869	13,576	86,233	1,856	2486	70	2138,900	1,10500	2363,485	3,213	735,601
10	5,000	4,762	60,23	1149,4	685,8	463,6	2479	2533	11,678	86,208	2,115	13,792	84,669	2,102	2479	70	2095,000	1,09219	2288,138	3,780	605,328
11	5,000	4,762	60,64	1153,4	686,8	466,6	2472	2533	11,643	85,952	2,405	14,048	82,878	2,393	2472	70	2100,700	1,07938	2267,454	3,785	599,063
12	5,000	4,762	60,07	1148,9	685,0	463,9	2477	2533	11,665	86,115	2,220	13,885	84,009	2,208	2477	70	1994,100	1,09719	2187,907	3,853	567,845
Ort.			**60,52**									**14,080**	**82,684**	**2,429**	**2471**	**70**			**2224,395**	**3,848**	**582,027**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³			SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI											
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			BİTİŞ: GYR SAYISI											
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰														
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	ÖZGÜL AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,04	1148,5	686,4	462,1	2485	2538	11,513	86,420	2,067	13,580	84,777	2,054	2485	70	1433,700	1,09813	1574,389	4,503	349,631
2	5,000	4,762	59,75	1144,3	684,7	459,6	2490	2538	11,533	86,572	1,895	13,428	85,890	1,882	2490	70	1430,400	1,07719	1540,813	3,771	408,595
3	5,000	4,762	60,42	1157,6	692,8	464,8	2491	2538	11,537	86,599	1,865	13,401	86,086	1,852	2491	70	1481,700	1,08625	1609,497	4,216	381,759
4	5,000	4,762	60,00	1151,8	689,6	462,2	2492	2538	11,543	86,649	1,807	13,351	86,464	1,794	2492	70	1522,700	1,09938	1674,026	4,226	396,125
5	5,000	4,762	60,12	1151,7	688,6	463,1	2487	2538	11,520	86,474	2,006	13,526	85,166	1,994	2487	70	1417,200	1,09563	1552,727	4,276	363,126
6	5,000	4,762	60,20	1150,1	686,9	463,2	2483	2538	11,502	86,335	2,164	13,665	84,166	2,151	2483	70	1573,000	1,09313	1719,493	4,151	414,236
7	5,000	4,762	60,09	1149,9	687,0	462,9	2484	2538	11,507	86,376	2,117	13,624	84,459	2,105	2484	70	1493,300	1,09656	1637,493	4,468	366,494
8	5,000	4,762	60,20	1152,3	689,1	463,2	2488	2538	11,524	86,500	1,977	13,500	85,359	1,964	2488	70	1461,000	1,09313	1597,063	4,214	378,990
9	5,000	4,762	60,39	1152,1	688,0	464,1	2482	2538	11,499	86,317	2,184	13,683	84,041	2,171	2482	70	1365,800	1,08719	1484,884	4,191	354,303
10	5,000	4,762	60,32	1150,8	687,2	463,6	2482	2538	11,499	86,313	2,189	13,687	84,010	2,176	2482	70	1406,100	1,08938	1531,777	4,285	357,474
11	5,000	4,762	59,99	1152,7	690,7	462,0	2495	2538	11,557	86,755	1,688	13,245	87,257	1,675	2495	70	1522,400	1,09969	1674,168	4,574	366,018
12	5,000	4,762	60,25	1153,3	690,3	463,0	2491	2538	11,538	86,612	1,849	13,388	86,188	1,836	2491	70	1445,300	1,09156	1577,632	3,957	398,694
Ort.			**60,15**									**13,507**	**85,322**	**1,971**	**2488**	**70**			**1597,830**	**4,236**	**377,954**

Çizelge 5.31 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (19-20.01.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg/m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³		BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 5,5 ‰														
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,26	1155,3	676,7	478,6	2414	2533	11,370	83,935	4,696	16,065	70,772	4,683	2414	70	1925,200	1,09125	2100,875	3,966	529,721
2	5,000	4,762	61,07	1150,8	679,8	471,0	2443	2533	11,508	84,957	3,535	15,043	76,501	3,522	2443	70	1968,400	1,06594	2098,196	3,798	552,448
3	5,000	4,762	60,80	1152,7	685,2	467,5	2466	2533	11,614	85,734	2,652	14,266	81,407	2,640	2466	70	2028,400	1,07438	2179,272	3,456	630,577
4	5,000	4,762	61,01	1156,1	687,3	468,8	2466	2533	11,615	85,748	2,636	14,252	81,504	2,623	2466	70	2043,800	1,06781	2182,390	4,022	542,613
5	5,000	4,762	60,60	1154,7	687,2	467,5	2470	2533	11,634	85,883	2,484	14,117	82,408	2,471	2470	70	2054,400	1,08063	2220,046	3,866	574,249
6	5,000	4,762	60,91	1155,3	686,3	469,0	2463	2533	11,602	85,653	2,745	14,347	80,868	2,732	2463	70	1905,300	1,07094	2040,462	3,733	546,601
7	5,000	4,762	61,13	1156,7	688,0	468,7	2468	2533	11,624	85,811	2,565	14,189	81,924	2,552	2468	70	2164,900	1,06406	2303,583	3,468	664,240
8	5,000	4,762	60,74	1151,5	684,3	467,2	2465	2533	11,609	85,700	2,691	14,300	81,180	2,679	2465	70	2166,500	1,07625	2331,696	3,783	616,362
9	5,000	4,762	60,32	1149,4	684,8	464,6	2474	2533	11,653	86,022	2,325	13,978	83,365	2,312	2474	70	1900,300	1,08938	2070,149	3,916	528,639
10	5,000	4,762	61,68	1157,9	684,4	473,5	2445	2533	11,518	85,030	3,452	14,970	76,939	3,440	2445	70	2034,900	1,04688	2130,296	3,789	562,232
11	5,000	4,762	60,36	1149,4	684,2	465,2	2471	2533	11,638	85,911	2,451	14,089	82,602	2,438	2471	70	2177,900	1,08813	2369,838	3,845	616,343
12	5,000	4,762	61,18	1157,6	687,4	470,2	2462	2533	11,596	85,604	2,800	14,396	80,550	2,787	2462	70	2061,700	1,06250	2190,556	3,840	570,457
Ort.			**61,01**									**14,501**	**80,002**	**2,907**	**2459**	**70**			**2184,780**	**3,790**	**577,873**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³		BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰														
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,01	1147,6	685,6	462,0	2484	2538	11,506	86,371	2,123	13,629	84,424	2,110	2484	70	1404,8	1,09906	1543,959	4,324	357,067
2	5,000	4,762	60,37	1153,4	688,7	464,7	2482	2538	11,497	86,303	2,200	13,697	83,940	2,187	2482	70	1421,3	1,08781	1546,104	4,632	333,788
3	5,000	4,762	60,15	1148,3	686,1	462,2	2484	2538	11,508	86,386	2,106	13,614	84,534	2,093	2484	70	1384,9	1,09469	1516,036	4,392	345,181
4	5,000	4,762	60,41	1151,6	688,6	463,0	2487	2538	11,521	86,485	1,994	13,515	85,248	1,981	2487	70	1363,4	1,08656	1481,416	3,920	377,912
5	5,000	4,762	60,19	1149,5	686,5	463,0	2483	2538	11,500	86,327	2,173	13,673	84,111	2,160	2483	70	1470,1	1,09344	1607,466	4,122	389,972
6	5,000	4,762	60,44	1153,2	688,7	464,5	2483	2538	11,500	86,325	2,175	13,675	84,098	2,162	2483	70	1324,5	1,08563	1437,917	4,121	348,924
7	5,000	4,762	60,44	1151,8	687,5	464,3	2481	2538	11,491	86,258	2,251	13,742	83,618	2,238	2481	70	1331,1	1,08563	1445,082	4,040	357,694
8	5,000	4,762	60,33	1151,4	688,2	463,2	2486	2538	11,515	86,432	2,053	13,568	84,867	2,040	2486	70	1308,7	1,08906	1425,253	3,835	371,643
9	5,000	4,762	60,45	1155,0	689,9	465,1	2483	2538	11,503	86,348	2,148	13,652	84,264	2,135	2483	70	1399,8	1,08531	1519,217	4,072	373,089
10	5,000	4,762	60,01	1150,4	687,6	462,8	2486	2538	11,514	86,432	2,054	13,568	84,864	2,041	2486	70	1478,4	1,09906	1624,850	4,260	381,420
11	5,000	4,762	60,34	1154,9	690,3	464,6	2486	2538	11,515	86,434	2,051	13,566	84,878	2,039	2486	70	1437,0	1,08875	1564,534	4,338	360,658
12	5,000	4,762	60,67	1157,9	691,5	466,4	2483	2538	11,500	86,324	2,176	13,676	84,089	2,163	2483	70	1293,0	1,07844	1394,423	4,049	344,387
Ort.			**60,32**									**13,631**	**84,411**	**2,112**	**2484**	**70**			**1508,855**	**4,175**	**361,811**

Sıcaklık parametresinin şu ana kadar yapılan çalışmalarda tam anlamıyla birebir kontrol edilmemiş olmasından dolayı oluşabilecek sorunlar, bu aşamadan sonra sıcaklığın çok daha sıkı bir şeklide kontrol edilmesiyle ortadan kaldırılmıştır.

Bu bağlamda Çizelge 5.31'de fiziksel ve mekanik özellikleri belirtilmiş numunelerden itibaren çok sıkı bir şekilde dijital ve cıvalı termometreler ile sıcaklık kontrolleri gerçekleştirilmiştir. Bu sayede de Çizelge 5.30 ile kontroller gerçekleştirildiğinde V_a değerleri özellikle baz alındığında (buna V_f, V.M.A, stabilite, akma ve Marshall Oranı değerleri de rahatlıkla dâhil edilebilir), polipropilen katkılı ilk 12 numune de belirgin gelişmeler (standart Marshall numunesi özellikleri göz önüne alındığında) kaydedilmiştir. Çizelge 5.31'den sonra ise, yoğurmalı kompaksiyon ritüelinden kaynaklanan ve kompaktöre yerleştirilen numune kalıplarının da oda sıcaklığında çok uzun bir süre sıcaklıklarını muhafaza etmeleriyle de vukuu bulan farklı kompaksiyon stilinden dolayı, sıkıştırmaya başlama sıcaklıklarının belirlenmesi için de araştırmalar yapılmıştır. Bu seri de 133°C gibi bir sıkıştırmaya başlangıç sıcaklığı elde edilmiş ve fakat bu da dönüş sayısının 70 olmasından dolayı pek de fazla bir gelişme ve ideal numune hava boşluğu değerlerine ulaşmaya yol açamamıştır. 4 mm şartname limitlerinin yine bir miktar üzerinde olan akma değerleri yüzünden de beklenen mekanik performans, yoğurmalı kompaktör numunelerinden elde edilememiştir.

Bu ana kadar yapılan bütün çalışmaları bir araya toplamak gerekirse, Kasım 2009 – Ocak 2010 dönemi olarak isimlendirilecek bu dönemde hazırlanan bütün numunelerin (çok farklı sonuçlar veren numuneler hariç) ortalamaları alındığında aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır (Çizelge 5.32). 72 adet kontrol ve 76 adet ‰ 5.5 oranında PP katkısıyla hazırlanan numunelerin (Toplam 148 adet) ortalamaya katıldığı bu tablodan da görüleceği üzere aranılan fiziksel özelliklerdeki (Çizelge 5.22) numuneler henüz elde edilememiştir. Sonuç olarak bu ana kadar kullanılan 70 ve üzeri dönüş sayısı değerinin yetersiz olduğu anlaşılmıştır. Bu aşamadan sonra ise dönüş sayısı (GYR sayısı) değerleri 70 dönüş sayısının altına düşürülecektir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.32 Kasım 2009 – Ocak 2010 döneminde hazırlanmış olan 10 cm'lik yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

SIKIŞTIRMA PATERNİ	P=600 kPa α=1.25°
NUMUNE AD.VE ÇEŞ.	72 KONTROL
YÜKSEKLİK (mm)	60,10
HAVADA AĞIRLIK (gr)	1145,5
SUDA AĞIRLIK (gr)	684,4
VMA (%)	13,621
V_f (%)	85,952
HAVA BOŞLUĞU (%)	1,907
BİRİM AĞIRLIK(kg/m^3)	2484
GYR SAYISI	85
STABİLİTE (kg)	1573,731
AKMA (mm)	3,998
MARSHALL ORANI (kg/mm)	395,946

SIKIŞTIRMA PATERNİ	P=600 kPa α=1.25°
NUMUNE AD.VE ÇEŞ.	76 PP
YÜKSEKLİK (mm)	60,55
HAVADA AĞIRLIK (gr)	1150,8
SUDA AĞIRLIK (gr)	685
VMA (%)	14,096
V_f (%)	82,735
HAVA BOŞLUĞU (%)	2,447
BİRİM AĞIRLIK(kg/m^3)	2471
GYR SAYISI	91
STABİLİTE (kg)	2215,183
AKMA (mm)	3,904
MARSHALL ORANI (kg/mm)	571,208

Çizelge 5.33'den itibaren ise daha farklı bir numune üretim paterni aranmaya başlanmıştır. İlk 12 numune tedrici olarak 65 dönüş sayısı ile üretilmeye başlanmış ve daha sonra üçer adet 60, 50 ve beşer adet 55 dönüş sayısı hedef alınarak üretilmiştir (kontrol numuneleri). Ayrıca yine bu üretim boyunca etüv sıcaklığı değeri ile oynanarak, kontrol numuneleri için hedef olan 145°C sıkıştırmaya başlangıç sıcaklığına ulaşılmaya çalışılmıştır (12 numunenin ortalama sıkıştırmaya başlangıç sıcaklığı 141°C olmuştur). Bu 12 adet numunenin V_a değerleri dikkatlice incelendiğinde, hava boşluklarının dikkat çeken bir şekilde şartname limitlerine doğru yaklaşmaya başladığı görülebilir. Aynı olgu V.M.A, V_f, Stabilite, akma ve Marshall Oranı değerleri içinde geçerlidir. Bu noktada dönüş sayısı değerlerinin artık "50"den az olması gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Diğer 12 adet numunede de bu olguyu irdelemek adına 50 dönüş sayısı (3 adet) ve tedrici olarak 49, 48, 47, 46, 45 (4 adet) ve 40 dönüş sayısı ile hazırlanan numuneler üretilmiştir. Ve V_a, V.M.A, V_f, Stabilite, akma ve Marshall Oranı değerleri pozitif şekilde gelişmeye (Marshall numunelerinin standarda yakın özelliklerini) devam etmişlerdir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.33 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (21-25.01.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
			(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,06	1145,1	682,6	462,5	2476	2538	11,469	86,090	2,442	13,910	82,448	2,429	2476	65	1356,7	1,09750	1488,978	4,147	359,049
2	5,000	4,762	59,91	1147,0	684,9	462,1	2482	2538	11,498	86,307	2,195	13,693	83,969	2,182	2482	60	1293,8	1,10219	1426,013	3,519	405,233
3	5,000	4,762	60,09	1150,9	687,4	463,5	2483	2538	11,502	86,339	2,159	13,661	84,196	2,146	2483	60	1415,5	1,09656	1552,181	4,399	352,849
4	5,000	4,762	60,55	1152,8	687,7	465,1	2479	2538	11,481	86,184	2,335	13,816	83,102	2,322	2479	60	1401,4	1,08219	1516,581	4,003	378,861
5	5,000	4,762	61,25	1149,5	682,4	467,1	2461	2538	11,400	85,569	3,031	14,431	78,995	3,018	2461	55	1337,1	1,06031	1417,741	3,413	415,394
6	5,000	4,762	60,93	1151,3	685,6	465,7	2472	2538	11,452	85,961	2,587	14,039	81,570	2,575	2472	55	1295,5	1,07031	1386,587	4,177	331,958
7	5,000	4,762	60,68	1148,8	684,5	464,3	2474	2538	11,461	86,033	2,506	13,967	82,059	2,493	2474	55	1339,4	1,07813	1444,047	4,232	341,221
8	5,000	4,762	61,41	1156,9	687,4	469,5	2464	2538	11,414	85,680	2,906	14,320	79,708	2,893	2464	50	1220,1	1,05531	1287,584	3,795	339,284
9	5,000	4,762	60,98	1151,5	685,2	466,3	2469	2538	11,439	85,865	2,696	14,135	80,928	2,683	2469	50	1187,9	1,06875	1269,568	3,770	336,755
10	5,000	4,762	61,17	1150,9	684,3	466,6	2467	2538	11,426	85,765	2,809	14,235	80,266	2,796	2467	50	1234,2	1,06281	1311,720	3,959	331,326
11	5,000	4,762	60,93	1153,3	687,1	466,2	2474	2538	11,460	86,022	2,519	13,978	81,982	2,506	2474	55	1279,8	1,07031	1369,783	3,842	356,529
12	5,000	4,762	61,28	1151,3	683,4	467,9	2461	2538	11,398	85,557	3,045	14,443	78,915	3,033	2461	55	1177,1	1,05938	1246,996	4,018	310,352
Ort.			**60,77**									**14,052**	**81,511**	**2,590**	**2472**	**56**			**1393,148**	**3,940**	**354,901**

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
			(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,54	1151,2	685,8	465,4	2474	2538	11,458	86,009	2,533	13,991	81,895	2,520	2474	50	1360,9	1,08250	1473,174	4,142	355,667
2	5,000	4,762	60,59	1155,2	689,0	466,2	2478	2538	11,478	86,160	2,362	13,840	82,932	2,349	2478	50	1317,0	1,08094	1423,598	3,869	367,950
3	5,000	4,762	61,08	1157,7	688,9	468,8	2469	2538	11,439	85,867	2,694	14,133	80,941	2,681	2469	50	1262,4	1,06563	1345,251	3,502	384,138
4	5,000	4,762	61,40	1154,1	684,3	469,8	2457	2538	11,379	85,418	3,203	14,582	78,037	3,190	2457	45	1327,5	1,05563	1401,349	4,196	333,973
5	5,000	4,762	61,22	1151,0	681,8	469,2	2453	2538	11,363	85,297	3,339	14,703	77,288	3,327	2453	45	1167,2	1,06125	1238,691	3,571	346,875
6	5,000	4,762	61,31	1157,6	688,9	468,7	2470	2538	11,441	85,878	2,681	14,122	81,013	2,669	2470	45	1256,6	1,05844	1330,036	3,948	336,888
7	5,000	4,762	61,16	1152,7	684,1	468,6	2460	2538	11,395	85,533	3,073	14,467	78,762	3,060	2460	40	1187,9	1,06313	1262,892	3,872	326,160
8	5,000	4,762	61,06	1149,8	682,6	467,2	2461	2538	11,400	85,573	3,027	14,427	79,020	3,014	2461	49	1299,6	1,06625	1385,699	4,136	335,033
9	5,000	4,762	60,92	1151,2	685,7	465,5	2473	2538	11,456	85,990	2,554	14,010	81,770	2,541	2473	48	1192,8	1,07063	1277,047	3,892	328,121
10	5,000	4,762	60,63	1152,0	686,9	465,1	2477	2538	11,473	86,124	2,402	13,876	82,686	2,390	2477	47	1301,3	1,07969	1405,001	4,049	346,999
11	5,000	4,762	61,10	1154,2	686,4	467,8	2467	2538	11,429	85,791	2,780	14,209	80,433	2,768	2467	46	1216,8	1,06500	1295,892	3,635	356,504
12	5,000	4,762	61,44	1151,2	682,8	468,4	2458	2538	11,385	85,458	3,157	14,542	78,288	3,145	2458	45	1269,8	1,05438	1338,852	4,252	314,876
Ort.			**61,04**									**14,242**	**80,255**	**2,804**	**2466**	**47**			**1348,123**	**3,922**	**344,432**

Çizelge 5.34 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (26-27.01.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	63,87	1148,5	658,5	490,0	2344	2533	11,040	81,499	7,461	18,501	59,673	7,449	2344	65	1503,3	0,97040	1458,802	4,075	357,988
2	5,000	4,762	61,42	1153,4	682,1	471,3	2447	2533	11,527	85,094	3,379	14,906	77,333	3,366	2447	65	1955,1	1,05500	2062,631	3,737	551,948
3	5,000	4,762	60,74	1148,7	681,0	467,7	2456	2533	11,568	85,400	3,032	14,600	79,235	3,019	2456	65	1893,6	1,07625	2037,987	3,519	579,138
4	5,000	4,762	60,94	1151,3	682,4	468,9	2455	2533	11,565	85,374	3,061	14,626	79,071	3,048	2455	60	1892,0	1,07000	2024,440	4,038	501,347
5	5,000	4,762	61,11	1152,8	683,3	469,5	2455	2533	11,565	85,376	3,059	14,624	79,084	3,046	2455	60	2040,6	1,06469	2172,606	3,951	549,888
6	5,000	4,762	61,34	1152,1	681,4	470,7	2448	2533	11,529	85,107	3,365	14,893	77,409	3,352	2448	60	1927,7	1,05750	2038,543	4,543	448,722
7	5,000	4,762	61,29	1151,5	682,0	469,5	2453	2533	11,552	85,280	3,168	14,720	78,478	3,155	2453	55	1959,3	1,05906	2075,016	3,849	539,105
8	5,000	4,762	61,58	1151,9	680,1	471,8	2442	2533	11,500	84,894	3,607	15,106	76,125	3,594	2442	55	1914,4	1,05000	2010,120	5,483	366,610
9	5,000	4,762	61,76	1155,0	682,1	472,9	2442	2533	11,504	84,924	3,572	15,076	76,306	3,559	2442	55	1970,0	1,04438	2057,429	3,652	563,370
10	5,000	4,762	62,82	1150,9	672,2	478,7	2404	2533	11,324	83,597	5,078	16,403	69,038	5,066	2404	50	1659,4	1,01700	1687,610	6,662	253,319
11	5,000	4,762	61,46	1146,2	677,1	469,1	2443	2533	11,509	84,960	3,532	15,040	76,519	3,519	2443	50	1924,4	1,05375	2027,837	3,278	618,620
12	5,000	4,762	60,89	1135,8	670,5	465,3	2441	2533	11,497	84,877	3,626	15,123	76,023	3,614	2441	50	1835,5	1,07156	1966,848	3,625	542,579
Ort.			**61,60**									**15,301**	**75,358**	**3,816**	**2436**	**58**			**1968,322**	**4,201**	**489,386**

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,10	1119,2	649,3	469,9	2382	2533	11,218	82,817	5,964	17,183	65,289	5,952	2382	45	1681,8	1,03500	1740,663	3,550	490,328
2	5,000	4,762	62,15	1154,0	679,4	474,6	2432	2533	11,453	84,547	4,001	15,453	74,112	3,988	2432	45	1987,5	1,03375	2054,578	3,919	524,261
3	5,000	4,762	61,68	1153,7	680,7	473,0	2439	2533	11,488	84,811	3,701	15,189	75,635	3,688	2439	45	1970,9	1,04688	2063,296	3,507	588,336
4	5,000	4,762	62,66	1156,9	679,3	477,6	2422	2533	11,409	84,227	4,364	15,773	72,334	4,351	2422	40	1886,2	1,02100	1925,810	3,615	532,728
5	5,000	4,762	62,03	1156,5	681,0	475,5	2432	2533	11,456	84,570	3,975	15,430	74,241	3,962	2432	40	1911,1	1,03675	1981,333	3,380	586,193
6	5,000	4,762	61,08	1158,0	670,1	487,9	2373	2533	11,179	82,527	6,294	17,473	63,980	6,282	2373	40	1645,3	0,95782	1575,901	3,639	433,059
7	5,000	4,762	62,53	1147,1	672,2	474,9	2415	2533	11,377	83,988	4,635	16,012	71,054	4,622	2415	35	1667,7	1,02425	1708,142	3,777	452,248
8	5,000	4,762	62,80	1153,9	675,8	478,1	2414	2533	11,368	83,921	4,712	16,079	70,698	4,699	2414	35	1862,1	1,01750	1894,687	3,858	491,106
9	5,000	4,762	62,17	1149,3	675,5	473,8	2426	2533	11,425	84,345	4,230	15,655	72,980	4,218	2426	35	1892,8	1,03325	1955,736	3,495	559,581
10	5,000	4,762	62,38	1150,0	674,3	475,7	2417	2533	11,387	84,059	4,555	15,941	71,429	4,542	2417	30	1697,6	1,02800	1745,133	3,983	438,145
11	5,000	4,762	63,99	1162,2	675,0	487,2	2385	2533	11,236	82,945	5,819	17,055	65,881	5,806	2385	30	1769,9	0,96080	1700,520	4,058	419,054
12	5,000	4,762	62,66	1153,4	676,1	477,3	2417	2533	11,382	84,025	4,593	15,975	71,248	4,581	2417	30	1728,4	1,02100	1764,696	3,827	461,117
Ort.			**62,35**									**16,102**	**70,740**	**4,724**	**2413**	**38**			**1842,541**	**3,717**	**498,013**

Çizelge 5.34'de belirtilen ve 26-27.01.2010 tarihlerinde üretilmiş olan 24 adet numuneye gelince, bunlar temelde yine polipropilen ile modifiye edilmiş numunelerdir. Bu numuneler üretilirken, 70 dönüş sayısıyla üretilmiş olan numunelerin verileri ışığında 65 dönüş sayısından başlayıp, her bir dönüş sayısında üçer numune üretip, beşer beşer azalarak numuneler hazırlanmıştır (aynı karıştırmaya başlangıç sıcaklığı olarak 160°C hedeflenmiş ve bu nerdeyse % 100 oranında sağlanmıştır). V_a değerleri yine asıl kontrol kriteri olarak seçildiğinde, bu üretilmiş olan numunelerdeki gelişim gerçekten kayda değer olarak kabul edilebilir. Mesela, 30 dönüş sayısı ile üretilmiş son üç numuneye bakıldığında, V_a değerleri ortalaması yaklaşık olarak % 5 civarındadır. Bu değer, şartname (Superpave ve KGM) değerlerinin üzerinde gibi gözükse de polipropilen modifikasyonun doğasından kaynaklanan yüksek boşluklu numunelerin fiziksel özelliklerine çok yakındır. Mekanik deney sonuçları göz önüne alındığında, neredeyse Marshall replikası üretmeye başladığımızı söyleyebiliriz. Ancak V.M.A ve V_f değerleri gibi asfalt numunelerin fiziksel özellikleri göz önüne alındığında bu noktada replika üretebildiğimizi henüz söyleyebilmek mümkün değildir. Daha fazla deneme yapılması gerektiği aşikârdır.

Çizelge 5.35'de belirtilen 24 değer de kontrol numuneleri esas alınarak üretim yapılmıştır. Bu noktada, bir miktar daha kontrol numunesi üreterek, 40, 35 ve 30 dönüş sayısının asfalt numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerine olan etkileri daha derin bir şekilde irdelenmiştir. V_a, V.M.A, V_f ve Stabilite değerleri yine Marshall numunelerinin değerlerine oldukça yakındır. Ancak yoğurmalı kompaksiyonun tabiatından dolayı, akma değerleri hem müsaade edilebilir üst limit olan 4 mm'nin üzerinde hem de dolayısıyla Marshall oranları da, Stabilite değerleri beklenen seviyelerde olmasına karşın, daha düşük çıkmaktadır. Bu konu da ileriki safhalarda daha etraflıca irdelenecektir. Bu arada yine çok önemli bir fiziksel parametre olan birim ağırlık değerlerine de dikkat edilirse bu değerler de beklenen bir rakam olan 2445 kg/m^3 civarına sabitlenmiş bir hale gelmiştir.

Şubat 2010'un ikinci haftasında gerçekleştirilen birkaç günlük çalışma esnasında laboratuvarın elektrik aksamında bazı sıkıntılar oluşmuş, doğal olarak bazı numuneler sağlıksız bir şekilde karışmadan dolayı sağlıklı olmayan sonuçlar vermiştir. Yine de bu dönemki çalışmalar Çizelge 5.36'da verilmiştir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.35 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (28.01-01.02.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³		BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 0,0 ‰														
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{sgr}$	100-i-j	100-j	i/1 * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,13	1141,6	674,1	467,5	2442	2538	11,311	84,908	3,780	15,092	74,953	3,767	2442	40	1128,3	1,06406	1200,579	4,177	287,426
2	5,000	4,762	61,60	1154,3	683,1	471,2	2450	2538	11,348	85,179	3,474	14,821	76,563	3,461	2450	40	1196,1	1,04938	1255,163	3,990	314,577
3	5,000	4,762	61,22	1152,3	683,3	469,0	2457	2538	11,381	85,430	3,189	14,570	78,114	3,176	2457	40	1248,3	1,06125	1324,758	4,052	326,939
4	5,000	4,762	61,50	1150,5	680,6	469,9	2448	2538	11,341	85,133	3,525	14,867	76,288	3,513	2448	40	1197,8	1,05563	1264,434	4,204	300,769
5	5,000	4,762	61,84	1152,5	679,4	473,1	2436	2538	11,284	84,705	4,011	15,295	73,776	3,999	2436	35	1129,9	1,04188	1177,220	3,949	298,106
6	5,000	4,762	61,95	1152,2	680,0	472,2	2440	2538	11,303	84,844	3,853	15,156	74,576	3,841	2440	35	1206,9	1,03875	1253,667	4,173	300,424
7	5,000	4,762	61,56	1150,9	681,1	469,8	2450	2538	11,348	85,181	3,471	14,819	76,577	3,458	2450	35	1157,2	1,05063	1215,789	4,215	288,443
8	5,000	4,762	61,74	1152,7	681,2	471,5	2445	2538	11,325	85,007	3,669	14,993	75,531	3,656	2445	35	1206,1	1,04500	1260,375	4,500	280,083
9	5,000	4,762	61,93	1150,6	678,1	472,5	2435	2538	11,280	84,672	4,048	15,328	73,592	4,035	2435	30	1051,3	1,03925	1092,564	3,651	299,250
10	5,000	4,762	61,68	1147,3	676,0	471,3	2434	2538	11,276	84,644	4,079	15,356	73,435	4,067	2434	30	1108,4	1,04688	1160,362	4,201	276,211
11	5,000	4,762	62,08	1152,4	678,8	473,6	2433	2538	11,271	84,608	4,121	15,392	73,228	4,108	2433	30	1128,3	1,03550	1168,355	3,905	299,195
12	5,000	4,762	62,09	1152,1	679,1	473,0	2436	2538	11,283	84,693	4,024	15,307	73,710	4,012	2436	30	1102,6	1,03525	1141,467	4,220	270,490
Ort.			**61,69**									**15,083**	**75,029**	**3,758**	**2442**	**35**			**1209,561**	**4,103**	**295,159**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³		SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³		BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 0,0 ‰														
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{sgr}$	100-i-j	100-j	i/1 * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,28	1152,0	683,4	468,6	2458	2538	11,388	85,481	3,131	14,519	78,433	3,119	2458	35	1281,4	1,05938	1357,490	4,719	287,665
2	5,000	4,762	61,31	1152,2	682,1	470,1	2451	2538	11,353	85,223	3,424	14,777	76,831	3,411	2451	35	1303,8	1,05844	1379,994	4,513	305,782
3	5,000	4,762	61,68	1157,0	685,5	471,5	2454	2538	11,367	85,324	3,309	14,676	77,451	3,297	2454	35	1169,3	1,04688	1224,117	4,287	285,542
4	5,000	4,762	61,38	1150,8	681,1	469,7	2450	2538	11,349	85,192	3,459	14,808	76,642	3,446	2450	35	1247,5	1,05625	1317,672	4,287	307,365
5	5,000	4,762	61,68	1153,7	682,4	471,3	2448	2538	11,339	85,117	3,544	14,883	76,187	3,532	2448	35	1184,6	1,04688	1240,134	3,932	315,395
6	5,000	4,762	61,64	1152,9	682,9	470,0	2453	2538	11,363	85,293	3,344	14,707	77,259	3,332	2453	35	1170,5	1,04813	1226,836	4,320	283,990
7	5,000	4,762	62,23	1155,0	681,8	473,2	2441	2538	11,306	84,870	3,823	15,130	74,730	3,811	2441	30	1216,8	1,03175	1255,433	4,619	271,798
8	5,000	4,762	62,18	1155,3	682,2	473,1	2442	2538	11,312	84,910	3,778	15,090	74,963	3,765	2442	30	1107,6	1,03300	1144,151	4,889	234,026
9	5,000	4,762	61,75	1153,5	682,1	471,4	2447	2538	11,335	85,084	3,581	14,916	75,990	3,569	2447	30	1138,2	1,04469	1189,066	4,861	244,613
10	5,000	4,762	61,37	1149,0	680,2	468,8	2451	2538	11,353	85,222	3,425	14,778	76,825	3,412	2451	30	1166,3	1,05656	1232,266	4,874	252,824
11	5,000	4,762	61,91	1154,1	682,3	471,8	2446	2538	11,331	85,056	3,613	14,944	75,823	3,600	2446	30	1091,8	1,03975	1135,199	4,498	252,379
12	5,000	4,762	62,12	1157,5	684,7	472,8	2448	2538	11,340	85,126	3,534	14,874	76,244	3,521	2448	30	1089,4	1,03450	1126,984	4,295	262,394
Ort.			**61,71**									**14,842**	**76,448**	**3,485**	**2449**	**33**			**1235,779**	**4,508**	**275,314**

Çizelge 5.36 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (02.02.2010)

BİRİKET NO																															
	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³					BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³						SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI																			
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³					AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³						BİTİŞ: GYR SAYISI																			
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³					PP KATKISI : 5,5 ‰																									
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b^{a}g/(SG_{ast})$	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.			q/s
1	5,000	4,762	61,61	1144,1	672,7	471,4	2427	2533	11,432	84,390	4,178	15,610	73,234	4,166	2427	35	1845,5	1,04906	1936,040	4,011	482,683
2	5,000	4,762	61,01	1136,7	668,8	467,9	2429	2533	11,443	84,472	4,086	15,528	73,689	4,073	2429	35	1876,2	1,06781	2003,425	3,807	526,248
3	5,000	4,762	61,64	1151,3	677,0	474,3	2427	2533	11,433	84,402	4,165	15,598	73,300	4,152	2427	35	1890,3	1,04813	1981,280	3,766	526,097
4	5,000	4,762	63,05	1171,0	688,9	482,1	2429	2533	11,441	84,458	4,102	15,542	73,609	4,089	2429	35	1985,0	1,01125	2007,331	3,683	545,026
5	5,000	4,762	61,67	1154,0	680,0	474,0	2435	2533	11,467	84,654	3,879	15,346	74,723	3,866	2435	35	1891,1	1,04719	1980,341	3,759	526,827
6	5,000	4,762	61,68	1152,4	679,8	472,6	2438	2533	11,485	84,787	3,728	15,213	75,495	3,715	2438	35	1864,6	1,04688	1952,012	4,029	484,491
7	5,000	4,762	63,42	1153,5	671,3	482,2	2392	2533	11,267	83,178	5,555	16,822	66,980	5,542	2392	30	1798,1	1,00200	1801,696	4,204	428,567
8	5,000	4,762	63,39	1150,3	669,2	481,1	2391	2533	11,262	83,137	5,601	16,863	66,784	5,589	2391	30	1845,5	1,00275	1850,575	4,467	414,277
9	5,000	4,762	62,31	1153,3	676,6	476,7	2419	2533	11,395	84,123	4,481	15,877	71,773	4,469	2419	30	1852,1	1,02975	1907,200	4,328	440,665
Ort.			62,20									15,822	72,176	4,407	2421	33			1935,545	4,006	486,098

Ocak 2010 – Şubat 2010 dönemi olarak isimlendirilecek bu dönemi sonlandırdığımızda ise gelinen nokta son derece umut vericidir. Bu dönemde yapılan çalışmalar Çizelge 5.37'de verilmiştir. 48 adet kontrol numunesinin sonucunun aranılan Marshall numuneleri fiziksel özellikleri sonucuna bir hayli yaklaştığını görmekteyiz (% 3,443 V_a, 2465 kg/m^3 Birim Ağırlık, % 76,990 V_f ve % 14,919 V.M.A). Üretilen numunelerden bu fiziksel özelliklere 35-45 dönüş sayısı aralığında erişilebileceği sonuçların ortalamasından açıktır. PP modifiyeli numunelerde ise ileri düzey incelemeler yapıldığında bu değerin 30 ila 40 dönüş sayısı aralığında olması gerektiği görülmektedir.

Bu ana kadar 600kPa düşey basınç ve 1.25 derece yoğurma açısıyla sıkıştırılan numunelerle çalışılmıştır. Çalışmamız bu noktada bu sıkıştırma paternine bir ara verip düşey basıncı ve yoğurma açısını değiştirerek yapılacak olan çalışmalarla devam edecektir.

Çizelge 5.37 Ocak 2010 – Şubat 2010 döneminde hazırlanmış olan 10 cm'lik yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri

SIKIŞTIRMA PATERNİ	P=600 kPa α=1.25°	SIKIŞTIRMA PATERNİ	P=600 kPa α=1.25°
NUMUNE AD.VE ÇEŞ.	48 KONTROL	NUMUNE AD.VE ÇEŞ.	33 PP
YÜKSEKLİK (mm)	61,3	YÜKSEKLİK (mm)	62,04
HAVADA AĞIRLIK (gr)	1152,1	HAVADA AĞIRLIK (gr)	1150,9
SUDA AĞIRLIK (gr)	683,2	SUDA AĞIRLIK (gr)	675,9
VMA (%)	14,555	VMA (%)	15,734
V_f (%)	78,311	V_f (%)	72,811
HAVA BOŞLUĞU (%)	3,159	HAVA BOŞLUĞU (%)	4,307
BİRİM AĞIRLIK(kg/m^3)	2457	BİRİM AĞIRLIK(kg/m^3)	2423
GYR SAYISI	43	GYR SAYISI	44
STABİLİTE (kg)	1296,653	STABİLİTE (kg)	1913,644
AKMA (mm)	4,118	AKMA (mm)	3,972
MARSHALL ORANI (kg/mm)	317,452	MARSHALL ORANI (kg/mm)	491,626

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bu noktada daha önceden yarım bırakılan 240 kPa'lık yükleme paternine geri dönülmüştür. Çizelge 5.38'de verilen değerler kontrol numunelerinin sonuçlarıdır (24'ü de). Burada yine kontrol numuneleri için ideal sıkıştırmaya başlangıç sıcaklığı olan 145°C sağlanmaya dikkat edilerek asfalt numuneler üretilmiştir. Bu çalışmalarda dörder adet 60, 70, 80 ve 30, 40, 50 dönüş sayıları kullanılarak 10'ar cm'lik yoğurmalı kompaktör numuneleri üretilmiştir (240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısı). Beklendiği üzere 60, 70 ve 80 dönüş sayısı ile üretilen numunelerde hava boşluğu değerleri yine şartname limitlerinin çok altında kalmıştır. Fakat buna rağmen akma değerleri ise şartname üst limitinin çok üzerinde çıkmış ve stabilite değerleri de beklenenden daha düşük çıkarak bu handikaplı duruma eşlik etmiştir. Birim ağırlık değerleri de tüm bunlara bağlı olarak beklenen değerlerin çok çok üzerinde bulunmuştur. İkinci grup numunelerde de dönüş sayısı değerleri aşağı çekilmiş olmasına rağmen, sadece fiziksel özellikler (başlıca dikkat çekenleri V_a değerlerinde 40 ve 50 dönüş sayılarında limitler dahilinde sonuçlar elde edilmeye başlanmıştır) de gelişim gözlenmiştir. Ancak mekanik özellikler de (yine akma değerleri ne yazık ki limit değerin çok çok üzerindedir) gelişim negatif yöndedir. Bu nedenden dolayı halen, " 40", "35" veya "30" dönüş sayısının, 600 kPa-1.25° yükleme paterni için, ya da bu paternin kendi başına, bir optimal değer olduğunu iddia edemeyiz.

12.02.2010 tarihinde hazırlanmış olan numunelerde (Çizelge 5.39) önce 240 kPa değerini kullanıp ve de dönüş sayısını "50" de sabitleyerek, dönüş açısını, 1.6°, 1.8°, 2.2° ve 2.4°'ye, yine üçer numune hazırlamak bazında indirip çıkartarak 12 tane daha numune hazırlayarak test edildi (kontrol numuneler). Bu deneyler sonucu oluşan gözlemler aşağıda maddeler halinde özetlenmektedir:

a) Dönüş açısı (gyration angle) küçüldükçe, beklendiği gibi hava boşluğu değerleri artmaktadır.
b) V_f değerleri azalmakta, V.M.A değerleri de bağıl bir şekilde artmaktadır (numuneler daha boşluklu bir hale gelmektedir).
c) Stabilite değerleri regüler bir patern dahilinde azalmaktadır.
d) Akma değerleri de azalmaktadır.
e) Marshall oranı değerleri de azalmaktadır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

f) Mekanik özellikler beklenen değerler dahilinde değildirler. Ancak fiziksel özellikler kabul edilebilir niteliktedir.

İkinci günkü diğer 12 numunelik kontrol serilerinde ise (15.02.2010), 35 dönüş sayısında 1.30°, 1.35° ve 1.40° (her birinden dörder adet olmak üzere) dönüş açısı kullanarak deneyler yapıldı (Çizelge 5.39). Yukarıdaki a ile f arasındaki argümanlara benzeyen sonuçlar kaydedildi (600 kPa düşey yükleme basıncı altında). Bu noktadan hareketle yapılan daha da ileri dönüş açısı araştırmaları aşağıda belirtilmiştir.

Çizelge 5.40'da görülebileceği üzere, bu 24 numune yine 600 kPa düşey basınç ve 35 dönüş sayısı kullanılarak hazırlanmışlardır. 1.45°, 1.50°, 1.55°, 1.60°, 1.65° ve 1.70° dönüş açısı kullanılarak, her bir değer için dörder tane numune üretilmiştir. Kısaca özetlemek gerekirse, bu çalışmada da Marshall numuneleriyle yeterli bir benzeşim oranı sağlanamamıştır. Bu sebepten dolayı daha ileri analizler yapmak gerekliliği doğmuştur.

Çizelge 5.41'de 1.75°, 1.80° ve 1.85° dönüş açısıyla hazırlanmış yine dörder tane numunenin deney sonuçlarının yanı sıra (35 dönüş sayısı kullanılmış), 1.20°, 1.15° ve 1.10° dönüş açısıyla hazırlanmış dörder numunenin deney sonuçları da yer almaktadır (45 dönüş sayısı kullanılmış). Deney sonuçlarının derinlemesine analizinden gözlemlenmektedir ki, ikinci seri numuneler, özellikle fiziksel özellikler bakımından daha güvenilir ve standartlara yakın sonuçlar vermektedirler.

Yoğurma açısının değişmesiyle hazırlanılan bütün numunelerin ortalamaları ve açıya bağlı olarak değişen fiziksel ve mekanik özelliklerin grafikleri ekler kısmında verilecektir.

Yukarıda belirtilmiş olan hususlardan hareketle, Çizelge 5.42'de bulunan verilerin üretilmesi aşamasında, 600 kPa yüklemenin yanı sıra, öncelikle 45 ve daha sonra 50 dönüş sayısıyla 1.25° dönüş açısına haiz on ikişer adet numune üretilmiştir. Bunun sebebi ise daha önceki açı değişimi çalışmalarından 1.25°'nin ideale yakın fiziksel ve mekanik özelliklerde numuneler üretmiş olmasıdır. Burada özellikle 45 dönüş sayısıyla üretilmiş olan ilk seri numunelere dikkat edilmek gerekirse; bunlar, neredeyse (akma değerleri hariç), birebir Marshall replikaları halinde üretilmişlerdir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.38 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (09-10-11.02.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³			SIKIŞTIRMA PATERNİ:240 kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰															
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	59,96	1149,50	688,0	461,5	2491	2538	11,538	86,608	1,855	13,392	86,152	1,842	2491	80	1415,5	1,10063	1557,942	4,784	325,657
2	5,000	4,762	60,98	1150,40	685,1	465,3	2472	2538	11,453	85,968	2,580	14,032	81,615	2,567	2472	80	1293,0	1,06875	1381,894	5,026	274,949
3	5,000	4,762	60,57	1147,10	684,6	462,5	2480	2538	11,489	86,240	2,271	13,760	83,494	2,258	2480	80	1258,2	1,08156	1360,819	4,574	297,512
Ort.			**60,50**									**13,728**	**83,754**	**2,222**	**2481**	**80**			**1433,551**	**4,795**	**299,372**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³			SIKIŞTIRMA PATERNİ:240 kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰															
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,34	1154,3	686,0	468,3	2465	2538	11,418	85,706	2,876	14,294	79,880	2,863	2465	60	1254,9	1,05750	1327,057	4,868	272,608
2	5,000	4,762	61,56	1154,4	684,9	469,5	2459	2538	11,390	85,495	3,116	14,505	78,520	3,103	2459	60	1234,2	1,05063	1296,688	4,525	286,561
3	5,000	4,762	61,27	1153,9	686,1	467,8	2467	2538	11,426	85,768	2,806	14,232	80,286	2,793	2467	60	130,1	1,05969	137,866	4,623	29,822
4	5,000	4,762	61,43	1153,2	685,0	468,2	2463	2538	11,409	85,643	2,948	14,357	79,469	2,935	2463	60	1284,7	1,05469	1354,960	5,220	259,571
5	5,000	4,762	61,36	1153,5	685,6	467,9	2465	2538	11,420	85,720	2,860	14,280	79,971	2,847	2465	70	1185,4	1,05688	1252,826	4,394	285,122
6	5,000	4,762	61,69	1153,1	683,8	469,3	2457	2538	11,382	85,435	3,184	14,565	78,143	3,171	2457	70	1188,7	1,04656	1244,046	4,318	288,107
7	5,000	4,762	61,32	1154,7	687,1	467,6	2469	2538	11,439	85,864	2,697	14,136	80,922	2,684	2469	70	1238,4	1,05813	1310,388	4,574	286,486
8	5,000	4,762	61,26	1151,3	684,5	466,8	2466	2538	11,425	85,758	2,817	14,242	80,220	2,804	2466	70	1213,5	1,06000	1286,310	5,316	241,970
9	5,000	4,762	61,46	1152,5	684,8	467,7	2464	2538	11,415	85,683	2,903	14,317	79,725	2,890	2464	80	1191,2	1,05375	1255,227	4,620	271,694
10	5,000	4,762	61,28	1153,8	687,0	466,8	2472	2538	11,450	85,945	2,606	14,055	81,460	2,593	2472	80	1203,1	1,05938	1274,540	4,692	271,641
11	5,000	4,762	61,21	1148,6	682,7	465,9	2465	2538	11,420	85,722	2,858	14,278	79,985	2,845	2465	80	1228,4	1,06156	1304,020	4,677	278,816
12	5,000	4,762	61,26	1149,0	683,1	465,9	2466	2538	11,424	85,752	2,824	14,248	80,181	2,811	2466	80	1185,4	1,06000	1256,524	4,488	279,974
Ort.			**61,37**									**14,292**	**79,897**	**2,862**	**2465**	**70**			**1191,704**	**4,693**	**254,364**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg/m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg/m³			SIKIŞTIRMA PATERNİ:240 kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISI												
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg/m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg/m³			BİTİŞ: GYR SAYISI												
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg/m³						PP KATKISI : 0,0 ‰															
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{asf})	(100-b)*g/SG_{agr}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,98	1153,9	675,8	478,1	2414	2538	11,180	83,921	4,900	16,079	69,529	4,887	2414	30	959,6	1,01300	972,075	5,112	190,155
2	5,000	4,762	63,04	1151,5	673,6	477,9	2409	2538	11,161	83,781	5,058	16,219	68,816	5,045	2409	30	920,1	1,01150	930,681	5,158	180,434
3	5,000	4,762	63,84	1152,8	674,2	478,6	2409	2538	11,158	83,753	5,090	16,247	68,674	5,077	2409	30	898,6	0,97280	874,158	5,170	169,083
4	5,000	4,762	63,59	1153,3	673,3	480,0	2403	2538	11,130	83,545	5,325	16,455	67,637	5,313	2403	30	868,5	0,99280	862,247	4,641	185,789
5	5,000	4,762	62,46	1155,2	680,3	474,9	2433	2538	11,268	84,581	4,151	15,419	73,079	4,138	2433	40	1057,9	1,02600	1085,405	5,265	206,155
6	5,000	4,762	62,41	1152,6	678,0	474,6	2429	2538	11,250	84,444	4,306	15,556	72,318	4,294	2429	40	1168,0	1,02725	1199,828	5,263	227,974
7	5,000	4,762	62,57	1153,1	679,5	473,6	2435	2538	11,278	84,659	4,063	15,341	73,518	4,050	2435	40	1032,2	1,02325	1056,199	4,603	229,459
8	5,000	4,762	62,36	1149,7	678,3	471,4	2439	2538	11,298	84,803	3,899	15,197	74,343	3,886	2439	40	1062,9	1,02850	1093,193	5,074	215,450
9	5,000	4,762	62,03	1154,1	683,3	470,8	2451	2538	11,355	85,237	3,408	14,763	76,914	3,396	2451	50	1181,2	1,03675	1224,609	4,725	259,177
10	5,000	4,762	61,76	1147,4	679,0	468,4	2450	2538	11,347	85,176	3,477	14,824	76,545	3,464	2450	50	1186,2	1,04438	1238,844	4,753	260,645
11	5,000	4,762	62,17	1152,8	681,5	471,3	2446	2538	11,330	85,050	3,619	14,950	75,789	3,607	2446	50	1097,6	1,03325	1134,095	5,022	225,825
12	5,000	4,762	61,90	1149,8	680,7	469,1	2451	2538	11,354	85,227	3,419	14,773	76,854	3,407	2451	50	1061,2	1,04000	1103,648	4,915	224,547
Ort.			**62,59**									**15,485**	**72,835**	**4,214**	**2431**	**40**			**1064,582**	**4,975**	**214,558**

Çizelge 5.39 240 kPa ve 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (12-15.02.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ: 240 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰ — NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKET NO	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfalta Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p		p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,93	1145,6	674,2	471,4	2430	2538	11,257	84,501	4,242	15,499	72,632	4,229	2430	50	1,8	1127,4	1,03925	1171,650	4,888	239,699
2	5,000	4,762	61,60	1152,9	683,4	469,5	2456	2538	11,375	85,384	3,242	14,616	77,822	3,229	2456	50	2,2	1169,7	1,04938	1227,460	4,666	263,065
3	5,000	4,762	61,87	1149,3	678,8	470,5	2443	2538	11,315	84,936	3,749	15,064	75,115	3,736	2443	50	2,2	1201,1	1,04094	1250,273	4,729	264,384
4	5,000	4,762	61,79	1154,4	684,9	469,5	2459	2538	11,390	85,495	3,116	14,505	78,520	3,103	2459	50	2,2	996,5	1,04344	1039,788	4,924	211,167
5	5,000	4,762	62,06	1152,5	682,3	470,2	2451	2538	11,354	85,227	3,419	14,773	76,856	3,406	2451	50	2,4	1109,2	1,03600	1149,131	5,165	222,484
6	5,000	4,762	61,71	1149,6	680,6	469,0	2451	2538	11,354	85,230	3,416	14,770	76,874	3,403	2451	50	2,4	1173,0	1,04594	1226,888	4,557	269,231
7	5,000	4,762	61,66	1148,7	681,0	467,7	2456	2538	11,377	85,400	3,223	14,600	77,925	3,210	2456	50	2,4	1195,3	1,04750	1252,077	4,642	269,728
8	5,000	4,762	62,38	1153,9	679,9	474,0	2434	2538	11,277	84,646	4,077	15,354	73,446	4,064	2434	50	1,8	1048,8	1,02800	1078,166	4,469	241,255
9	5,000	4,762	62,08	1151,5	679,7	471,8	2441	2538	11,306	84,864	3,830	15,136	74,695	3,818	2441	50	1,8	1167,2	1,03550	1208,636	5,044	239,618
10	5,000	4,762	61,18	1142,9	671,9	471,0	2427	2538	11,240	84,373	4,386	15,627	71,930	4,374	2427	50	1,6	1045,5	1,06250	1110,844	4,907	226,379
11	5,000	4,762	63,07	1154,0	677,7	476,3	2423	2538	11,223	84,245	4,532	15,755	71,235	4,519	2423	50	1,6	1073,6	1,01075	1085,141	5,052	214,794
12	5,000	4,762	62,70	1155,1	679,0	476,1	2426	2538	11,239	84,361	4,401	15,639	71,861	4,388	2426	50	1,6	1087,7	1,02000	1109,454	4,694	236,356
Ort.			62,00									15,111	74,909	3,790	2441	50	2,0			1159,126	4,811	241,513

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰ — NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKET NO	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfalta Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p		p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,45	1155,0	683,5	471,5	2450	2538	11,347	85,176	3,476	14,824	76,548	3,464	2450	35	1,30	1250,8	1,05406	1318,418	4,684	281,473
2	5,000	4,762	62,02	1153,4	680,0	473,4	2436	2538	11,286	84,717	3,997	15,283	73,846	3,984	2436	35	1,30	1198,6	1,03700	1242,948	4,613	269,445
3	5,000	4,762	61,63	1153,3	681,3	472,0	2443	2538	11,318	84,961	3,721	15,039	75,260	3,708	2443	35	1,30	1206,1	1,04844	1264,523	4,529	279,206
4	5,000	4,762	61,82	1152,9	681,2	471,7	2444	2538	11,322	84,985	3,693	15,015	75,405	3,680	2444	35	1,30	1175,4	1,04250	1225,355	4,187	292,657
5	5,000	4,762	61,07	1141,0	674,0	467,0	2443	2538	11,318	84,955	3,728	15,045	75,224	3,715	2443	35	1,35	1091,8	1,06594	1163,793	4,487	259,370
6	5,000	4,762	62,01	1161,2	686,6	474,6	2447	2538	11,334	85,074	3,592	14,926	75,933	3,580	2447	35	1,35	1242,5	1,03725	1288,783	4,762	270,639
7	5,000	4,762	61,91	1153,0	681,3	471,7	2444	2538	11,323	84,993	3,684	15,007	75,449	3,672	2444	35	1,35	1207,7	1,03975	1255,706	4,335	289,667
8	5,000	4,762	61,25	1144,6	675,3	469,3	2439	2538	11,298	84,805	3,897	15,195	74,352	3,885	2439	35	1,35	1173,0	1,06031	1243,744	4,172	298,117
9	5,000	4,762	61,74	1152,5	681,2	471,3	2445	2538	11,327	85,028	3,645	14,972	75,658	3,632	2445	35	1,40	1137,4	1,04500	1188,583	4,139	287,167
10	5,000	4,762	61,49	1152,5	681,8	470,7	2448	2538	11,342	85,136	3,522	14,864	76,306	3,509	2448	35	1,40	1223,5	1,05281	1288,113	4,143	310,913
11	5,000	4,762	61,75	1154,0	682,4	471,6	2447	2538	11,335	85,085	3,581	14,915	75,995	3,568	2447	35	1,40	1187,9	1,04469	1240,987	4,298	288,736
12	5,000	4,762	61,54	1154,0	682,6	471,4	2448	2538	11,340	85,121	3,540	14,879	76,211	3,527	2448	35	1,40	1302,1	1,05125	1368,833	4,309	317,668
Ort.			61,64									14,997	75,516	3,660	2445	35	1,35			1257,482	4,388	287,088

Çizelge 5.40 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (16-17.02.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰ | NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr) Havada	AĞIRLIK (gr) Suda	HACİM cm³	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) Karışım	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) Karışım (Teorik)	HACİM (Toplama Göre) % Asfalt	HACİM (Toplama Göre) % Agrega	HACİM (Toplama Göre) % Hava Boşluğu	BOŞLUK ORANI (%) Agrega	BOŞLUK ORANI (%) Asfaltla Dolu	BOŞLUK ORANI (%) Toplam Karışım	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg) Deneysel	STABİLİTE (kg) Düzeltme Faktörü	STABİLİTE (kg) Düzeltilmiş	AKMA mm	MQ
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ass}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g					p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,34	1144,5	676,3	468,2	2444	2538	11,323	84,997	3,680	15,003	75,473	3,667	2444	35	1,45	1201,9	1,05750	1271,009	4,419	287,624
2	5,000	4,762	61,76	1151,7	679,4	472,3	2438	2538	11,296	84,789	3,915	15,211	74,260	3,903	2438	35	1,45	1083,6	1,04438	1131,690	4,315	262,269
3	5,000	4,762	61,63	1153,1	681,6	471,5	2446	2538	11,329	85,036	3,635	14,964	75,706	3,623	2446	35	1,45	1232,6	1,04844	1292,307	4,383	294,845
4	5,000	4,762	61,99	1152,5	679,9	472,6	2439	2538	11,296	84,794	3,910	15,206	74,289	3,897	2439	35	1,45	1074,5	1,03775	1115,062	4,094	272,365
5	5,000	4,762	61,57	1154,2	683,0	471,2	2449	2538	11,347	85,172	3,482	14,828	76,519	3,469	2449	35	1,50	1153,9	1,05031	1211,953	4,056	298,805
6	5,000	4,762	61,75	1151,2	679,9	471,3	2443	2538	11,315	84,932	3,753	15,068	75,091	3,741	2443	35	1,50	1168,0	1,04469	1220,198	4,183	291,704
7	5,000	4,762	61,40	1153,1	683,9	469,2	2458	2538	11,384	85,453	3,163	14,547	78,257	3,150	2458	35	1,50	1227,6	1,05563	1295,891	4,313	300,462
8	5,000	4,762	61,91	1153,6	682,5	471,1	2449	2538	11,343	85,145	3,512	14,855	76,360	3,499	2449	35	1,50	1206,9	1,03975	1254,874	3,421	366,815
9	5,000	4,762	62,21	1153,1	681,5	471,6	2445	2538	11,326	85,018	3,656	14,982	75,599	3,643	2445	35	1,55	1203,6	1,03225	1242,416	4,327	287,131
10	5,000	4,762	61,61	1151,5	681,8	469,7	2452	2538	11,356	85,244	3,400	14,756	76,958	3,388	2452	35	1,55	1347,6	1,04906	1413,713	4,867	290,469
11	5,000	4,762	61,79	1146,5	676,5	470,0	2439	2538	11,300	84,819	3,881	15,181	74,434	3,868	2439	35	1,55	1163,9	1,04344	1214,460	4,373	277,718
12	5,000	4,762	62,01	1152,6	681,3	471,3	2446	2538	11,328	85,035	3,636	14,965	75,701	3,624	2446	35	1,55	1178,8	1,03725	1222,710	4,205	290,775
Ort.			**61,75**									**14,964**	**75,721**	**3,623**	**2446**	**35**	**1,50**			**1240,524**	**4,246**	**293,415**

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰ | NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr) Havada	AĞIRLIK (gr) Suda	HACİM cm³	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) Karışım	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³) Karışım (Teorik)	HACİM (Toplama Göre) % Asfalt	HACİM (Toplama Göre) % Agrega	HACİM (Toplama Göre) % Hava Boşluğu	BOŞLUK ORANI (%) Agrega	BOŞLUK ORANI (%) Asfaltla Dolu	BOŞLUK ORANI (%) Toplam Karışım	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg) Deneysel	STABİLİTE (kg) Düzeltme Faktörü	STABİLİTE (kg) Düzeltilmiş	AKMA mm	MQ
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ass}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g					p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,49	1147,5	679,2	468,3	2450	2538	11,351	85,201	3,448	14,799	76,701	3,435	2450	35	1,60	1125,0	1,05281	1184,411	4,185	283,013
2	5,000	4,762	61,77	1160,9	688,1	472,8	2455	2538	11,374	85,376	3,250	14,624	77,775	3,237	2455	35	1,60	1134,1	1,04406	1184,068	3,780	313,246
3	5,000	4,762	61,11	1149,2	683,1	466,1	2466	2538	11,421	85,730	2,849	14,270	80,038	2,836	2466	35	1,60	1239,2	1,06469	1319,364	4,401	299,787
4	5,000	4,762	61,02	1150,0	683,7	466,3	2466	2538	11,424	85,753	2,823	14,247	80,188	2,810	2466	35	1,60	1250,0	1,06750	1334,375	4,303	310,103
5	5,000	4,762	60,91	1149,5	683,9	465,6	2469	2538	11,436	85,845	2,719	14,155	80,793	2,706	2469	35	1,65	1288,0	1,07094	1379,371	4,207	327,875
6	5,000	4,762	61,57	1154,7	684,7	470,0	2457	2538	11,380	85,426	3,194	14,574	78,087	3,181	2457	35	1,65	1239,2	1,05031	1301,544	4,302	302,544
7	5,000	4,762	61,66	1152,3	682,1	470,2	2451	2538	11,352	85,212	3,436	14,788	76,765	3,423	2451	35	1,65	1136,5	1,04750	1190,484	4,211	282,708
8	5,000	4,762	61,81	1156,7	684,6	472,1	2450	2538	11,349	85,193	3,457	14,807	76,651	3,445	2450	35	1,65	1111,7	1,04281	1159,292	4,137	280,225
9	5,000	4,762	61,04	1151,9	685,1	466,8	2468	2538	11,431	85,803	2,766	14,197	80,515	2,754	2468	35	1,70	1283,1	1,06688	1368,914	4,330	316,146
10	5,000	4,762	61,71	1151,0	681,8	469,2	2453	2538	11,363	85,297	3,339	14,703	77,288	3,327	2453	35	1,70	1268,2	1,04594	1326,461	4,472	296,615
11	5,000	4,762	61,14	1153,0	685,2	467,8	2465	2538	11,417	85,701	2,882	14,299	79,848	2,869	2465	35	1,70	1273,1	1,06375	1354,260	4,508	300,413
12	5,000	4,762	61,34	1153,5	685,3	468,2	2464	2538	11,412	85,665	2,922	14,335	79,613	2,910	2464	35	1,70	1197,0	1,05750	1265,828	4,142	305,608
Ort.			**61,38**									**14,483**	**78,688**	**3,078**	**2459**	**35**	**1,65**			**1280,698**	**4,248**	**301,524**

Çizelge 5.41 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (18-19.02.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	0,0	‰	NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKEN NO	AÇ %	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
																		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltme	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)					p * Düzeltme F.		mm	q/s
									b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g								
1	5,000	4,762	60,50	1144,4	679,5	464,9	2462	2538	11,403	85,593	3,005	14,407	79,145	2,992	2462	35	1,75	1232,6	1,08375	1335,830	4,142	322,509
2	5,000	4,762	61,34	1153,8	684,3	469,5	2458	2538	11,384	85,450	3,166	14,550	78,240	3,153	2458	35	1,75	1305,4	1,05750	1380,461	4,585	301,082
3	5,000	4,762	61,54	1152,2	683,7	468,5	2459	2538	11,392	85,514	3,094	14,486	78,642	3,081	2459	35	1,75	1179,6	1,06125	1240,055	4,297	288,586
4	5,000	4,762	61,48	1153,9	684,1	469,8	2456	2538	11,377	85,403	3,219	14,597	77,944	3,207	2456	35	1,75	1312,0	1,05313	1381,707	4,321	319,765
5	5,000	4,762	61,16	1152,3	684,9	467,4	2465	2538	11,420	85,723	2,857	14,277	79,986	2,845	2465	35	1,80	1264,9	1,06313	1344,753	3,977	338,133
6	5,000	4,762	61,39	1150,7	682,3	468,4	2457	2538	11,380	85,421	3,199	14,579	78,055	3,187	2457	35	1,80	1382,2	1,05594	1459,520	4,529	322,261
7	5,000	4,762	61,38	1152,0	683,6	468,4	2459	2538	11,393	85,517	3,090	14,483	78,664	3,077	2459	35	1,80	1203,6	1,05625	1271,303	4,386	289,855
8	5,000	4,762	61,41	1150,3	682,3	468,0	2458	2538	11,386	85,464	3,150	14,536	78,327	3,138	2458	35	1,80	1223,5	1,05531	1291,172	4,306	299,854
9	5,000	4,762	61,61	1152,3	683,1	469,2	2456	2538	11,376	85,394	3,230	14,606	77,886	3,217	2456	35	1,85	1221,0	1,04906	1280,902	4,443	288,297
10	5,000	4,762	60,93	1146,3	681,2	465,1	2465	2538	11,417	85,698	2,885	14,302	79,826	2,873	2465	35	1,85	1283,9	1,07031	1374,171	3,165	434,177
11	5,000	4,762	60,86	1150,1	684,3	465,8	2469	2538	11,437	85,853	2,710	14,147	80,845	2,697	2469	35	1,85	1226,8	1,07250	1315,743	4,036	326,002
12	5,000	4,762	61,01	1150,3	683,8	466,5	2466	2538	11,422	85,739	2,839	14,261	80,093	2,826	2466	35	1,85	1254,9	1,06781	1339,995	4,698	285,227
Ort.			61,22									14,436	78,971	3,024	2461	35	1,80			1334,634	4,240	317,979

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	0,0	‰	NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

BİRİKEN NO	AÇ %	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
																		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltme	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)					p * Düzeltme F.		mm	q/s
									b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g								
1	5,000	4,762	61,73	1157,0	682,0	475,0	2436	2538	11,283	84,695	4,022	15,305	73,722	4,009	2436	45	1,20	1243,3	1,04531	1299,634	2,897	448,614
2	5,000	4,762	61,39	1148,8	678,3	470,5	2442	2538	11,310	84,899	3,791	15,101	74,898	3,778	2442	45	1,20	1204,4	1,05594	1271,774	3,658	347,669
3	5,000	4,762	61,79	1148,6	675,6	473,0	2428	2538	11,249	84,436	4,316	15,564	72,271	4,303	2428	45	1,20	1088,5	1,04344	1135,784	3,957	287,032
4	5,000	4,762	62,31	1162,4	684,6	477,8	2433	2538	11,269	84,592	4,139	15,408	73,138	4,126	2433	45	1,20	1276,4	1,02975	1314,373	4,346	302,433
5	5,000	4,762	62,04	1155,1	679,1	476,0	2427	2538	11,241	84,378	4,381	15,622	71,957	4,368	2427	45	1,15	1155,0	1,03650	1197,158	4,986	240,104
6	5,000	4,762	61,96	1152,3	677,1	475,2	2425	2538	11,233	84,316	4,452	15,684	71,616	4,439	2425	45	1,15	1128,3	1,03850	1171,740	4,213	278,125
7	5,000	4,762	61,97	1152,9	677,3	475,6	2424	2538	11,229	84,289	4,483	15,711	71,469	4,470	2424	45	1,15	1135,7	1,03825	1179,141	4,120	286,199
8	5,000	4,762	62,25	1153,8	676,6	477,2	2418	2538	11,200	84,071	4,729	15,929	70,314	4,716	2418	45	1,15	1197,0	1,03125	1234,406	4,444	277,769
9	5,000	4,762	62,27	1149,8	673,0	476,8	2411	2538	11,171	83,850	4,979	16,150	69,169	4,967	2411	45	1,10	1060,4	1,03075	1093,007	3,783	288,926
10	5,000	4,762	60,84	1139,8	672,2	467,6	2438	2538	11,291	84,756	3,952	15,244	74,072	3,940	2438	45	1,10	1152,3	1,07313	1236,568	4,376	282,579
11	5,000	4,762	61,08	1142,9	673,3	469,6	2434	2538	11,274	84,625	4,101	15,375	73,325	4,089	2434	45	1,10	1177,9	1,06563	1255,206	4,034	311,157
12	5,000	4,762	61,68	1150,4	684,5	474,9	2441	2538	11,309	84,889	3,802	15,111	74,837	3,790	2441	45	1,10	1266,5	1,04688	1325,874	4,529	292,752
Ort.			61,78									15,517	72,566	4,250	2430	45	1,15			1226,222	4,112	303,613

Çizelge 5.42 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (22-23.02.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,40	1132,2	665,6	466,6	2426	2538	11,240	84,372	4,388	15,628	71,921	4,376	2426	45	1144,8	1,08688	1244,260	4,257	292,286
2	5,000	4,762	61,15	1157,1	682,7	474,4	2439	2538	11,298	84,810	3,892	15,190	74,378	3,879	2439	45	1332,7	1,06344	1417,246	4,484	316,067
3	5,000	4,762	60,95	1148,0	672,9	475,1	2416	2538	11,193	84,019	4,788	15,981	70,037	4,776	2416	45	1137,4	1,06969	1216,665	4,051	300,337
4	5,000	4,762	61,00	1142,4	673,5	468,9	2436	2538	11,286	84,714	4,000	15,286	73,831	3,987	2436	45	1187,0	1,06813	1267,870	3,925	323,024
5	5,000	4,762	61,28	1155,4	681,1	474,3	2436	2538	11,284	84,703	4,013	15,297	73,766	4,000	2436	45	1317,8	1,05938	1396,051	4,363	319,975
6	5,000	4,762	61,21	1150,7	678,1	472,6	2435	2538	11,279	84,662	4,060	15,338	73,532	4,047	2435	45	1197,0	1,06156	1270,687	4,233	300,186
7	5,000	4,762	61,19	1146,6	675,3	471,3	2433	2538	11,269	84,593	4,138	15,407	73,144	4,125	2433	45	1197,0	1,06219	1271,441	4,284	296,788
8	5,000	4,762	61,01	1145,4	675,6	469,8	2438	2538	11,294	84,774	3,932	15,226	74,173	3,920	2438	45	1168,0	1,06781	1247,202	4,408	282,941
9	5,000	4,762	61,34	1147,8	675,7	472,1	2431	2538	11,262	84,538	4,200	15,462	72,836	4,188	2431	45	1127,4	1,05750	1192,226	4,041	295,032
10	5,000	4,762	60,99	1142,8	673,3	469,5	2434	2538	11,275	84,636	4,089	15,364	73,385	4,077	2434	45	1229,3	1,06844	1313,433	4,200	312,722
11	5,000	4,762	60,60	1144,3	676,5	467,8	2446	2538	11,331	85,055	3,614	14,945	75,816	3,602	2446	45	1192,0	1,08063	1288,111	4,173	308,677
12	5,000	4,762	62,21	1167,4	689,1	478,3	2441	2538	11,306	84,867	3,827	15,133	74,710	3,815	2441	45	1307,1	1,03225	1349,254	4,305	313,416
Ort.			**61,11**									**15,355**	**73,461**	**4,066**	**2434**	**45**			**1289,537**	**4,227**	**305,121**

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: GYR SAYISI

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,47	1140,2	678,4	461,8	2469	2538	11,437	85,851	2,712	14,149	80,834	2,699	2469	50	1073,6	1,08469	1164,523	4,166	279,530
2	5,000	4,762	61,08	1154,0	686,9	467,1	2471	2538	11,444	85,904	2,652	14,096	81,189	2,639	2471	50	1247,5	1,06563	1329,373	3,458	384,434
3	5,000	4,762	61,36	1149,5	682,9	466,6	2464	2538	11,412	85,661	2,927	14,339	79,585	2,915	2464	50	1223,5	1,05688	1293,093	4,182	309,204
4	5,000	4,762	60,40	1140,7	679,7	461,0	2474	2538	11,462	86,038	2,500	13,962	82,093	2,487	2474	50	1290,5	1,08688	1402,619	4,307	325,660
5	5,000	4,762	61,51	1159,7	690,3	469,4	2471	2538	11,444	85,906	2,650	14,094	81,197	2,637	2471	50	1292,2	1,05219	1359,640	4,052	335,548
6	5,000	4,762	61,34	1155,7	688,9	466,8	2476	2538	11,468	86,086	2,446	13,914	82,424	2,433	2476	50	1303,8	1,05750	1378,769	4,028	342,296
7	5,000	4,762	60,84	1149,2	686,7	462,5	2485	2538	11,510	86,398	2,092	13,602	84,618	2,079	2485	50	1295,5	1,07313	1390,240	4,109	338,340
8	5,000	4,762	60,92	1153,2	688,9	464,3	2484	2538	11,505	86,362	2,132	13,638	84,364	2,120	2484	50	1308,7	1,07063	1401,133	4,321	324,261
9	5,000	4,762	60,99	1148,4	685,3	463,1	2480	2538	11,487	86,226	2,287	13,774	83,395	2,274	2480	50	1305,4	1,06844	1394,742	4,329	322,186
10	5,000	4,762	61,11	1155,2	689,8	465,4	2482	2538	11,497	86,304	2,198	13,696	83,950	2,185	2482	50	1350,9	1,06469	1438,290	4,338	331,556
11	5,000	4,762	61,24	1148,6	684,5	464,1	2475	2538	11,464	86,055	2,481	13,945	82,210	2,468	2475	50	1236,7	1,06063	1311,681	4,565	287,334
12	5,000	4,762	61,02	1153,0	687,8	465,2	2479	2538	11,481	86,180	2,339	13,820	83,077	2,326	2479	50	1306,9	1,06750	1395,116	4,180	333,760
Ort.			**61,02**									**13,919**	**82,411**	**2,439**	**2476**	**50**			**1354,935**	**4,170**	**326,176**

Bitümlü sıcak karışımların Marshall dizayn yöntemiyle sıkıştırılması ve mekanik yöntemlerle test edilmeleri hususunda daha önce hazırlanılmış olan ve Şenol ÖZCAN tarafından yapılan, Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans çalışmasındaki sonuçlar derinlemesine incelendiğinde görülmektedir ki, kontrol numunelerinin, her yüze elli vuruş (orta trafik hacimli yollar için) yapılarak üretilen Marshall numunelerinin, ideal koşullarda, numune yükseklikleri yaklaşık olarak "59.0 mm" civarında olmaktadır (Standart sıkıştırmaya başlangıç sıcaklığı 145°C ve numune ağırlığı yaklaşık olarak 1155 gr civarında iken). Buna göre, Marshall kompaktörü ile yapılan sıkıştırmadan aslında tamamıyla farklı ve mekanik açıdan arazide silindiraj vasıtasıyla yapılan kompaksiyonu laboratuar ortamında ideale en yakın şekilde simule eden yoğurmalı kompaktör ile üretilen numuneler, fiziksel ve mekanik açıdan son derece değişik özellikler göstermektedirler. Özellikle tekrarlı sünme deneyleri yürütüldüğünde bu fark çok daha bariz bir şekilde ortaya çıkacaktır.

Şu ana kadar üretilmiş olan yaklaşık 380 adet numuneden elde edilen veriler, henüz "optimal" bir "dönüş sayısı" rakamını ne yazık ki dikte edememektedir. İşte bu nedenden dolayı, artık bu optimal dönüş sayısını bulabilmek adına, daha önce üretilmiş olan yoğurmalı kompaktör numunelerinde belirgin bir şekilde kendisini belli eden "61.5 mm" lik numune yüksekliği değeri üzerine giderek, daha farklı bir üretim paternine geçilmiştir. Bu nedenden dolayı Çizelge 5.43 ve 5.44'de bulunan 36 adet numune (ilki hariç), 61.5 mm yüksekliği hedef alınarak üretilmiştir. Bu yükseklik değeri hem cihaz üzerindeki dijital göstergeden bir anlamda "manuel" olarak gözlemlenmekte, hem Servopac Version 1.26 yazılımından online loglanmakta ve hem de kumpas ölçümleriyle "3" kere kontrol edilmektedir. Bunun yanı sıra, son derece hassas bir şekilde en az "4" kez tekrar edilmiş agrega ve bitüm özgül ağırlığı tayin deneyleri sonucu bulunmuş olan Maksimum Teorik Karışım Birim Ağırlık değerleri ve diğer bazı parametrelerin sisteme girilmesiyle beraber Servopac yazılımı tarafından otomatik olarak hesap edilen hava boşluğu, birim ağırlık ve kayma direnci değerleriyle sürekli olarak numuneler sıkıştırılırken online bir şekilde kontrol edilmektedir. Son olarak ise numunelerin havada ve suda tartımları yapılmakta ve bu sonuçlar teker teker yeniden kontrole tabi tutulmaktadır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.43 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25.02.2010)

BİRİKİM NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	PP KATKISI : 0,0 ‰	

BİRİKİM NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)			HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
				Havada	Suda			Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	p * Düzeltme F.	Düzeltilmiş		
a	b	c	d	e		f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)	(mm)				cm³	d/(d-e)		b*g/(S.G$_{agr}$)	(100-b)*g/S.G$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g								
1	5,000	4,762	61,97	1157,0	683,0	474,0	2441	2538	11,307	84,874	3,819	15,126	74,750	3,807	2441	33	1187,0	1,03825	1232,403	4,303	286,405
2	5,000	4,762	61,50	1154,1	683,2	470,9	2451	2538	11,353	85,218	3,429	14,782	76,804	3,416	2451	39	1230,1	1,05250	1294,680	4,256	304,201
3	5,000	4,762	61,50	1155,9	685,1	470,8	2455	2538	11,373	85,369	3,258	14,631	77,734	3,245	2455	45	1336,9	1,05250	1407,087	4,294	327,687
4	5,000	4,762	61,47	1154,7	684,0	470,7	2453	2538	11,364	85,299	3,338	14,701	77,297	3,325	2453	37	1121,0	1,05344	1180,906	4,160	283,872
5	5,000	4,762	61,49	1152,3	681,7	470,6	2449	2538	11,342	85,140	3,518	14,860	76,326	3,505	2449	39	1121,6	1,05281	1180,832	3,759	314,135
6	5,000	4,762	61,47	1153,7	683,4	470,3	2453	2538	11,363	85,298	3,339	14,702	77,289	3,326	2453	42	1260,7	1,05344	1328,072	4,152	319,863
7	5,000	4,762	61,48	1152,7	683,4	469,3	2456	2538	11,378	85,405	3,217	14,595	77,957	3,204	2456	43	1236,7	1,05313	1302,406	4,153	313,606
8	5,000	4,762	61,48	1151,9	681,6	470,3	2449	2538	11,346	85,164	3,490	14,836	76,476	3,477	2449	38	1236,7	1,05313	1302,406	4,364	298,443
9	5,000	4,762	61,47	1157,9	687,9	470,0	2464	2538	11,412	85,663	2,925	14,337	79,597	2,913	2464	54	1294,7	1,05344	1363,889	4,297	317,405
10	5,000	4,762	61,48	1150,9	682,4	468,5	2457	2538	11,379	85,417	3,203	14,583	78,034	3,191	2457	41	1249,1	1,05313	1315,465	4,379	300,403
11	5,000	4,762	61,48	1154,8	684,9	469,9	2458	2538	11,384	85,452	3,165	14,548	78,248	3,152	2458	49	1286,4	1,05313	1354,746	4,193	323,097
12	5,000	4,762	61,48	1150,8	680,4	470,4	2446	2538	11,332	85,065	3,603	14,935	75,878	3,590	2446	39	1233,4	1,05313	1298,931	4,532	286,613
Ort.			**61,52**									**14,720**	**77,199**	**3,346**	**2453**	**42**			**1296,819**	**4,237**	**306,311**

BİRİKİM NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	PP KATKISI : 0,0 ‰	

BİRİKİM NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)			HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
				Havada	Suda			Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	p * Düzeltme F.	Düzeltilmiş		
a	b	c	d	e		f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)	(mm)				cm³	d/(d-e)		b*g/(S.G$_{agr}$)	(100-b)*g/S.G$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g								
1	5,000	4,762	61,49	1149,1	678,6	470,5	2442	2538	11,313	84,921	3,765	15,079	75,028	3,753	2442	39	1155,6	1,05281	1216,627	4,194	290,088
2	5,000	4,762	61,44	1154,0	683,5	470,5	2453	2538	11,361	85,283	3,355	14,717	77,202	3,342	2453	39	1187,9	1,05438	1252,498	4,353	287,732
3	5,000	4,762	61,50	1159,0	688,2	470,8	2462	2538	11,403	85,598	2,998	14,402	79,182	2,985	2462	44	1295,5	1,05250	1363,514	4,176	326,512
4	5,000	4,762	61,48	1154,3	684,1	470,2	2455	2538	11,372	85,360	3,268	14,640	77,676	3,256	2455	43	1234,2	1,05313	1299,773	4,166	311,995
5	5,000	4,762	61,49	1152,7	682,0	470,7	2449	2538	11,344	85,151	3,505	14,849	76,396	3,492	2449	35	1211,0	1,05281	1274,953	4,394	290,158
6	5,000	4,762	61,46	1155,5	685,5	470,0	2459	2538	11,388	85,485	3,127	14,515	78,460	3,114	2459	38	1138,2	1,05375	1199,378	4,403	272,400
7	5,000	4,762	61,44	1149,5	681,0	468,5	2454	2538	11,365	85,314	3,321	14,686	77,387	3,308	2454	37	1065,3	1,05438	1123,231	4,043	277,821
8	5,000	4,762	61,49	1156,4	687,2	469,2	2465	2538	11,417	85,698	2,886	14,302	79,823	2,873	2465	44	1206,1	1,05281	1269,794	4,583	277,066
9	5,000	4,762	61,46	1149,4	680,4	469,0	2451	2538	11,352	85,215	3,432	14,785	76,784	3,420	2451	36	1169,7	1,05375	1232,571	4,390	280,768
10	5,000	4,762	61,47	1154,7	685,6	469,1	2462	2538	11,402	85,590	3,008	14,410	79,127	2,995	2462	42	1134,1	1,05344	1194,706	4,086	292,390
11	5,000	4,762	61,50	1151,5	682,0	469,5	2453	2538	11,361	85,280	3,359	14,720	77,180	3,346	2453	40	1132,4	1,05250	1191,851	3,923	303,811
12	5,000	4,762	61,48	1151,8	681,8	470,0	2451	2538	11,352	85,211	3,437	14,789	76,761	3,424	2451	36	1134,1	1,05313	1194,355	4,330	275,833
Ort.			**61,48**									**14,658**	**77,584**	**3,276**	**2454**	**39**			**1234,438**	**4,253**	**290,548**

Çizelge 5.44 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (26.02.2010)

BİRİKİMİ NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI																					
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK																					
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	PP KATKISI : 0,0 ‰	HACİM (Toplama Göre) %						BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
	AC %	AC %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)		Havada	Suda	cm³	d/(d-e)	Karışım (Teorik)		(100-b)*g/SG$_{AVE}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.			q/s
1	5,000	4,762	61,47	1153,7	683,7	470,0	2455	2538	11,371	85,352	3,277	14,648	77,625	3,265	2455	35	1185,4	1,05344	1248,748	4,376	285,363	
2	5,000	4,762	61,49	1155,5	685,1	470,4	2456	2538	11,379	85,412	3,209	14,588	78,003	3,196	2456	34	1163,0	1,05381	1225,581	4,022	304,719	
3	5,000	4,762	61,50	1160,2	689,9	470,3	2467	2538	11,427	85,778	2,795	14,222	80,351	2,782	2467	42	1222,6	1,05250	1286,787	4,145	310,443	
4	5,000	4,762	61,46	1154,7	685,5	469,2	2461	2538	11,400	85,572	3,029	14,428	79,010	3,016	2461	38	1158,1	1,05375	1220,348	4,121	296,129	
5	5,000	4,762	61,44	1152,8	685,3	467,5	2466	2538	11,422	85,741	2,836	14,259	80,110	2,823	2466	38	1191,2	1,05438	1255,977	3,887	323,123	
6	5,000	4,762	61,46	1154,4	685,6	468,8	2462	2538	11,407	85,622	2,971	14,378	79,336	2,958	2462	41	1195,3	1,05375	1259,547	3,961	317,987	
7	5,000	4,762	61,47	1155,1	685,7	469,4	2461	2538	11,399	85,565	3,036	14,435	78,966	3,024	2461	37	1228,4	1,05344	1294,046	4,128	313,480	
8	5,000	4,762	61,44	1147,8	679,5	468,3	2451	2538	11,353	85,224	3,423	14,776	76,836	3,410	2451	35	1164,7	1,05438	1228,036	4,175	294,140	
9	5,000	4,762	61,49	1157,0	687,0	470,0	2462	2538	11,403	85,596	3,001	14,404	79,167	2,988	2462	41	1237,5	1,05281	1302,852	3,893	334,665	
10	5,000	4,762	61,45	1151,1	683,5	467,6	2462	2538	11,403	85,597	3,000	14,403	79,171	2,987	2462	36	1190,3	1,05406	1254,648	4,163	301,381	
11	5,000	4,762	61,48	1151,8	683,0	468,8	2457	2538	11,381	85,430	3,190	14,570	78,110	3,177	2457	36	1125,8	1,05313	1185,614	4,263	278,117	
12	5,000	4,762	61,48	1158,1	688,5	469,6	2466	2538	11,424	85,750	2,826	14,250	80,169	2,813	2466	42	1288,0	1,05313	1356,431	4,018	337,589	
Ort.			**61,47**									**14,447**	**78,904**	**3,037**	**2460**	**38**			**1259,885**	**4,096**	**308,095**	

Çizelge 5.45 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (24-25-26.02.2010)

| BİRİKİMİ NO | KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | | | | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³
AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³
PP KATKISI : 0,0 ‰ | | | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK | | | |

. Bu seride üretilmiş olan 36 adet numunenin bir bütün halinde ve veri kümesi üzerinde daha ileri analizler yapılmış halde Çizelge 5.45'de toplu halde sunulmuştur. Bu argümanlar ışığında kontrol numunelerinin tüm fiziksel özellikleri (V_a, V.M.A, V_f değerleri), Marshall stabilitesi değerleri Marshall numunelerini nerdeyse "bire bir" simule etmektedir. Ancak daha önce de belirtilmiş olan "akma" ve dolayısıyla "Marshall Oranı" değerlerindeki problem ne yazık ki henüz bu aşamada çözülememiştir (Çizelge 5.46). Ayrıca bu seriden açıkça görülmektedir ki, "optimal gyration number" (optimal dönüş sayısı), cihazdan alınan birebir okumaların ışığında rahatlıkla **"40"** olarak kabul edilebilir. Bu husus, 10 cm'lik Superpave yoğurmalı kompaktör numuneleri için bir Standart oluşturmak hususunda çok çok önemli bir adımdır. Hesaplanan birim ağırlıklarda 2456 kg/m^3 civarında çıkmakta ve buda son derece teşvik edici bir noktadır. Ve de artık kontrol numuneleri üretiminde bir optimal nokta olarak kabul edilebilir.

Çizelge 5.46 Katkısız Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

		MARSHALL	SUPERPAVE	BENZERLİK
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Hava Boşluğu (%)	3,443	3,219	<%6,506
	Birim Ağırlık (kg/m^3)	2465	2456	<%0,365
	V_f (%)	76,990	77,896	>%1,177
	VMA (%)	14,919	14,608	<%2,085
MEKANİK ÖZELLİKLER	Stabilite (kg)	1294,355	1263,714	<%2,367
	Akma (mm)	3,463	4,195	>%21,138
	Marshall Oranı (kg/mm)	376,899	301,651	<%19,989
	GYR SAYISI	-	40	
	YÜKSEKLİK (mm)	-	61,5	

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bu aşamada çalışma için yürütülen deneylerde asıl olan polipropilen ile modifiye edilmiş asfalt karışımların, yükseklik değerleri baz alınarak hazırlanmaya başlanan numunelere bir temel teşkil edecek olan 12 adet numunenin sonuçlarını irdelenmiştir. Çizelge 5.47'deki ilk on iki numunelik serinin (01.03.2010 tarihli) üst kısmındaki lejant bölümünde yer alan bilgilerden kısaca bahsetmek gerekirse:

1) 1. numune 2332 kg/m^3 birim ağırlığa göre, 2. numune 61.5 mm, 3. Numune 63.0 mm 4 numune 62.5 mm yükseklik kriterleri göz önüne alınarak hazırlanmıştır
2) Diğer numuneler 62.7 mm yükseklik göz önüne alınarak hazırlanmıştır
3) 1, 2, 4 ve 7. numunelerdeki dönüş sayısı sorunları hazırlama esnasındaki bir dikkatsizlikten dolayı meydana gelmiştir. Bu numunelerin dönüş sayılarının ortalamadan çıkarılması sonucu yine "40" adet optimal dönüş sayısı değeri elde edilmiştir. Bu da çok önemli bir olgudur.
4) Akma değerleri de ilk kez limitler içerisinde hesaplanmıştır (2-4 mm). Bu da çok önemli bir gelişmedir.

Aşağıdaki Çizelge 5.47 ve 5.48'den de görülebileceği üzere, polipropilen katkılı numunelerde bir optimal değer olarak addedilebilecek "62.70 mm" değeri, bu 24 adet numunenin hazırlanmasında kullanılmıştır. Kontrol numunelerinden "1 mm" daha yüksek numune üretmeyi amaçlanması polipropilen modifikasyonun tabiatı gereği olan daha "boşluklu" numune üretilebilmesine yöneliktir. Bu numunelerde en dikkate şayan olgu mekanik özelliklerdeki belirgin mükemmelleşmedir. Akmalar da yine Çizelge 5.45'de olduğu gibi şartname limitleri dâhiline girmiştir. Stabiliteler ve dolayısıyla Marshall oranı değerleri de bu olguya eşlik etmektedirler. Dönüş sayıları da yine 40 civarında dolaşmaktadır. Bütün bu iyileşmelere rağmen 62,7 mm değerinin yetersizliği gözle görülür bir şekilde karşımıza çıkmaktadır. Bu sebeple devam edilen çalışmalarda yükseklik kriterleri bir miktar daha arttırılacaktır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.47 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (01-02.03.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.7mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰ — NOT: 1.NUM. 2332 kg/m3 BİRİM AĞIRLIĞA, 2.NUM. 61.5mm, 3.NUM. 63.0, 4.NUM. 62.5mm YÜKSEKLİĞE GÖRE SIKIŞTIRILMIŞTIR.

BİRLİKTE NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
																	Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	cm³	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q	p * Düzeltme F.	s	t	q/s
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)								b*g/(S G$_{ag}$)	(100-b)*g/S G$_{ag}$	100-i-j	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım								
1	5,000	4,762	63,31	1155,2	667,7	487,5	2370	2533	11,161	82,395	6,444	17,605	63,398	6,431	2370	201	1746,6	1,00475	1754,896	3,869	453,579
2	5,000	4,762	61,50	1151,5	679,1	472,4	2438	2533	11,481	84,756	3,762	15,244	75,318	3,750	2438	119	2000,6	1,05250	2105,632	3,766	559,116
3	5,000	4,762	63,00	1153,1	674,3	478,8	2408	2533	11,343	83,740	4,917	16,260	69,761	4,904	2408	38	1880,3	1,01250	1903,804	3,710	513,155
4	5,000	4,762	62,49	1155,8	679,0	476,8	2424	2533	11,418	84,288	4,294	15,712	72,668	4,282	2424	78	2062,5	1,02525	2114,578	4,010	527,326
5	5,000	4,762	61,70	1155,8	679,0	476,8	2424	2533	11,418	84,288	4,294	15,712	72,668	4,282	2424	41	1913,6	1,02000	1951,872	4,087	477,581
6	5,000	4,762	62,69	1152,9	676,3	476,6	2419	2533	11,394	84,112	4,495	15,888	71,712	4,482	2419	44	1875,4	1,02025	1913,377	3,872	494,157
7	5,000	4,762	62,70	1154,9	675,7	479,2	2410	2533	11,352	83,800	4,848	16,200	70,073	4,836	2410	133	2082,8	1,02000	2124,456	3,833	554,254
8	5,000	4,762	62,69	1152,6	674,0	478,6	2408	2533	11,343	83,738	4,918	16,262	69,754	4,906	2408	40	1874,5	1,02025	1912,459	3,824	500,120
9	5,000	4,762	62,69	1155,4	678,7	476,7	2424	2533	11,416	84,276	4,308	15,724	72,605	4,295	2424	43	1926,0	1,02025	1965,002	3,695	531,800
10	5,000	4,762	62,70	1155,0	677,7	477,3	2420	2533	11,398	84,141	4,461	15,859	71,871	4,448	2420	43	1803,1	1,02000	1839,162	3,934	467,504
11	5,000	4,762	62,68	1152,3	676,4	475,9	2421	2533	11,405	84,192	4,404	15,808	72,142	4,391	2421	43	1877,0	1,02500	1923,925	4,018	478,827
12	5,000	4,762	62,68	1152,3	676,6	475,7	2422	2533	11,409	84,227	4,364	15,773	72,335	4,351	2422	29	1666,9	1,02500	1708,573	3,828	446,336
Ort.	NOT: 1,2,3,4 VE 7 NUMARALI NUMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR													15,861	71,869	4,451	2420	40		1887,767	3,894	485,189

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.7mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLİKTE NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
																	Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	cm³	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q	p * Düzeltme F.	s	t	q/s
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)								b*g/(S G$_{ag}$)	(100-b)*g/S G$_{ag}$	100-i-j	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım								
1	5,000	4,762	62,79	1156,2	675,5	480,7	2405	2533	11,329	83,633	5,038	16,367	69,218	5,026	2405	162	2010,5	1,01775	2046,186	4,117	497,009
2	5,000	4,762	62,65	1154,6	676,0	478,6	2412	2533	11,363	83,884	4,753	16,116	70,505	4,741	2412	32	1785,7	1,02125	1823,646	3,859	472,570
3	5,000	4,762	62,69	1156,7	678,9	477,8	2421	2533	11,403	84,177	4,420	15,823	72,063	4,408	2421	33	1768,2	1,02025	1804,006	3,810	473,492
4	5,000	4,762	62,69	1153,8	677,0	476,8	2420	2533	11,398	84,142	4,460	15,858	71,875	4,448	2420	29	1898,6	1,02025	1937,047	3,815	507,745
5	5,000	4,762	62,68	1152,4	676,5	475,9	2422	2533	11,406	84,199	4,396	15,801	72,182	4,383	2422	39	1745,0	1,02050	1780,773	3,992	446,085
6	5,000	4,762	62,66	1154,4	679,0	475,4	2428	2533	11,437	84,434	4,129	15,566	73,475	4,116	2428	35	1891,1	1,02100	1930,813	4,164	463,692
7	5,000	4,762	62,70	1153,1	676,0	477,1	2417	2533	11,384	84,038	4,578	15,962	71,319	4,566	2417	52	1867,1	1,02000	1904,442	3,469	548,989
8	5,000	4,762	62,69	1153,0	677,8	475,2	2426	2533	11,428	84,367	4,205	15,633	73,103	4,192	2426	59	2074,7	1,02025	2116,713	4,097	516,649
9	5,000	4,762	62,70	1153,1	676,4	476,7	2419	2533	11,393	84,109	4,498	15,891	71,695	4,486	2419	31	1894,5	1,02000	1932,390	3,861	500,490
10	5,000	4,762	62,70	1155,4	678,9	476,5	2425	2533	11,421	84,312	4,267	15,688	72,799	4,255	2425	52	1981,7	1,02000	2021,334	3,875	521,635
11	5,000	4,762	62,67	1151,4	676,0	475,4	2422	2533	11,408	84,214	4,378	15,786	72,266	4,366	2422	37	1797,3	1,02075	1834,594	3,835	478,382
12	5,000	4,762	62,87	1152,5	673,5	479,0	2406	2533	11,333	83,661	5,006	16,339	69,361	4,994	2406	154	2035,7	1,01575	2067,762	3,276	631,185
Ort.	NOT: 1 VE 12 NUMARALI NUMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR													15,813	72,128	4,396	2421	40		1908,576	3,878	492,973

Çizelge 5.48 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (03-04.03.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.7mm YÜKSEKLİK

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC %	BİRİKEL YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l	m	n	o		p		q	p * Düzeltme F.	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g					mm		q/s
1	5,000	4,762	62,70	1155,5	676,8	478,7	2414	2533	11,369	83,932	4,699	16,068	70,756	4,687	2414	32	1,02000	1811,4	1847,628	3,791	487,372
2	5,000	4,762	62,68	1154,3	675,3	479,0	2410	2533	11,350	83,792	4,858	16,208	70,029	4,845	2410	37	1,02050	1801,4	1838,329	4,083	450,240
3	5,000	4,762	62,69	1154,1	676,5	477,6	2416	2533	11,382	84,023	4,595	15,977	71,238	4,583	2416	28	1,02025	1714,2	1748,913	4,019	435,161
4	5,000	4,762	62,69	1155,1	678,3	476,8	2423	2533	11,411	84,237	4,352	15,763	72,388	4,340	2423	33	1,02025	1799,8	1836,246	3,797	483,604
5	5,000	4,762	62,67	1151,9	676,0	475,9	2420	2533	11,401	84,162	4,437	15,838	71,984	4,425	2420	36	1,02075	1692,6	1727,721	3,865	447,017
6	5,000	4,762	62,70	1156,6	679,3	477,3	2423	2533	11,414	84,258	4,329	15,742	72,503	4,316	2423	28	1,02000	1754,1	1789,182	3,607	496,030
7	5,000	4,762	62,69	1153,7	677,9	475,8	2425	2533	11,421	84,312	4,268	15,688	72,798	4,255	2425	65	1,02025	1909,4	1948,065	3,534	551,235
8	5,000	4,762	62,69	1154,0	676,6	477,4	2417	2533	11,386	84,051	4,564	15,949	71,386	4,551	2417	40	1,02025	1924,4	1963,369	3,820	513,971
9	5,000	4,762	62,67	1152,0	677,8	474,2	2429	2533	11,442	84,471	4,086	15,529	73,686	4,074	2429	34	1,02075	1789,0	1826,122	4,004	456,074
10	5,000	4,762	62,69	1155,2	678,9	476,3	2425	2533	11,424	84,333	4,244	15,667	72,914	4,231	2425	36	1,02025	1909,4	1948,065	3,809	511,437
11	5,000	4,762	62,69	1154,4	679,4	475,0	2430	2533	11,447	84,505	4,048	15,495	73,875	4,036	2430	56	1,02025	1371,0	1398,763	3,845	363,787
12	5,000	4,762	62,70	1152,5	674,6	477,9	2412	2533	11,359	83,854	4,787	16,146	70,350	4,775	2412	111	1,02000	1872,0	1909,440	3,672	520,000
Ort.	NOT: 12 NUMARALI NUMUNE ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR											15,811	72,142	4,395	2421	39			1806,582	3,834	472,357

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.7mm YÜKSEKLİK

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC %	BİRİKEL YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	i	j	k	l	m	n	o		p		q	p * Düzeltme F.	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g					mm		q/s
1	5,000	4,762	62,69	1149,6	669,7	479,9	2395	2533	11,283	83,294	5,423	16,706	67,539	5,410	2395	71	1,02025	1830,5	1867,568	4,045	461,698
2	5,000	4,762	62,70	1154,8	678,0	476,8	2422	2533	11,408	84,215	4,377	15,785	72,269	4,365	2422	61	1,02000	1792,3	1828,146	3,617	505,432
3	5,000	4,762	62,66	1153,0	676,8	476,2	2421	2533	11,404	84,190	4,406	15,810	72,132	4,394	2421	30	1,02100	1945,1	1985,947	4,068	488,188
4	5,000	4,762	62,70	1153,1	677,0	476,1	2422	2533	11,408	84,215	4,378	15,785	72,268	4,365	2422	33	1,02000	1781,5	1817,130	3,767	482,381
5	5,000	4,762	62,68	1154,0	676,8	477,2	2418	2533	11,390	84,086	4,524	15,914	71,574	4,511	2418	36	1,02050	1908,6	1947,726	3,776	515,817
6	5,000	4,762	62,64	1153,4	677,6	475,8	2424	2533	11,418	84,290	4,292	15,710	72,677	4,280	2424	30	1,02150	1715,9	1752,792	4,008	437,323
7	5,000	4,762	62,69	1153,5	677,7	475,8	2424	2533	11,419	84,297	4,284	15,703	72,717	4,272	2424	45	1,02025	1813,1	1849,815	3,638	508,470
8	5,000	4,762	62,69	1154,4	677,7	476,7	2422	2533	11,406	84,203	4,390	15,797	72,207	4,378	2422	83	1,02025	1848,0	1885,422	3,773	499,714
9	5,000	4,762	62,68	1152,2	676,0	476,2	2420	2533	11,396	84,131	4,472	15,869	71,817	4,460	2420	35	1,02500	1794,8	1839,670	4,046	454,689
10	5,000	4,762	62,69	1154,0	677,3	476,7	2421	2533	11,402	84,174	4,423	15,826	72,049	4,411	2421	32	1,02025	1884,5	1922,661	3,950	486,750
11	5,000	4,762	62,70	1153,2	677,0	476,2	2422	2533	11,406	84,204	4,389	15,796	72,211	4,377	2422	40	1,02000	1826,4	1862,928	4,121	452,057
12	5,000	4,762	62,66	1154,3	678,7	475,6	2427	2533	11,432	84,391	4,178	15,609	73,237	4,165	2427	28	1,02100	1877,9	1917,336	4,165	460,345
Ort.	NOT: 1 NUMARALI NUMUNE ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR											15,782	72,287	4,362	2422	41			1873,598	3,903	481,015

Çizelge 5.49 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,3 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (09.03.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1,25 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 63,3mm YÜKSEKLİK

FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰ — NOT: 1. NÜMUNE 63,0mm 2. NÜMUNE 63,3mm YÜKSEKLİĞE GÖRE SIKIŞTIRILMIŞTIR

BİRİKİMİ NO	AC %	AC %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%		(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{sb}$)	(100-b)*g/SG$_{sg}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	63,03	1156,6	677,7	478,9	2415	2533	11,375	83,976	4,648	16,024	70,992	4,636	2415	37	1681,8	1,01175	1701,561	3,731	456,060
2	5,000	4,762	63,29	1151,5	671,7	479,8	2400	2533	11,304	83,449	5,247	16,551	68,299	5,234	2400	32	1839,7	1,00525	1849,358	3,883	476,271
3	5,000	4,762	63,20	1154,9	677,0	477,9	2417	2533	11,382	84,028	4,589	15,972	71,267	4,577	2417	39	1742,5	1,00750	1755,569	3,666	478,879
4	5,000	4,762	63,18	1152,9	675,8	477,1	2416	2533	11,382	84,024	4,595	15,976	71,241	4,582	2416	34	1702,6	1,00800	1716,221	3,360	510,780
5	5,000	4,762	63,20	1153,2	672,0	481,2	2397	2533	11,288	83,329	5,383	16,671	67,710	5,371	2397	29	1770,7	1,00750	1783,980	3,638	490,374
7	5,000	4,762	63,19	1156,4	677,9	478,5	2417	2533	11,383	84,032	4,585	15,968	71,286	4,573	2417	39	1798,1	1,00775	1812,035	3,769	480,773
8	5,000	4,762	63,19	1153,1	673,5	479,6	2404	2533	11,324	83,600	5,076	16,400	69,052	5,063	2404	49	1848,8	1,00775	1863,128	3,824	487,220
9	5,000	4,762	63,19	1152,1	673,4	478,7	2407	2533	11,336	83,685	4,980	16,315	69,480	4,967	2407	46	1795,6	1,00775	1809,516	3,679	491,850
10	5,000	4,762	63,20	1153,9	677,6	476,3	2423	2533	11,411	84,238	4,352	15,762	72,393	4,339	2423	23	1664,4	1,00750	1676,883	3,984	420,904
11	5,000	4,762	63,19	1152,7	674,1	478,6	2408	2533	11,344	83,746	4,910	16,254	69,792	4,898	2408	38	1775,7	1,00775	1789,462	3,850	464,795
12	5,000	4,762	63,12	1155,0	675,9	479,1	2411	2533	11,355	83,825	4,820	16,175	70,201	4,807	2411	27	1842,1	1,00950	1859,600	3,899	476,943
13	5,000	4,762	63,19	1154,3	675,5	478,8	2411	2533	11,355	83,827	4,818	16,173	70,210	4,805	2411	40	1869,6	1,00775	1884,089	4,163	452,580
Ort.	NOT: 1, 2 VE 13 NUMARALI NÜMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR											**16,166**	**70,269**	**4,797**	**2411**	**36**			**1785,155**	**3,741**	**478,058**

Çizelge 5.50 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (10-11.03.2010)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRİKTİ NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	HACİM (Toplama Göre) %		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)	Karışım (Teorik)	b*g/(SG_{ag})	(100-b)*g/SG_{sgt}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	(kg/m³)	p * Düzeltme F.		q		
1	5,000	4,762	63,49	1152,8	671,3	481,5	2394	2533	11,277	83,248	5,475	16,752	67,318	5,462	2394	63	1897,0	1,00025	1897,474	3,755	505,319
2	5,000	4,762	63,47	1153,7	670,6	483,1	2388	2533	11,248	83,038	5,714	16,962	66,313	5,702	2388	26	1662,7	1,00075	1663,947	3,968	419,341
3	5,000	4,762	63,46	1153,4	673,3	480,1	2402	2533	11,316	83,535	5,150	16,465	68,724	5,137	2402	29	1803,1	1,00100	1804,903	3,850	468,806
4	5,000	4,762	63,50	1152,3	671,0	481,3	2394	2533	11,277	83,247	5,476	16,753	67,311	5,464	2394	20	1569,7	1,00000	1569,700	3,983	394,100
5	5,000	4,762	63,44	1156,9	675,5	481,4	2403	2533	11,319	83,562	5,119	16,438	68,860	5,106	2403	29	1817,2	1,00150	1819,926	4,009	453,960
6	5,000	4,762	63,45	1153,1	673,7	479,4	2405	2533	11,329	83,635	5,036	16,365	69,228	5,023	2405	26	1679,4	1,00125	1681,499	3,874	434,047
7	5,000	4,762	63,48	1155,1	673,6	481,5	2399	2533	11,299	83,415	5,286	16,585	68,128	5,274	2399	42	1696,8	1,00050	1697,648	3,874	438,216
8	5,000	4,762	63,42	1153,8	672,8	481,0	2399	2533	11,298	83,407	5,294	16,593	68,092	5,282	2399	20	1628,7	1,00200	1631,957	3,863	422,459
9	5,000	4,762	63,49	1155,0	674,1	480,9	2402	2533	11,312	83,511	5,176	16,489	68,608	5,164	2402	22	1716,7	1,00025	1717,129	3,949	434,826
10	5,000	4,762	63,47	1152,5	671,1	481,4	2394	2533	11,276	83,244	5,480	16,756	67,297	5,467	2394	35	1745,0	1,00075	1746,309	3,664	476,613
11	5,000	4,762	63,49	1154,4	673,6	480,8	2401	2533	11,309	83,485	5,206	16,515	68,478	5,193	2401	30	1748,3	1,00025	1748,737	3,686	474,427
12	5,000	4,762	63,43	1152,5	673,0	479,5	2404	2533	11,321	83,574	5,105	16,426	68,921	5,093	2404	22	1867,9	1,00175	1871,169	4,065	460,312
Ort.			63,47									16,592	68,107	5,281	2399	30			1737,533	3,878	448,536

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRİKTİ NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	HACİM (Toplama Göre) %		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)	Karışım (Teorik)	b*g/(SG_{ag})	(100-b)*g/SG_{sgt}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	(kg/m³)	p * Düzeltme F.		q		
1	5,000	4,762	63,50	1154,0	669,5	484,5	2382	2533	11,219	82,819	5,962	17,181	65,298	5,950	2382	38	1690,1	1,00000	1690,100	3,851	438,873
2	5,000	4,762	63,49	1150,5	668,4	482,1	2386	2533	11,240	82,979	5,781	17,021	66,038	5,768	2386	43	1625,4	1,00025	1625,806	3,969	409,626
3	5,000	4,762	63,49	1155,1	673,4	481,7	2398	2533	11,295	83,380	5,325	16,620	67,958	5,313	2398	39	1775,7	1,00025	1776,144	3,696	480,558
4	5,000	4,762	63,48	1154,3	673,0	481,3	2398	2533	11,296	83,391	5,312	16,609	68,014	5,300	2398	40	1780,7	1,00050	1781,590	4,054	439,465
5	5,000	4,762	63,43	1155,1	673,4	481,7	2398	2533	11,295	83,380	5,325	16,620	67,958	5,313	2398	31	1873,7	1,00175	1876,979	4,366	429,908
6	5,000	4,762	63,48	1153,3	672,5	480,8	2399	2533	11,298	83,406	5,296	16,594	68,085	5,284	2399	34	1831,3	1,00050	1832,216	3,932	465,975
7	5,000	4,762	63,49	1152,0	669,8	482,2	2389	2533	11,253	83,070	5,677	16,930	66,466	5,665	2389	31	1681,8	1,00025	1682,220	3,981	422,562
8	5,000	4,762	63,48	1152,9	671,0	481,9	2392	2533	11,268	83,187	5,545	16,813	67,021	5,533	2392	36	1731,7	1,00050	1732,566	3,660	473,379
9	5,000	4,762	63,46	1153,2	670,9	482,3	2391	2533	11,262	83,139	5,599	16,861	66,794	5,586	2391	39	1708,4	1,00100	1710,108	3,926	435,585
10	5,000	4,762	63,50	1154,9	674,0	480,9	2402	2533	11,311	83,504	5,184	16,496	68,572	5,172	2402	35	1817,2	1,00000	1817,200	4,225	430,107
11	5,000	4,762	63,47	1153,9	671,9	482,0	2394	2533	11,276	83,241	5,483	16,759	67,285	5,470	2394	36	1750,0	1,00075	1751,313	3,667	477,587
12	5,000	4,762	63,48	1154,6	672,9	481,7	2397	2533	11,290	83,344	5,366	16,656	67,781	5,354	2397	33	1916,1	1,00050	1917,058	4,149	462,053
Ort.			63,48									16,763	67,272	5,476	2394	36			1766,108	3,956	447,140

Yukarıdaki Çizelge 5.49'da verilen 12 numunelik veri kümesi, polipropilen katkılı asfalt numuneleri yükseklik kriteri göz önüne alınarak üretmeye yöneliktir. Öncelikle "63.2 mm" numune yüksekliği hedef alınarak numuneler üretilmiştir. Dönüş sayıları, polipropilen modifiyeli numuneler hazırlanırken çalışılan yüksek sıcaklık değerleri neticesinde ve de üretimin son derece kontrollü yapılması sebebiyle "36"ya kadar düşmüştür. Mekanik özelliklerde, özellikle akma değerlerinde istikrarlı bir patern yakalanmış olmasına rağmen, aynı şeyi numunelerin fiziksel özellikleri için söyleyebilmek mümkün değildir. Henüz fiziksel özellikleri, hedefimizin çok ötesindedir ve polipropilen modifiyeli numunelerin hedef yükseklik değerlerinde oynamalar yapılarak bu konu daha derinlemesine irdelenmelidir.

Çizelge 5.50'den itibaren ise, polipropilen modifiyeli hedef numune yükseklikleri "0.3 mm" arttırılarak "63.5 mm"ye çıkarılmışladır. Bunun asıl amacı, daha boşluklu ve bir anlamda daha az asfalt ile dolu olan numuneler üretebilmek ve yakalanmış olan mekanik özelliklerdeki iyileşmeyi koruyabilmektir. Burada yine 24 adetlik 2 günlük bir çalışma sonucunda görülmüştür ki, numunelerin fiziksel özellikleri ki burada özellikle birim ağırlık değerlerine dikkat edilirse zira optimal-optimum polipropilen katkılı numunelerin birim ağırlıkları Marshall numuneleri için 2394 kg/m^3 civarındadır. Bu değer yoğurmalı kompaktör numunelerinde de sağlanmıştır, artık neredeyse birebir "eş" numuneler üretebilme aşamasına gelinmiştir. Çizelge 5.51'de polipropilen katkılı numuneler için Marshall ve Superpave numunelerin bir karşılaştırılması yapılmıştır. Görüldüğü gibi fiziksel özellikler hemen hemen aynıdır. Hava boşluklarında % 13,453 Asfaltla dolu boşluk oranlarında % 5.334 ve V.M.A değerlerinde de % 3,934 lük bir benzeme yakalanmıştır. Özellikle birim ağırlık değerlerindeki % 0,084lük benzeşmeye bakılarak da söylenebilir ki ‰ 5.5 oranında PP katkılı Marshall numuneleriyle fiziksel özellikleri hemen hemen aynı Superpave numuneleri üretebilmeyi başardık. Bu gelişmenin "33" dönüş sayısı değerinde gerçekleştiğini belirtmekte de ayrıca yarar vardır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.51 ‰ 5.5PP katkılı Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

		MARSHALL	SUPERPAVE	BENZERLİK
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Hava Boşluğu (%)	6,214	5,378	<%13,453
	Birim Ağırlık (kg/m^3)	2394	2396	>%0,084
	V_f (%)	64,261	67,689	>%5,334
	VMA (%)	17,360	16,677	<%3,934
MEKANİK ÖZELLİKLER	Stabilite (kg)	1917,643	1751,821	<%8,647
	Akma (mm)	2,678	3,917	>%46,266
	Marshall Oranı (kg/mm)	755,850	447,838	<%40,750
	GYR SAYISI	-	33	
	YÜKSEKLİK (mm)	-	63.5	

Çalışmamız, bu araştırmanın ikinci aşaması olan tekrarlı sünme deneyleri için kontrol numuneleri üreterek devam etmiştir. Tekrarlı sünme deneyleri için iki seri toplam 24 adet kontrol numunesi hazırlanmış (61.5 mm yüksekliğe göre) ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.52'de verilmiştir. Bu fiziksel özelliklerin Marshall numunelerle kıyaslaması yapılır ise aranılan % 3,443 hava boşluğu, % 14,919 V.M.A, % 76,990 Vf ve 2465 kg/m^3 birim ağırlığı değerlerine karşılık, % 3,033 hava boşluğu, % 14,444 V.M.A, % 76,930 Vf ve 2461 kg/m^3 birim ağırlık değerleri son derece yakın değerlerdir. Bu değerlere **"39"** dönüş sayısı ortalamasıyla gelinmiştir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.52 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (12-15.03.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³				SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI					
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³				BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK					
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 0,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	61,45	1144,8	677,0	467,8	2447	2538	11,336	85,092	3,572	14,908	76,039	3,560	2447	29
2	5,000	4,762	61,48	1153,2	682,0	471,2	2447	2538	11,337	85,098	3,566	14,902	76,074	3,553	2447	33
3	5,000	4,762	61,45	1156,9	687,9	469,0	2467	2538	11,426	85,771	2,802	14,229	80,305	2,790	2467	42
4	5,000	4,762	61,44	1154,2	686,4	467,8	2467	2538	11,429	85,791	2,780	14,209	80,433	2,768	2467	36
5	5,000	4,762	61,44	1152,2	684,5	467,7	2464	2538	11,412	85,660	2,928	14,340	79,580	2,915	2464	37
6	5,000	4,762	61,50	1157,2	688,3	468,9	2468	2538	11,432	85,812	2,756	14,188	80,573	2,744	2468	38
7	5,000	4,762	61,46	1155,6	687,8	467,8	2470	2538	11,443	85,895	2,663	14,105	81,124	2,650	2470	39
8	5,000	4,762	61,44	1153,0	684,5	468,5	2461	2538	11,400	85,573	3,027	14,427	79,021	3,014	2461	41
9	5,000	4,762	61,44	1153,0	684,0	469,0	2458	2538	11,388	85,482	3,130	14,518	78,440	3,117	2458	34
10	5,000	4,762	61,46	1152,6	684,5	468,1	2462	2538	11,406	85,617	2,977	14,383	79,299	2,965	2462	37
11	5,000	4,762	61,48	1153,4	684,4	469,0	2459	2538	11,392	85,512	3,096	14,488	78,628	3,084	2459	31
12	5,000	4,762	61,45	1153,5	686,4	467,1	2469	2538	11,439	85,867	2,694	14,133	80,940	2,681	2469	39
Ort.			**61,46**									**14,403**	**79,205**	**2,987**	**2462**	**36**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³				SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI					
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³				BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK					
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 0,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	61,48	1151,8	683,5	468,3	2460	2538	11,393	85,521	3,086	14,479	78,686	3,073	2460	41
2	5,000	4,762	61,48	1152,0	682,2	469,8	2452	2538	11,359	85,263	3,379	14,737	77,073	3,366	2452	42
3	5,000	4,762	61,45	1153,9	684,3	469,6	2457	2538	11,382	85,440	3,178	14,560	78,172	3,166	2457	42
4	5,000	4,762	61,50	1151,0	683,3	467,7	2461	2538	11,400	85,571	3,029	14,429	79,006	3,017	2461	40
5	5,000	4,762	61,47	1152,0	684,0	468,0	2462	2538	11,402	85,590	3,007	14,410	79,130	2,994	2462	42
6	5,000	4,762	61,44	1153,8	686,0	467,8	2466	2538	11,425	85,761	2,814	14,239	80,237	2,801	2466	41
7	5,000	4,762	61,47	1151,4	683,2	468,2	2459	2538	11,392	85,509	3,099	14,491	78,613	3,086	2459	41
8	5,000	4,762	61,49	1154,6	684,8	469,8	2458	2538	11,384	85,455	3,161	14,545	78,269	3,148	2458	40
9	5,000	4,762	61,47	1151,9	682,4	469,5	2453	2538	11,365	85,310	3,325	14,690	77,363	3,313	2453	40
10	5,000	4,762	61,50	1155,6	686,4	469,2	2463	2538	11,409	85,638	2,953	14,362	79,439	2,940	2463	40
11	5,000	4,762	61,50	1154,6	685,5	469,1	2461	2538	11,401	85,582	3,016	14,418	79,079	3,004	2461	38
12	5,000	4,762	61,50	1151,3	683,3	468,0	2460	2538	11,395	85,538	3,066	14,462	78,798	3,053	2460	42
Ort.			**61,48**									**14,485**	**78,655**	**3,080**	**2459**	**41**

Tekrarlı sünme deneyleri için hazırlanılan PP katkılı numuneler ise Ün Uşar tarafından 2007 senesinde yapılan ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tezindeki tekrarlı sünme deneyleriyle ile kıyaslatılacaktır. Uşar çalışmasında ‰ 3.0 PP katkılı numuneler ile çalıştığından, yoğurmalı kompaktör ile de, aynı oranda karıştırılmış katkılı numuneler hazırlanılmıştır. Bu amaçla çalışmamızın bu kısmında ‰ 3.0 oranında PP katkısıyla hazırlanılan Superpave numunelerinin fiziksel özelliklerinin Marshall numuneleriyle karşılaştırılmasına gidilmiştir. Tekrarlı sünme deneyleriyle karşılaştırılacak olan numunelerin fiziksel özelliklerin birbirine benzemesi özellikle çok önemlidir. Yapılan ilk seri 24 numune Çizelge 5.53'de görüldüğü gibi yeterli fiziksel özellikleri sağlamamıştır. Bunun sebebi numunelerin ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin hazırlanış standardı olan 63,5 mm yüksekliğe göre hazırlanılmış olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu noktada bir olgudan bahsetmekte çok büyük fayda var. Bu ana kadar birim ağırlık kavramı hiç belirleyici unsur olarak kullanılmamıştır. Ancak Servopac ile yapılan bütün çalışmalar derinlemesine incelenirse bu faktörün numuneler üzerinde son derece büyük bir etkisi olduğu anında anlaşılmaktadır. Bu sebeple bu ana kadar hazırlanan 730 adet numune üzerine yapılan derin incelemeler göstermiştir ki, aranılan fiziksel ve mekanik özelliklere belirli birim ağırlık değerlerinde zaten ulaşılabilmiştir.

Aslında, ölçümlenen birim ağırlık ile IPC Servopac yoğurmalı kompaktöründen elde edilen (bir anlamda da teorik bir değer olan) birim ağırlık değerleri arasında bekleneceği üzere bir miktar fark bulunmaktadır. Bu farkın doğmasının en temel sebebi; yazılımın hesaplamalar boyunca standart bir kalıp içerisinde, asfalt karışımın ideale yakın bir şekilde sıkıştığını varsaymasıdır.

Bu sebeple kontrol ve polipropilen katkılı ve istenilen fiziksel özellikteki numuneler baz alınarak alete girilmesi gereken birim ağırlık değerleri son derece titiz çalışmalar sonucunda hesaplanmış ve uygulamaya geçilmiştir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.53 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63,5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (16-17.03.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³					SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI				
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³					BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK				
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 3,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	63,48	1153,7	667,8	485,9	2374	2535	11,107	82,559	6,334	17,441	63,681	6,322	2374	33
2	5,000	4,762	63,47	1153,8	670,0	483,8	2385	2535	11,156	82,925	5,920	17,075	65,332	5,907	2385	20
3	5,000	4,762	63,49	1153,3	670,3	483,0	2388	2535	11,169	83,026	5,805	16,974	65,803	5,792	2388	24
4	5,000	4,762	63,48	1151,5	665,9	485,6	2371	2535	11,092	82,453	6,455	17,547	63,213	6,443	2371	45
5	5,000	4,762	63,50	1153,4	673,7	479,7	2404	2535	11,247	83,604	5,148	16,396	68,599	5,136	2404	31
6	5,000	4,762	63,47	1155,3	674,0	481,3	2400	2535	11,228	83,464	5,308	16,536	67,901	5,296	2400	31
7	5,000	4,762	63,46	1154,6	672,2	482,4	2393	2535	11,196	83,223	5,581	16,777	66,733	5,569	2393	26
8	5,000	4,762	63,46	1149,2	663,3	485,9	2365	2535	11,063	82,237	6,700	17,763	62,282	6,688	2365	51
9	5,000	4,762	63,42	1151,7	669,0	482,7	2386	2535	11,161	82,962	5,877	17,038	65,506	5,865	2386	26
10	5,000	4,762	63,45	1155,1	674,3	480,8	2402	2535	11,238	83,536	5,226	16,464	68,258	5,214	2402	29
11	5,000	4,762	63,49	1153,8	671,5	482,3	2392	2535	11,190	83,182	5,627	16,818	66,540	5,615	2392	30
12	5,000	4,762	63,40	1153,1	671,9	481,2	2396	2535	11,209	83,322	5,469	16,678	67,210	5,456	2396	22
Ort.			**63,46**									**16,959**	**65,921**	**5,775**	**2388**	**31**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³					SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI				
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³					BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK				
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³						PP KATKISI : 3,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	63,44	1155,2	673,0	482,2	2396	2535	11,206	83,301	5,493	16,699	67,107	5,481	2396	27
2	5,000	4,762	63,42	1155,4	672,9	482,5	2395	2535	11,201	83,263	5,535	16,737	66,927	5,523	2395	24
3	5,000	4,762	63,46	1154,3	670,8	483,5	2387	2535	11,167	83,012	5,821	16,988	65,737	5,808	2387	22
4	5,000	4,762	63,40	1153,4	669,7	483,7	2385	2535	11,154	82,913	5,933	17,087	65,279	5,921	2385	21
5	5,000	4,762	63,49	1153,4	671,3	482,1	2392	2535	11,191	83,188	5,621	16,812	66,567	5,608	2392	24
6	5,000	4,762	63,42	1153,2	670,8	482,4	2391	2535	11,182	83,122	5,696	16,878	66,254	5,683	2391	24
7	5,000	4,762	63,41	1153,5	673,9	479,6	2405	2535	11,250	83,629	5,120	16,371	68,722	5,108	2405	24
8	5,000	4,762	63,46	1154,0	671,2	482,8	2390	2535	11,181	83,111	5,708	16,889	66,200	5,696	2390	29
9	5,000	4,762	63,48	1152,8	670,3	482,5	2389	2535	11,176	83,076	5,748	16,924	66,037	5,736	2389	27
10	5,000	4,762	63,43	1153,8	674,1	479,7	2405	2535	11,251	83,633	5,116	16,367	68,744	5,103	2405	24
11	5,000	4,762	63,43	1152,7	670,8	481,9	2392	2535	11,189	83,172	5,639	16,828	66,491	5,626	2392	24
12	5,000	4,762	63,44	1155,0	671,5	483,5	2389	2535	11,174	83,062	5,763	16,938	65,973	5,751	2389	24
Ort.			**63,44**									**16,793**	**66,670**	**5,587**	**2393**	**25**

Çizelge 5.54 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 2355 kg/m^3 birim ağırlığa göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (23-24.03.2010)

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m^3						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m^3					SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI				
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m^3						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m^3					BİTİŞ: 2355kg/m3 BİRİM AĞIRLIK				
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m^3						PP KATKISI : 3,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m^3)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm^3	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m^3)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	62,62	1155,0	675,6	479,4	2409	2535	11,270	83,773	4,957	16,227	69,450	4,945	2409	32
2	5,000	4,762	62,59	1152,7	675,9	476,8	2418	2535	11,309	84,062	4,629	15,938	70,954	4,617	2418	28
3	5,000	4,762	62,56	1155,0	676,5	478,5	2414	2535	11,291	83,930	4,779	16,070	70,263	4,766	2414	27
4	5,000	4,762	62,61	1154,3	677,0	477,3	2418	2535	11,313	84,090	4,597	15,910	71,105	4,585	2418	25
5	5,000	4,762	62,61	1153,6	675,6	478,0	2413	2535	11,289	83,916	4,795	16,084	70,190	4,782	2413	24
6	5,000	4,762	62,61	1152,7	674,6	478,1	2411	2535	11,278	83,833	4,889	16,167	69,760	4,876	2411	25
7	5,000	4,762	62,62	1151,4	674,9	476,5	2416	2535	11,303	84,020	4,677	15,980	70,732	4,665	2416	24
8	5,000	4,762	62,58	1155,9	677,8	478,1	2418	2535	11,309	84,066	4,625	15,934	70,976	4,612	2418	31
9	5,000	4,762	62,62	1154,7	676,0	478,7	2412	2535	11,283	83,873	4,843	16,127	69,968	4,831	2412	38
10	5,000	4,762	62,62	1153,3	675,9	477,4	2416	2535	11,300	84,000	4,700	16,000	70,627	4,687	2416	26
11	5,000	4,762	62,61	1152,6	674,8	477,8	2412	2535	11,284	83,879	4,837	16,121	69,994	4,825	2412	35
12	5,000	4,762	62,61	1153,9	676,4	477,5	2417	2535	11,304	84,026	4,670	15,974	70,764	4,658	2417	28
Ort.			**62,61**									**16,044**	**70,398**	**4,737**	**2415**	**29**

BİRİKET NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m^3						BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m^3					SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI				
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m^3						AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m^3					BİTİŞ: 2355kg/m3 BİRİM AĞIRLIK				
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m^3						PP KATKISI : 3,0 ‰									
	AC	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m^3)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm^3	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m^3)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	62,62	1155,3	676,4	478,9	2412	2535	11,285	83,882	4,834	16,118	70,012	4,821	2412	26
2	5,000	4,762	62,60	1152,5	674,7	477,8	2412	2535	11,283	83,871	4,846	16,129	69,957	4,833	2412	25
3	5,000	4,762	62,62	1155,4	678,7	476,7	2424	2535	11,338	84,276	4,386	15,724	72,105	4,374	2424	40
4	5,000	4,762	62,58	1151,1	676,9	474,2	2427	2535	11,355	84,405	4,240	15,595	72,813	4,227	2427	32
5	5,000	4,762	62,62	1154,5	677,1	477,4	2418	2535	11,312	84,087	4,601	15,913	71,089	4,588	2418	24
6	5,000	4,762	62,56	1156,3	678,4	477,9	2420	2535	11,318	84,130	4,552	15,870	71,318	4,539	2420	29
7	5,000	4,762	62,62	1153,6	676,8	476,8	2419	2535	11,318	84,127	4,555	15,873	71,303	4,543	2419	29
8	5,000	4,762	62,57	1154,2	675,8	478,4	2413	2535	11,286	83,890	4,825	16,110	70,052	4,812	2413	31
9	5,000	4,762	62,56	1151,3	675,4	475,9	2419	2535	11,316	84,118	4,565	15,882	71,255	4,553	2419	29
10	5,000	4,762	62,61	1154,5	677,4	477,1	2420	2535	11,319	84,140	4,541	15,860	71,370	4,528	2420	29
11	5,000	4,762	62,60	1156,7	680,4	476,3	2429	2535	11,360	84,442	4,198	15,558	73,016	4,186	2429	41
12	5,000	4,762	62,58	1153,0	676,8	476,2	2421	2535	11,326	84,190	4,484	15,810	71,636	4,472	2421	24
Ort.			**62,60**									**15,870**	**71,327**	**4,540**	**2420**	**30**

Çizelge 5.55 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62,6 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı yoğurmalı kompaktör numunelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri (25.12.2010-08.01.2011)

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.6mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 3,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)			HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda			Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
			(mm)				cm³											p		q	s	t
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o								
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)					d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ag}$)	(100-b)*g/SG$_{ag}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s	
1	5,000	4,762	62,53	1143,4	667,2	476,2	2401	2535	11,232	83,489	5,280	16,511	68,024	5,267	2401	13	1011,5	1,02425	1036,029	5,811	178,288
2	5,000	4,762	62,47	1121,1	651,8	469,3	2389	2535	11,174	83,064	5,762	16,936	65,980	5,749	2389	19	1122,5	1,02575	1151,404	3,780	304,604
3	5,000	4,762	62,56	1154,9	676,3	478,6	2413	2535	11,288	83,905	4,807	16,095	70,134	4,794	2413	45	1425,4	1,02350	1458,897	3,475	419,826
4	5,000	4,762	62,58	1161,2	684,9	476,3	2438	2535	11,404	84,771	3,825	15,229	74,882	3,813	2438	52	1575,5	1,02300	1611,737	3,367	478,686
5	5,000	4,762	62,56	1136,5	662,6	473,9	2398	2535	11,218	83,388	5,394	16,612	67,528	5,382	2398	38	1401,4	1,02350	1434,333	3,558	403,129
6	5,000	4,762	62,58	1141,0	668,0	473,0	2412	2535	11,284	83,877	4,839	16,123	69,986	4,827	2412	34	1515,7	1,02300	1550,561	3,425	452,719
7	5,000	4,762	62,53	1151,1	676,1	475,0	2423	2535	11,336	84,263	4,401	15,737	72,034	4,388	2423	33	1583,8	1,02425	1622,207	3,256	498,221
8	5,000	4,762	62,56	1154,8	677,7	477,1	2420	2535	11,322	84,162	4,516	15,838	71,487	4,503	2420	36	1640,3	1,02350	1678,847	3,642	460,968
9	5,000	4,762	62,58	1153,2	677,0	476,2	2422	2535	11,328	84,204	4,468	15,796	71,715	4,455	2422	37	1921,0	1,02300	1965,183	3,780	519,890
10	5,000	4,762	62,56	1135,7	659,6	476,1	2385	2535	11,158	82,944	5,898	17,056	65,421	5,886	2385	27	1288,0	1,02350	1318,268	3,931	335,352
11	5,000	4,762	62,55	1151,5	675,0	476,5	2417	2535	11,304	84,027	4,669	15,973	70,770	4,656	2417	28	1498,3	1,02375	1533,885	3,586	427,743
12	5,000	4,762	62,53	1158,9	681,8	477,1	2429	2535	11,362	84,461	4,177	15,539	73,121	4,164	2429	26	1738,3	1,02425	1780,454	3,690	482,508
Ort.			62,55										70,090	4,824	2412	32			1511,817	3,775	413,494
Ort.	NOT: 1,2,3,4 VE 10 NUMARALI NUMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR												16,120	4,804	2413	33			1607,709	3,632	445,785
													16,103	70,173	4,804	2413					

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 62.6mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 3,0 ‰

BİRİKET NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)			HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda			Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
			(mm)				cm³											p		q	s	t
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o								
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)					d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ag}$)	(100-b)*g/SG$_{ag}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s	
1	5,000	4,762	62,55	1138,3	661,5	476,8	2387	2535	11,167	83,012	5,821	16,988	65,736	5,809	2387	20	1312,9	1,02375	1344,081	5,753	233,631
2	5,000	4,762	62,60	1157,8	681,1	476,7	2429	2535	11,361	84,451	4,187	15,549	73,069	4,175	2429	54	1348,5	1,02350	1380,190	3,255	424,021
3	5,000	4,762	62,58	1159,1	681,3	477,8	2426	2535	11,348	84,352	4,301	15,648	72,517	4,288	2426	51	1602,9	1,02300	1639,767	3,558	460,868
4	5,000	4,762	62,59	1157,5	679,4	478,1	2421	2535	11,325	84,182	4,493	15,818	71,597	4,480	2421	51	1467,7	1,02275	1501,090	3,223	465,743
5	5,000	4,762	62,56	1154,9	677,7	477,2	2420	2535	11,321	84,152	4,528	15,848	71,432	4,515	2420	34	1477,6	1,02350	1512,324	3,676	411,405
6	5,000	4,762	62,59	1153,4	674,0	479,4	2406	2535	11,254	83,657	5,089	16,343	68,861	5,077	2406	79	1489,2	1,02275	1523,079	3,542	430,005
7	5,000	4,762	62,58	1155,0	677,7	477,3	2420	2535	11,319	84,141	4,539	15,859	71,377	4,527	2420	78	1543,1	1,02300	1578,591	3,662	431,074
8	5,000	4,762	62,58	1159,2	683,3	475,9	2436	2535	11,394	84,696	3,910	15,304	74,450	3,898	2436	50	1595,5	1,02300	1632,197	3,390	481,474
9	5,000	4,762	62,56	1151,5	674,4	477,1	2414	2535	11,290	83,921	4,789	16,079	70,217	4,776	2414	45	1468,5	1,02350	1503,010	3,426	438,707
10	5,000	4,762	62,58	1159,6	681,7	477,9	2426	2535	11,350	84,370	4,279	15,630	72,620	4,267	2426	33	1408,1	1,02300	1440,486	3,662	393,361
11	5,000	4,762	62,59	1153,7	673,4	480,3	2402	2535	11,236	83,522	5,242	16,478	68,187	5,230	2402	105	1533,2	1,02275	1568,080	3,457	453,596
12	5,000	4,762	62,60	1153,4	676,5	476,9	2419	2535	11,313	84,095	4,592	15,905	71,131	4,579	2419	48	1466,0	1,02250	1498,985	3,610	415,231
13	5,000	4,762	62,55	1152,5	676,7	475,8	2422	2535	11,331	84,224	4,446	15,776	71,821	4,433	2422	38	1482,6	1,02375	1517,812	3,676	412,898
Ort.			62,58										15,940	71,001	4,619	2418	53		1510,746	3,684	419,386
Ort.	NOT: 1,6,7 VE 11 NUMARALI NUMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR												15,728	72,095	4,379	2424	45		1513,984	3,497	433,745

Çizelge 5.54'deki 24 adet numune tekrarlı sünme deneylerinde kullanılmak üzere ‰ 3.0 PP katkılı olarak hazırlanmıştır. Dolayısıyla bu numunelerin stabilite ve akma değerlerine bakılamayacaktır. Bu sebeple Çizelge 5.55'de verilen 24 adet numune hazırlanmıştır. Numunelerin fiziksel özellikleri görüldüğü gibi aranılan fiziksel özelliklerle hemen hemen aynıdır. İlk seri 24 adet numunenin hazırlanılması için kompaktöre girilen birim ağırlığı değeri 2355 kg/m^3'dür. Bu şekilde hazırlanan numunelerin yeterli fiziksel özellikleri göstermesinin ardından ikinci seri 24 adet numune bu özelliklere erişilen 62.6 mm yüksekliğe göre hazırlanmıştır. ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin Çizelge 5.22 ile kıyaslaması yapılır ise aranılan özellikler sırasıyla; % 4,707 hava boşluğu, % 16,033 V.M.A, % 70,710 Vf ve 2432 kg/m^3 birim ağırlığı, bulunan sonuçlar ise; % 4,639 hava boşluğu, % 15,957 V.M.A, % 70,863 Vf ve 2417 kg/m^3 birim ağırlığıdır. Değerler görüldüğü üzere birbirine son derece yakındır, dolayısıyla tekrarlı sünme deneylerinde kullanılacak olmalarında herhangi bir sakınca görülmemektedir.

Çizelge 5.56 ‰ 3.0PP katkılı Marshall ve Superpave numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin karşılaştırılması

		MARSHALL	SUPERPAVE	BENZERLİK
FİZİKSEL ÖZELLİKLER	Hava Boşluğu (%)	4,707	4,639	<%1,445
	Birim Ağırlık (kg/m^3)	2432	2417	<%0,617
	V_f (%)	70,710	70,863	>%0,216
	VMA (%)	16,033	15,957	<%0,474
MEKANİK ÖZELLİKLER	Stabilite (kg)	1542,140	1574,458	>%2,096
	Akma (mm)	2,982	3,526	>%18,243
	Marshall Oranı (kg/mm)	523,329	446,805	<%14,623
	GYR SAYISI	-	33	
	YÜKSEKLİK (mm)	-	62,6	

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.56 ile ‰ 3.0 PP katkılı Superpave numunelerinin Marshall numune sonuçlarıyla karşılaştırılması verilmiştir. İlk seri 24 numunenin fiziksel özelliklerin, ikinci seri 24 adet numune ise mekanik özelliklerin karşılaştırılması için kullanılmıştır. İkinci seri numunelerden çok farklı sonuç verenleri ortalamadan çıkarılmıştır. Bu karşılaştırmalarda da yine fiziksel özelliklerdeki aşırı benzeşmeler hemen göze çarpmaktadır. V_a, V_f, V.M.A ve Birim ağırlık değerlerindeki benzeşmeler sırasıyla, % 1.445, % 0.216, % 0.474 ve % 0.617'dir. İlk seri 24 adet numunedeki bu aşırı benzeşmeler ışığında, numunelerin tekrarlı sünme deneylerinde kullanılması son derece sağlıklı sonuçlar alınacağının en önemli göstergesidir.

Aşağıdaki Çizelge 5.57 ile de hem bütün çalışmaların birer özeti olarak, hem de tekrarlı sünme deneylerinde kullanılacak olan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin kıyaslatılması açısından, çalışmalara haiz numunelerin ortalama fiziksel ve mekanik özellikleri verilmiştir. (M) Marshall numunelerini, (S)'de Superpave numunelerini temsil etmektedir. Görüldüğü gibi akma (dolayısıyla Marshall oranı değerleri de) değerleri hariç bütün özellikler hemen hemen yakalanabilmiştir.

Çizelge 5.57 Marshall numuneleriyle Superpave numunelerinin karşılaştırılması

Polipropilen Miktarı (‰)	**Stabilite (kg)**	**Birim Ağırlık (kg/m^3)**	**Hava Boşluğu (%)**	**V_f (%)**	**VMA (%)**	**Akma (mm)**	**Marshall Oranı (kg/mm)**	**GYR SAYISI**
0.0 (M)	1294,355	2465	3,443	76,990	14,919	3,463	376,899	-
0.0 (S)	**1263,714**	**2456**	**3,219**	**77,896**	**14,608**	**4,195**	**301,651**	**40**
3.0 (M)	1542,140	2432	4,707	70,710	16,033	2,982	523,329	-
3.0 (S)	**1547,458**	**2417**	**4,639**	**70,863**	**15,957**	**3,526**	**446,805**	**33**
5.5 (M)	1917,643	2394	6,214	64,261	17,360	2,678	755,850	-
5.5 (S)	**1751,821**	**2396**	**5,378**	**67,689**	**16,677**	**3,917**	**447,838**	**33**

NOT: Marshall numuneleri, numunelerin her iki tarafına 50 vuruş yapılarak hazırlanmış, Superpave numunelerinden kontrol numuneleri 61,5 mm yüksekliğe göre ‰ 5.5PP katkılı numuneler 63,5 mm yüksekliğe göre, ‰ 3.0PP katkılı numuneler ise 62,6 mm yüksekliğe tekabül eden 2355 kg/m^3 birim ağırlığa göre hazırlanmıştır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

5.5. Tekrarlı Sünme Deneyi

Çalışmanın son bölümü olan tekrarlı sünme deneyinde kullanılacak olan numuneler daha önceden de bahsedildiği gibi Superpave Yoğurmalı Kompaktöründe hazırlanmıştır. Hazırlanan bütün numunelerin alt ve üst yüzleri eğelenerek düz bir yüzey elde edilmiştir. Bu işlemin ardından bütün numunelerin yükseklikleri ile havada ve suda ağırlıkları alınarak deney formlarına yazılmıştır. Çizelge 5.52 sünme deneylerinde kullanılacak olan kontrol numunelerinin fiziksel özelliklerini Çizelge 5.54 ise PP katkılı numunelerin fiziksel özelliklerini göstermektedir.

Deneylerde kullanılmak üzere 24 adet kontrol numunesi ve 24 adet M-03 tipi ‰ 3 polipropilen katkılı numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 4 farklı yükleme paterni ile 500 kPa basınç uygulanarak sünme deneyine tabi tutulmuştur. Bu yükleme paternleri sırasıyla 500 ms yükleme-500 ms bekleme, 500 ms yükleme-1000 ms bekleme, 500 ms yükleme-1500 ms bekleme ve 500 ms yükleme-2000 ms bekleme şeklindedir. Her bir yükleme şekli için dörder numune kullanılmıştır ancak bazı numunelerin ortalamadan çok farklı davrandığı durumlar için aynı seri hazırlanmış numunelerden başka numuneler seçilerek tekrarlı sünme deneyine dahil olmuşlardır. Bütün deneyler 50°C'lik ortam sıcaklığında yapılmıştır.

Numuneler isimlendirilirken yükleme paterni PP katkılı olup olmaması ve deney sırasına göre isimlendirilmişlerdir. Örneğin 500 ms yükleme süresi, 1000 ms bekleme süresi olan ve bu serinin üçüncü kontrol numunesi olan numuneye RC0510C, aynı şekilde 500 ms yükleme süresi, 500 ms bekleme süresi olan ve bu serinin ikinci PP katkılı numunesi olan numuneye ise RCP0505B ismi verilmiştir. RC harfleri tekrarlı sünme anlamına gelen "repeated creep" anlamına gelmektedir "P" harfi ise PP katkılı olup olmadığını göstermektedir.

5.5.1. UTM-5P test aleti

Sünme deneylerinde "Universal Testing Machine" yani kısaca UTM test aleti kullanılmıştır. Ortalama 8 atm basınç ile çalışan ve bunu sağlaması için kullanılan bir hava kompresörü bulunmaktadır. Yükleme kafası ile kompresör

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

arasında kullanılacak olan havanın depolandığı bir bölüm bulunmaktadır. Yükleme sistemi sıcaklığı ayarlanabilen bir inkubatorün içinde bulunmaktadır. Deney işlemleri burada yapılmaktadır. Ayrıca numuneler deneyden 1 gün önce buraya yerleştirilerek istenen deney sıcaklığına gelmeleri sağlanır.

Maksimum 700 kPa'lık bir yükleme sistemi bulunmaktadır. Ayrıca deformasyonların ölçülebilmesi için iki adet LVDT adı verilen deformasyon okuyucular bulunmaktadır. Bütün bu cihazlar CDAS (Control and Data Acquisition System) adı verilen genel sisteme ve bu sistem de bilgisayara bağlı bulunmaktadır. Bu sistem sayesinde deney sırasında elde edilen tüm veriler bilgisayara aktarılmaktadır. Deney ile ilgili tüm veriler deney sırasında bilgisayardan grafik olarak görülebilmektedir. UTM-5P test cihazının ve deney sırasında elde edilen grafiklerin örnekleri Şekil 5.42 ve 5.43'de gösterilmiştir.



(a)



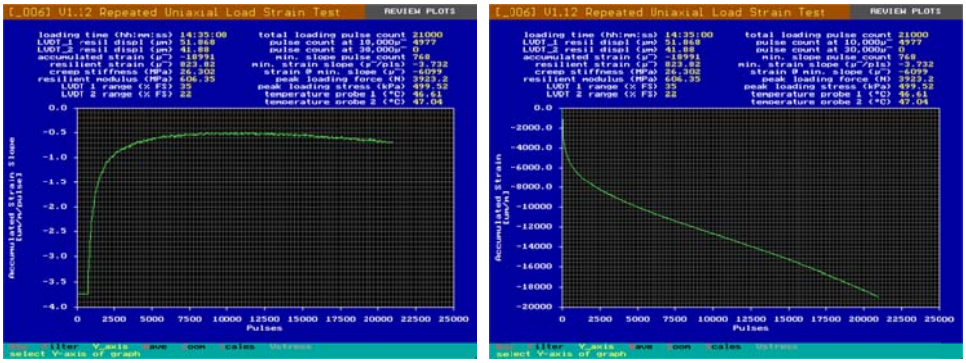
(b)



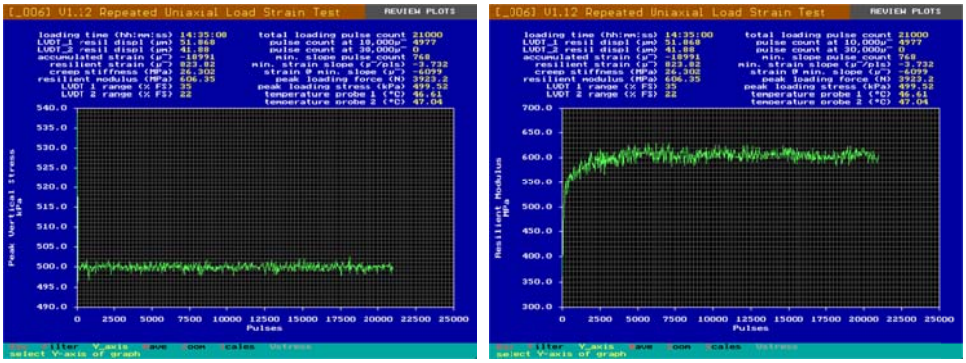
(c)

Şekil 5.42 (a): İnkubatör, (b): CDAS sistemi ve hava deposu (c) UTM-5P deney aleti

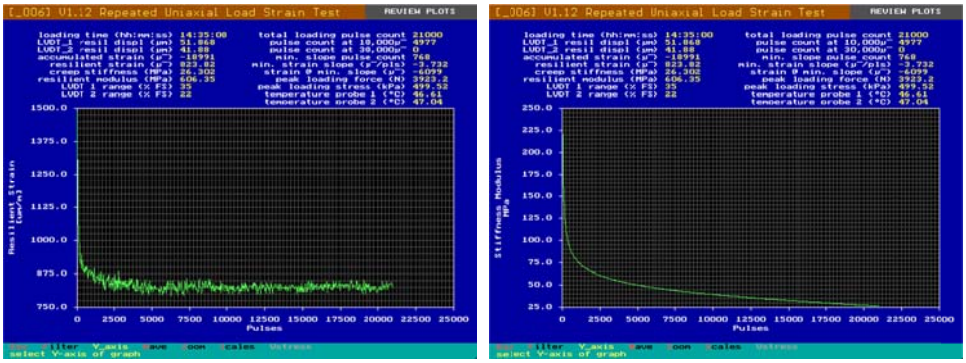
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



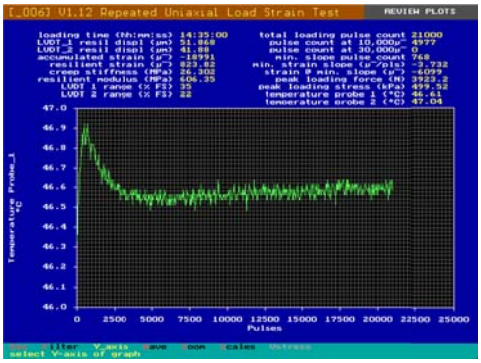
(a) (b)



(c) (d)



(e) (f)



(g)

Şekil 5.43 (a): Deformasyon eğimi-vuruş sayısı grafiği, (b): Birim Deformasyon-vuruş sayısı grafiği, (c): Uygulanan yük-vuruş sayısı grafiği, (d): Anlık modül-vuruş sayısı grafiği, (e): Anlık deformasyon-vuruş sayısı grafiği, (f): Sünme rijitliği-vuruş sayısı grafiği, (g): Sıcaklık-vuruş sayısı grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yukarıdaki bu grafikler bazı denklemler yardımıyla hesaplanıp, çizilmektedir. Bu denklemler aşağıda gösterilmiştir.

$$\varepsilon_p = (L3_n - L1)/h \quad (5.11)$$

$$\varepsilon_r = (L2_n - L3_n)/\big(h - (L3_n L1)\big) \quad (5.12)$$

$$E_r = \frac{\sigma}{\varepsilon_r} \quad (5.13)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (5.14)$$

Burada;

n: Vuruş sayısı,

ε_p: Kalıcı eksenel deformasyon,

ε_r: Anlık eksenel deformasyon

E_r: Anlık modül,

h: Deney başlangıcındaki numune yüksekliği

L1: LVDT'nin çalışma aralığı,

$L2_n$: n'inci vuruştaki maksimum yer değiştirme

$L3_n$: n ile n+1'inci vuruştan sonraki son yer değiştirme okuması

σ: Uygulanan maksimum gerilme,

F: Uygulanan maksimum kuvvet

A: Numunenin en kesit alanı [119].

5.5.2. Tekrarlı sünme deneyinin yapılışı

Tekrarlı sünme deneyinde kullanılacak olan numunelerin öncelikle yükseklikleri, havada ve suda ağırlıkları alınır ve deney formuna yazılır. Numune, sıcaklığı ayarlanmış olan inkubatöre bir gün önceden yerleştirilir. Deneyden önce numune yükleme bölümüne yerleştirilir. Ardından LVDT'ler ayarlanır ve sıfırlanırlar. Bilgisayardaki yazılım ile deney verileri girilerek deney başlatılır. Numune yıkılana kadar veya istenen bir anda deney bitirilebilir. Deneyin bitiminden sonra yazılımdan deney verilerini içeren "csv" uzantılı Excel dosyası alınır. Bu Excel dosyasının içinde deney ile ilgili tüm veriler ve deney sırasındaki

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

hesaplanan veriler bulunmaktadır. Bu dosya ile Bölüm 5.5.3'te gösterilecek olan Birim deformasyon-vuruş sayısı, sünme rijitliği-vuruş sayısı grafikleri çizilecektir.

Deneyde kullanılan numunelere ait fiziksel özellikler grafiklerin altında belirtilmiştir.

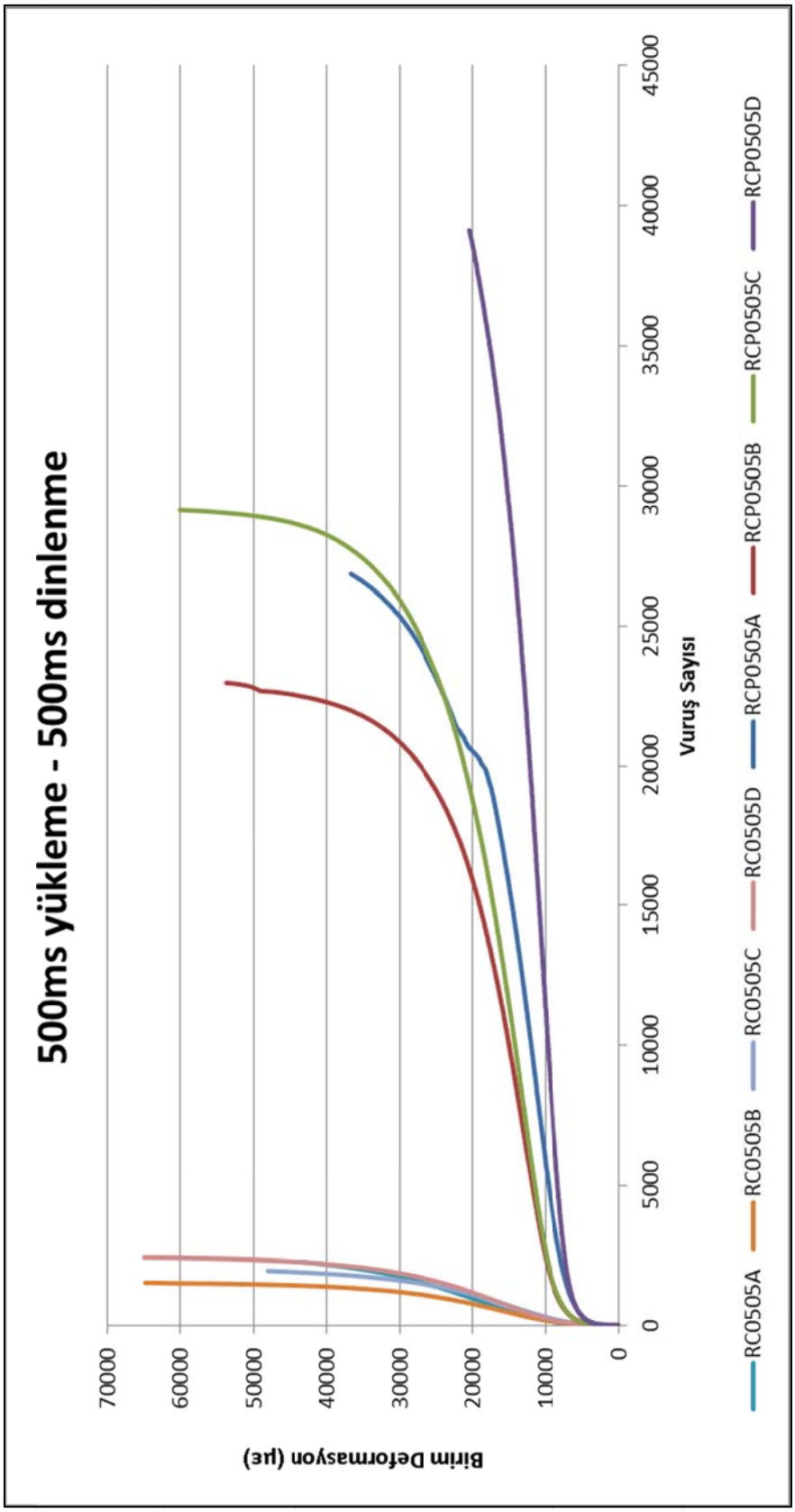
Bölüm 2.6.4'de de anlatıldığı ve Şekil 5.52'deki örnekte de görüleceği üzere sünme deneyine maruz bırakılan numuneler tipik sünme grafiğine uygun davranışlar göstermişlerdir. Yükün uygulanmasıyla birlikte ilk olarak ani bir deformasyon meydana gelmiştir. Bu ani deformasyonun nedeni numune içerisindeki boşlukların aniden gelen yük ile sıkışmasından kaynaklanmaktadır. Bu ilk bölümde deformasyon hızı fazla ancak azalan bir eğri şeklindedir. Bu ilk sünme evresini takiben artık agregalar direkt olarak birbirleriyle temasa geçerler. İkinci sünme evresi adı verilen bu evrede deformasyonlar yavaş bir şekilde artmaktadır. Yükün uygulanmasıyla artık numunenin yapısı bozulmakta ve dayanımı düşmektedir. Bundan dolayı son ve üçüncü sünme evresi denilen son bölümde ise deformasyonlar hızla artmaktadır. Bu deformasyon artışı numunenin parçalanmasına kadar devam eder ve son olarak numune parçalanır.

5.5.3. Tekrarlı sünme deneyinin sonuçları

Bu bölümde öncelikli olarak Ün UŞAR'ın 2007 senesinde yapmış olduğu ve Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen tez çalışmasının sonuçları verilmiştir. Marshall numuneleriyle yürütülen tekrarlı sünme deneyi sonuçları Şekil 5.44 ila 5.51'de gösterilmektedir. İlk grafikler vuruş sayısı ile biriken birim deformasyonları με cinsinden, ikinci grafikler ise vuruş sayısı ile değişen sünme rijitliği değerlerini MPa cinsinden belirtmektedirler. Her bir grafik, dört adet numunenin deney sonuçlarını, 50°C sıcaklık ve 500 Kpa gerilme değeri altında göstermektedir. Bu grafiklerden son derece aşikâr bir biçimde, polipropilen katkısının Marshall numunelerinin tekrarlı sünme ömrü üzerindeki pozitif etkileri gözlemlenebilmektedir.

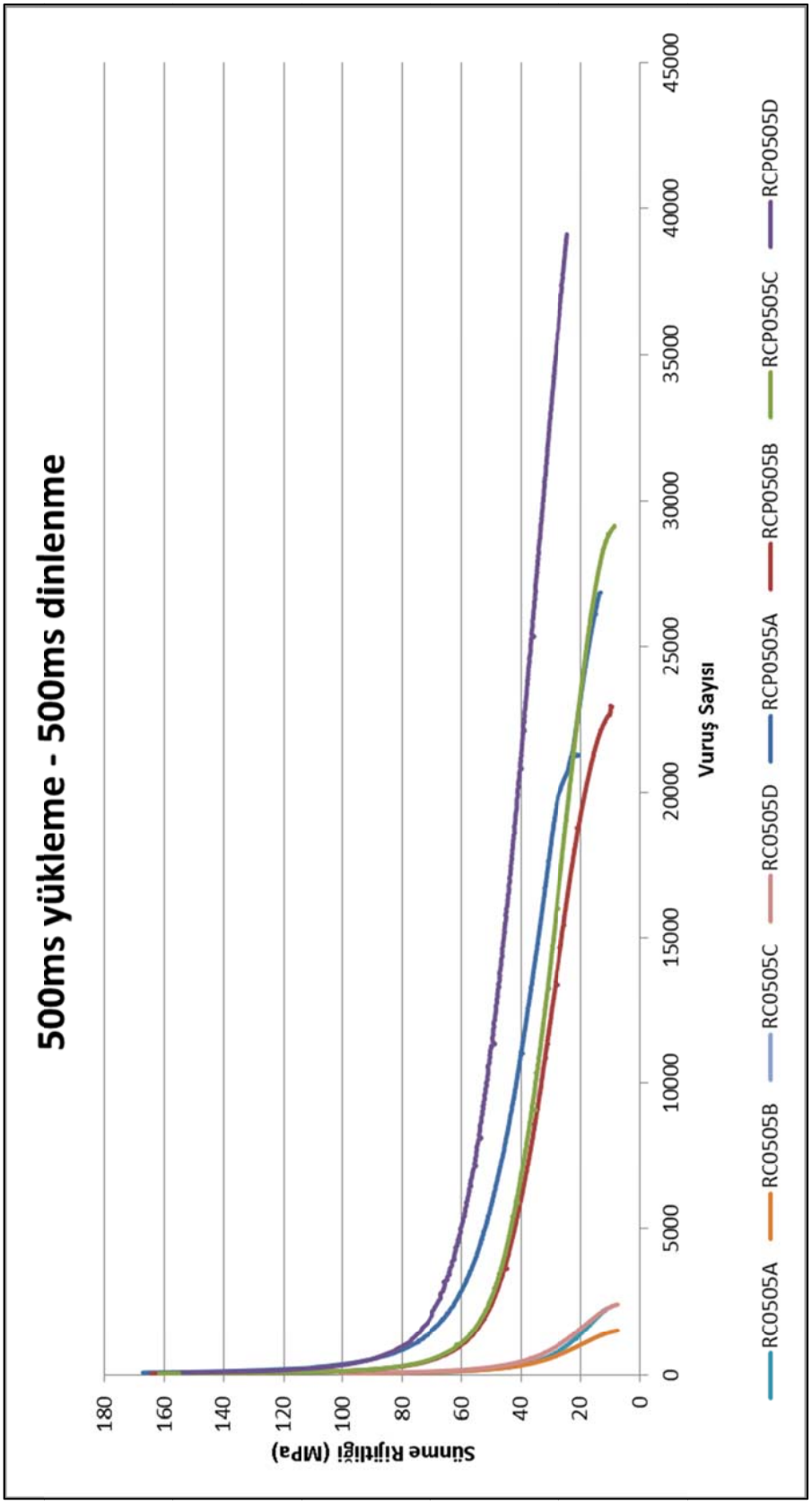
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



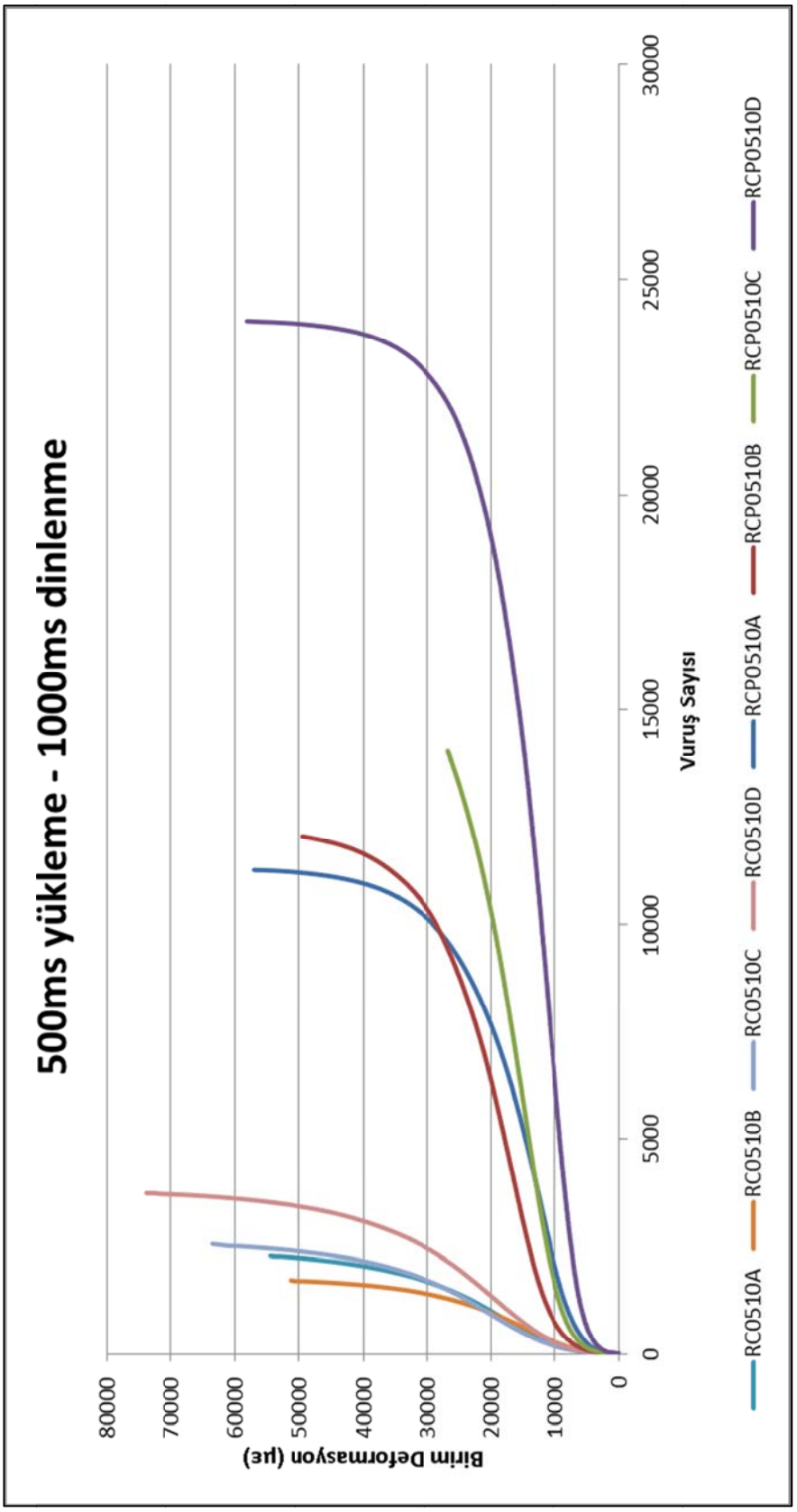
Şekil 5.44. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



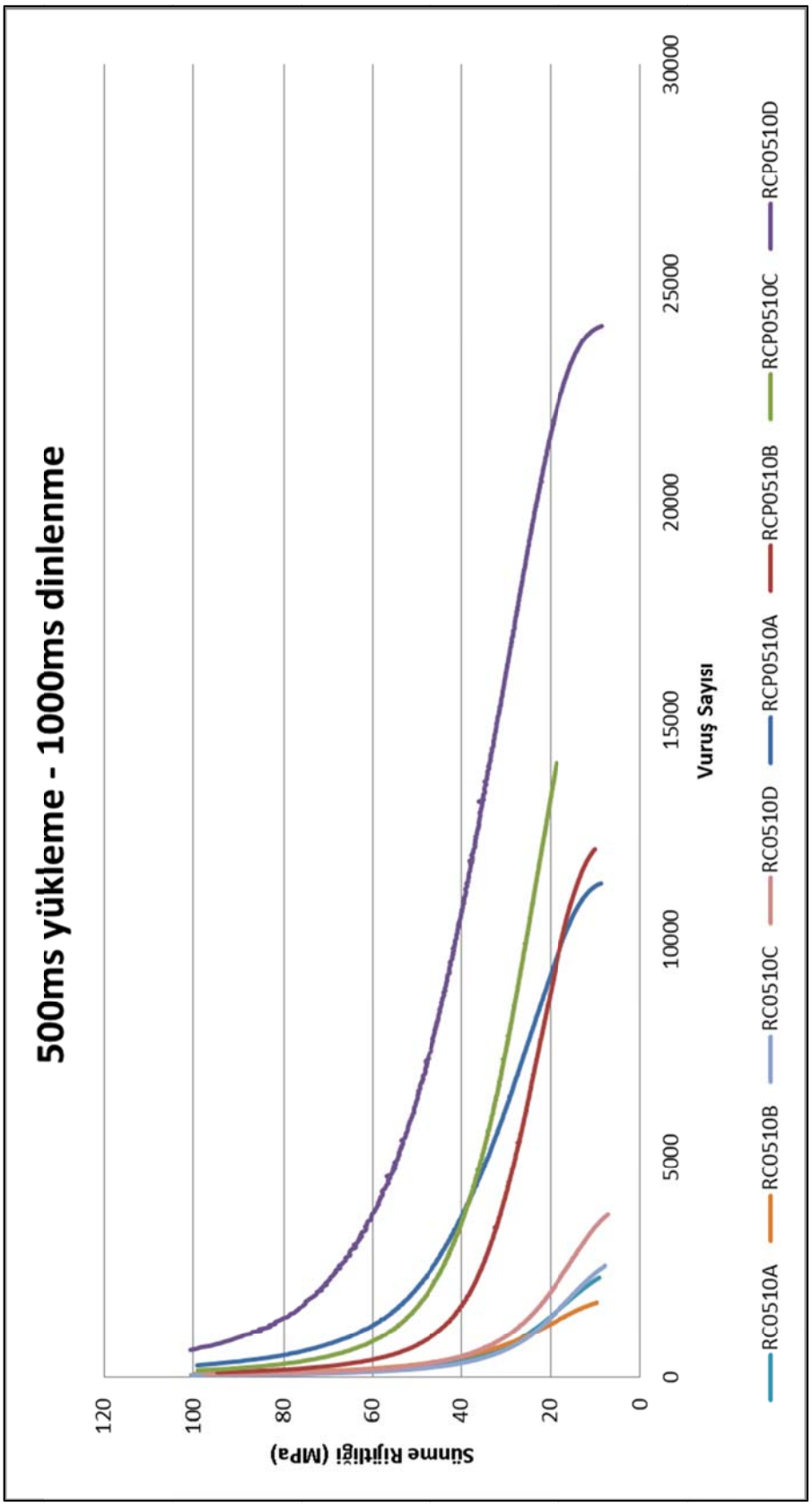
Şekil 5.45. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



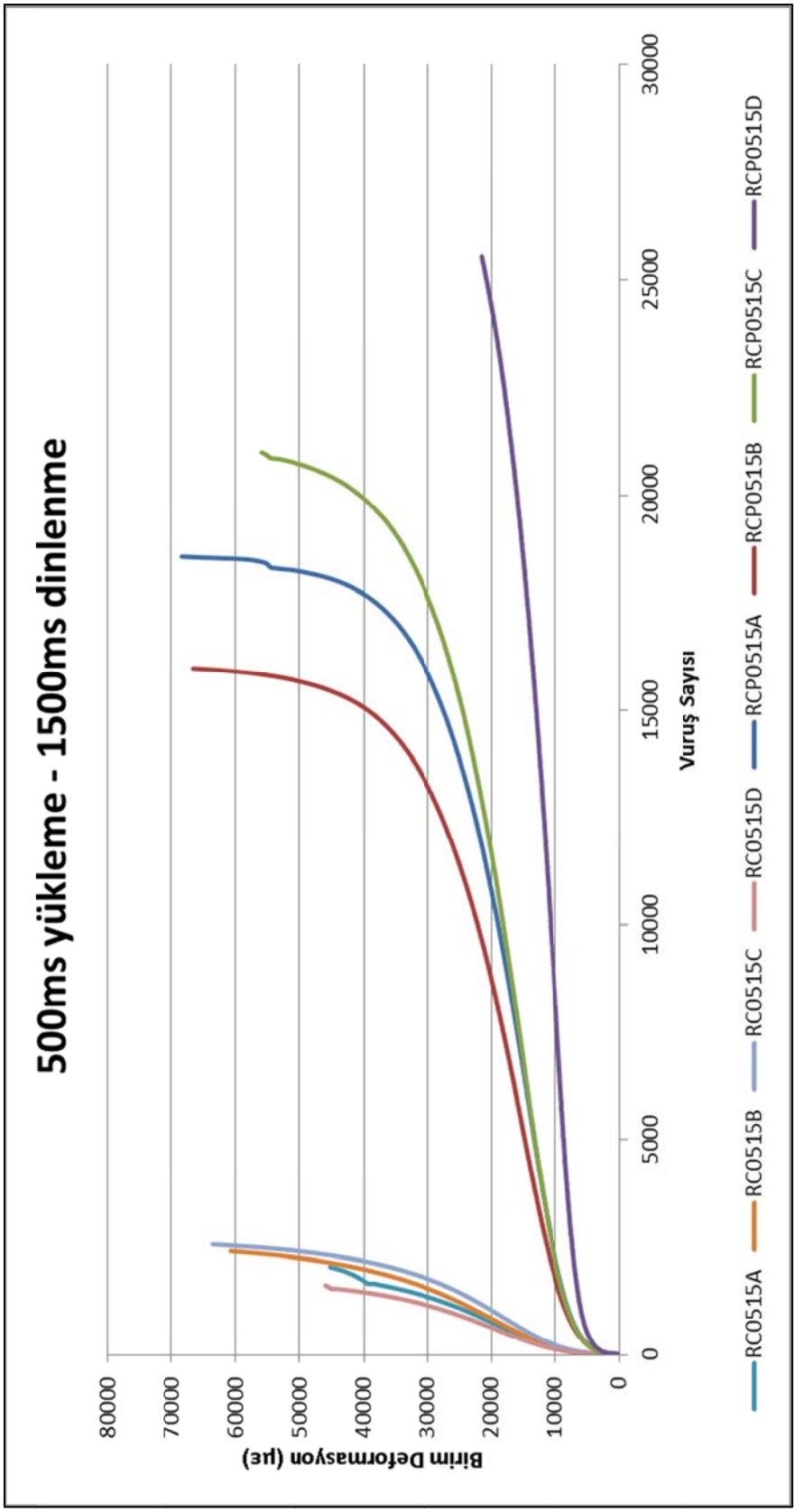
Şekil 5.46. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



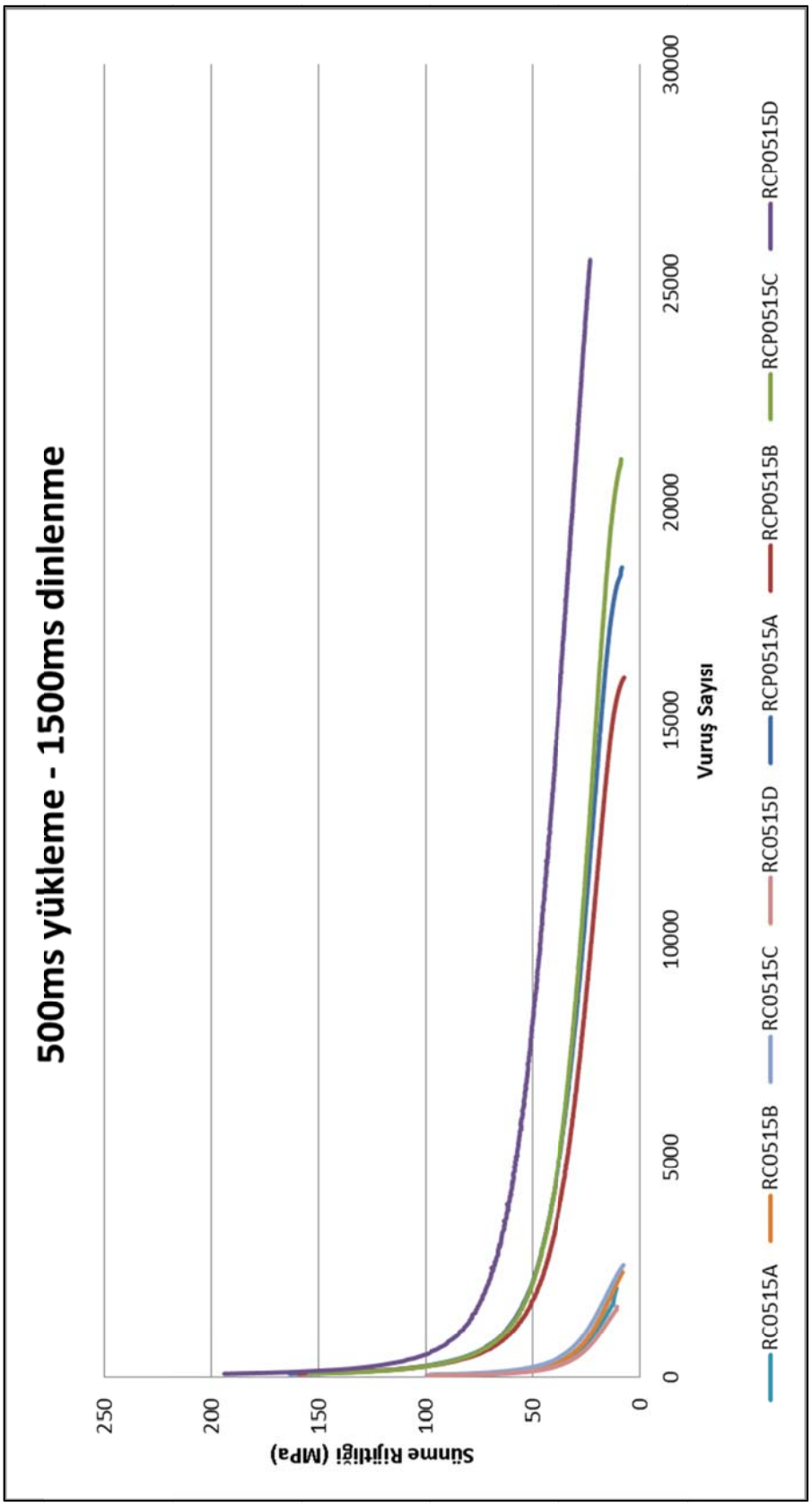
Şekil 5.47. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



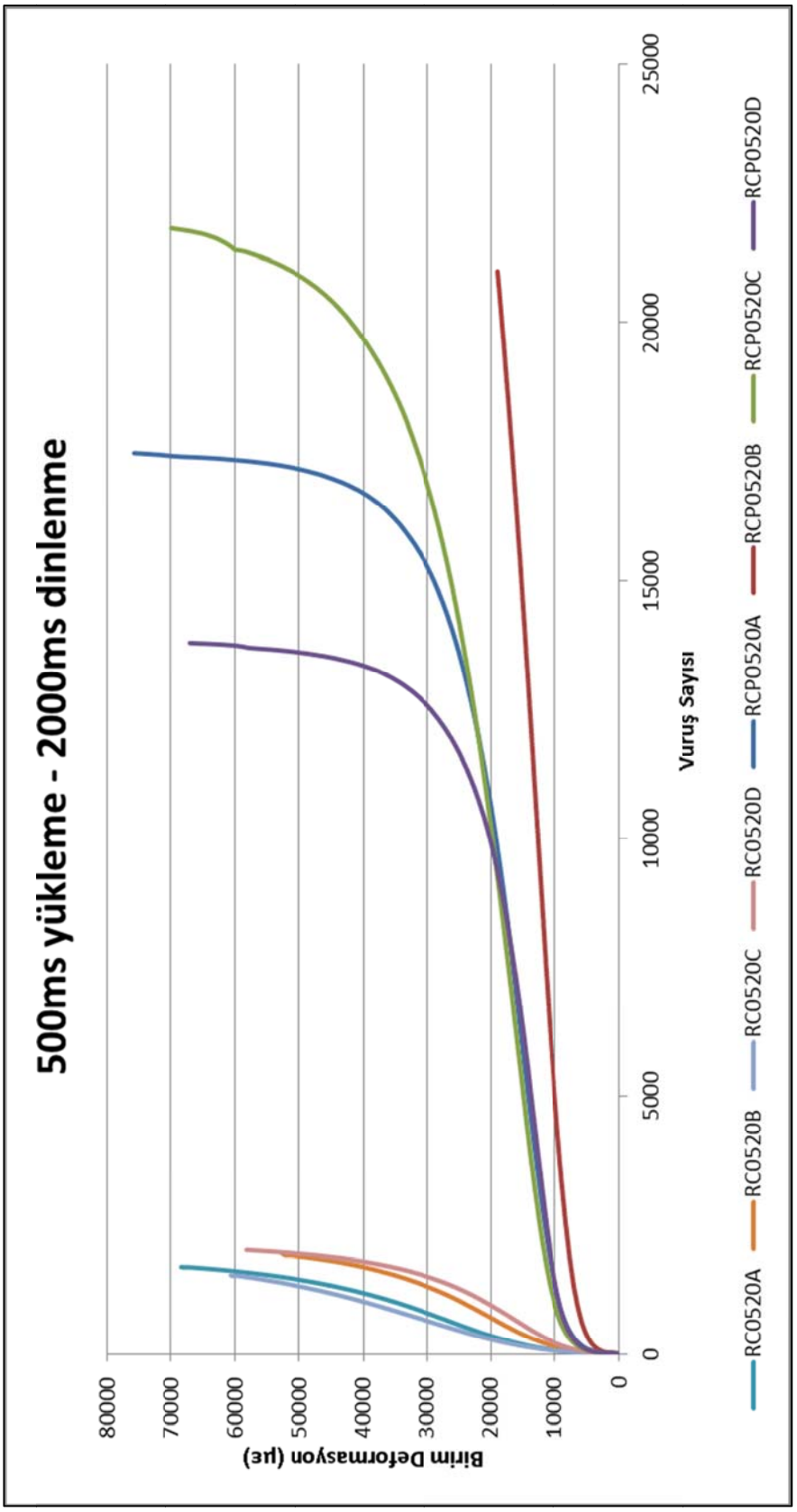
Şekil 5.48. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

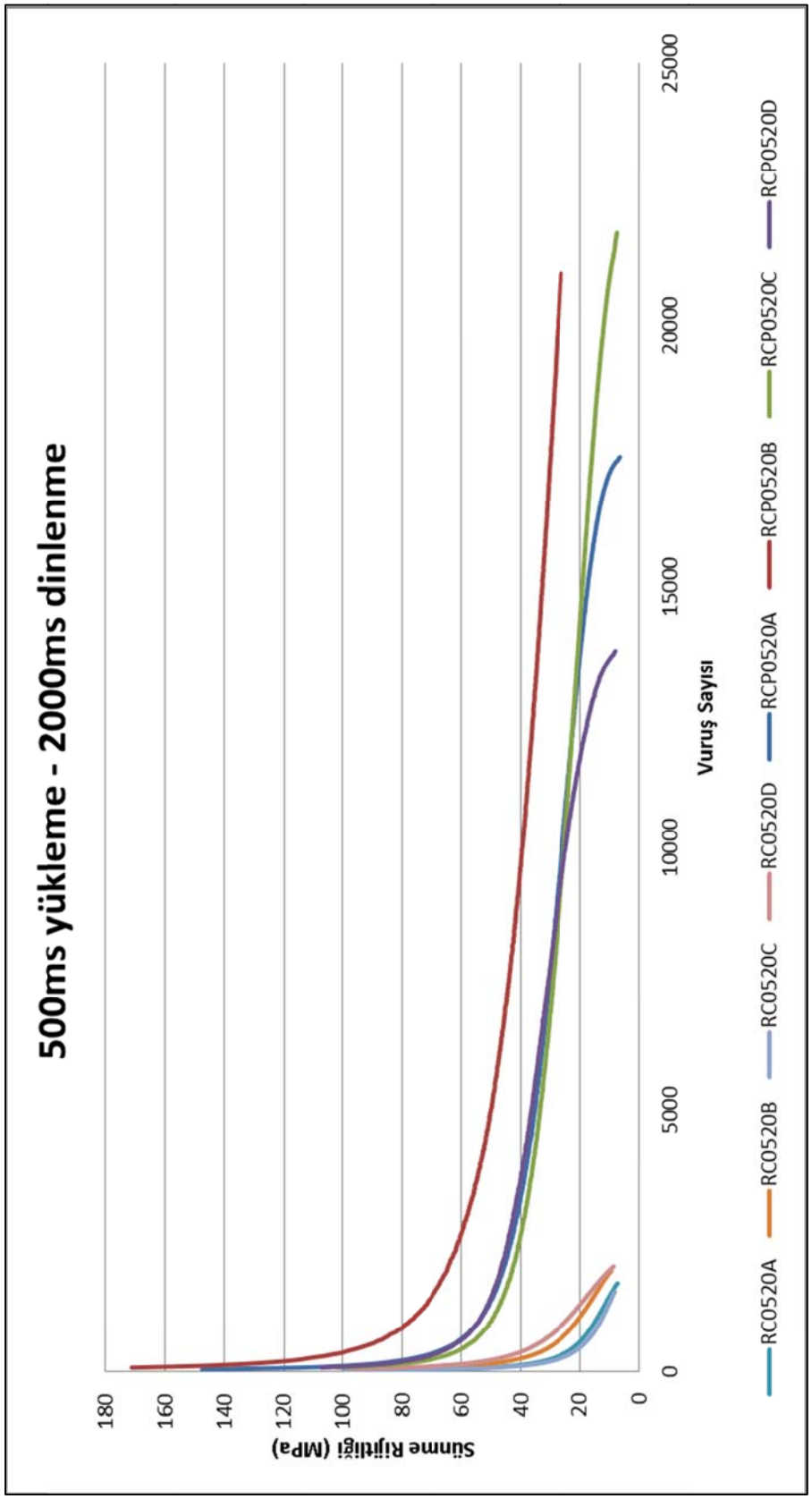


Şekil 5.49. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.50. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (Marshall numuneleri için) [119]



Şekil 5.51. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (Marshall numuneleri için) [119]

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Bu aşamada Marshall numuneleri ile UTM test düzeneği ile yürütülmüş olan tekrarlı sünme deneyleri ile ilgili olarak bazı genel yorumlar yapılacak olursa; Şekil 5.44,46,48 ve 50'de verilen akümüle eden birim deformasyon-vuruş sayısı grafiklerinden gözlemlenebileceği üzere polipropilen katkısı, kontrol numunelerinin ömürlerini 5 ila 12 kat arasında uzatmaktadır (bir anlamda tekrarlı yük altında yıkıma uğrama süreleri). 500 ms yükleme-500 ms dinlenme, 500 ms yükleme-1000 ms dinlenme, 500 ms yükleme-1500 ms dinlenme ve 500 ms yükleme-2000 ms dinlenme yükleme paternlerinde (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) elde edilmiş deney sonuçları bu dört grafikte sunulmuştur. Çalışmanın daha ileriki safhalarında Marshall kompaksiyonu sonucu elde edilmiş bulunan bu tekrarlı sünme deney sonuçlarının yoğurmalı kompaktör numuneleriyle elde edilmiş versiyonlarının da katılmasıyla yeni irdelemeler yapılacaktır.

Yoğurmalı kompaktör numuneriyle yürütülen tekrarlı sünme deneyi sonuçları Şekil 5.52 ila 5.67'de gösterilmektedir. İlk grafikler vuruş sayısı ile biriken birim deformasyonları με cinsinden, ikinci grafikler ise vuruş sayısı ile değişen sünme rijitliği değerlerini MPa cinsinden belirtmektedirler. Her bir grafik, dört adet (bazıları beş adet) numunenin deney sonuçlarını, 50°C sıcaklık ve 500 kPa gerilme değeri altında göstermektedir. Bu grafiklerden son derece aşikâr bir biçimde, polipropilen katkısının Marshall numunelerinin tekrarlı sünme ömrü üzerindeki pozitif etkileri gözlemlenebilmektedir (61.5 mm numune yüksekliğiyle üretilmiş olan).

Bu arada Şekil 5.52 ile 5.53'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.58'de verilmektedir.

Çizelge 5.58. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0505A	61,45	5	0	29	14,908	76,039	3,560	2447
RC0505B	61,48	5	0	33	14,902	76,074	3,553	2447
RC0505C	61,45	5	0	42	14,229	80,305	2,790	2467
RC0505D	61,44	5	0	36	14,209	80,433	2,768	2467

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Yukarıdaki tabloda gözlemlenen "GYR (Gyration number, dönüş sayısı) değerlerinin bu projenin çıktılarının irdelenmesinde büyük önemi vardır. Bu sebepten bu sayıların yorumu deneysel çalışmaların birinci kısmında detaylı şekilde yapılmış olmasına rağmen bir kez daha konuya dikkat çekmek için tabüler formda yeniden verilmişlerdir.

Öncelikle Şekil 5.52'den bahsedilirse, bu şekilden de açıkça gözlemlenebileceği üzere RC0505B (500 ms yükleme-500 ms dinlenme, numune B) dışındaki diğer 3 numune neredeyse reolojik davranış açısından (fiziksel özelliklerinde bir miktar sapma olsa da) mükemmele yakın çalışmışlardır.

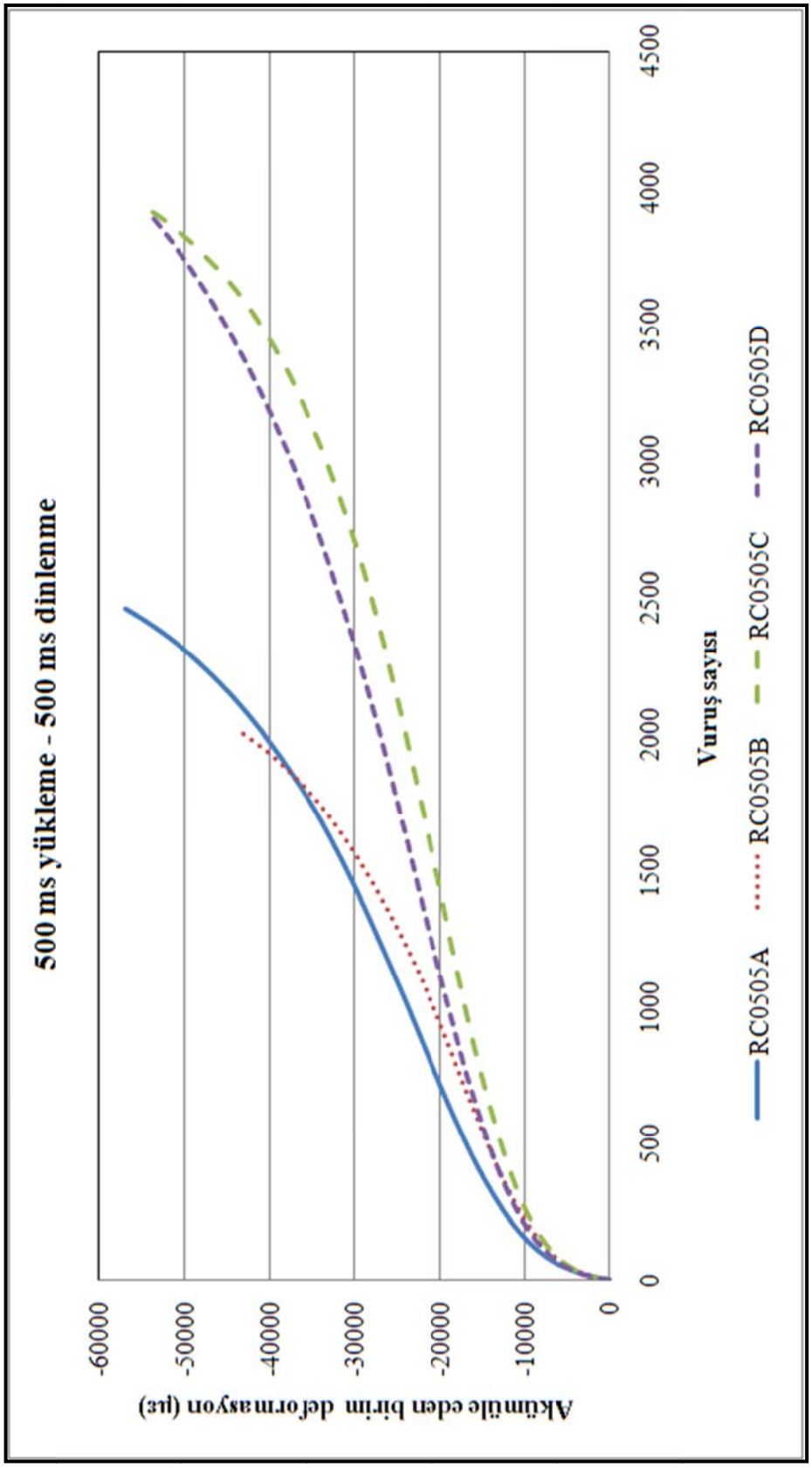
Şekil 5.54 ile 5.55'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.59'da verilmektedir.

Çizelge 5.59. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0510A	61,44	5	0	37	14,340	79,580	2,915	2464
RC0510B	61,50	5	0	38	14,188	80,573	2,744	2468
RC0510C	61,46	5	0	39	14,105	81,124	2,650	2470
RC0510D	61,44	5	0	41	14,427	79,021	3,014	2461

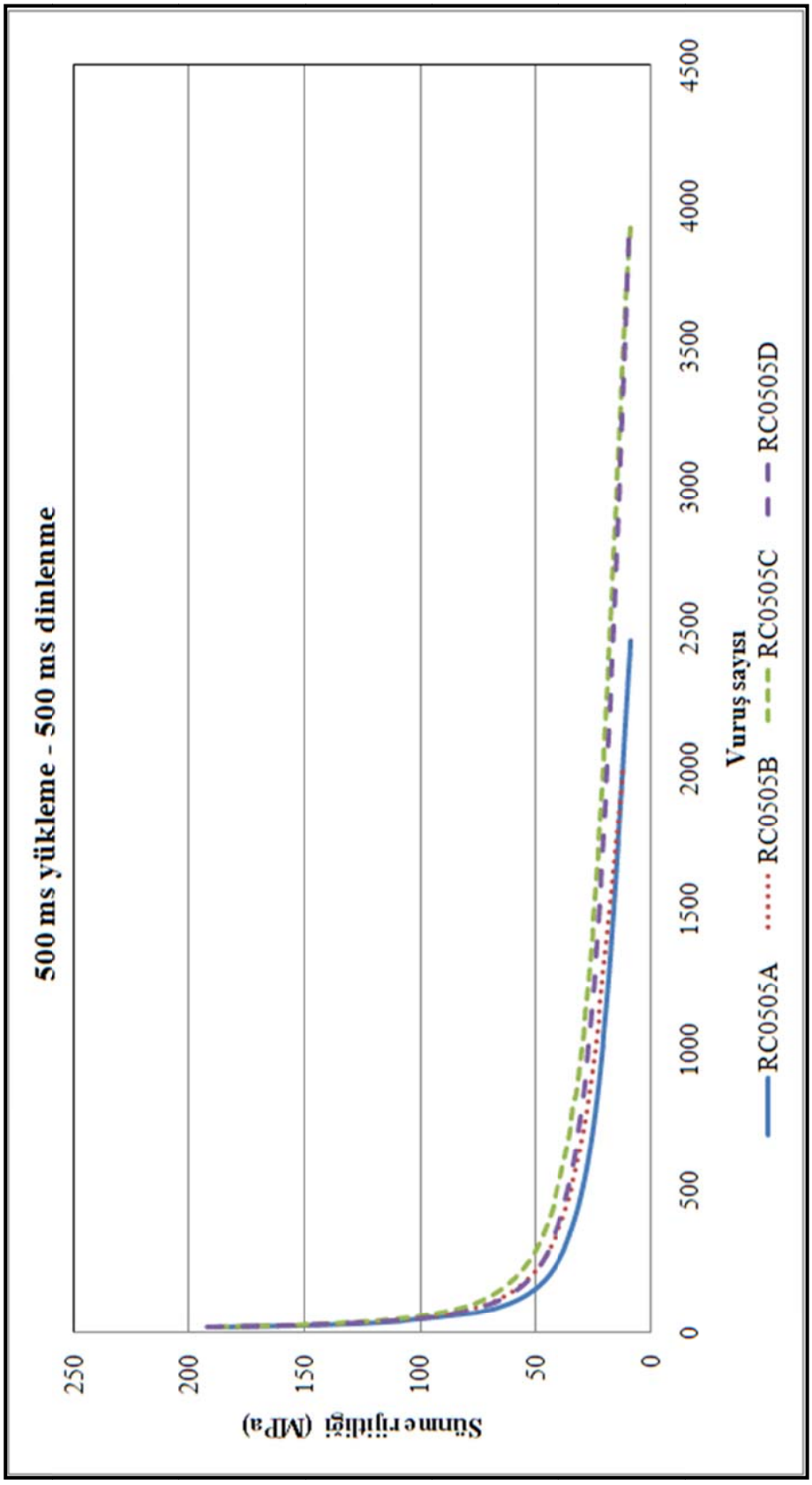
Bu patern ile deneye tabi tutulan dört adet numunenin sonuçları irdelendiğinde görülmektedir ki bu dört adet numune birbirlerine çok yakın fiziksel (ayrıca dönüş sayıları da bu olguyu tam destekler niteliktedir) özelliklere haizdir. Tekrarlı sünme deneyleri sonuçları da neredeyse birebir örtüşür niteliktedir. Bu sonuçlara göre yoğurmalı kompaksiyon tekniğiyle üretilmiş olan bu numunelerin tekrarlı sünme deneyi sonuçları da mantık sınırları dahilindedir. Çalışmanın ilerleyen safhalarında bu numunelerin Marshall numuneleri ile tekrarlı sünme deneyi tatbik edildiğinde, reolojik yönden benzeşim gösterip göstermedikleri etraflıca irdelenecektir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



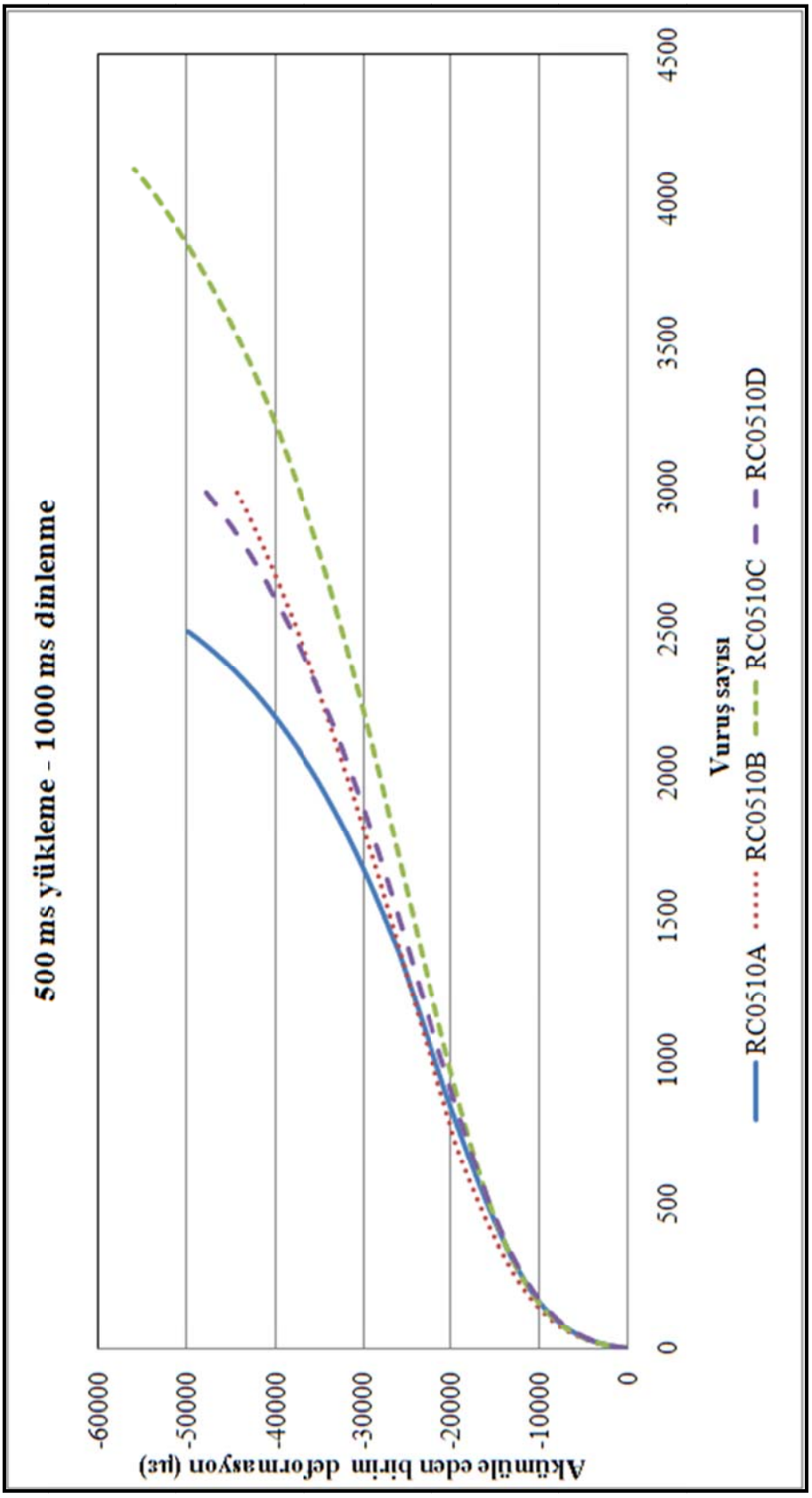
Şekil 5.52. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



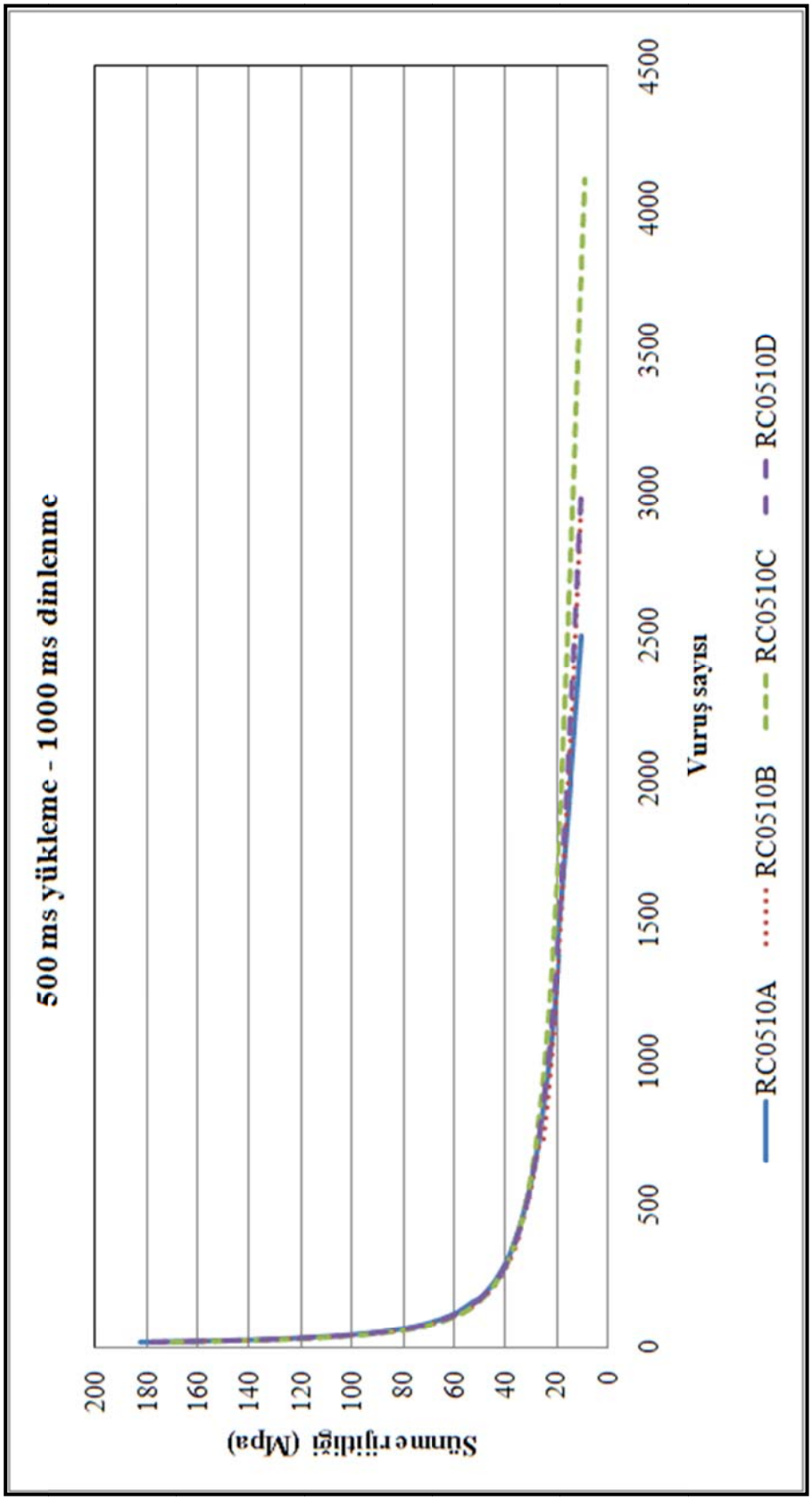
Şekil 5.53. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



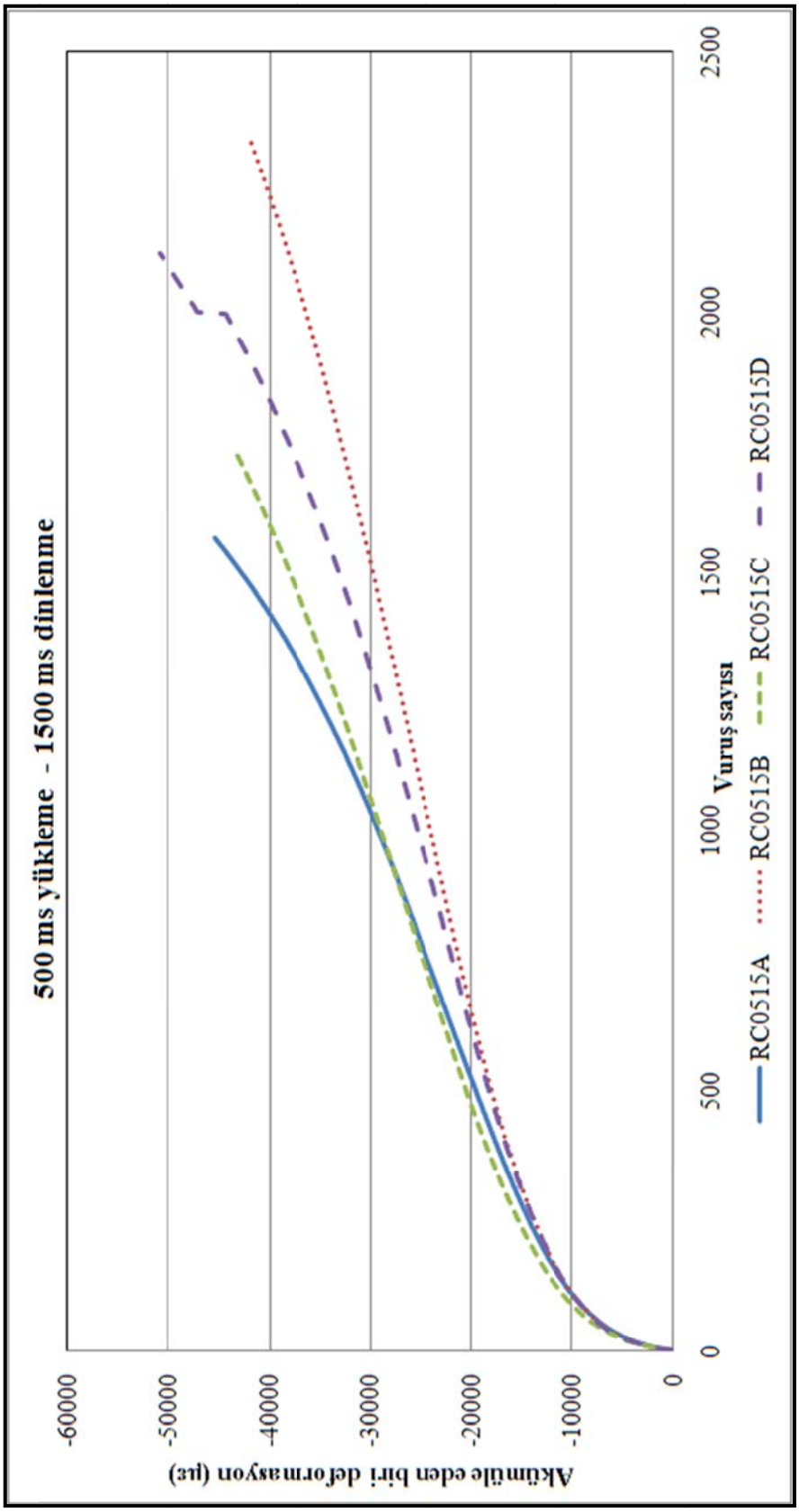
Şekil 5.54. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



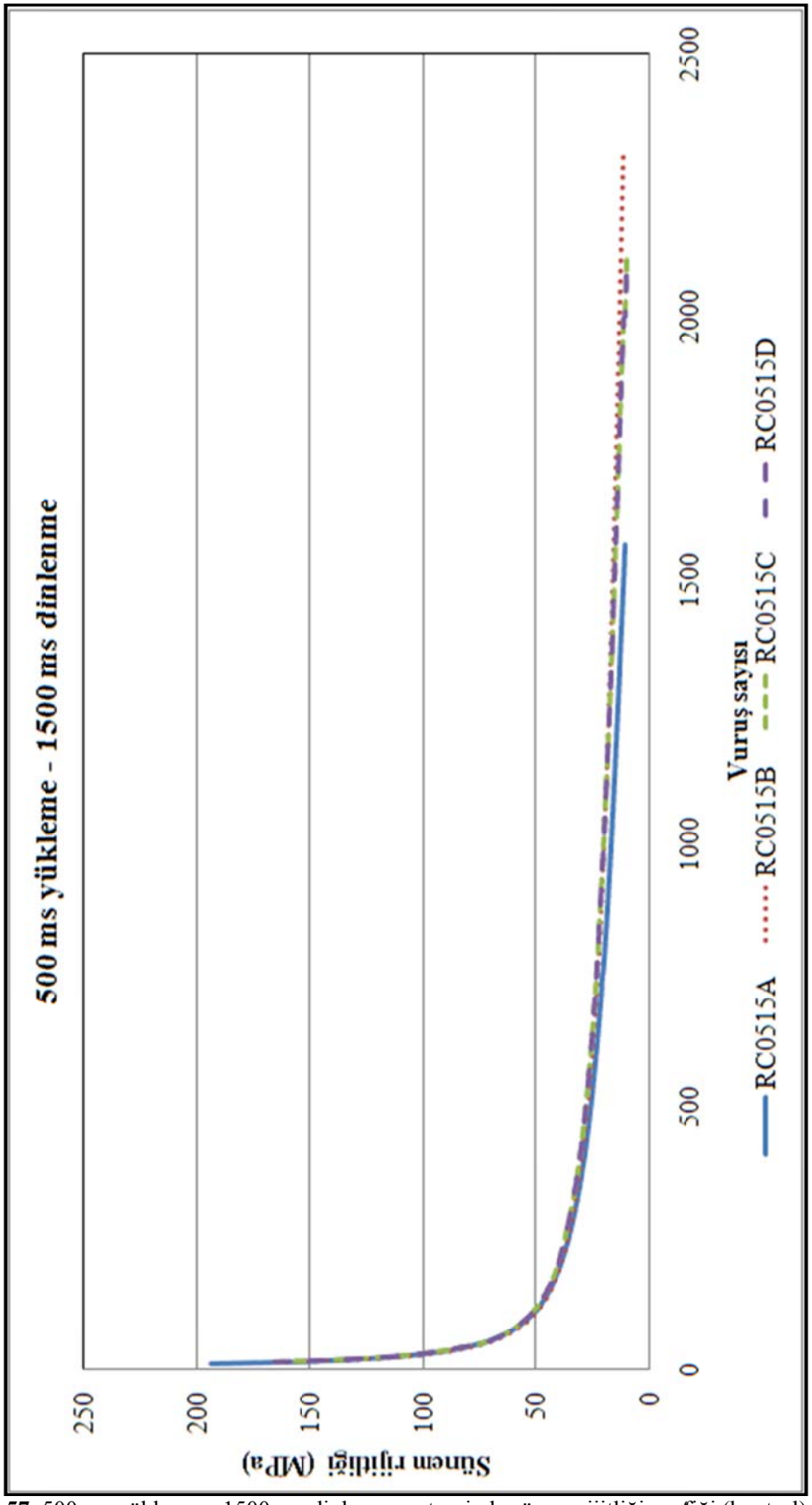
Şekil 5.55. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



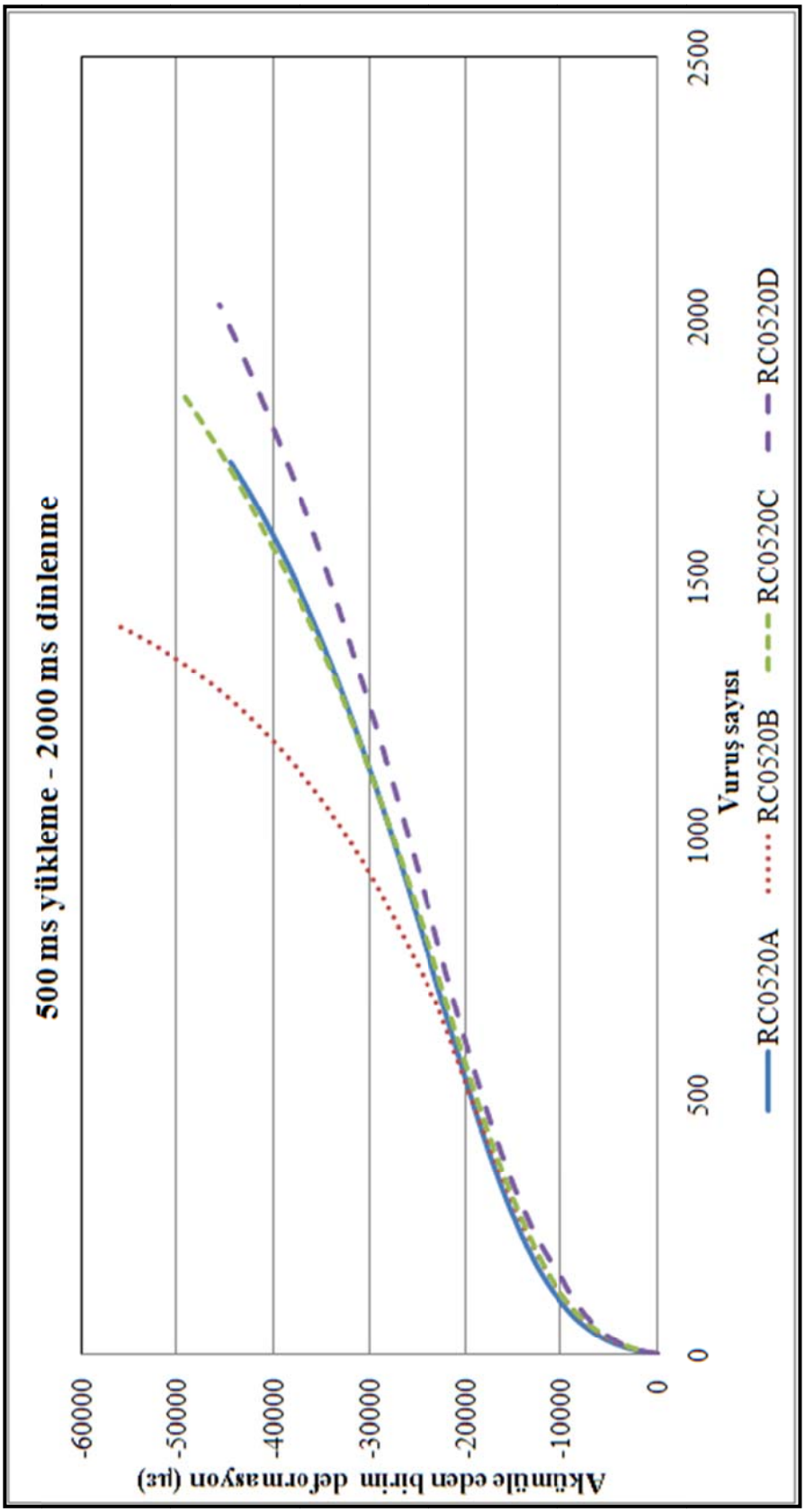
Şekil 5.56. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



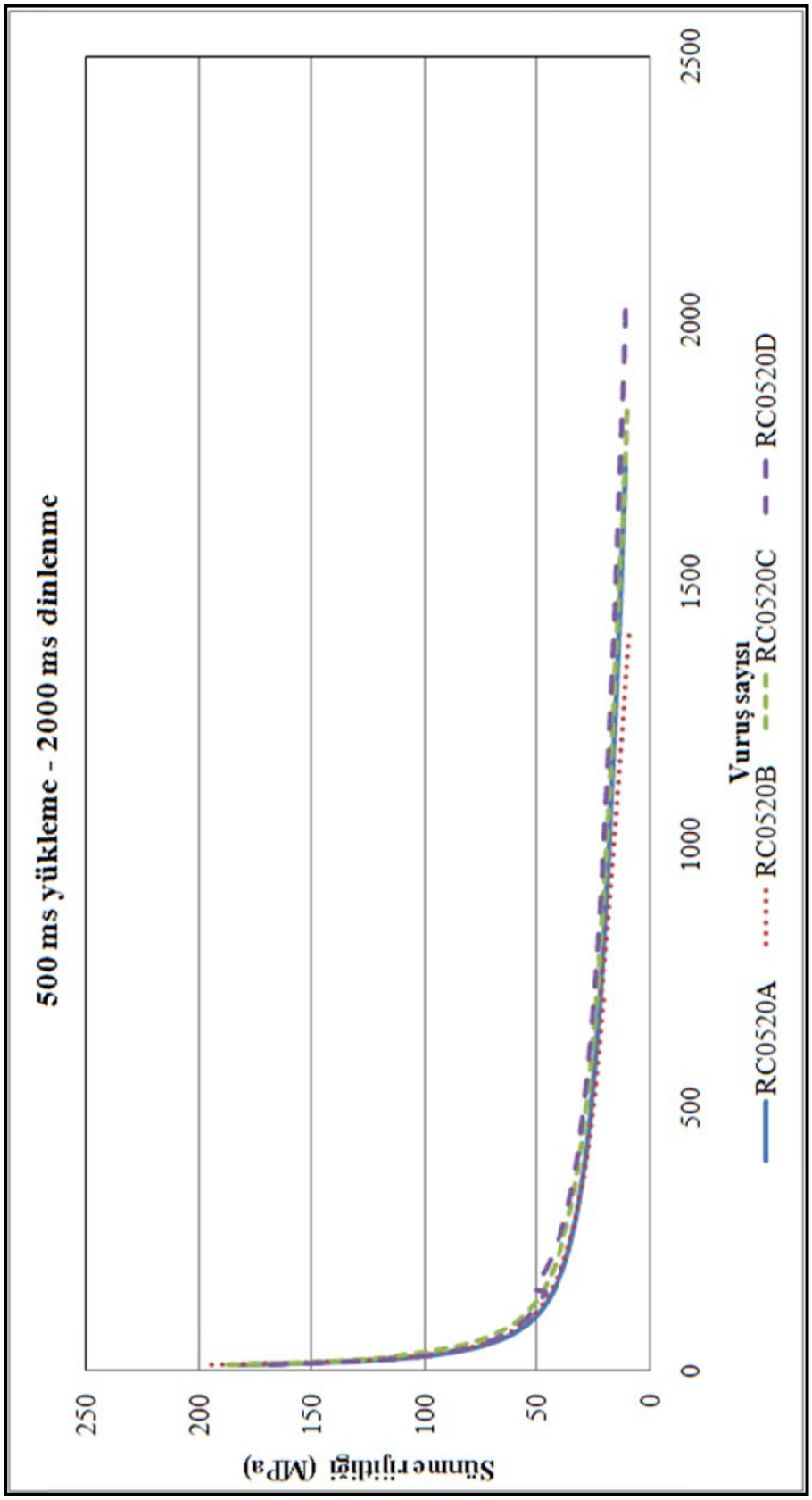
Şekil 5.57. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.58. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.59. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (kontrol)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.56 ile 5.57'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.60'da verilmektedir.

Çizelge 5.60. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0515A	61,44	5	0	34	14,518	78,440	3,117	2458
RC0515B	61,46	5	0	37	14,383	79,299	2,965	2462
RC0515C	61,48	5	0	31	14,488	78,628	3,084	2459
RC0515D	61,50	5	0	40	14,429	79,006	3,017	2461

Yine bu tablodan gözlemleneceği üzere RC0515A,B,C ve D numuneleri neredeyse üretim bandından çıkmışçasına çok benzer fiziksel (ve de dönüş sayıları tabii ki) özelliklere haizdir. Dolayısıyla Şekil 5.56 ila 5.57'deki iki grafiğin incelenmesi de gösterecektir ki, bu numuneler reolojik özellikler açısından, özellikle birinci, ikinci ve üçüncü sünme evrelerinin yaklaşık başlangıç vuruş sayıları (süreleri) açısından da büyük benzeşimler göstermektedir.

Şekil 5.58 ila 5.59'da tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.61'de verilmektedir.

Çizelge 5.61. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri (Kontrol numuneleri için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0520A	61,48	5	0	41	14,479	78,686	3,073	2460
RC0520B	61,48	5	0	42	14,737	77,073	3,366	2452
RC0520C	61,45	5	0	42	14,560	78,172	3,166	2457
RC0520D	61,47	5	0	42	14,410	79,130	2,994	2462

Yukarıdaki tartışmalar için geçerli olan aynı argümanı bir daha yinelemek yerine bu noktada daha farklı bir konuya değinmek gerekirse; mesela RC0520A ile RC0520C numunelerinin Şekil 5.58'de gözlemlenebilecek sünme eğrileri neredeyse tıpkıbasım gibi "birebir" örtüşmektedir. Bu numunelerin hava boşlukları arasındaki fark sadece % 0.093'tür.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.60 ile 5.61'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) polipropilen modifiyeli yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.62'de verilmektedir.

Çizelge 5.62. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0505B	62,56	5	3,0	27	16,070	70,263	4,766	2414
RCP0505C	62,61	5	3,0	24	16,084	70,190	4,782	2413
RCP0505D	62,61	5	3,0	35	16,121	69,994	4,825	2412
RCP0505E	62,62	5	3,0	26	16,118	70,012	4,821	2412
RCP0505F	62,62	5	3,0	26	16,000	70,627	4,687	2416

Yukarıdaki tablodaki numuneler kendi aralarında yine büyük benzeşimler göstermektedirler. Bu numuneler ‰ 3 oranında polipropilen ile modifiye edilerek hazırlanmışlardır. Numune yüksekliklerindeki üniformite (62.60 mm numune yüksekliği) ve yine hava boşluklarının hepsinin % 4.8 civarında olması dikkat çekici bir olgudur.

Bitümlü sıcak karışımlar, özellikle sıcaklık mevzu bahis olduğunda, hazırlanış şekillerine ne kadar dikkat edilmiş olursa olsun çok farklı fiziksel ve mekanik özelliklerde üretilebilir. Bu yüzden Şekil 5.60'da, RCP0505C numunesi dışındaki diğer dört adet numunenin reolojik davranışları çok çok önemlidir.

Şekil 5.62 ile 5.63'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) polipropilen modifiyeli yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.63'de verilmektedir.

Çizelge 5.63. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için)

NUMUNELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0510A	62,61	5	3,0	25	16,167	69,760	4,876	2411
RCP0510B	62,62	5	3,0	38	16,127	69,968	4,831	2412
RCP0510C	62,60	5	3,0	25	16,129	69,957	4,833	2412
RCP0510D	62,57	5	3,0	31	16,110	70,052	4,812	2413
RCP0510E	62,62	5	3,0	29	15,873	71,303	4,543	2419

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.62'de görülebileceği üzere RCP0510A numunesi çok erken yıkıma uğramıştır ve çok dik bir şekilde devam eden eğrinin ancak bir kısmı (ikincil sünme evresinin sonuna kadarı) grafikte şekilde gösterilmiştir. Burada enteresan olan nokta, bu numunenin diğer üç numune ile neredeyse birebir örtüşen fiziksel özelliklere haiz olmasıdır. Diğer üç numune ise beklendiği gibi reolojik açıdan benzer şekilde davranıp yıkıma uğramışlardır.

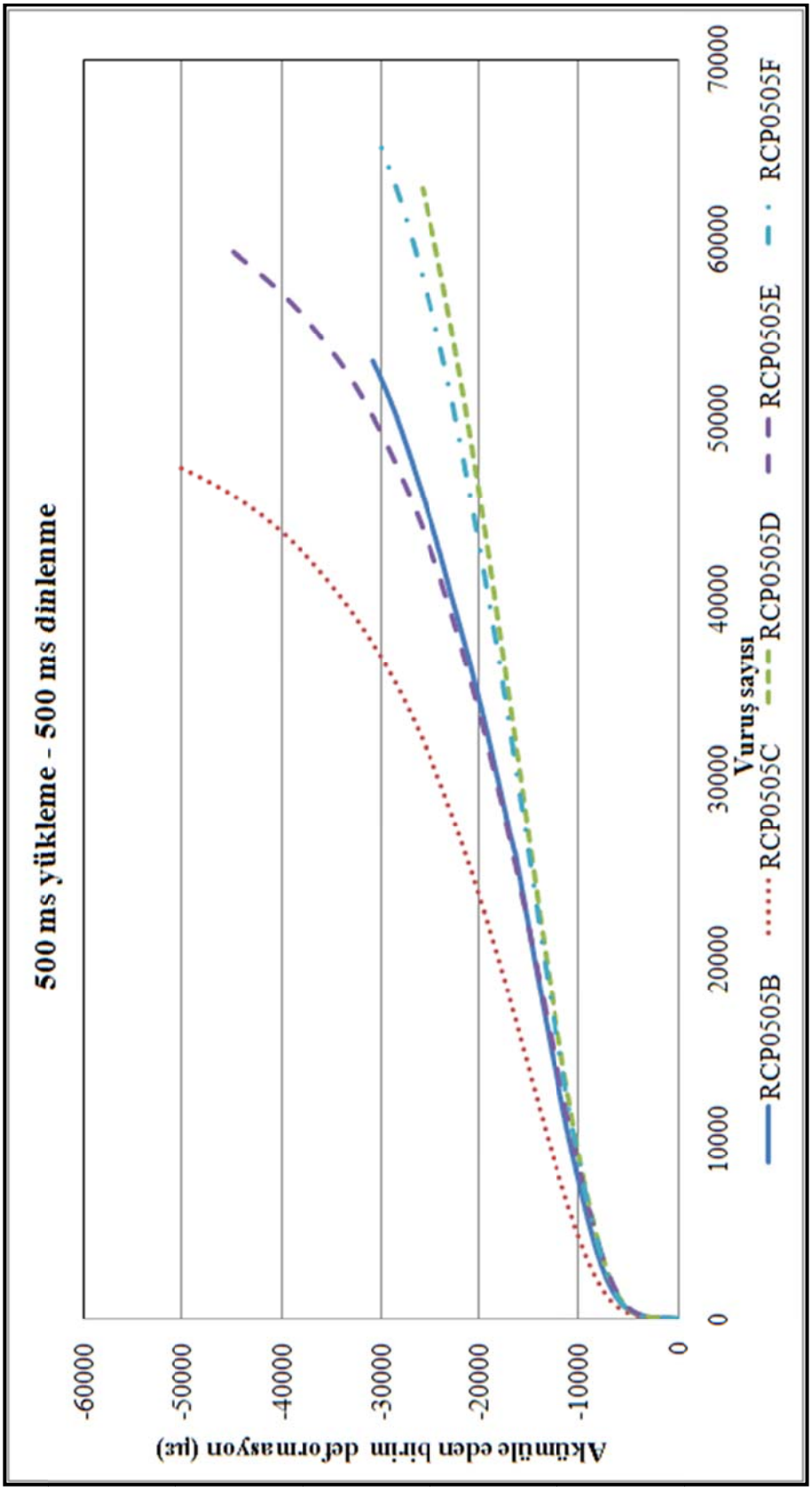
Şekil 5.64 ile 5.65'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) polipropilen modifiyeli yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.64'de verilmektedir.

Çizelge 5.64. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0515A	62,59	5	3,0	28	15,938	70,954	4,617	2418
RCP0515B	62,62	5	3,0	24	15,980	70,732	4,665	2416
RCP0515C	62,58	5	3,0	31	15,934	70,976	4,612	2418
RCP0515D	62,61	5	3,0	28	15,974	70,764	4,658	2417
RCP0515E	62,58	5	3,0	24	15,810	71,636	4,472	2421

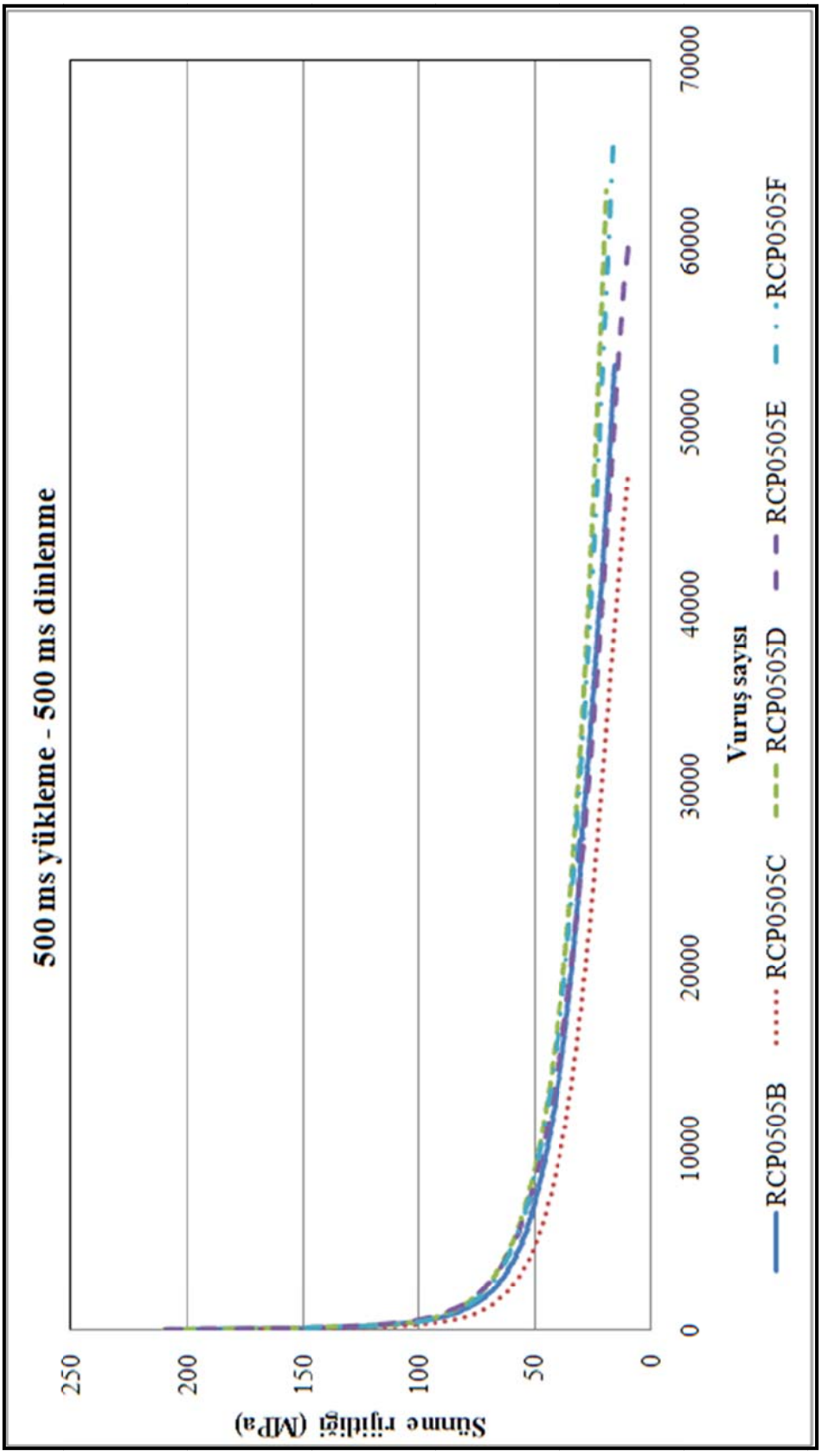
Şekil 5.63 ve 5.64'deki probleme benzer bir problem bu iki seride de yaşanmıştır. RCP0515B beklenmedik bir şekilde erken yıkıma uğramıştır. Ancak bunu bertaraf etmek amacıyla RCP0515E numunesi test edilmiş ve bu diğer dört adet numunenin tekrarlı sünme deneyi sonucundaki davranışları son derece "koopere" olarak gözlemlenmiştir. Şunu da unutmamak gerekir ki en "agresif" yükleme paterni de 500 ms yükleme-1500 ms dinlenme olan bu paterndir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



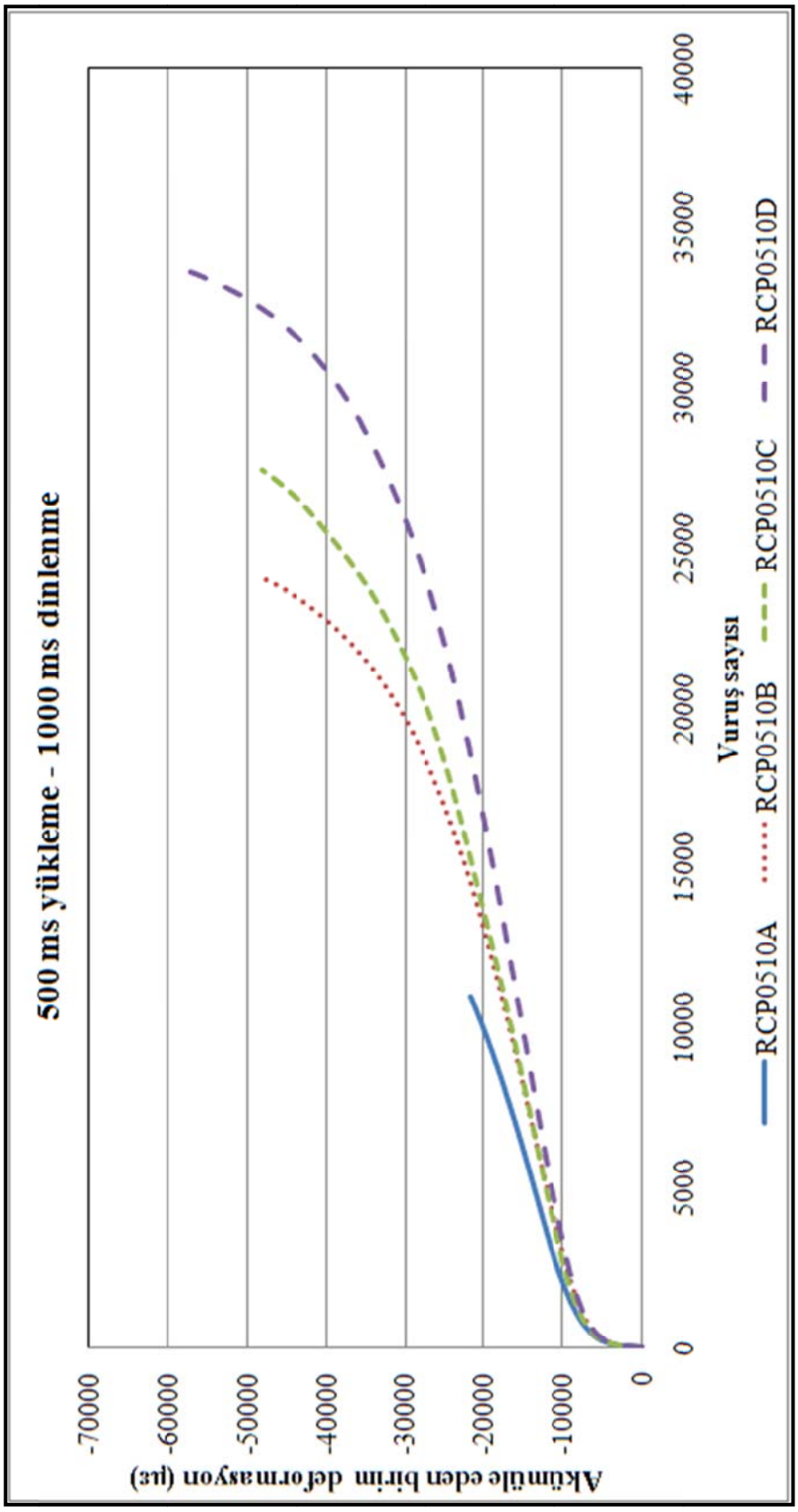
Şekil 5.60 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



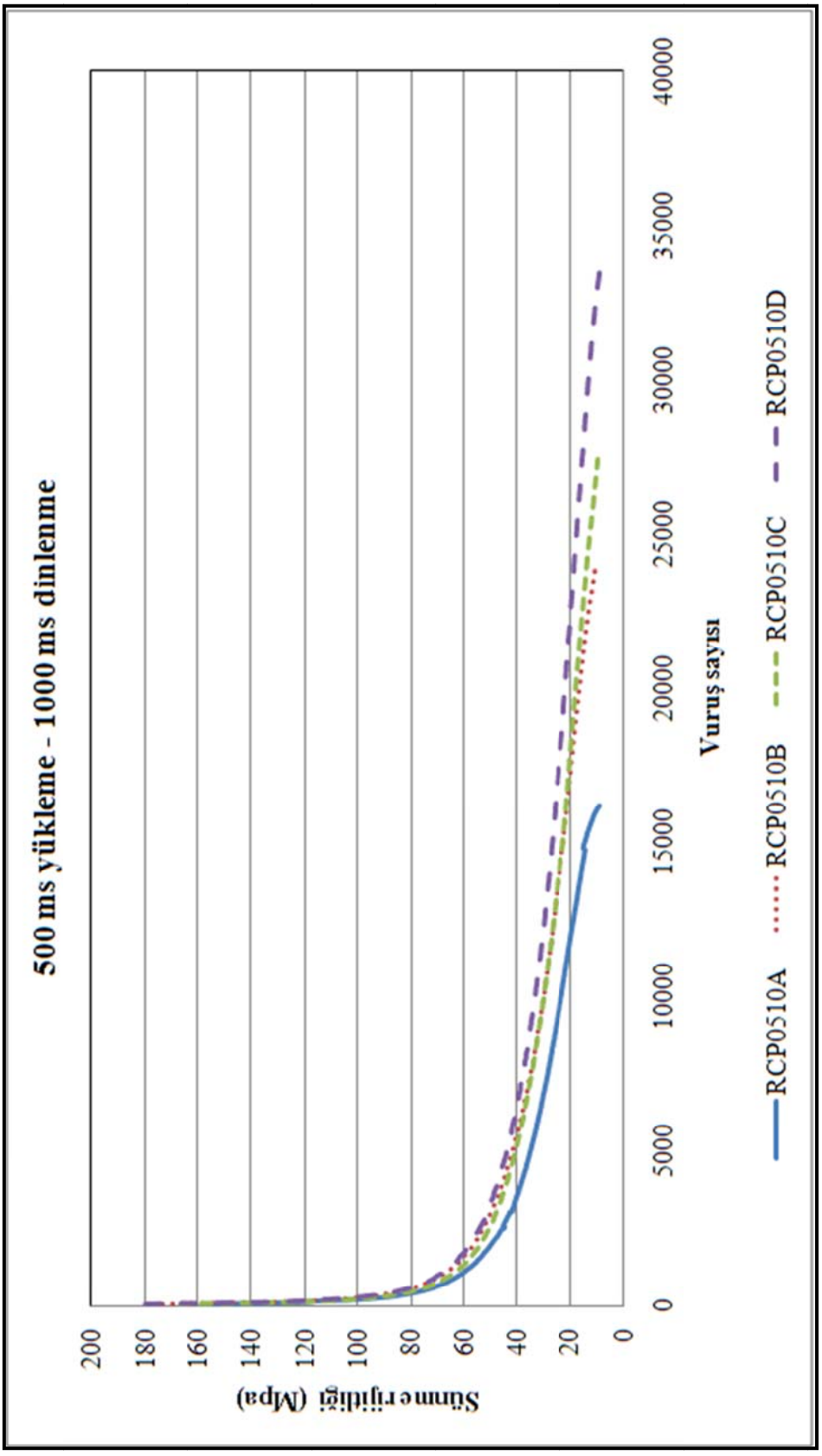
Şekil 5.61. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



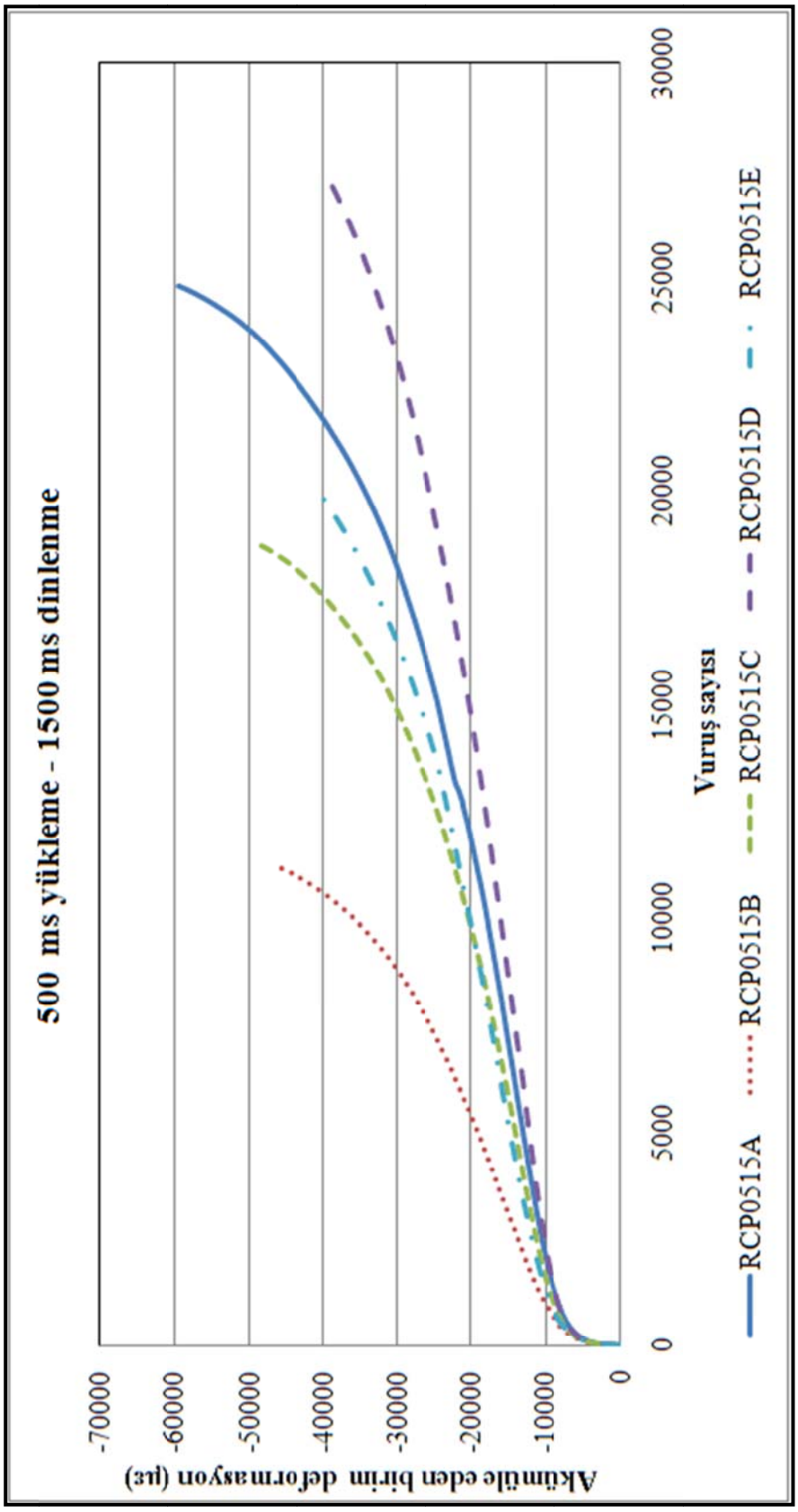
Şekil 5.62. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



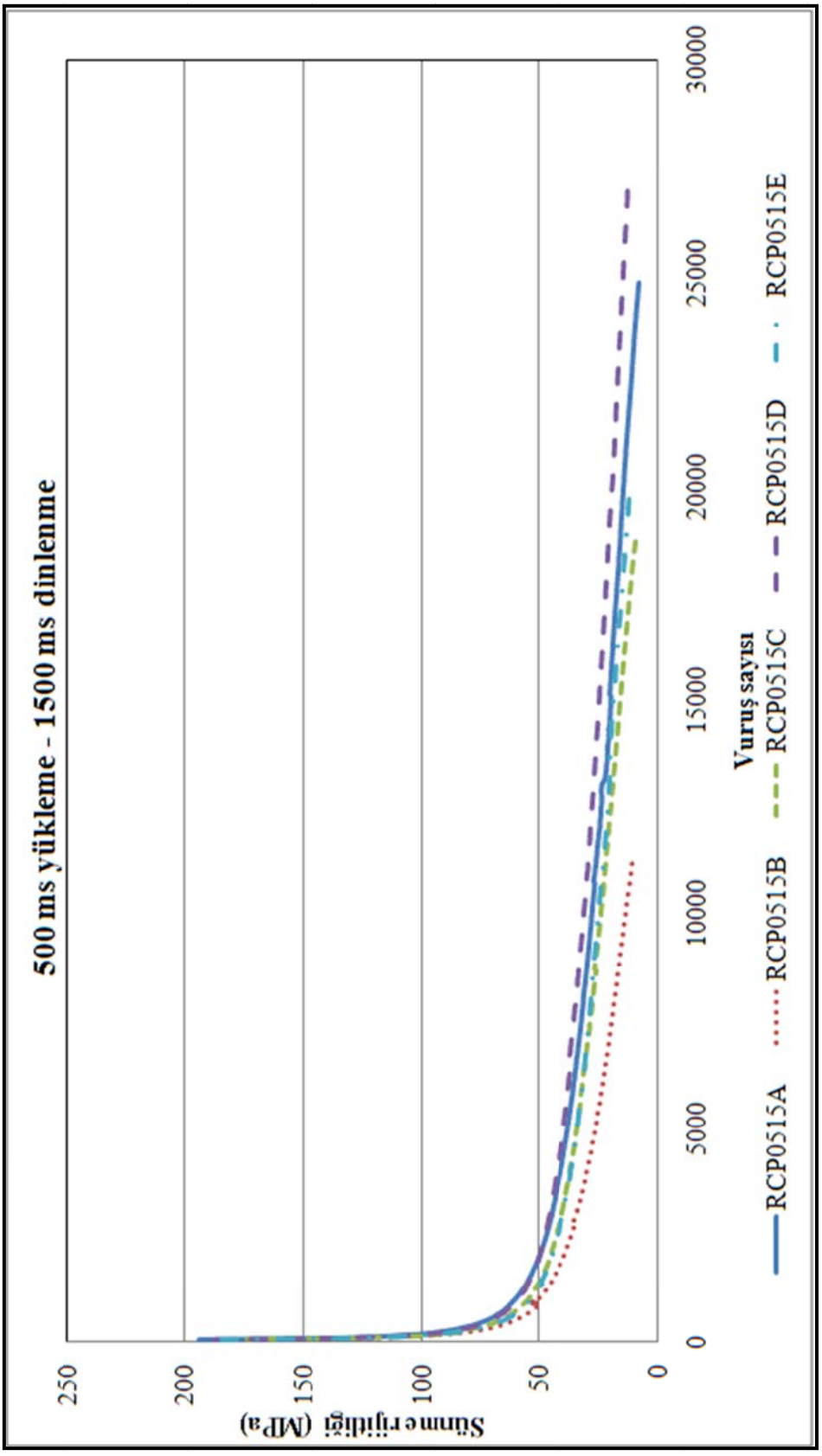
Şekil 5.63. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



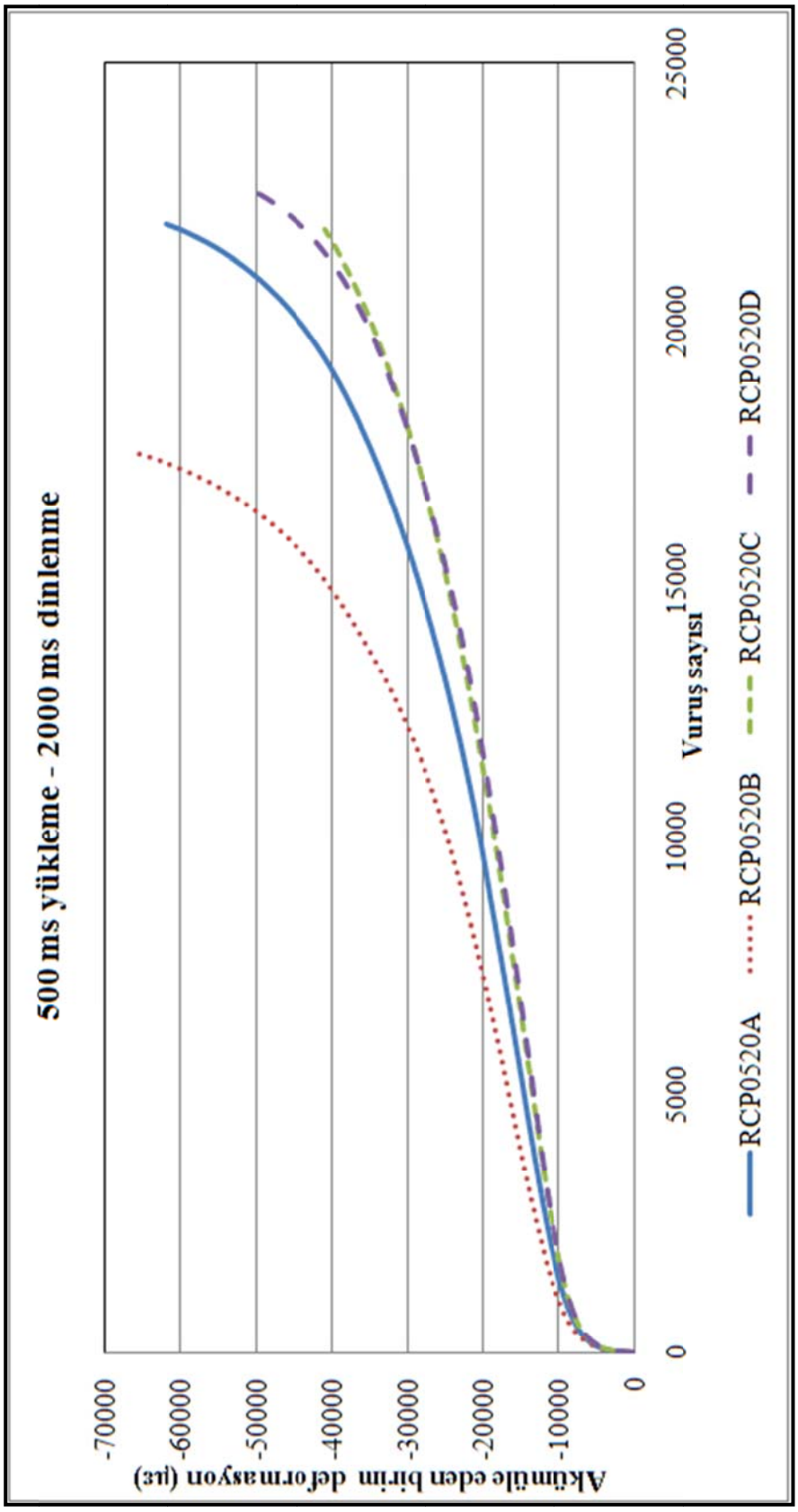
Şekil 5.64. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



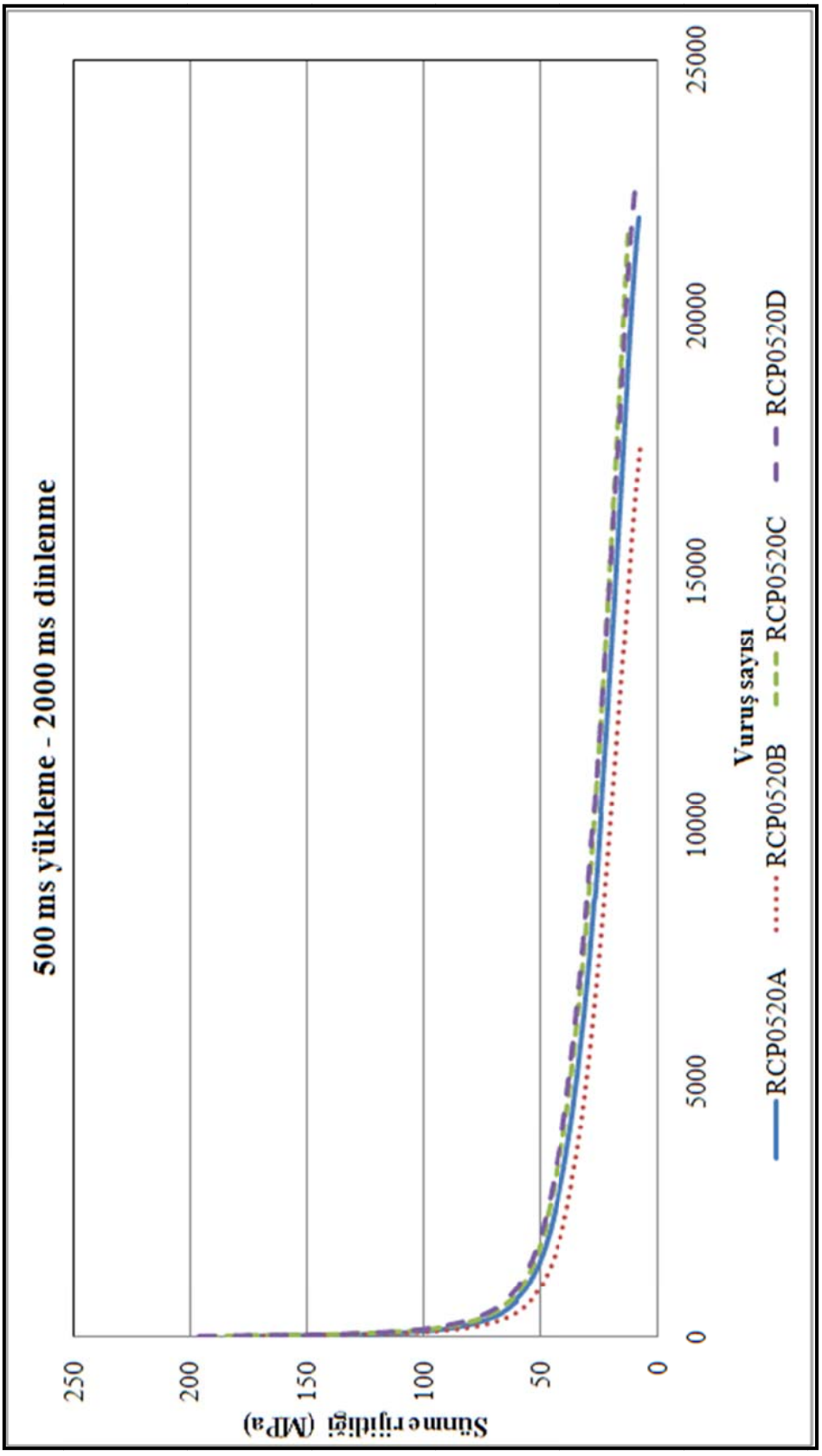
Şekil 5.65. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.66. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.67. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (polipropilen modifiye)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.66 ile 5.67'de tekrarlı sünme deney sonuçları verilen (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında) polipropilen modifiyeli yoğurmalı kompaktör numunelerinin bazı fiziksel özellikleri aşağıda Çizelge 5.65'de verilmektedir.

Çizelge 5.65. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 5 adet numunenin fiziksel özellikleri (Polipropilen modifiye numuneler için)

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0520A	62,62	5	3,0	24	15,913	71,089	4,588	2418
RCP0520B	62,56	5	3,0	29	15,870	71,318	4,539	2420
RCP0520C	62,56	5	3,0	29	15,882	71,255	4,553	2419
RCP0520D	62,61	5	3,0	29	15,860	71,370	4,528	2420

Şekil 5.66'daki bu dört adet numunenin tamamı benzer özellik göstermiştir.

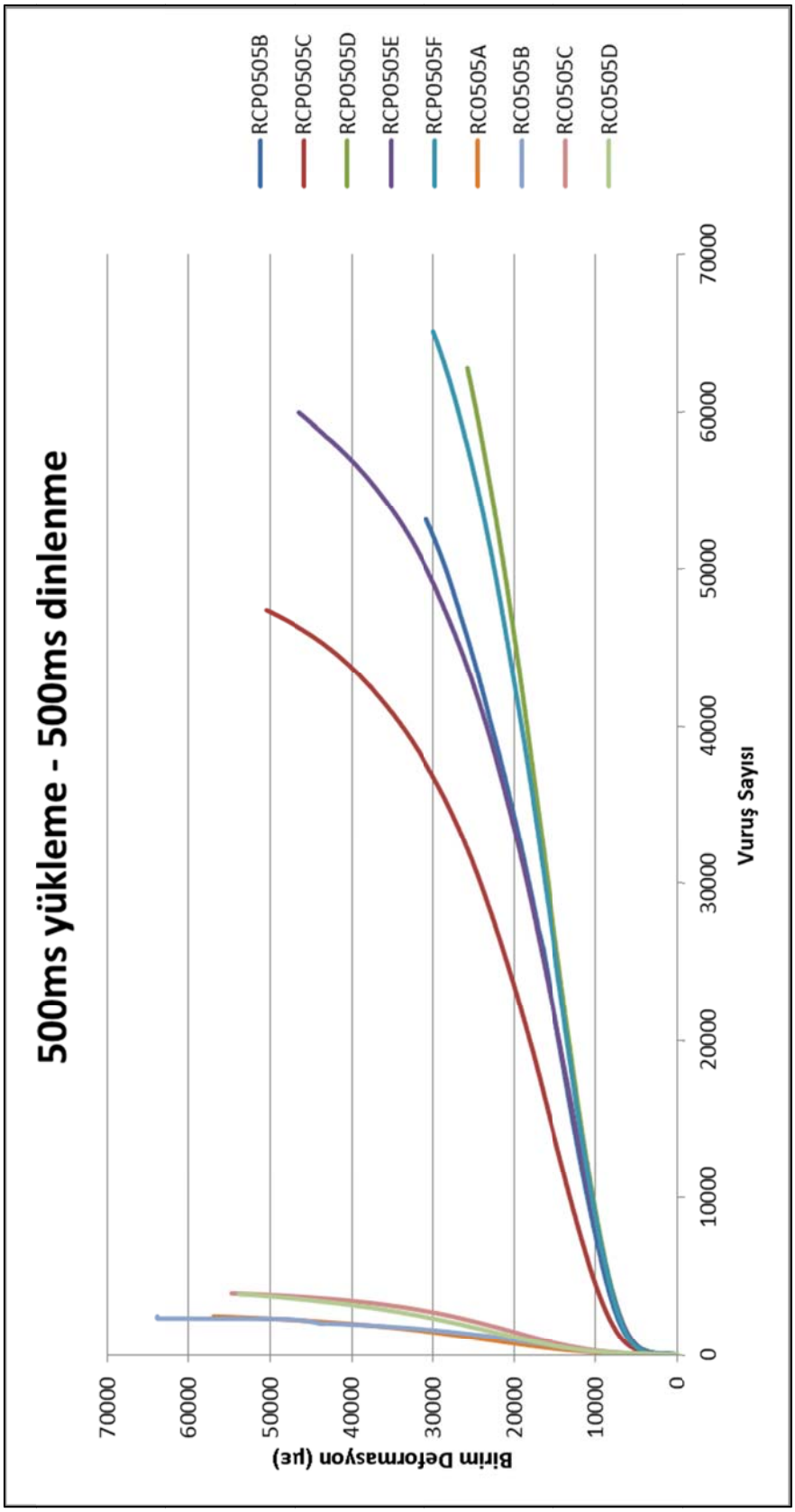
Tekrarlı sünme deneyleri (polipropilen modifiye numuneler için) en az 13-14 saat sürmüş ve hatta bazılarının 16 saate kadar yıkıma uğramamasından dolayı deney manuel olarak sonlandırılmıştır.

Aşağıda Şekil 5.68 ile 5.75 arasında yoğurmalı kompaktör ile hazırlanmış kontrol ve PP katkılı numaraların karşılaştırılması grafikleri verilmiştir. Görüldüğü gibi polipropilen modifiyesi tıpkı Ün UŞAR'ın 2007 yılında yaptığı, Doç. Dr. Serkan TAPKIN tarafından yönetilen yüksek lisans tez çalışmasında olduğu gibi kontrol numunelerinin ömürlerini 5-12 kat arttırmıştır.

Yoğurmalı kompaksiyonun arazi sıkıştırma koşullarını laboratuar ortamında, şu ana kadar en iyi simule eden yöntem olduğu bilinmektedir. Üretilmiş olan numunelerin fiziksel özellikleri her ne kadar Marshall kompaksiyon yöntemiyle üretilmiş olan numunelere eşdeğer olsa da, mekanik deneyler sonucu elden edilen sonuçların, beklenebileceği üzere, Marshall numunelerinden daha iyi olacağı aşikardır. İşte tam bu aşamada, Marshall numuneleriyle Gyratory numunelerinin mukayeselerini yapılmaya başlanmıştır. Şekil 5.76 ila Şekil 5.91 arasında verilen grafikleri bu durumu incelemektedir.

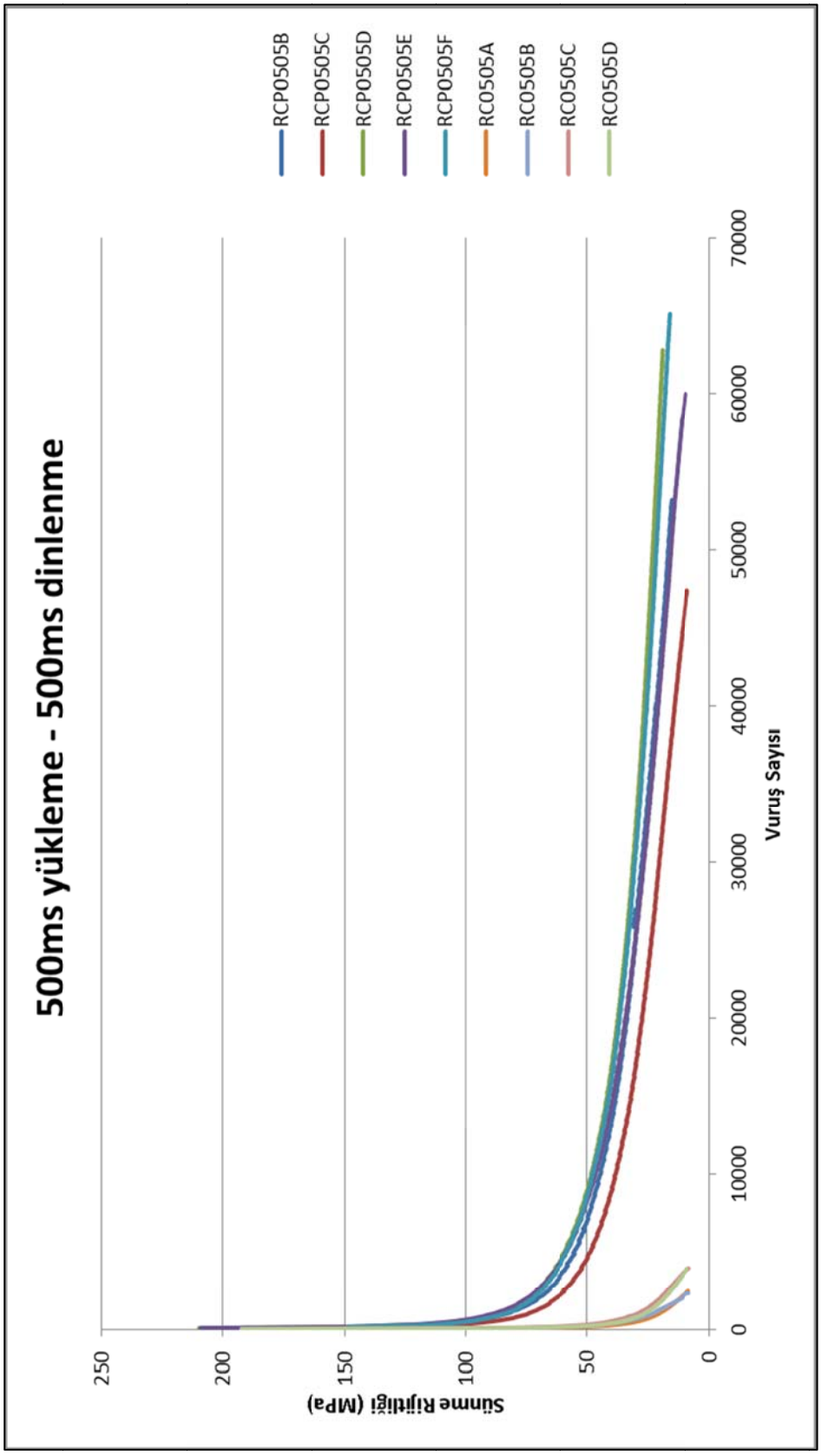
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



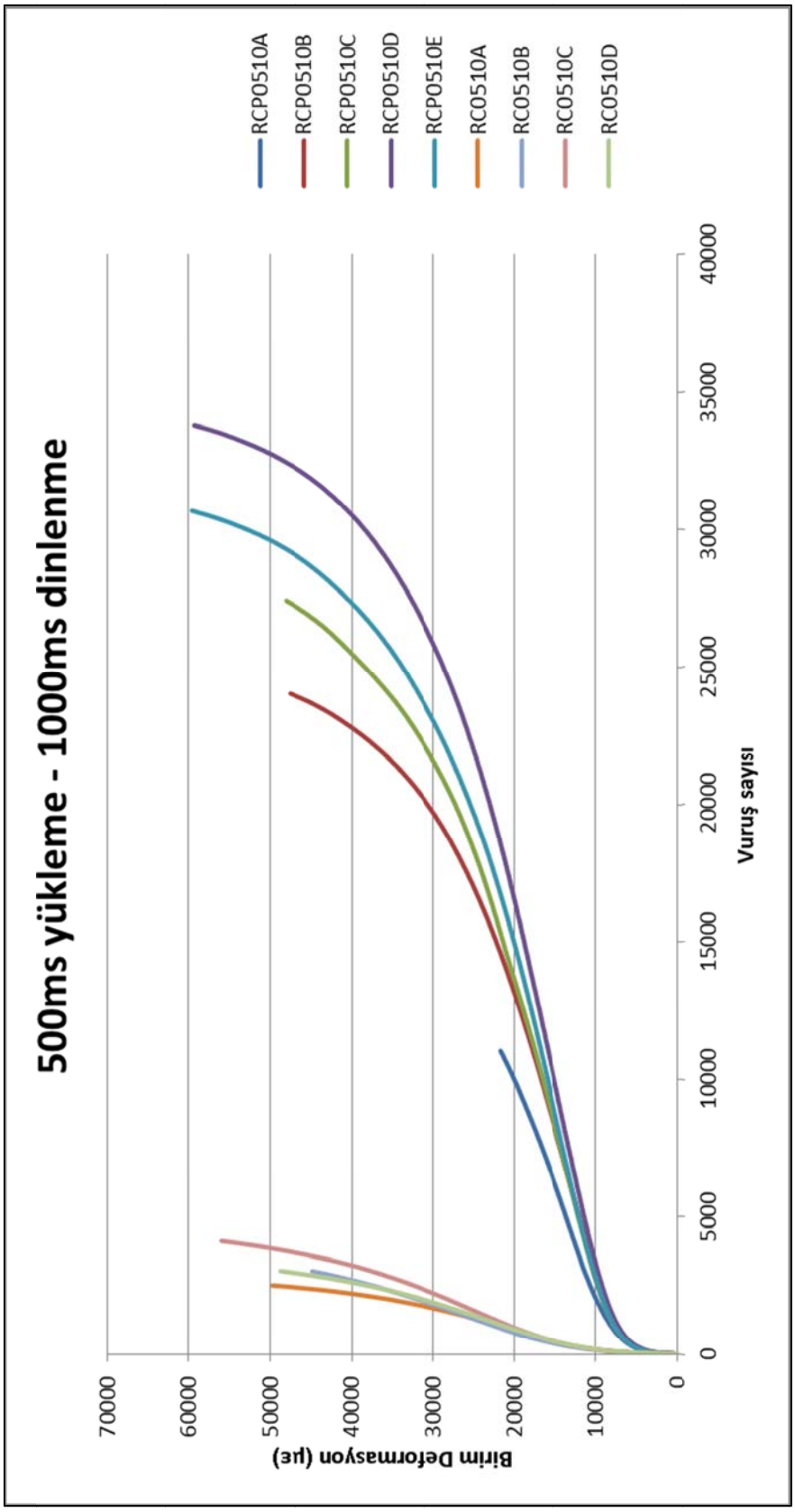
Şekil 5.68. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

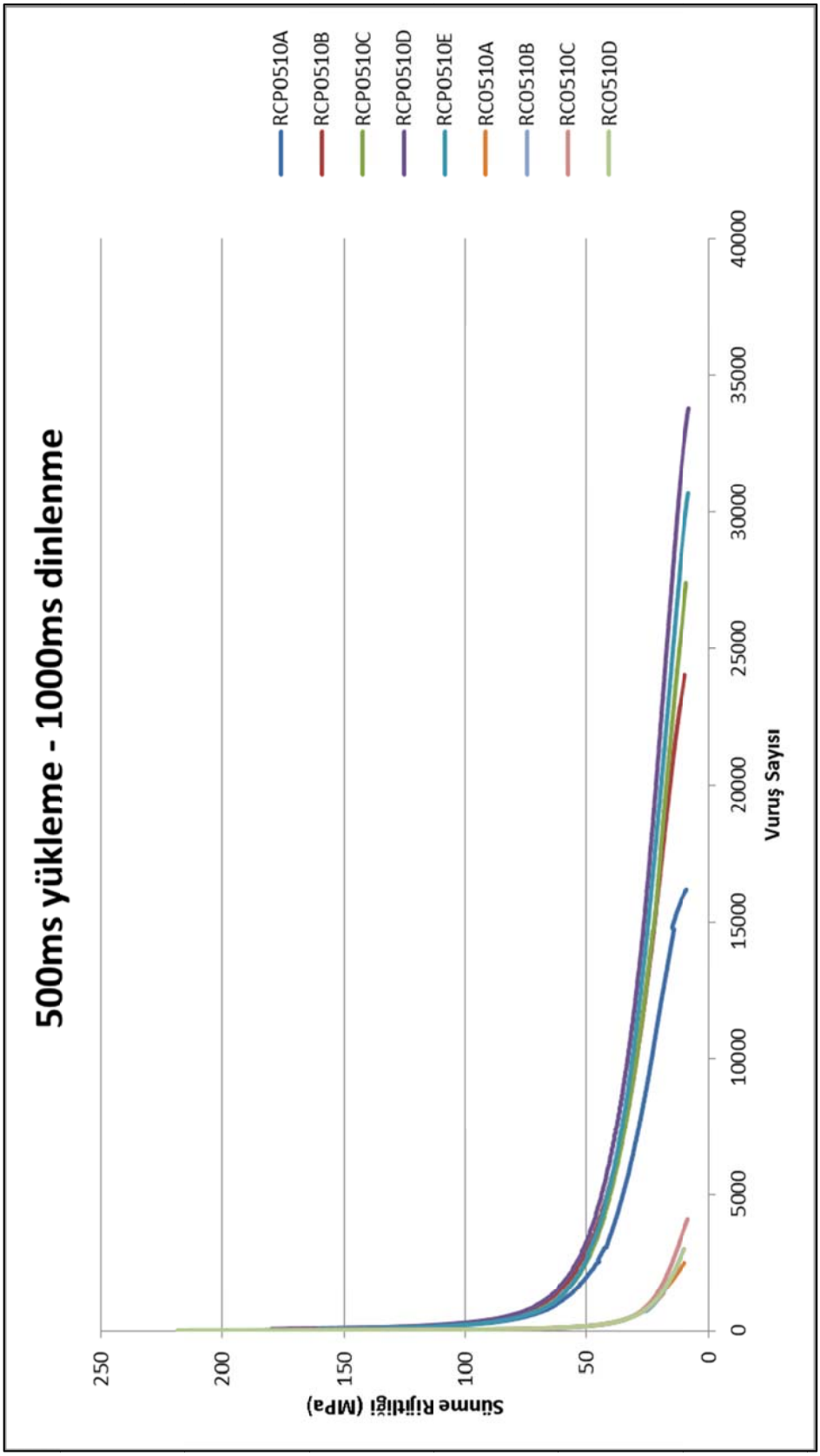


Şekil 5.69. 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



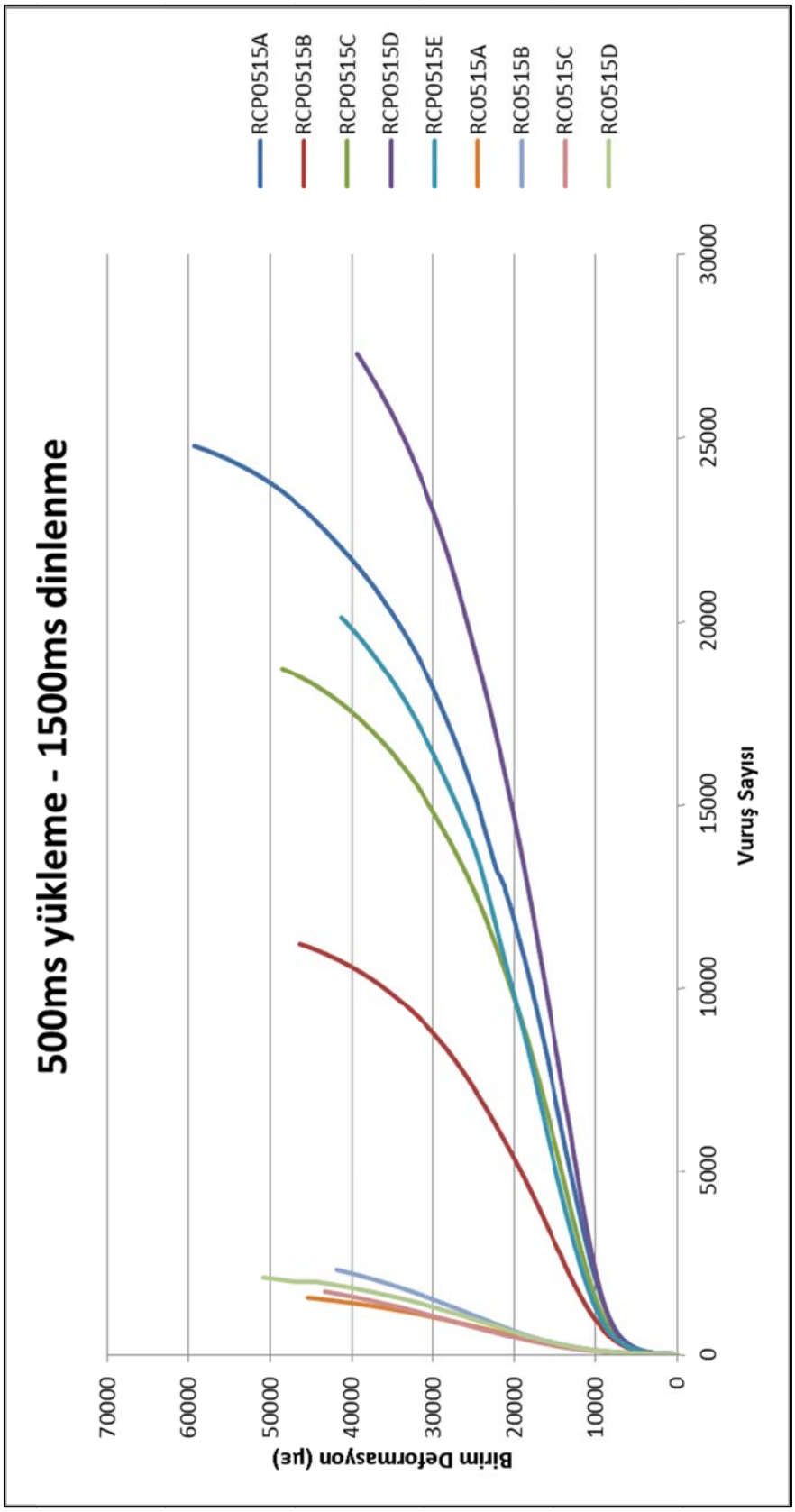
Şekil 5.70. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)



Şekil 5.71. 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

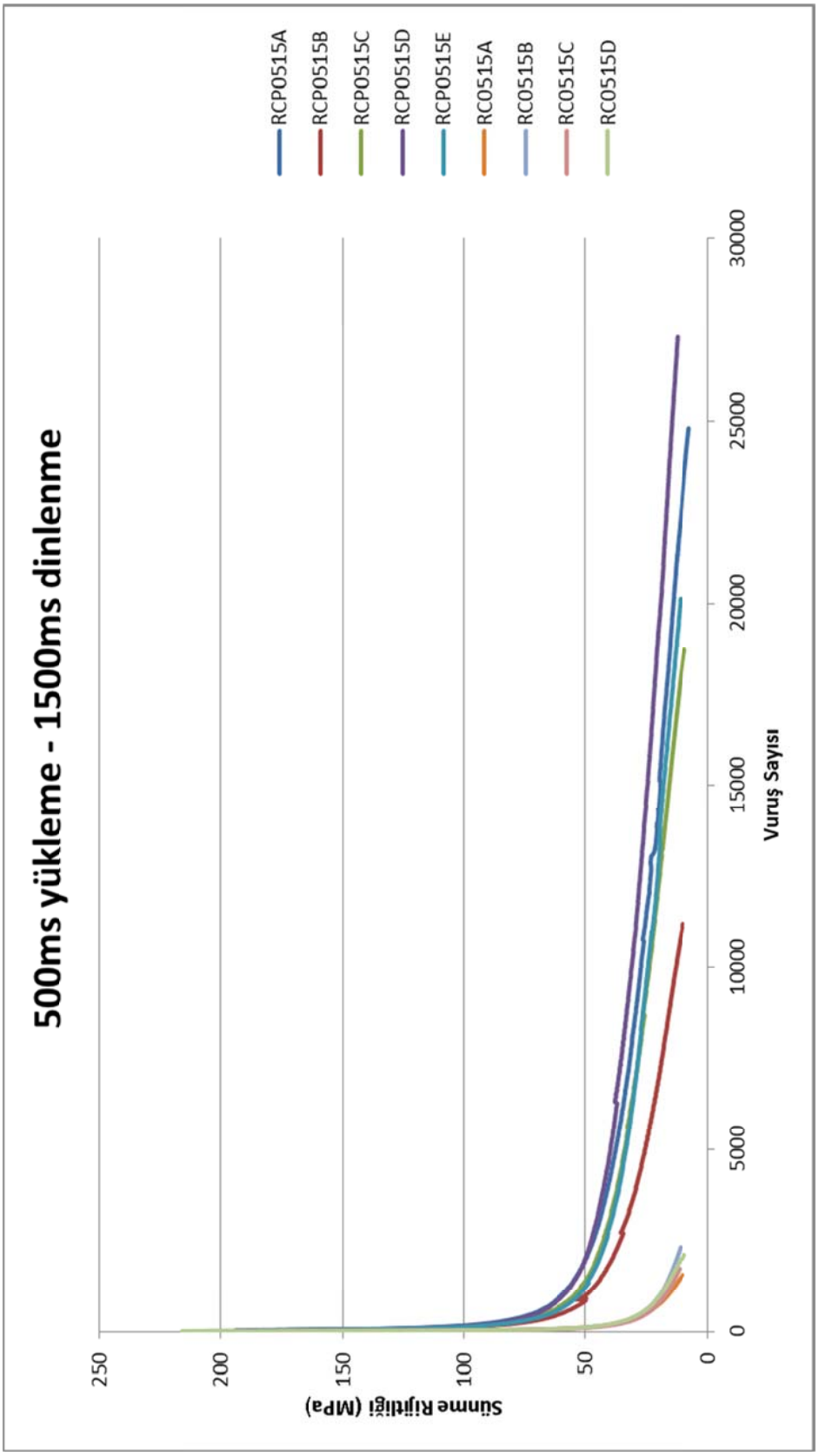
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

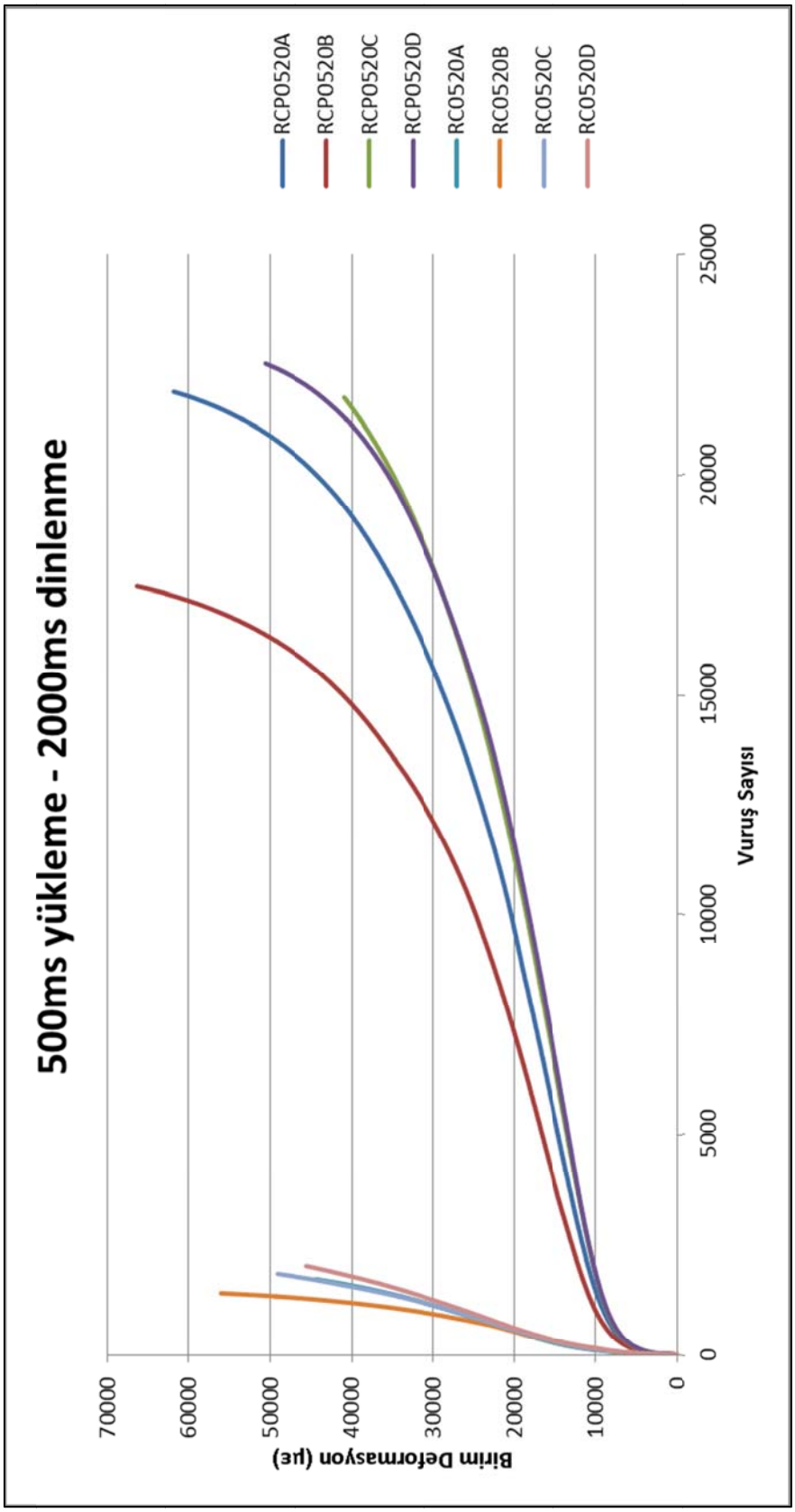


Şekil 5.72. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

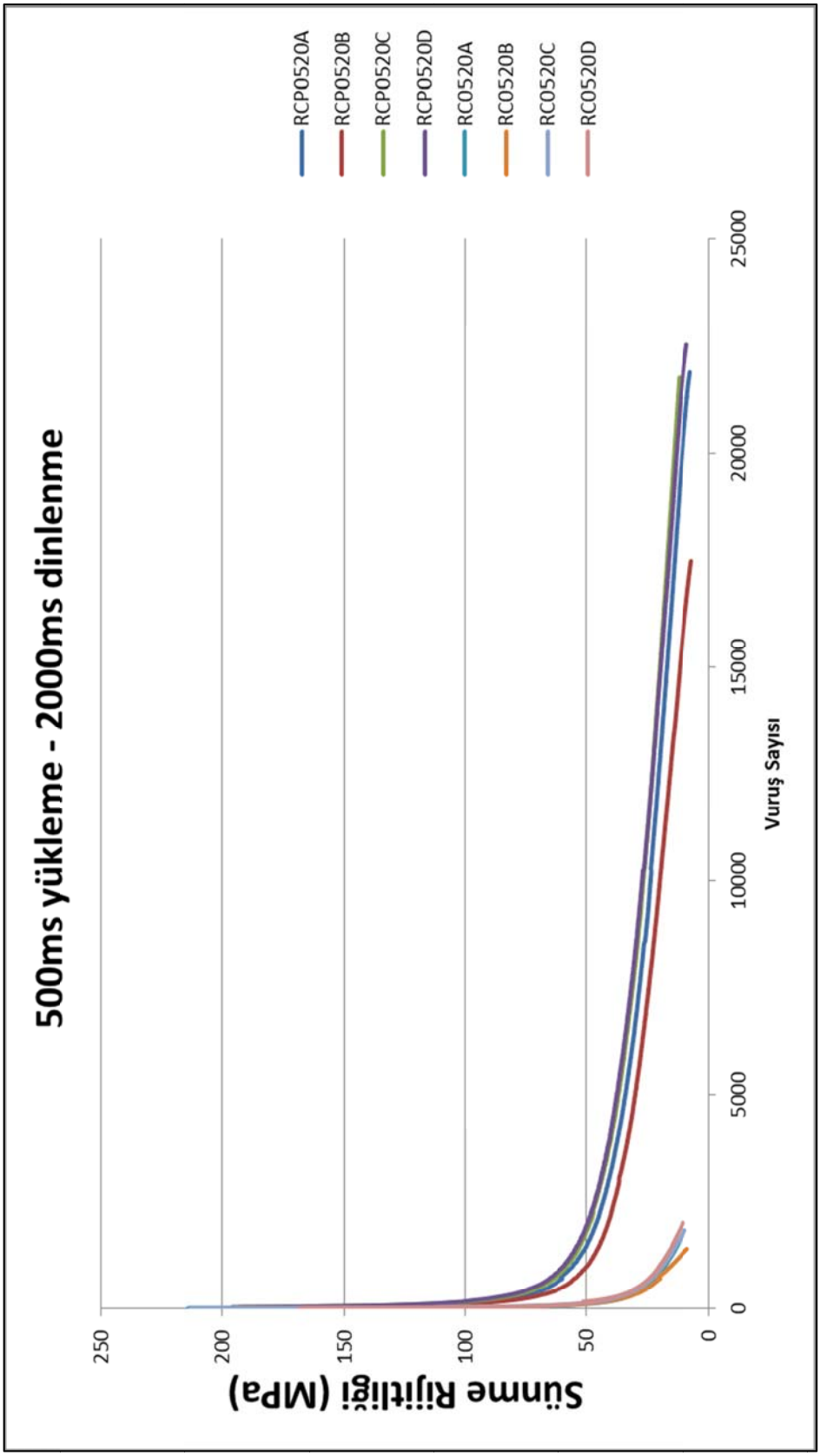


Şekil 5.73. 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)



Şekil 5.74. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde biriken birim deformasyonlar (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.75. 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde sünme rijitliği grafiği (yoğurmalı kompaktör numuneleri için)

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

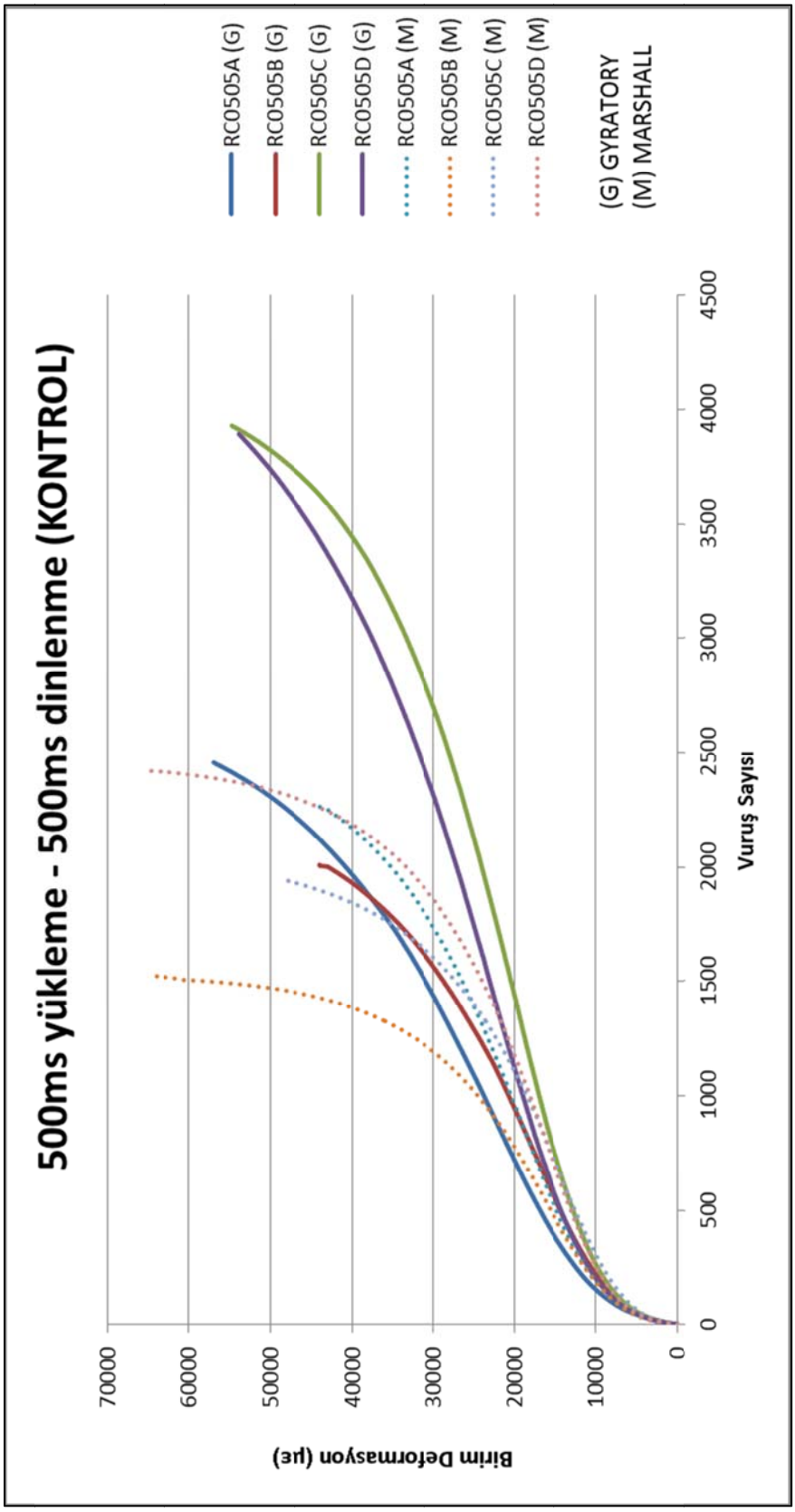
Şekil 5.76, 500 ms yükleme - 500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafiklerini vermektedir. Bu ve bundan sonraki grafiklerin analizinde unutulmaması gereken en temel nokta, eşyanın tabiatı gereği gyratory compactor ile hazırlanmış olan numunelerin yıkıma uğrama sürelerinin, özellikle polipropilen ile modifiye edilmiş olan numunelerde daha uzun olacağıdır. Mesela Şekil 5.76'da gözlemlenebileceği gibi, kontrol (Marshall) numuneleriyle yoğurmalı (Gyratory) numuneleri arasında, 0-2500 vuruş sayısı bandında önemli bir "reolojik davranış benzeşimi" bulunmasına rağmen, 2 adet gyratory numunesi, gayet farklı bir davranış göstererek "4000" vuruş civarında yıkıma uğramışlardır. Ancak birinci ve ikinci sünme evrelerinde özellikle iki seri numune arasında büyük benzeşimler bulunmaktadır ve bu kadar numunede bu kadar önemli benzeşim gerçekten dikkat çekici niteliktedir.

500 ms yükleme - 1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafiklerini veren Şekil 5.78 (ve buna akuple olan sünme rijitlikleri grafiği Şekil 5.79) dikkatlice incelendiğinde görülebilir ki bu paternde daha düzgün ve göze yumuşak gelen numune davranışları ve yıkıma giden sürelerde de daha iyi bir benzeşim görülmektedir. Bu sebepten dolayı 0-3000 vuruş sayısı bandındaki reolojik davranışlara, iki çeşit kompaksiyon yöntemiyle hazırlanmış olan numuneler açısından dikkat edilebilir.

En agresif ve yıkıcı yükleme paterni olan 500 ms yükleme - 1500 ms dinlenme paterninde, iki değişik yöntemle de hazırlanmış ve test edilmiş olan kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların ve sünme rijitiliği değelerinin süperpoze edilmiş grafikleri ayrı bir öneme sahiptir. Öncelikle diğer tüm yorumlarda da ağırlık verildiği gibi akümüle eden birim deformasyon grafiği olan Şekil 5.80'e dikkat edilmelidir. Özellikle 0-2250 vuruş sayısı bandında elde edilen birim deformasyon-vuruş sayısı grafiklerinde tam bir "homojen"lik söz konusudur. Burada homojenlikten kasıt, iki tip sıkıştırma paterniyle hazırlanmış olan numunelerin çok benzer reolojik davranışlar ve sünme evreleri paternleri göstermiş olmalarıdır. Çizelge 5.66 ve 5,67'de bu sekiz adet numunenin fiziksel özelliklerini, daha rahat bir mukayese yapılabilmesi açısından tekrar verilmiştir.

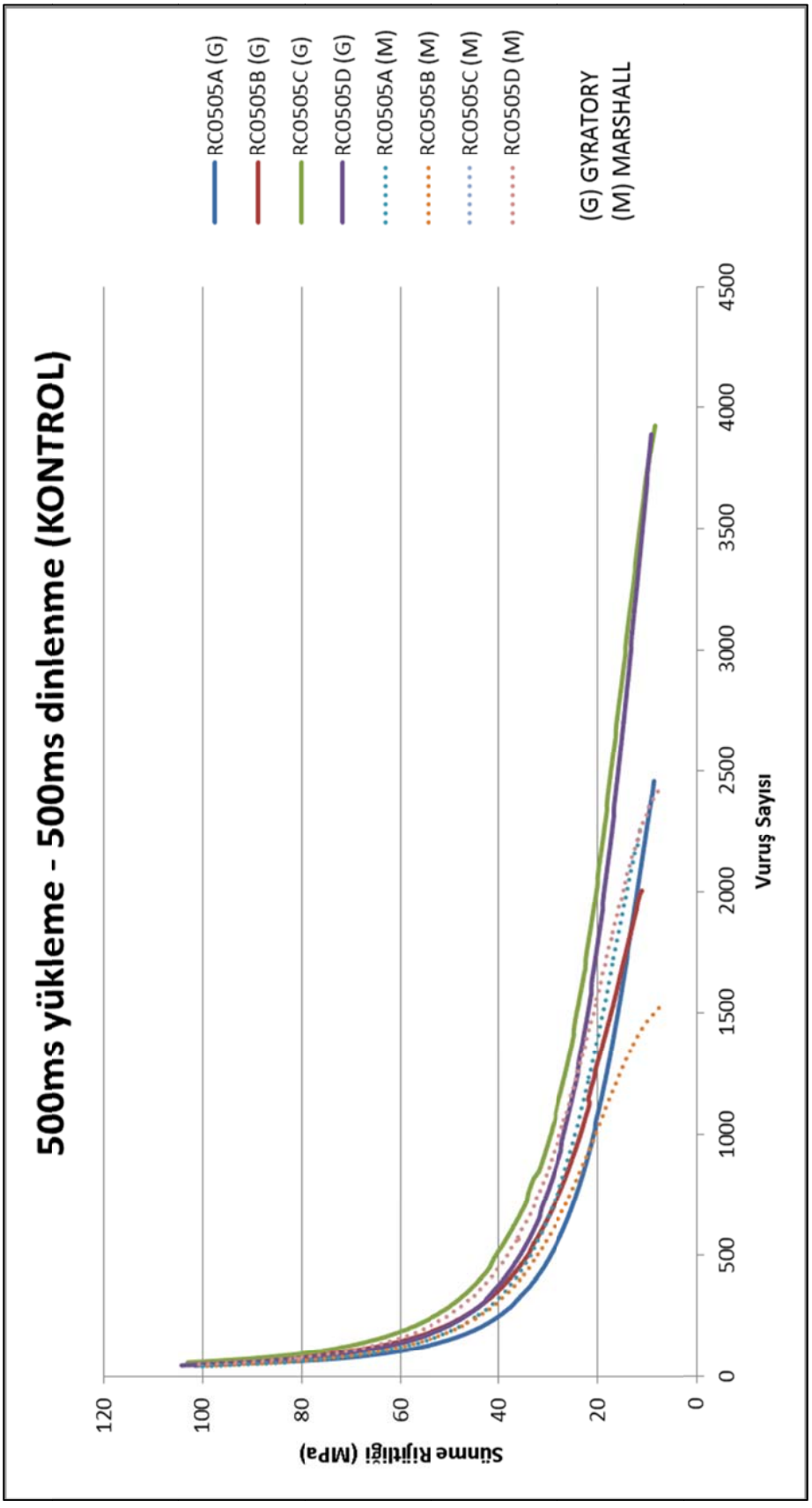
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



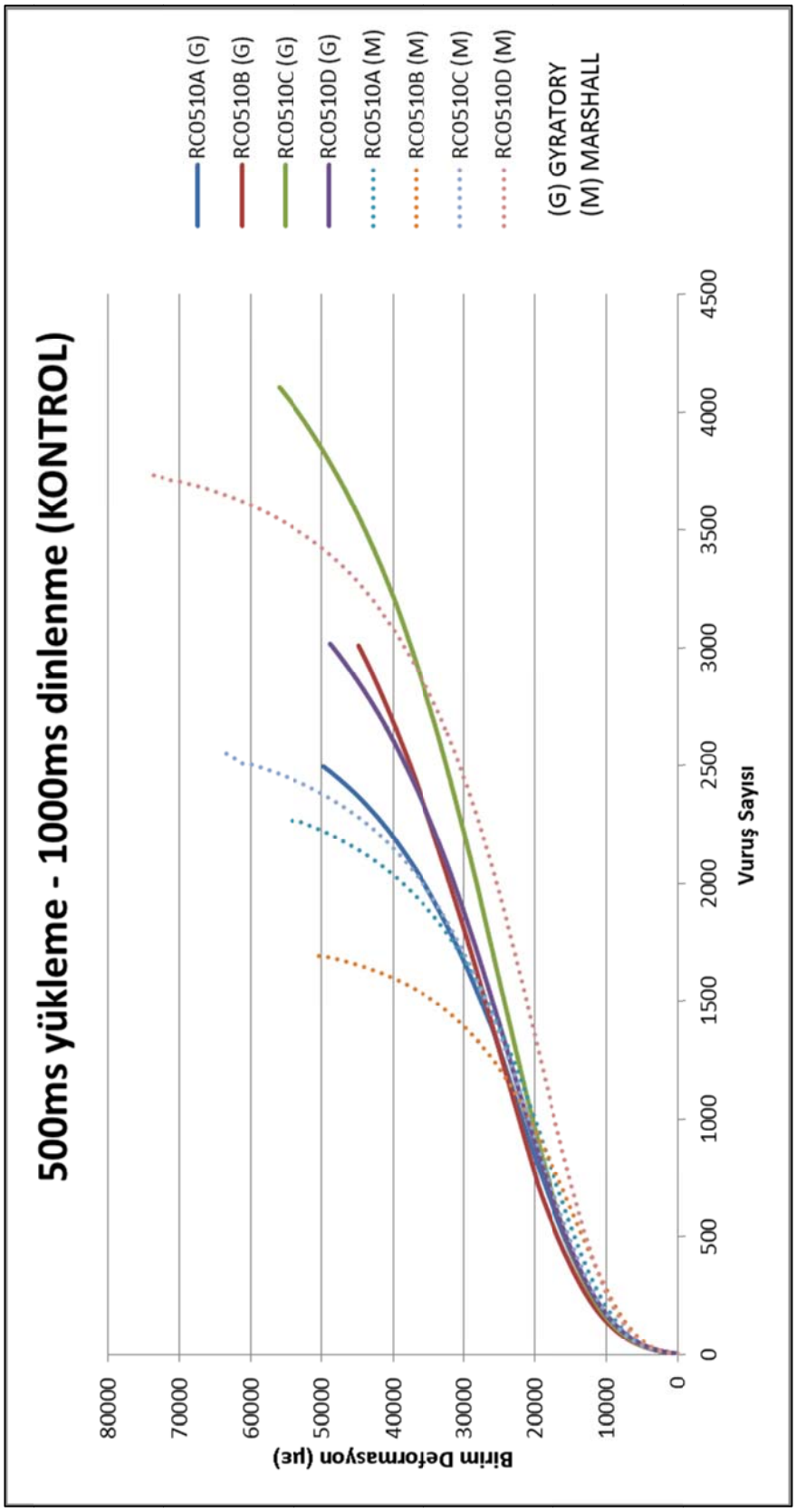
Şekil 5.76. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



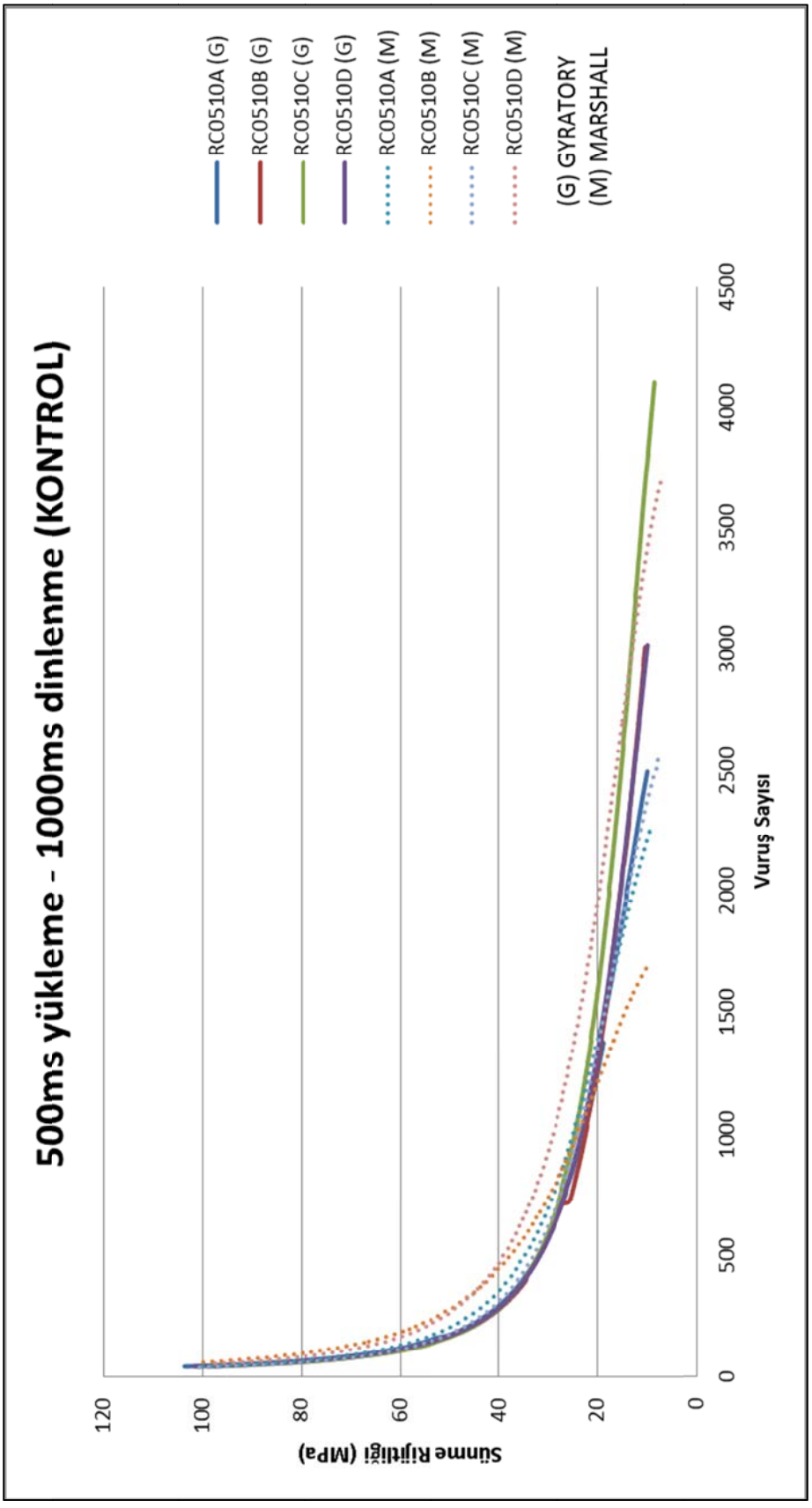
Şekil 5.77. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



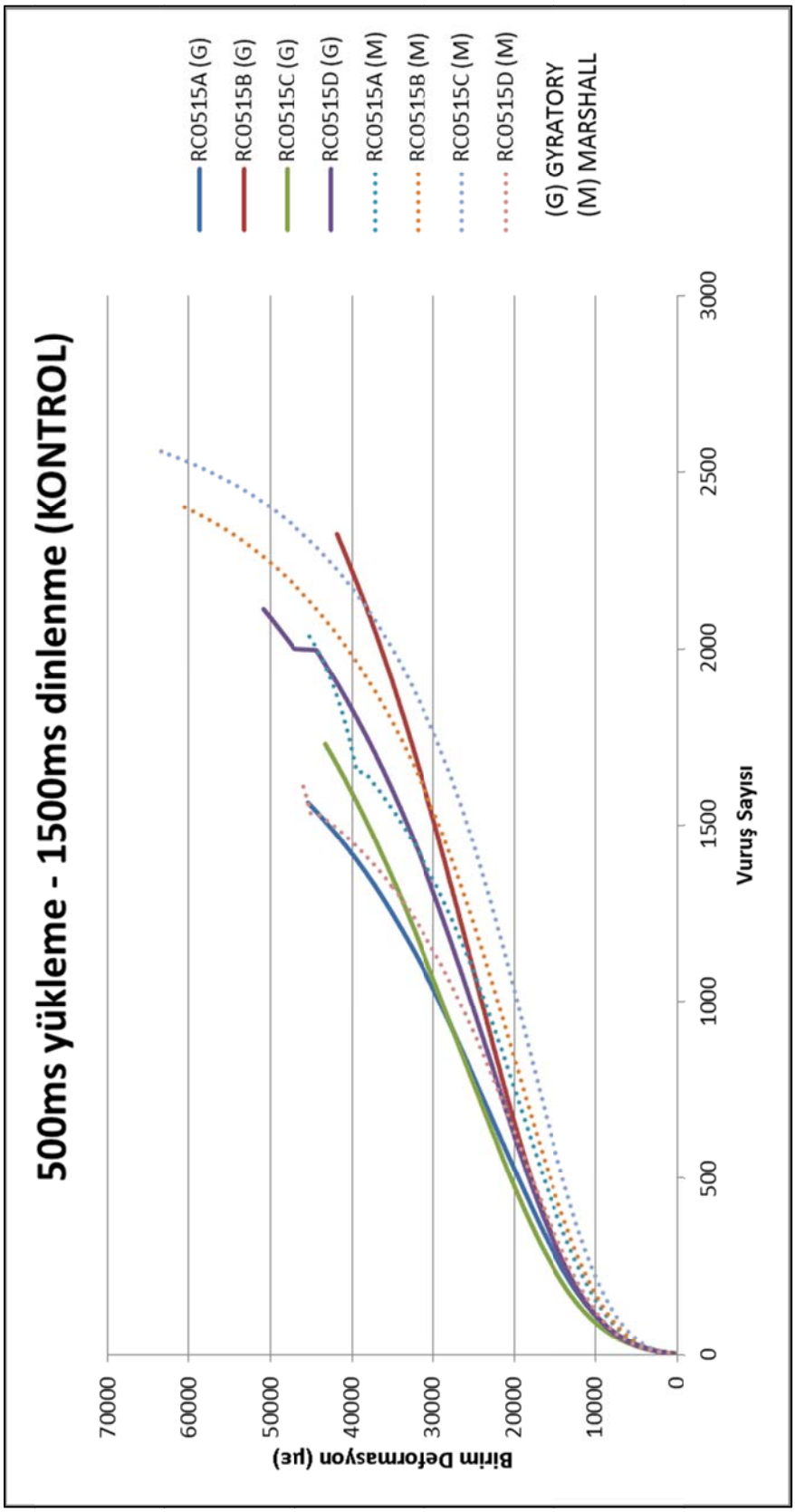
Şekil 5.78. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



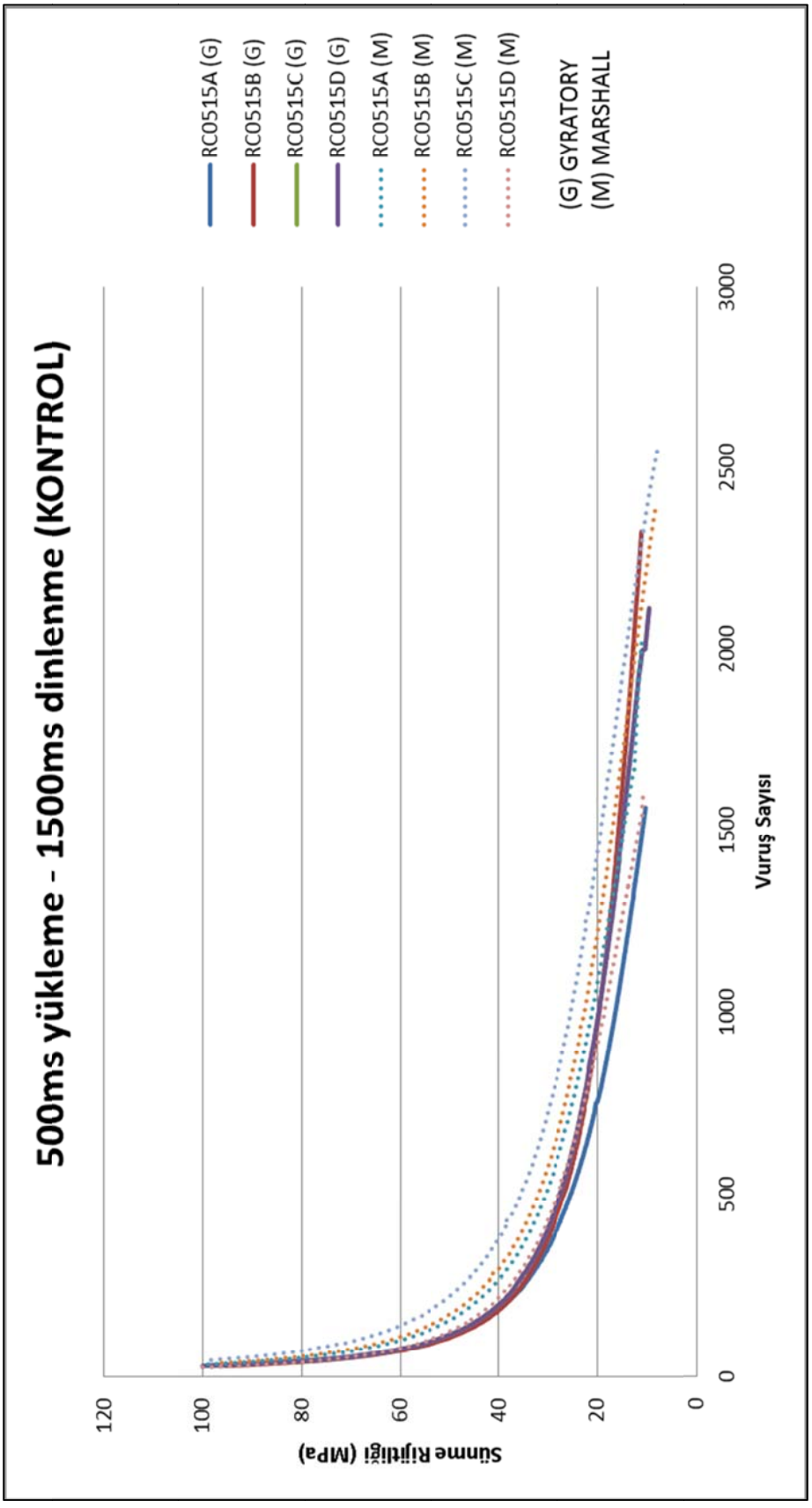
Şekil 5.79. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



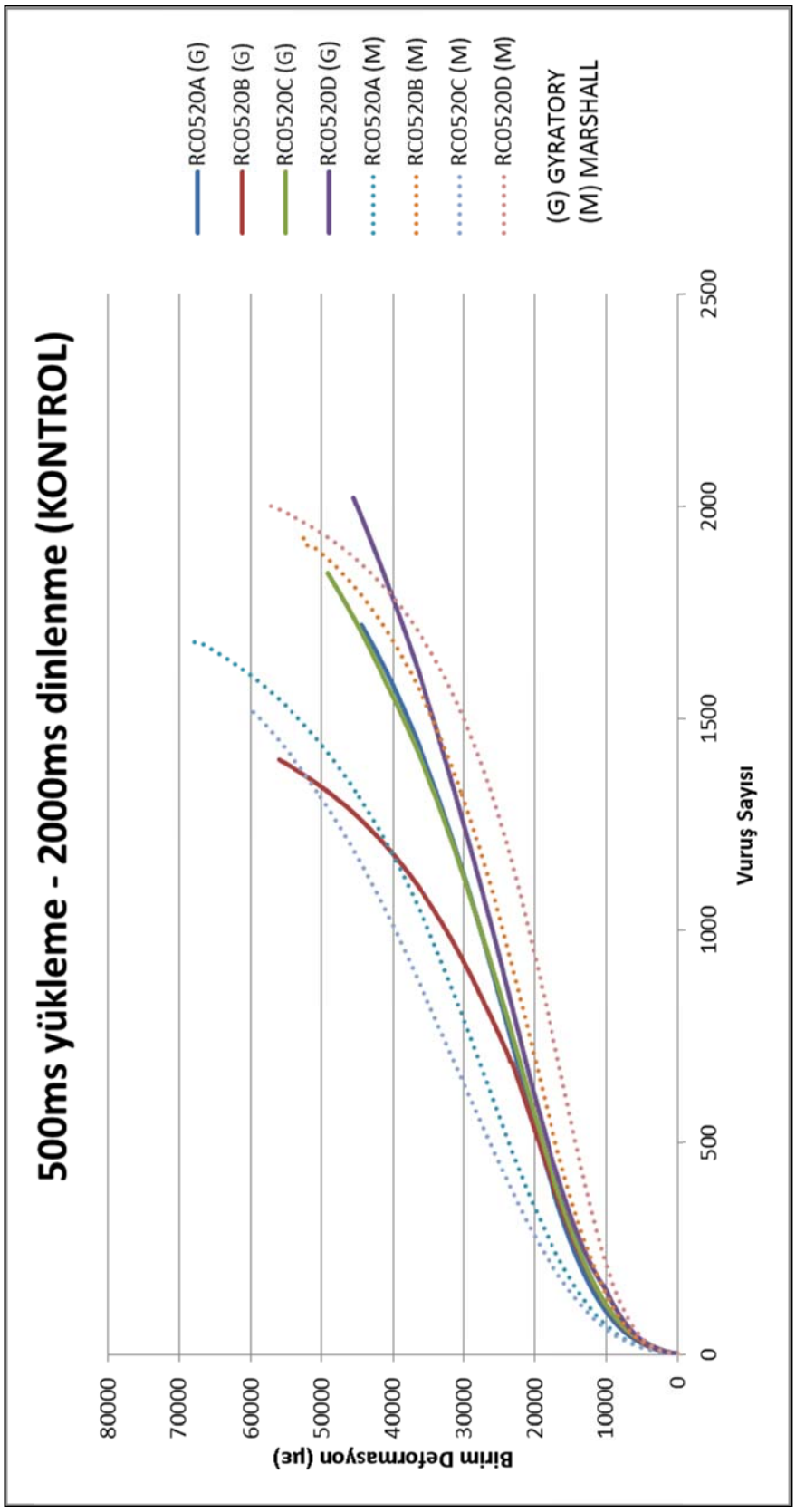
Şekil 5.80. 500 ms yükleme -1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

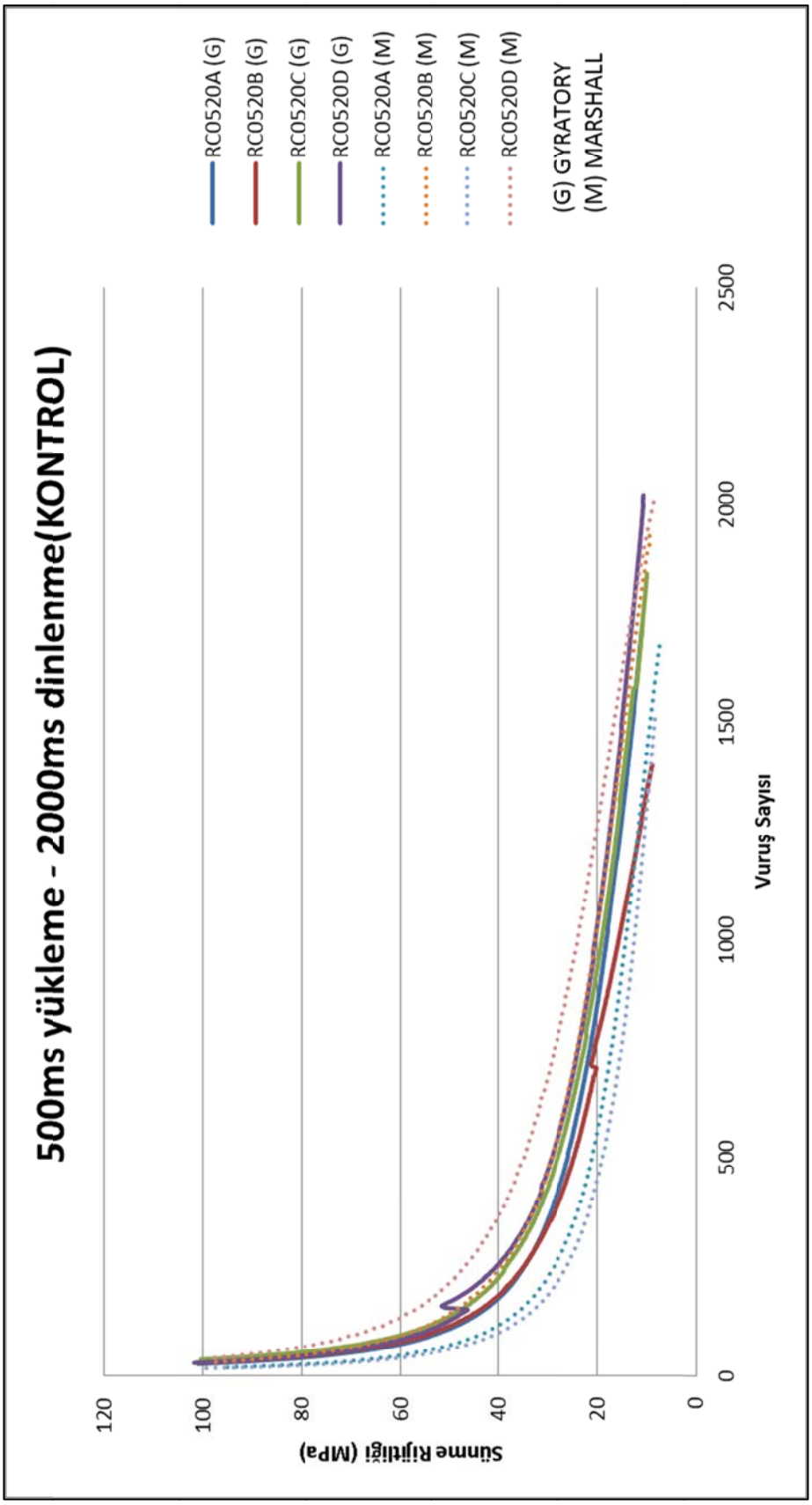


Şekil 5.81. 500 ms yükleme - 1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.82. 500 ms yükleme -2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikler



Şekil 5.83. 500 ms yükleme - 2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış kontrol numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.66 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0515A	59,00	5	-	14,855	75,786	3,089	2465
RC0515B	59,00	5	-	15,104	75,300	3,372	2458
RC0515C	59,00	5	-	14,955	79,181	3,203	2462
RC0515D	59,00	5	-	14,869	76,702	3,105	2464

Çizelge 5.67 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0515A	61,44	5	0	34	14,518	78,440	3,117	2458
RC0515B	61,46	5	0	37	14,383	79,299	2,965	2462
RC0515C	61,48	5	0	31	14,488	78,628	3,084	2459
RC0515D	61,50	5	0	40	14,429	79,006	3,017	2461

Bu yukarıdaki iki tablodaki değerlerin benzeşimi fiziksel özelliklerin birbirine ne kadar yakın olduğunun bir başka göstergesidir.

Şekil 5.82 ve 5.83 için ise 0-1750 vuruş sayısı bandında aynı şeyleri söylemek kesinlikle mümkündür. Bu aralıktaki iki sistemle de üretilmiş olan numunelerin reolojik davranışı son derece tutarlı ve kooperedir. Marshall numuneleriyle yürütülen tekrarlı testlerde, eşyanın tabiatı gereği tam anlamıyla yıkım gerçekleşene kadar deneylere devam edilmiş olduğundan, biraz daha fazla akümüle eden birim deformasyon gözlemlenmiş olması son derece normaldir. Çizelge 5.68 ve 5.69'da bu sekiz adet numunenin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.68 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0520A	58	5	-	14,692	77,785	2,904	2470
RC0520B	58	5	-	15,021	75,788	3,278	2460
RC0520C	59	5	-	14,829	76,942	3,060	2466
RC0520D	58	5	-	15,080	75,440	3,345	2458

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çizelge 5.69 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RC0520A	61,48	5	0	41	14,479	78,686	3,073	2460
RC0520B	61,48	5	0	42	14,737	77,073	3,366	2452
RC0520C	61,45	5	0	42	14,560	78,172	3,166	2457
RC0520D	61,47	5	0	42	14,410	79,130	2,994	2462

Şekil 5.84'den görülebileceği üzere, bu noktadan itibaren artık polipropilen katkılı kompaksiyon metotlarıyla hazırlanmış Marshall ve Gyratory numunelerinin reolojik davranışlarını bir bütün halinde ele alınmaktadır. Bu şekilden görülebileceği üzere, 500 ms yükleme - 500 ms dinlenme paterninde test edilmiş olan numuneler, kendi içlerinde tam anlamıyla bir bütünlük göstermekte olsalar dahi, yoğurmalı kompaktör ile hazırlanmış polipropilen katkılı numunelerde yıkıma kadar geçen süre, Marshall kompaksiyon yöntemiyle hazırlanmış olan numunelere nazaran bir miktar daha uzundur. Bunu sebebini irdelemek gerekirse Çizelge 5.70 ve 5.71'de bulunan değerlerin önemi ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 5.70 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

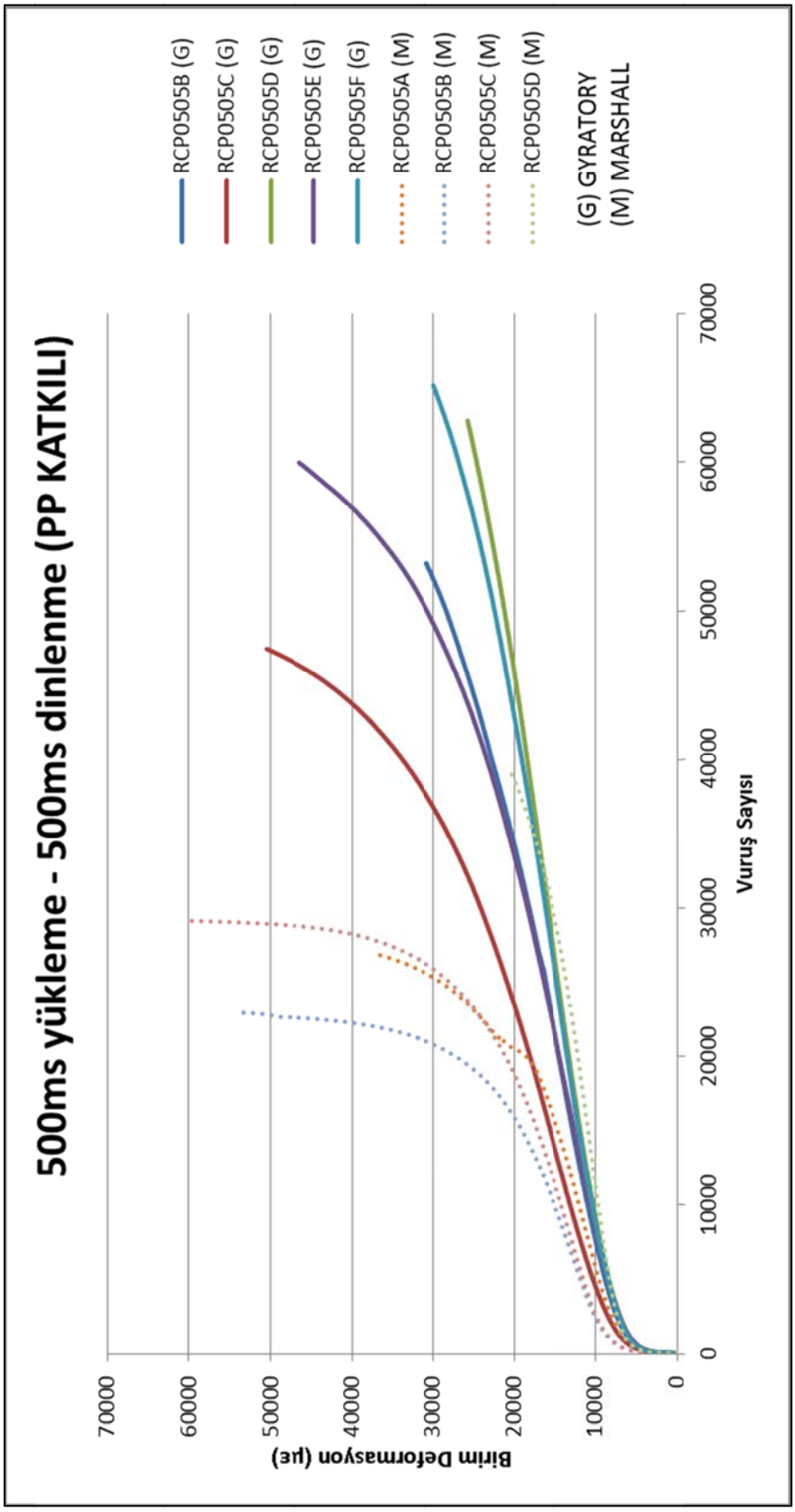
FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0505A	59	5	3,0	16,080	69,914	4,484	2429
RCP0505B	60	5	3,0	16,410	68,239	4,859	1420
RCP0505C	60	5	3,0	16,332	68,627	4,771	2422
RCP0505D	58	5	3,0	15,738	71,727	4,094	2439

Çizelge 5.71 500 ms yükleme – 500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0505B	62,56	5	3,0	27	16,070	70,263	4,766	2414
RCP0505C	62,61	5	3,0	24	16,084	70,190	4,782	2413
RCP0505D	62,61	5	3,0	35	16,121	69,994	4,825	2412
RCP0505E	62,62	5	3,0	26	16,118	70,012	4,821	2412
RCP0505F	62,62	5	3,0	26	16,000	70,627	4,687	2416

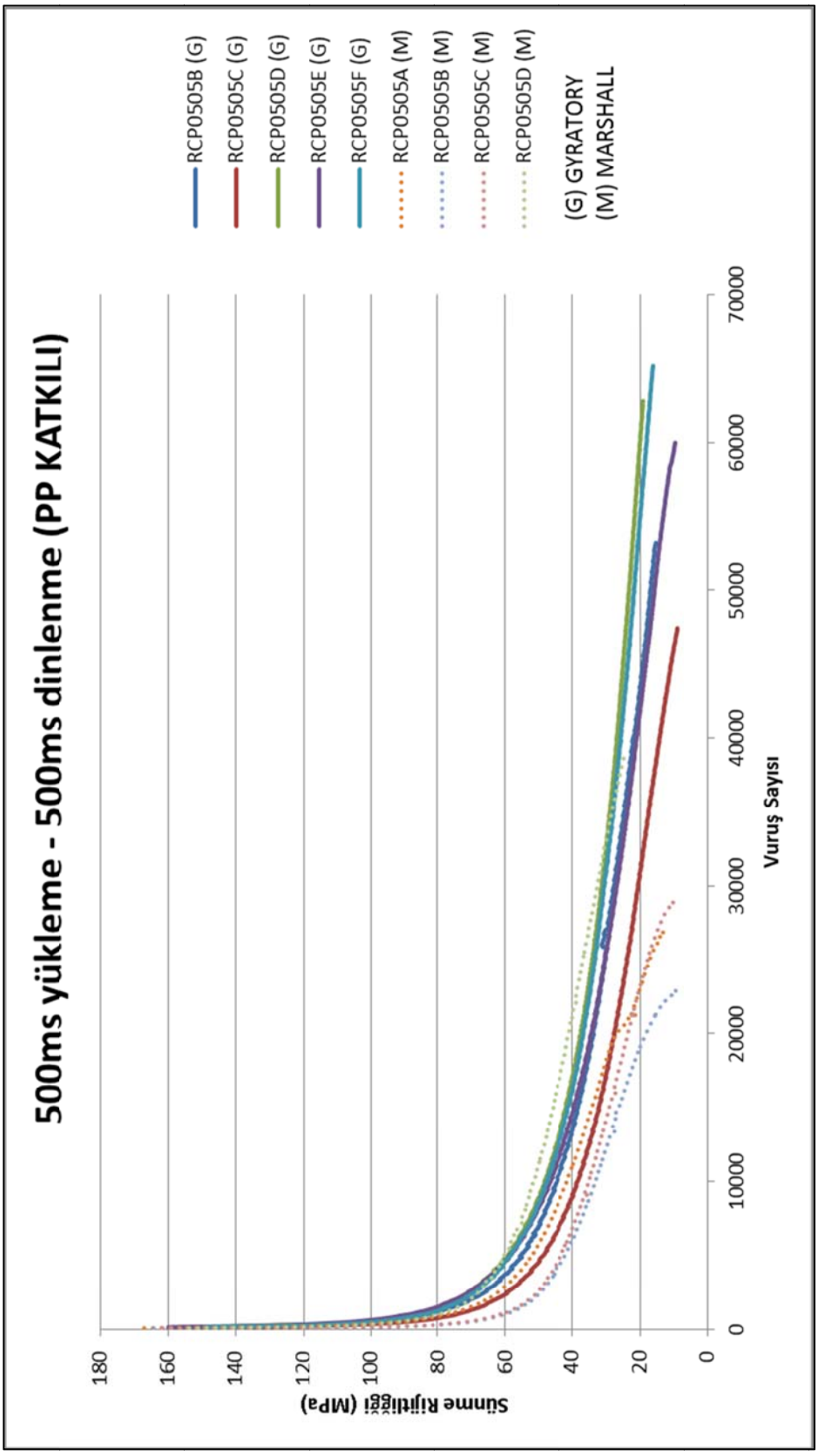
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.84. 500 ms yükleme -500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.85. 500 ms yükleme - 500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

Yukarıda fiziksel özellikleri verilmekte olan iki seri numune gerçekten birbirlerine son derece benzer özelliklere haiz gibi gözükmektedir. Ancak şunu hiçbir zaman unutmamak gerekmektedir ki bu numunelerin yük altındaki reolojik davranışlarının da bu tip bir benzeşim beklemek fazlaca iyimser olacaktır. Yoğurmalı kompaksiyon metodu Marshall metodundan son derece farklı bir metottur ve bu sebepten dolayı bu iki kompaksiyon yöntemi arasındaki fark da Şekil 5.84 ve 5.85'de gözlemlenebilir.

Aynı argümanlar Şekil 5.86 ve 5.87'de görülen 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterni içinde geçerlidir. Çizelge 5.72 ve 5.73'de bu numunelerin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 5.72 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

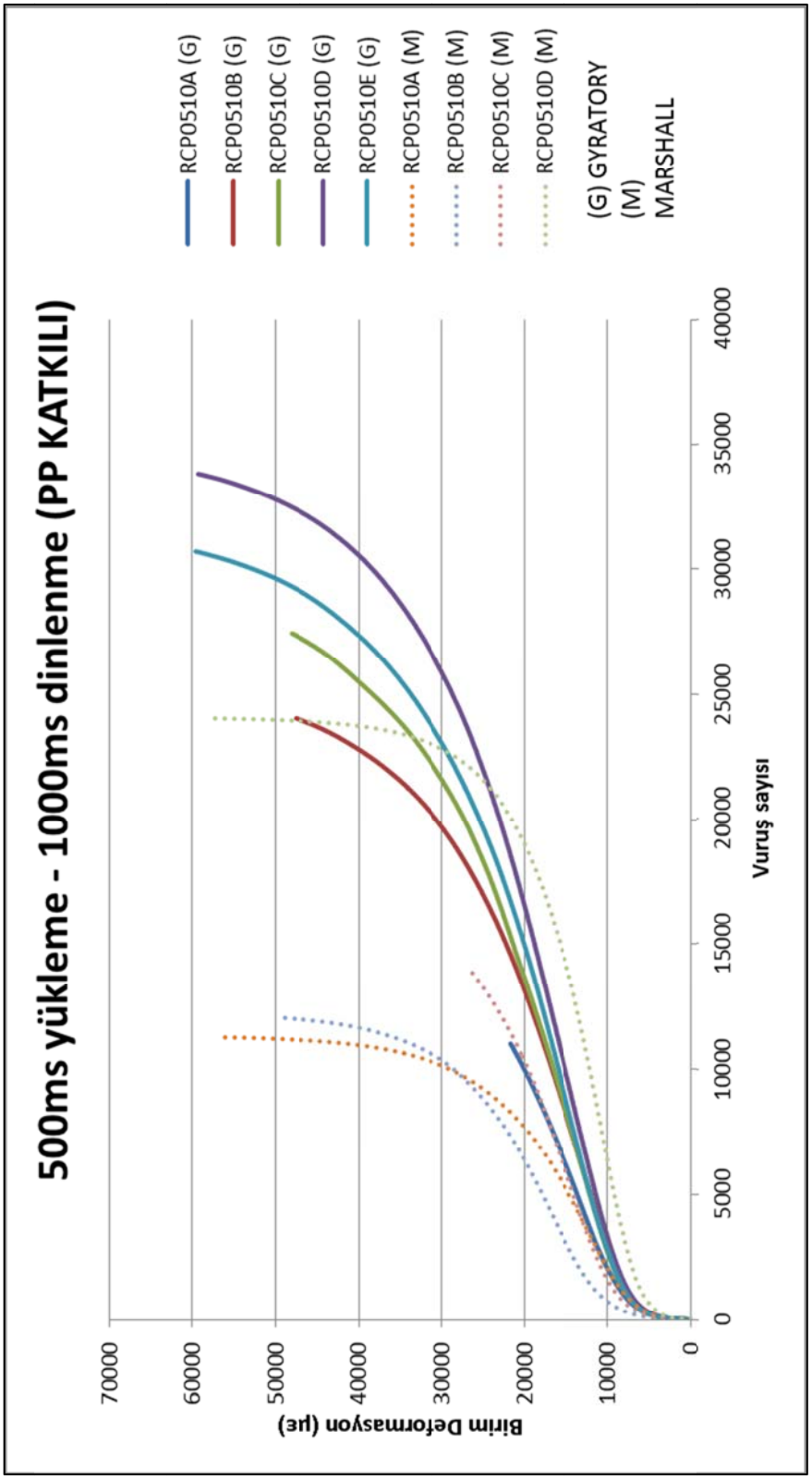
NUMUNELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0510A	58,00	5	3,0	15,896	69,325	4,112	2437
RCP0510B	59,00	5	3,0	16,015	68,547	4,375	2432
RCP0510C	60,00	5	3,0	16,227	68,952	4,528	2428
RCP0510D	60,00	5	3,0	16,358	69,329	4,799	2421

Çizelge 5.73 500 ms yükleme – 1000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

NUMUNELERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0510A	62,61	5	3,0	25	16,167	69,760	4,876	2411
RCP0510B	62,62	5	3,0	38	16,127	69,968	4,831	2412
RCP0510C	62,60	5	3,0	25	16,129	69,957	4,833	2412
RCP0510D	62,57	5	3,0	31	16,110	70,052	4,812	2413
RCP0510E	62,62	5	3,0	29	15,873	71,303	4,543	2419

Bu noktada yine bu iki seri numunelerdeki büyük fiziksel benzeşimlere dikkat edilmelidir. Ancak tabii ki bu olgu, numunelerin sıkıştırılma yöntemlerindeki farklılıklardan dolayı yük altındaki davranışlarına yansıyacaktır. Bu da son derece normaldir.

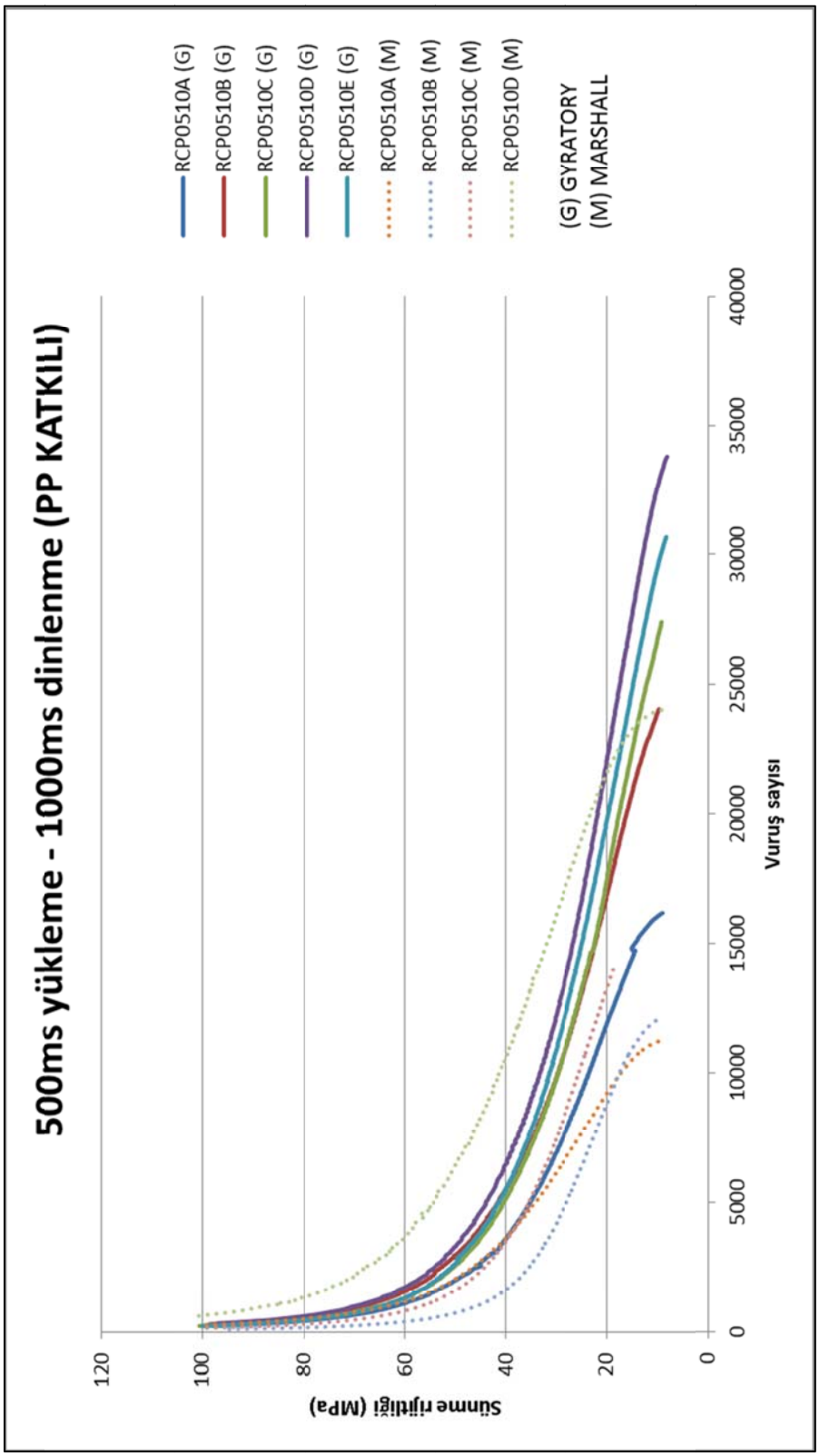
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.86. 500 ms yükleme -1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.87. 500 ms yükleme - 1000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

Araştırmacıların en agresif tekrarlı sünme yükleme paterni (aynı zamanda arazi yükleme koşullarını en iyi simule eden) olarak kabul ettikleri 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterni ile test edilmiş diğer iki seri numunelerin genel davranışlarından bahsedilirse, Şekil 5.88 ve 5.89 incelendiğinde, daha önceki polipropilen katkılı numunelerin reolojik davranışlarından farklı olarak, iki kompaksiyon yöntemiyle de hazırlanmış olan numunelerin yük altındaki davranışları son derece "benzer" paternler göstermişlerdir (RCP0515B dışında, ki bu numunenin yerine başka bir numune daha test edilmiş ve bu handikap giderilmiştir). Tekrarlı sünme eğri demetleri çok daha homojen bir dağılım göstermekte ve sünme evreleri de birbirleriyle çakışarak yıkım sürelerinde de çok benzer davranışlar sergilemektedirler. Bu numunelerin fiziksel özellikleri ise Çizelge 5.74 ve 5.75'de verilmektedir.

Çizelge 5.74 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0515A	59	5	3,0	15,982	70,427	4,372	2432
RCP0515B	60	5	3,0	16,410	68,239	4,859	2420
RCP0515C	60	5	3,0	16,332	68,627	4,771	2422
RCP0515D	59	5	3,0	15,827	71,249	4,195	2437

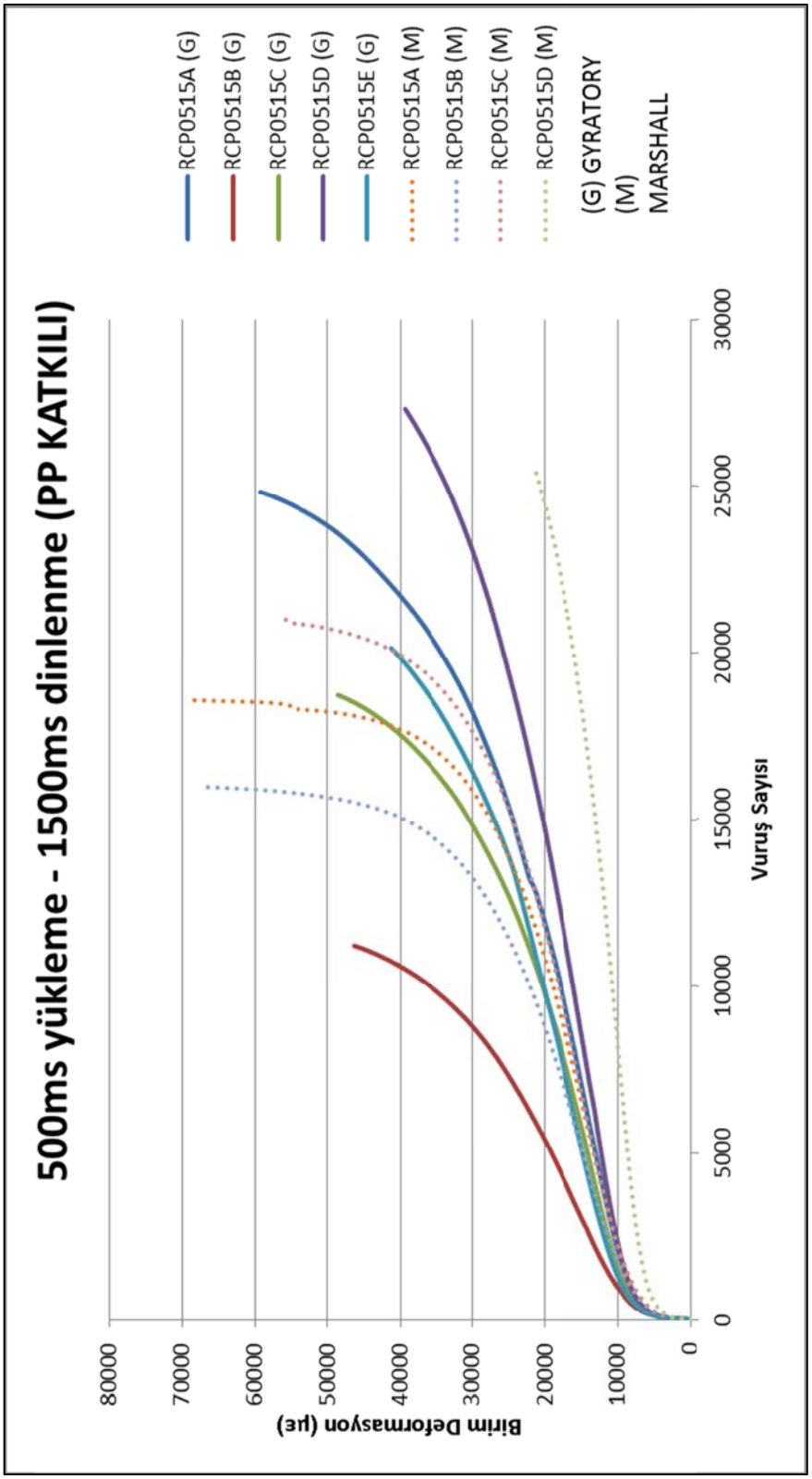
Çizelge 5.75 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0515A	62,59	5	3,0	28	15,938	70,954	4,617	2418
RCP0515B	62,62	5	3,0	24	15,980	70,732	4,665	2416
RCP0515C	62,58	5	3,0	31	15,934	70,976	4,612	2418
RCP0515D	62,61	5	3,0	28	15,974	70,764	4,658	2417
RCP0515E	62,58	5	3,0	24	15,810	71,636	4,472	2421

500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paternindeki tekrarlı sünme deneylerinin sonuçlarındaki benzeşimleri Çizelge 5.74 ve 5.75'deki numune fiziksel özellikleriyle açıklamak son derece mümkündür.

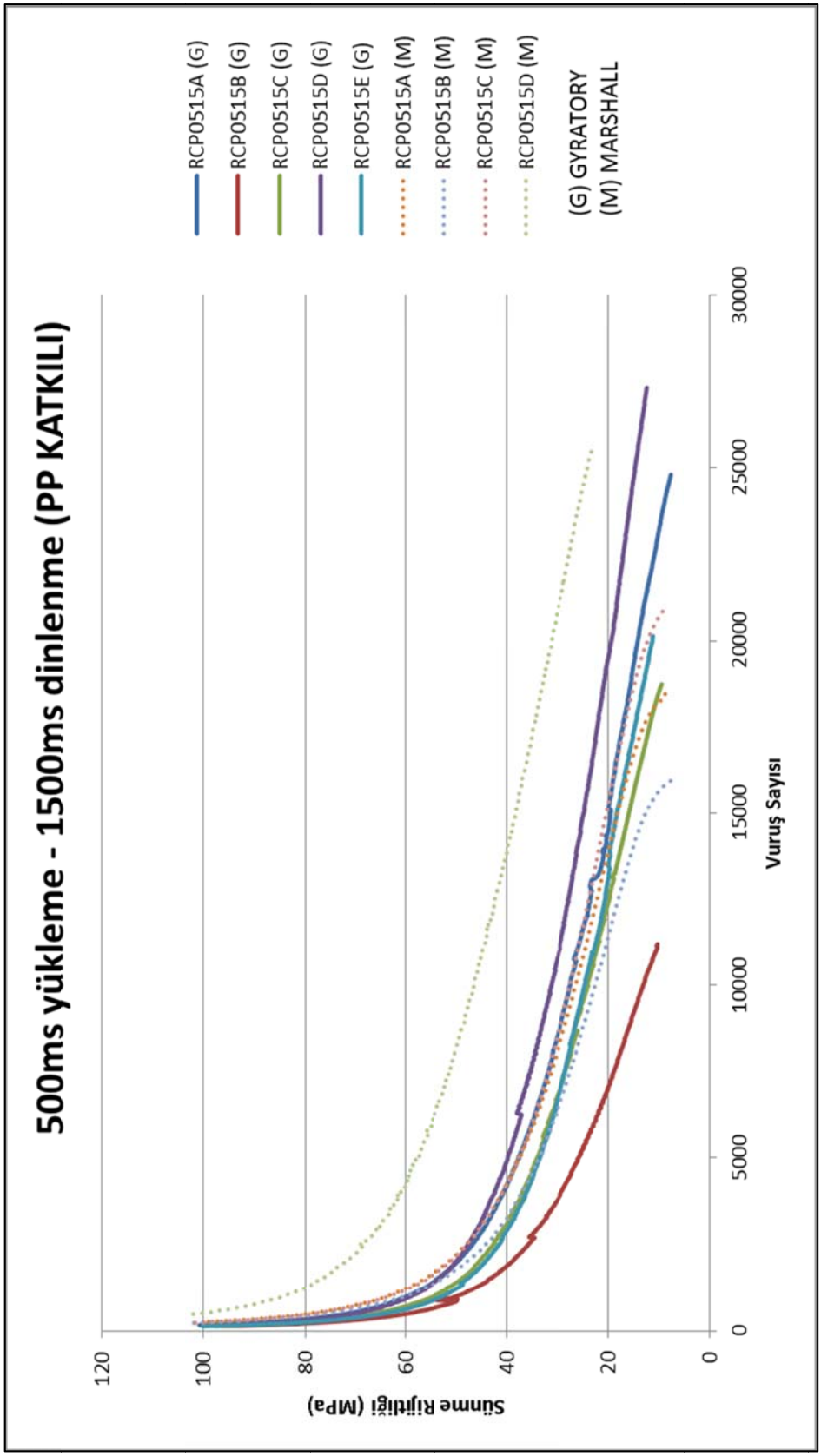
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



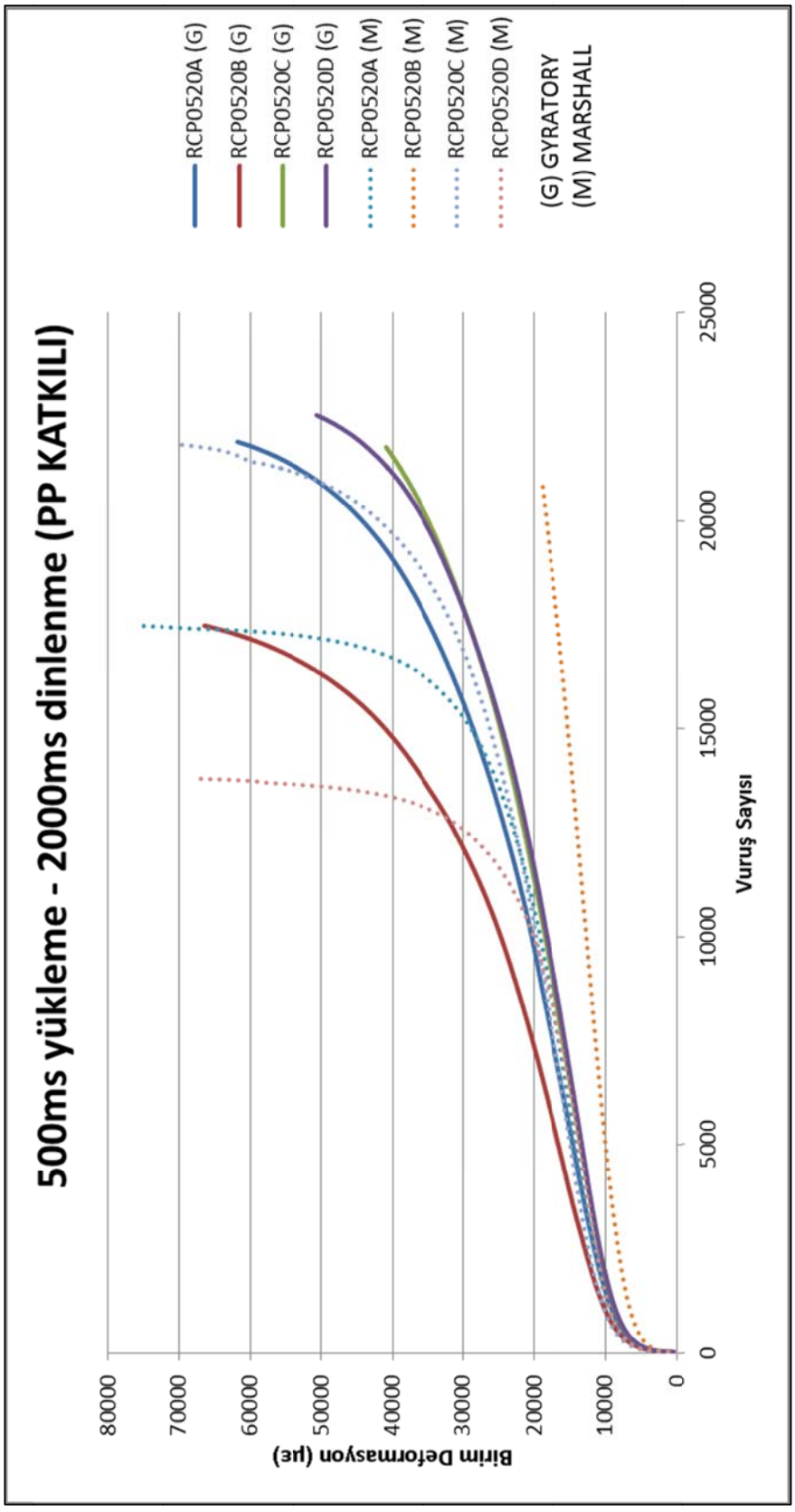
Şekil 5.88. 500 ms yükleme -1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



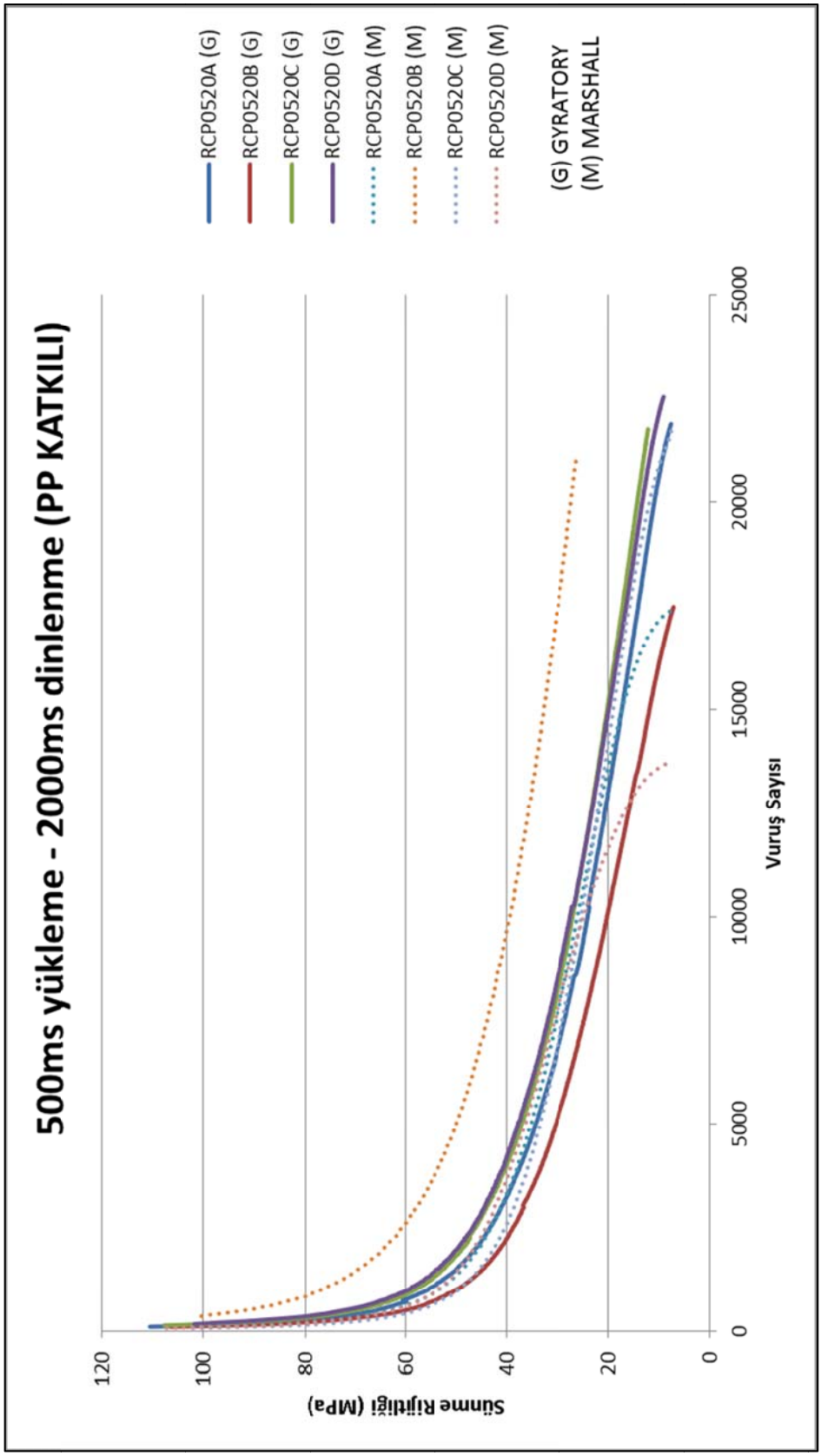
Şekil 5.89. 500 ms yükleme - 1500 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.90. 500 ms yükleme -2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinde biriken birim deformasyonların süperpoze grafikleri

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.91. 500 ms yükleme - 2000 ms dinlenme paterninde Marshall ve Gyratory dizaynları ile hazırlanmış PP modifiye numunelerinin sünme rijitliklerinin süperpoze grafikleri

500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paternindeki davranışı gösteren Şekil 5.90 ve 5.91'de de 500 ms yükleme – 1500 ms dinlenme paternine benzer davranışlar gözlemlenmektedir. Yoğurmalı kompaktör ve Marshall numunelerinin birbiriyle örtüşen mekanik davranışları dikkat çekicidir ve ilk iki seri yükleme paterninden önemli oranda farklılıklar göstermektedir. Numunelerin fiziksel özellikleri ise Çizelge 5.62 ve 5.63'de verilmektedir.

Çizelge 5.76 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Marshall numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER							
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0520A	59	5	3,0	15,853	69,102	4,254	2435
RCP0520B	59	5	3,0	15,727	28,448	4,126	2440
RCP0520C	60	5	3,0	16,377	69,014	4,659	2425
RCP0520D	60	5	3,0	16,196	68,310	4,451	2428

Çizelge 5.77 500 ms yükleme – 2000 ms dinlenme paterninde tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan 4 adet numunenin fiziksel özellikleri **(Gyratory numuneleri için)**

FİZİKSEL ÖZELLİKLER								
BİRİKET NO	YÜKSEKLİK	BİT. ORA.	PP ORA.	GYR	VMA	Vf	HAVA B.	ÖZGÜL AĞIRLIK
RCP0520A	62,62	5	3,0	24	15,913	71,089	4,588	2418
RCP0520B	62,56	5	3,0	29	15,870	71,318	4,539	2420
RCP0520C	62,56	5	3,0	29	15,882	71,255	4,553	2419
RCP0520D	62,61	5	3,0	29	15,860	71,370	4,528	2420

Tekrarlı sünme deneylerinin en genel biçimde yorumlayacak olursak, ilk olarak Marshall numune sonuçlarından anlaşılmaktadır ki polipropilen modifiyesi, kontrol numunelerinin ömürlerini 5 ila 12 kat arasında artırmaktadır (50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında). Bunun yanı sıra deneylerde kullanılan dört çeşit yükleme paterninden en agresifi ve mevcut yol kriterlerini en iyi şekilde simule eden yükleme durumu, 500ms yükleme-1500ms dinlenme yükleme paternidir.

Yoğurmalı kompaktörlerle üretilen ve tekrarlı sünme deneyine tabi tutulan numuneler de yine yukarıdaki olguyu destekler niteliktedir. Yukarıdaki grafiklerden polipropilen katkısının numuneler üzerine olan pozitif etkileri bariz bir şekilde görülmektedir.

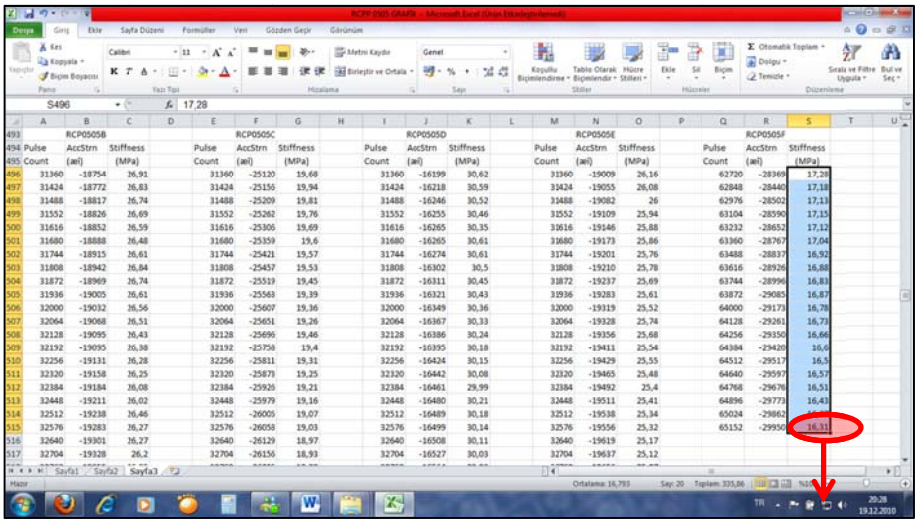
ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

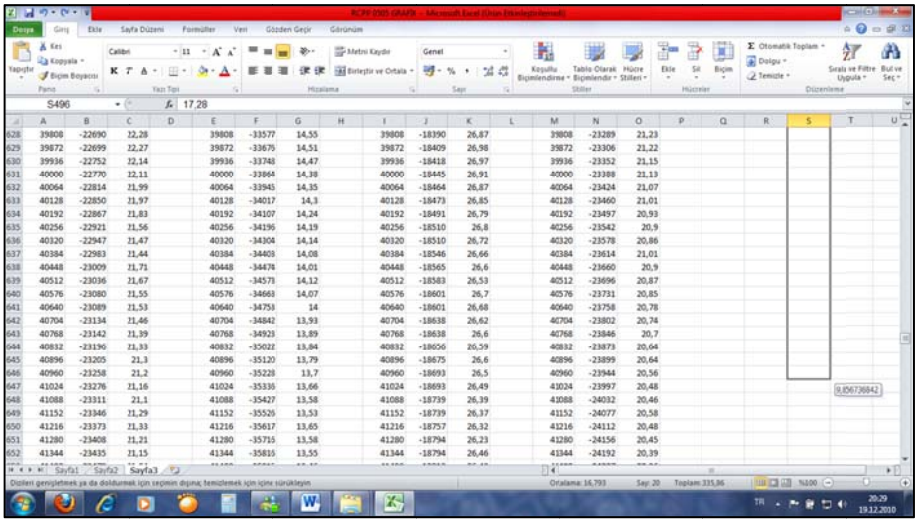
Ayrıca Superpave numuneleriyle, Marshall numunelerinin (fiziksel özellikleri hemen hemen aynı olan) karşılaştırılması sonucu anlaşılmıştır ki, Superpave numunelerinin yıkıma uğrama süreleri daha uzun sürmüştür. Bu tarz numuneler arasındaki farklılıklar birinci sünme evresinde her ne kadar kendini hissettirmeye başlamasa da, ikinci sünme evresine geçişten kısa bir süre sonra aradaki farklılıklar oluşmaya başlamıştır. Üçüncü sünme evresine gelindiğinde ise bu farklılıklar son derece belirgin bir halde şekillenmektedir.

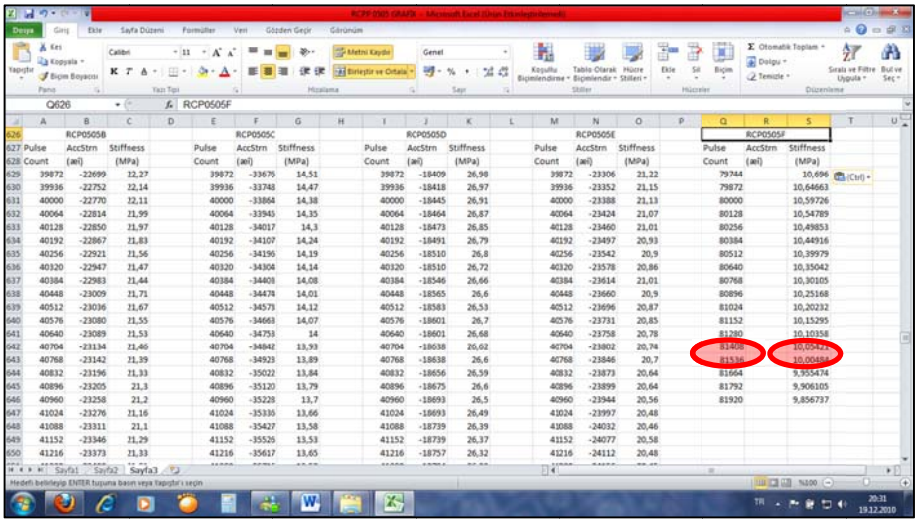
Yapılan hesaplamalar göstermiştir ki, Superpave kontrol numuneleri Marshall numunelerinden yaklaşık olarak 1,20 kat ve polipropilen katkılı Superpave numuneleri de Marshall numunelerinden yine yaklaşık olarak 1,55 kat daha uzun ömürlüdür. Bu hesaplamalar yapılırken numunelerin sünme rijitliği değerleri baz alınmıştır. Bir numunenin sünme rijitliği değeri 10 MPa değerinin altına düştüğü anda numunenin bozulduğu varsayılmıştır. Bu duruma istinaden Superpave ve Marshall numunelerinin, sünme rijitliği – vuruş sayısı grafiklerinden 10 MPa değerine karşılık gelen vuruş sayısı değerleri teker teker bulunarak her bir yükleme paterni için yıkıma uğrama anına denk gelen vuruş sayısı değerlerinin ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır.

Bilindiği gibi bazı numunelerin sünme rijitliği değerleri 10 MPa değerine kadar düşmemiştir. Bu durum özellikle polipropilen katkılı numunelerde gözlemlenmiştir. Bunun sebebi ise polipropilen katkılı numunelerin sünme deneyine tabi tutulurken çok uzun bir süre rijitliklerini kaybetmemeleridir. Çalışmalarımız esnasında tekrarlı sünme deneyinde 16 saatten uzun süre bozulmayan numuneler olmuştur (Örneğin bkz. Şekil 5.65 ve Şekil 5.66'daki RCP0505D ve RCP0505F numuneleri). Bu tarz numuneler için deney 17.saate gelinmeden kesilmiştir. İşte bu 10 MPa'lık sünme rijitliğine erişemeyen numuneler, Microsoft Excel 2010 programında düzenlenmiştir. Şöyle ki; Excel programı belirli bir mantıkla tekrar eden, artan ya da azalan sayıları yine aynı mantık silsilesi dahilinde devam ettirebilmektedir. Aşağıda Şekil 5.92 ve 5.93'de yıkıma uğramayan numunelerin 10 MPa'lık sünme rijitliği değerlerine erişimi gösterilmiştir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

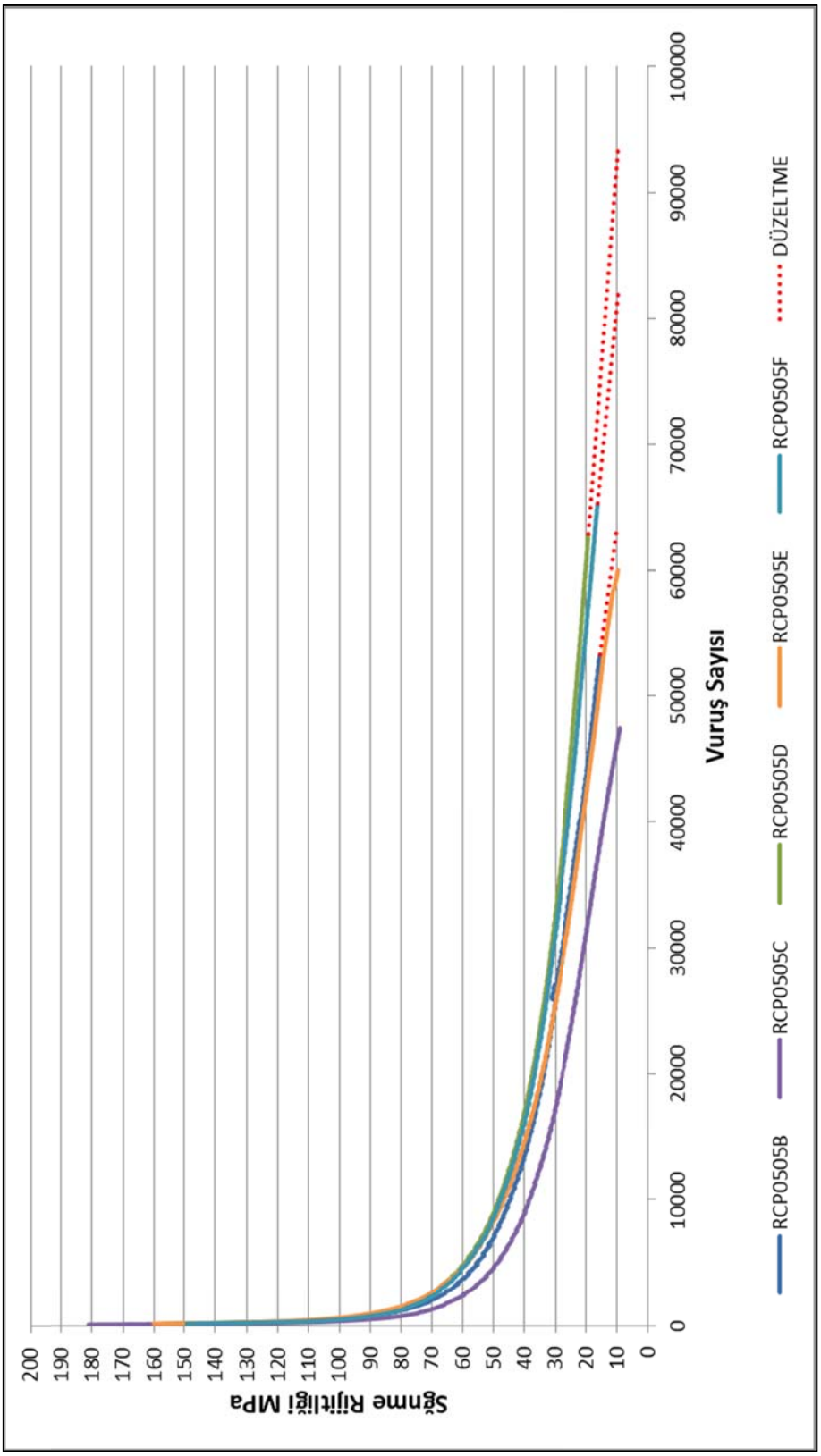






Şekil 5.92. 10MPa sünme rijitliği değerine erişemeyen numunelerin Microsoft Excel 2010 programıyla düzenletilmesi

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



Şekil 5.93. 10MPa sünme rijitliği değerine erişemeyen numunelerin Microsoft Excel 2010 programıyla düzenletilmesinden sonra çizilen yeni vuruş sayısı-sünme rijitliği grafiği

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Şekil 5.92'de RCP0505F isimli numunenin düzenlenmesini görmekteyiz. S kolonu tekrarlı sünme deneyi sonucu erişilen sünme rijitliği değerlerini, Q kolonu ise vuruş sayısı değerlerini göstermektedir. Öncelikle sünme rijitliği değerleri program üzerinde seçilmiş ve kendi azalış mantığıyla azaltılıp değerlerin 10 MPa değerinin altına düşmesi sağlanmıştır. Aynı şekilde vuruş sayısı değerleri de artırılmış ve 10 MPa değerine karşılık gelen yıkıma uğrama vuruş sayısı değerleri belirlenmiştir. Böylelikle Şekil 5.93'de görüldüğü gibi vuruş sayısı-sünme rijitliği grafiklerindeki eğriler uzatılabilmiştir. Bu sayede tahmini olarak 10 MPa'lık sünme rijitliği değerine karşılık gelen vuruş sayısı değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem yıkıma uğramamış bütün numuneler için teker teker yapılıp her bir numunenin yıkıma uğrama vuruş sayısı değerleri belirlenmiş ve hesaplamalarda kullanılmıştır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yürütülmüş olan tez çalışması boyunca ulaşılan sonuçlar aşağıda verildiği şekildedir.

Öncelikle bitüm deneyleri göstermiştir ki; bitüme eklenen polipropilen miktarı arttıkça, modifiye edilmiş bitümün özgül ağırlık değerleri azalmaktadır. Isınma kaybı değerleri ise polipropilen katkı oranının artmasıyla düşmüştür. Buradan çıkarılacak sonuç; polipropilen katkısının bitümü, ısınma kaybına karşı çok daha az duyarlı bir hale getirmesidir. Bu da bitümün polipropilen katkısıyla birlikte artık şantiye ortamında, bitümlü karışım hazırlamak için ısıtılmasıyla ortaya çıkacak uçucu madde kayıplarından azami derecede koruma sağlanacağının bir ifadesidir. Polipropilen katkısı ile parlama ve yanma noktalarında oluşan azalmada dikkat çekici bir husustur. Bu değerler göz önüne alındığında polipropilen katkılı bitüm, şantiye ortamında, parlama ve yanmaya karsı son derece hassas bir hale gelmektedir. Yumuşama noktası değerleri ise katkısız bitümde 48.00°C iken ‰ 5.5 polipropilen katkılı bitümde 155.9°C'a çıkmıştır. Bu da polipropilen katkılı bitümün sıcaklık hassasiyetinin son derece azaldığını göstermektedir. Sıcak iklimin hüküm sürdüğü yol kesimleri için bu özellik değişimi son derece tercih edilir bir değişimdir. Son olarak katkısız bitümün penetrasyon değerleri polipropilen katkı oranının artmasıyla beraber düşmüştür. Bu da bitümün fiziksel ve kimyasal özelliklerinin ne oranda iyileştiğinin başka bir önemli göstergesidir. Bu sayede polipropilen katkılı bitümün, özellikle tekerlek izinde oturma yani oluklanma problemine karsı ne kadar önemli bir kazanım gösterdiği ispatlanmıştır.

Dönel viskozite deneyi sonuçları ise bitüm numunelerinin sıcaklık düştükçe daha viskoz bir hal aldığını tekrar göstermiştir. Ayrıca polipropilen katkısının da yine bitümün viskozitesini arttırdığı gösterilmiştir. ‰ 3.0'lük bir polipropilen katkısı ile bitümün viskozite değerleri yaklaşık 2,5 kat, ‰ 5.5 polipropilen katkısı ile de yaklaşık olarak 6 kat artmıştır. Son olarak ise bitüme eklenilen ‰ 7.0 oranındaki polipropilen katkısının, bitüm numunelerinin viskozite değerlerini, yaklaşık 15 kat arttırdığı tespit edilmiştir. Sonuç olarak; Polipropilen modifiyesi, bitümün viskozluğunu arttıran bir uygulamadır. Buda sıcak iklimli

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

bölgelerde polipropilen modifiyesinin daha tercih edilebilir bir durum olduğunun bir başka göstergesidir.

Yoğurmalı kompaktörlerle yapılan çalışmalara geçilecek olursa, yoğurmalı kompaktörle hazırlanan ilk seri numuneler (100 mm çaplı) göstermiştir ki, 150 mm çaplı numuneler için bir dizayn kriteri olan 100 (yüz) dönüş sayısı değeri, 100 mm çaplı numuneler için oldukça büyük bir değerdir. Dönüş sayısı baz alınarak yapılan bu ilk seri numuneler, 100 dönüş sayısı civarına (85-90-95-100-105-110-120-135) göre hazırlanılmış hem, polipropilen katkılı hem de kontrol numuneleri için çok büyük sıkışmalar (düşük hava boşlukları) gözlemlenmiştir (600 kPa basınç ve 1.25° yoğurma açısı sıkıştırma paterniyle).

Yine aynı sıkıştırma paterni ve 70 dönüş sayısıyla hazırlanan diğer seri numunelerde de (yaklaşık 50 tane) inanılmaz derecede düşük hava boşlukları çıkmış, bu yükleme kriterleriyle 70 dönüş sayısının da 100 mm çaplı numuneler için çok büyük bir dönüş sayısı değeri olduğu anlaşılmıştır.

Sıcaklık parametresinin en sıkı şekilde kontrol edilmesi göstermiştir ki bu ana kadar dökülen numuneler yaklaşık 135°C'de hazırlanmakta idi. Ayrıca dönüş sayısının 70 olan değeri numuneleri anlamaya olanak tanımıyordu. Bu yüzden kontrol numuneleri için hedef olan 145°C sıkıştırmaya başlama sıcaklığına gelinmiş ve bu sıcaklıkta 50 ila 70 dönüş sayıları arasında hazırlanan numuneler test edilmiştir. Her ne kadar karışımların fiziksel özelliklerinde iyileşmeler olsa da optimal bir dönüş sayısı değerinin 50 dönüş sayısı değerinden de az olması gerektiği anlaşılmıştır.

30 ila 50 dönüş sayısı aralığında yapılan çalışmalar ise oldukça umut vericidir. Görülen fiziksel ve mekanik özellikler 100 mm'lik kalıplarla hazırlanan numunelerin bu iki değer arasında olması gerektiğini kanıtladı (600 kPa basınç ve 1.25° yoğurma açısı sıkıştırma paterniyle).

Açı ve yükleme paternlerinin değiştirilmesiyle yapılan çalışmalardan ise 240 kPa düşey basınç ve 2° yoğurma açısıyla hazırlanan numunelerin [105], (30 dönüş sayısına göre) 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla hazırlanan numunelerden en çok 50 dönüş sayısına göre hazırlananlara benzediği fark

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

edilmiştir. Ancak yine de fiziksel özellikleri kabul edilebilir niteliktedir. Mekanik özellikler için ise aynı şeyi söyleyememekteyiz.

Yine 600 kPa düşey basınçla hazırlanan bir diğer seri, yoğurma açısının değiştirilmesiyle üretilmiştir. Bu test sonuçlarına bakarak söyleyebiliriz ki; yoğurma açısı değerleri küçüldükçe hava boşluğu değerleri artmaktadır. Yani numuneler daha az sıkışmaya başlamaktadır. Ayrıca V_f değerleri azalmakta ve V.M.A değerleri de bağıl bir şekilde artmaktadır. Yine açının küçülmesiyle stabilite ve akma değerlerinin de azaldığı kaydedilmiş dolayısıyla Marshall oranı değerleri de açıya bağlı olarak azalma göstermiştir.

Bu ana kadar üretilen yaklaşık 380 adet numuneden elde edilen veriler optimal bir dönüş sayısı değerine işaret etmemektedir. Ancak bu 380 numunenin verilerine bakılarak, daha önceden kendini belirgin bir şekilde hissettiren "61,5 mm" lik numune yüksekliği değeri üzerine gidilmiştir. İlk etapta üretilen 23 adet numunenin (600 kPa basınç ve 1.25° yoğurma açısı sıkıştırma paterniyle) tüm fiziksel özellikleri (V_a, V_f, V.M.A değerleri) ve Marshall stabilitesi değerleri, Marshall numuneleriyle neredeyse birebir özellik göstermektedir. İşte bu sonuçlara ve bundan sonra hazırlanan 48 numunenin (toplamda 71 adet numune) sonuçlarına bakarak, optimal dönüş sayısı değeri "40" olarak kabul edilebilir. Bu durum, 100 mm'lik Superpave yoğurmalı kompaktör numuneleri için bir standart oluşturmak hususunda çok çok önemli bir adımdır.

Polipropilen modifiyeli karışımlar için ise durum çok farklıdır. Polipropilenin doğası gereği gerekli fiziksel özelliklere ulaşabilmek için, kontrol numunelerinin sıkıştırılma yüksekliği kriterine göre hazırlanmamalıdırlar. Çünkü bu yüksekliğe gelebilmek için kontrol numunelerine göre 3 ya da 4 kat daha fazla sıkıştırılmalıdırlar. Bu sebeple ‰ 5.5PP katkılı numunelerle yürütülen çalışmalardan, (600 kPa basınç ve 1.25° yoğurma açısı sıkıştırma paterniyle) numunelerin 63,5mm yüksekliğe göre hazırlanması gerektiği sonucu çıkmıştır. Bu şekilde hazırlanan numunelerin Marshall numuneleriyle kıyaslatılması sonucunda fiziksel ve mekanik özellikler hemen hemen birbirine çok yakın değerlerdir. ‰ 3.0PP katkılı numuneler için ise birim ağırlığa göre hazırlanan numunelerden 62,6mm yüksekliğin yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca kontrol

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

numuneleri için önermiş olduğumuz 40 optimal dönüş sayısı değeri, ‰ 3.0 ve ‰ 5.5 oranında polipropilen katkılı numuneler için "33" olmalıdır.

Çizelge 6.1 Marshall numuneleriyle Superpave numunelerinin karşılaştırılması

Polipropilen Miktarı (‰)	**Stabilite (kg)**	**Birim Ağırlık (kg/m^3)**	**Hava Boşluğu (%)**	**V_f (%)**	**VMA (%)**	**Akma (mm)**	**Marshall Oranı (kg/mm)**	**GYR SAYISI**
0.0 (M)	1294,355	2465	3,443	76,990	14,919	3,463	376,899	-
0.0 (S)	**1263,714**	**2456**	**3,219**	**77,896**	**14,608**	**4,195**	**301,651**	**40**
3.0 (M)	1542,140	2432	4,707	70,710	16,033	2,982	523,329	-
3.0 (S)	**1547,458**	**2417**	**4,639**	**70,863**	**15,957**	**3,526**	**446,805**	**33**
5.5 (M)	1917,643	2394	6,214	64,261	17,360	2,678	755,850	-
5.5 (S)	**1751,821**	**2396**	**5,378**	**67,689**	**16,677**	**3,917**	**447,838**	**33**
NOT: Marshall numuneleri numunelerin her iki tarafına 50 vuruş yapılarak hazırlanmış, Superpave numunelerinden kontrol numuneleri 61,5 mm yüksekliğe göre ‰ 5.5PP katkılı numuneler 63,5 mm yüksekliğe göre, ‰ 3.0PP katkılı numuneler ise 62,6 mm yüksekliğe tekabül eden 2355 kg/m^3 birim ağırlığa göre hazırlanmıştır.								

Yukarıdaki çizelgede Marshall ve Superpave numunelerinin tam bir karşılaştırılması tekrar verilmiştir. Görüldüğü gibi en genel anlamıyla bütün fiziksel özelliklerde birbirine çok yakın değerler bulunmasına rağmen, mekanik özelliklerden sadece Marshall stabilitesi değerleri birbiriyle ilişkili ve yakındır. Akma değerlerinden dolayı Marshall oranlarında farklılıklar görülmüştür ancak akma değerleri de şartnameler dahilinde kabul edilebilir niteliktedir. Yine de bu farklılıklar için yeni bir çalışma yürütülmesi gerektiği açıktır.

Çizelge 6.1'deki karşılaştırmaya istinaden (özellikle fiziksel özelliklerdeki aşırı benzeşmeler); orta trafikli hacimler için Marshall tokmağında ön ve arka yüze 50 vuruş sayısı olan standart, Superpave yoğurmalı kompaktörü için 600kPa basınç ve 1.25° yoğurma açısı sıkıştırma paterniyle 40 dönüş sayına tekabül etmektedir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çalışmamız bu ana kadar yoğurmalı kompaktörle Marshall replikaları üretebilme hususunda önemli adımlar atmış ve ileride yapılması muhtemel (100 mm çapında üretilecek numunelerle) standardizasyon için sayısız veri depolamış ve birbirinden önemli önermelerde bulunmuştur. Her ne kadar fiziksel anlamda tam bir tutarlılık sağlansa da mekanik açıdan sadece Marshall stabilitesi değerleri uygundur. Bu noktadan itibaren başka bir mekanik özellik araştırma konusu olan tekrarlı sünme deneyi sonuçları irdelenecektir. Bu sayede fiziksel özellikleri mevcut şartnamelere göre bire bir uygun olan numunelerin mekanik özellikleri de incelenmiş olacaktır.

Daha önceden bilindiği gibi polipropilen modifiyesi asfaltın ömrünü 5-12 kat artırmaktadır [58]. Dört farklı yükleme paterniyle (500 ms yükleme-500 ms dinlenme, 500 ms yükleme-1000 ms dinlenme, 500 ms yükleme-1500 ms dinlenme ve 500 ms yükleme-2000 ms dinlenme yükleme paternlerinde) 50°C ortam sıcaklığı ve 500 kPa yükleme basıncı altında yapılan tekrarlı yükleme deneyleri sonucunda, hazırlanan asfalt numunelerinin mekanik özelliklerinin yine en mükemmel şekilde artışları gözlemlenmektedir.

Deney sonunda çizilen grafikler, vuruş sayısı ile biriken birim deformasyonları (με cinsinden) ve vuruş sayısı ile değişen sünme rijitliği değerlerini (MPa cinsinden) vermektedir. Bu grafiklere bakılacak olursa, kontrol numuneleri 2500 ila 3000 vuruş sayılarında yıkılırken PP katkılı numuneler 25000 ila 30000 vuruş sayılarında bozulmuş hatta 500ms yükleme 500ms dinlenme yükleme paterniyle yapılan deneylerdeki numuneler 50000-60000 vuruş sayılarında bile halen tamamen bozulmamışlardır. Bu durum sonucu anlaşılmıştır ki PP modifiyesi asfaltın servis ömrünü uzatmakta ve oluklanmaya karşı direnci maksimum seviyeye getirmektedir.

Yükleme süreleriyle ilgili yapılan kıyaslamalara bakıldığında ise özellikle katkılı numunelerden de anlaşılacağı gibi 500 ms yükleme ve 500 ms dinlenme durumlarda numuneler en yüksek dayanımı göstermektedirler. Bunun sebebi numunelerin hızlı tekerrür sayılarında sıkışmaya devam ederek, belirli bir tokluğa ulaşması ve dayanımlarının artmasıdır. En agresif yükleme paterni ise 500 ms yükleme ve 1500 ms dinlenme durumudur.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Çalışmamızın asıl amacı olan, Superpave numuneleriyle, Marshall numunelerinin (fiziksel özellikleri hemen hemen aynı olan) karşılaştırılması sonucunda anlaşılmıştır ki, Superpave numunelerinin yıkıma uğrama süreleri Marshall numunelerine göre çok daha uzundur. Bu iki farklı dizayn metoduyla hazırlanan numuneler arasındaki farklılıklar, birinci sünme evresinde her ne kadar kendini hissettirmeye başlamasa da, ikinci sünme evresine geçişten kısa bir süre sonra oluşmaya başlamaktadır. Üçüncü sünme evresine gelindiğinde ise bu farklılıklar bariz bir şekilde ortaya çıkmaktadır.

Superpave ve Marshall numuneleri karşılaştırmaları, öncelikle Şekil 5.76 ila Şekil 5.91 arasındaki grafiklerle gösterilmiş daha sonra ise numunelerin 10 MPa sünme rijitliğine eriştiği andaki vuruş sayısı değerleri teker teker karşılaştırılmıştır (numunelerin sünme rijitliği değerlerinin, tekrarlı sünme deneylerinde 10 MPa değerinin altına düştüğü anda bozulduğu varsayılarak). Bu karşılaştırma ile hesaplanan vuruş sayısı değerlerine göre, Superpave kontrol numuneleri Marshall numunelerinden yaklaşık olarak % 20 ve polipropilen katkılı Superpave numuneleri de Marshall numunelerinden yine yaklaşık olarak % 55 daha uzun ömürlüdür.

Bilindiği gibi Superpave dizayn metoduyla hazırlanan numuneler arazi koşullarını Marshall dizayn metoduna göre daha iyi bir şekilde modellemektedir. Bu çalışmada kullanılan karşılaştırmalı grafikler sayesinde IPC Servopac yoğurmalı kompaktörüyle hazırlanan numunelerin daha dayanıklı olduğu ve deformasyonlarının daha az olduğu görülmüştür. Yani laboratuvar ortamında Marshall tokmağıyla hazırlanan numunelerin Marshall stabilite değerleri olması gerekenden daha az olduğundan, bugüne kadar olan çalışmalarda bulunmuş olan optimum bitüm muhtevaları değerlerinin de gerekenden daha fazla hesaplanmış olduğu söylenilebilir. Bu durumda yoğurmalı kompaktörlerle yapılacak yeni dizaynlarda optimum bitüm oranının düşmesi beklenilmekte ve bitüm yönünden önemli sayılabilecek bir tasarruf elde edilebileceği de rahatlıkla ve önceki tecrübelere dayanarakda söylenilebilir.

Tekrarlı sünme deneyleri ertesinde yoğurmalı kompaktörle üretilen numunelerin mekanik özelliklerinin yeterli derece makul olduğu sonucuna

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

varılmıştır. Ancak Marshall stabilitesi ve akma deneyleri sonucunda düşük çıkan akma değerleri bu deney metodunun, numunelerin mekanik özelliklerini tam olarak modelleyemediğinin bir başka göstergesidir. Yine de düşük çıkan akma değerleri için muhakkak yeni bir araştırma ve çalışma yapılmalıdır.

Son olarak yoğurmalı kompaksiyon yöntemi sonucu üretilen asfalt numunelerinde, "akma" problemine karşı, arazi şartlarını gerçeğe en yakın şekilde simüle eden üretimler yapılabildiği ve bununda özellikle tekrarlı sünme deneyleri sonucu ispatlandığı açıkça görülmüştür.

Ayrıca yoğurmalı kompaktör numunelerinin tekrarlı sünme davranışlarından başka statik sünme davranışlarının da incelenmesi gerekmektedir. Bu şekilde yapılacak bir çalışma Superpave numunelerinin (100 mm çaplı) statik sünme davranışlarının da anlaşılabilmesi açısından çok önemlidir.

En son olarak ise, Marshall dizaynı ile ilgili, halihazırda bulunan standartlara da bir altenatif önerilmesi, konu hakkındaki ileriki çalışmaların en önemli amaçlarından biri olmalıdır.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

KAYNAKLAR

[1] Alexander Ya. Malkin, Avraam I. Isayev *"Rheology: concept, methods and applications",* Chem Tec Pub., Toronto, 2006.

[2] Pfeiffer, J.Ph., van Doormal, P.M., "The Rheological properties of asphaltic bitumens", Journal of Instute of Petroleum, **22,** 1936.

[3] Gordon D. Airey, Behzad Rahimzadeh, Andrew C. Collop, *"Linear Rheological Behavior of Bituminous Paving Materials"*, Journal of Materials in Civil Engineering, 212-220, 2004.

[4] Tunç A., "Esnek Kaplama Malzemeleri El Kitabı", Ankara, 2004.

[5] Tapkın, H., *Rheological behaviour of bituminous mixtures under different types of compressive loading*, Doktora Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1980.

[6] David B. Braun, Meyer R. Rosen, *"The rheology modifiers handbook"* Norwich, N.Y. William Andrew Pub., 2000.

[7] Bolk, H.J.N.A., Van de Loo, P.J., *A routine method for the design of stable mixes*, Koninklijle/Shell Laboratorium, Amsterdam, Hollanda.

[8] Sayın E., Yıldırım B., *"Asfalt betonu kaplamalaların farklı sıcaklıklarda dayanımı"* Fırat Üniversitesi Fen ve Müh. Bilimi Dergisi, 463-469, 2005.

[9] Van Der Poel, *"A General System Describing the Visco-elastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data",* Journal of Applied Chemistry, Vol 4, May 1954.

[10] Findley, W.N., Lai, J.S., and Onaran, K., *"Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials"* North-Holland Publishing, Armsterdam, New York, Oxford, 1976.

[11] Jay R Gabrielson, *"Evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) Static Creep and Repeated Load Tests",* Degree of Doctor of Philosophy, Auburn University, Auburn Alabama, 1992.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[12] Moulton, L.K., *"Mathematical Theories of Viscoelasticity as Appliedto Asphalts"* Class Notes, Bituminous Materials, University of Florida, Gainesville, Florida, 1985.

[13] Van der Poel, C., "Representation of rheological properties of bitumens over a wide range of temperatures and loading times", *Second International Conference of Rheology*, Oxford, 331-337, 1953.

[14] Mack, C., "Deformation mechanism and bearing strength of bituminous pavements", *HRB*, **33**, 1954.

[15] Pister, K.S., Monismith, C.L., "Analysis of viscoelastic flexible pavements", *39th Annual Meeting of the Highway Research Board*, 1960.

[16] Secor, K.E., Monismith, C.L., "Analysis of triaxial test data on asphaltic concrete using viscoelastic principles", *40th Annual Meeting of the Highway Research Board*, 1961.

[17] Hofstra, A., Klomp, A.J., "Permanent deformation of flexible pavements under simulated road traffic conditions", *Third International Conference on the Structural Design of Asphalt Pavements*, Londra, 1972.

[18] Hills, J.F., "The creep of asphalt mixes", *Journal Institute of Petroleum*, 1973.

[19] Uzan, J., Sides, A., Perl, M., "Viscoelastoplastic model for predicting performance of asphaltic mixtures", *Transportation Research Record*, 78-89, 1985.

[20] Parmar, N.B., Bhatt, R.D., "Study of mastic-asphalt's rheological behaviour under creep and creep-recovery conditions", *Journal of the Institution of Engineers*, **66**, 164-169, 1986.

[21] Khandal, P.S., Koehler, W.C., "Effect of rheological propertıes of asphalts on pavement cracking", *ASTM Special Technical Publication*, 99-117, 1987.

[22] Kadar, P., Remtulla, A., "Engineering and rheological properties of modified binder mixes", *Conference of the Australian Road Research Board*, **16**, 269-280, 1992.

[23] Negulescu, I.I., Daly, W.H., "Rheology of polymer reinforced asphalts", *Annual Technical Conference*, **1**, 1175-1181, 1996.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[24] Marasteanu, M.O., Clyne, T., McGraw, J., Li, X., Velasquez, R., "Hightemperaturerheological properties of asphalt binders", *Transportation Research Record*, **1901**, 52-59, 2005.

[25] Szydlo, A., Mackiewicz, P., "Asphalt mixes deformation sensitivity to change in rheological parameters", *Journal of Materials in Civil Engineering*, **17**, 1-9, 2005.

[26] Al-Dulemi, A.M., *An experimental behaviour of asphaltic mixtures under creep loading reference to a specific mix composition*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1988.

[27] Özcan Ş., *Polipropilen fiber katkısının bitümlü karışımların statik sünme davranışına reolojik davranışına etkisinin araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskisehir, 2008.

[28] Avcı E., *Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinin Kaplama Tabakası Performansına Etkisi* Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 2009.

[29] Superpave Mix Design, 3rd ed., Asphalt Institute, Lexington Kentucky., 2001.

[30] Jastrzebski, Z.D., *The nature and properties of engineering materials*, John Wiley and Sons Inc., New York, ABD, 1977.

[31] Uluğtekin, E., *Creep properties of asphaltic concrete under repeated loading*, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999.

[32] de Hilster, E., van der Loo, P.J., "*The creep test: influence of test parameters*", Koninklijke/Shell-Laboratorium, Amsterdam, Hollanda, 1972.

[33] Grob, H., "Recommendation for the performance of unconfined, statical creep test on asphalt specimens", *from Communication No.37*, Colloquim 77, 1977.

[34] Brien, D., "Research in the design of asphalt", *The Journal of the Institution of Highway Engineers*, 1977.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[35] Thompson, D.C., Hoiberg, A.J., "*Bituminous materials : asphalt tars and pitches*", Robert Krieger Publishing Co., 1979.

[36] King, G., "Addittives in asphalt", *Journal of Association of Asphalt Paving Technologists*, **68**, 32-69, 1999.

[37] Terrel, R., Walter, J., "Modified asphalt pavement materials: the European experience", *Journal of Association of Asphalt PavingTechnologists*, **55**, 482, 1986.

[38] Brule, B., "*Polymer modified asphalt cements used in the road construction industry: Basic Principles*", Transportation Research Record, No: 1535, 1996.

[39] Collins, J., "*Thermoplastic block copolymers for the enhancement of asphaltic binders in paving applications*", The Paving and Transportation Conference, Albuquerque, NM., 1986.

[40] Australian Asphalt Pavement Association, *National Asphalt Specification*, Kew, Australia, 2004.

[41] Hicks, R.G., Epps, J.A., "Life cycle cost analysis of asphalt-rubber paving materials", *The First International Conference on the World of Asphalt Pavements*, Sydney, Australia, 69-88, 2000.

[42] Bahia, H.U., Perdomo, D., Turner, P., "Applicability of superpave binder testing protocols to modified binders", *Transportation Research Record*, No: 1586, 16-23, 1997.

[43] Sargand, S.M., Kim, S.S., "Performance evaluation of polymer modified and unmodified superpave mixes", *2nd International Symposium on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control*, Auburn, AL, 2001.

[44] Hesp, S.A.M., Roy, S.D., *"How Temperatue and Loading Rate Affect the Yield Behavior in Polymer-modified Asfalt Systems*", The International Journal of Pavement Engineering, **4**, 13-23, 2003.

[45] Sebaaly, P.E., Bazi, G.M., Vivekanathan Y., "*Evaluation of new pavement technologies in Nevada*, Nevada University, 2003.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[46] Newcomb, D., "Limit the strain at the bottom of an asphalt pavement, and what do you get? a perpetual pavement", *Hot Mix Asphalt Technologies*, 30-32, 2003.

[47] Partl, M.N., Newman, J.K., "Flexural beam fatique properties of airfield asphalt mixtures containing styrene-butadiene based polymer modifiers", *The Sixth International Rilem Symposium*, Zurich, Switzerland, 357-363, 2003.

[48] Zubeck, H.K., Raad L., Saboundjian, S., Minassian, G., Ryer, P.E.J., *"Workability and Performance of Polymer-modified Asphalt Aggregate Mixtures in Cold Regions",* The International Journal of Pavement Engineering, **4**, 25-36, 2003.

[49] Chen, J.S., Liao M.C., Lin, C.H., *"Determination of polymer content in modified bitumen",* Materials and Structures, **36**, 594-598, 2003.

[50] Chen, J.S., Lin, K.Y., *"Mechanism and behavior of bitumen strength reinforcement using fibers",*Journal of Materials Science, **40**, 87-95, 2005.

[51] Yildirim, Y., *"Polymer modified asphalt binders",* Construction and Building Materials, **21**, 66-72, 2007.

[52] Vlachovicova, Z., Wekumbura, C., Stastna, J., Zanzotto, L., *"Creep characteristics of asphalt modified by radial styrene-butadiene-styren copolymer",*Construction and Building Materials, **21**, 567-577, 2007.

[53] Yılmaz M., Ahmedzade P., *"Saf ve SBS modifiyeli bitümlü bağlayıcıların kısa dönem yaşlanmadan sonraki özelliklerinin iki farklı yaşlandırma yöntemi kullanılarak incelenmesi"* Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der., **3**, 569-575, 2008.

[54] Ahmedzade P., Yilmaz M., *"Effect of polyester resin additive on the properties of asphalt binders and mixtures"* Construction and Building Materials **22**, 481-486, 2008.

[55] Tapkın, S., *"The effect of polypropylene fibers on asphalt performance",* Building and Environment, **43**, 1065-1071, 2008.

[56] Khodaii, A., Mehrara, A., *"Evaluation of permanent deformation of unmodified and SBS modified asphalt mixtures using dynamic creep test",* Construction and Building Materials, 2009.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[57] Sengoz B., Topal A., Isikyakar G., *"Morphology and image analysis of polymer modified bitumens",* Construction and Building Materials, 1986-1992, 2009.

[58] Tapkın, S., Uşar, Ü., Tuncan, A., Tuncan, M., *"Repeated Creep Behavior of Polypropylene Fiber-Reinforced Bituminous Mixtures",* Journal of Transportation Engineering, 204-249, 2009.

[59] Abtahi S.M., Sheikhzadeh. M., Hejazi S.M., *"Fiber - reinforced asphalt - concrete – A review",* Construction and Building Materials, 871-877, 2010.

[60] Huang H., White T.D., *"Dynamic Properties of fiber-modified overlay mixture.",* Trans Res Rec., **1545**, 98-104, 1996.

[61] Wu S., ye Q., Li N., Yue H., *"Effets of fibers on the dynamic properties of asphalt mixtures",* J Wuhan Univ. Technol. – Mater Sci Ed., **22**, 733-736, 2007.

[62] Putman B.J., Amirkhanian S.N., *"Utulization of waste fibers in stone matrix asphalt mixtures, resources."* Conserv Recycle, **42**, 265-274, 2004.

[63] Chen H., Li N., Hu., Zhang Z. *"Mechanical performance of fibers – reinforced asphalt mixture."* J Chan Univ. (Nat. Sci. Ed.), **24**, 1-5, 2004.

[64] Echols J. *"New mix method for fiber - reinforced asphalt",* Public Works, **119**, 72-73, 1989.

[65] Maurer D.A., Malasheskie G.J. *"Field performance of fabrics and fiber to retard reflective cracking",* Geotext Geomem, **8**, 239-267, 1989.

[66] Goel A., Das A. *"Emerging road materials and innovative".* In:National conference on materials and their application in Civil Engineering, Hamipur, India, 2004.

[67] Noumowe A. *"Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibers exposed to temperatures up to 200°C",* Cem. Concr. Res., **35**, 2192-2198, 2005.

[68] Singh S., Shukla A., Brown R. *"Pullout behavior of polypropylene fibers from cementitious matrix",* Cem. Concr. Res., **34**, 1919-1925, 2004.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[69] ITEM 400HS Standart specification for asphalt concrete – high stress using polypropylene fibers, Construction and Materials Specifications, Ohio: Department of Transportation, 1998.

[70] Yi J., McDaniel S. *"Application of cracking and seating and use of fibers to control reflection cracking",* Trans. Res. Rec., **1388**, 150-159, 1993.

[71] Abtahi S.M., Ameri M., Sheikhzadeh M., Hejazi S.M., Rahnama E. *"A comparative study on the use of SBS polymers and polypropylene fibers modifying asphalt concrete structures",* In: 8th international conference sustainable aggregates, asphalt technology and pavement engineering, Liverpool, UK., 2009.

[72] Hejazi S.M., Abtahi S.M., Sheikhzadeh M., Semnani D. *"Using and Artificial Neural Network (ANN) for the investigation of some fiber parameter performances in fiber reinforced asphalt concrete (FRAC)",* In: 7th international conference sustainable aggregates, asphalt technology and pavement engineering, Liverpool, UK., 2008.

[73] Tapkın S., Cevik A., Uşar Ü., *"Accumulated strain prediction of polypropylene modified marshall specimens in repeated creep test using artificial neural networks",* Expert systems with applications, **36**, 11186-11197, 2009.

[74] Zhou Liang, Li Peilong and Zhang Zhengqi, *"Investigation of High Temperature Properties of Asphalt Mixture Containing Fibers",* GeoHunan International Conference, 2009.

[75] Vardanega P.J., A.M.ASCE; Waters T.J.; Spies R.E.; Ramanujam J.M.; Nataatmadja A., Ph.D., M.ASCE; *"Ranking Binder Creep Performance Using the ARRB Elastomer",* Journal of Materials in Civil Engineering, 451-459, 2010.

[76] Xu Q., Chen H., Prozzi J.A., *"Performance of fiber reinforced asphalt concrete under environmental temperature and water effects"* Construction and Building Materials, 2010.

[77] Huang H., White T.D., *"Dynamic Properties of Fiber-Modified Overlay Mixture"* Transportation Research Record, **1545**, 98-104, 1996.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[78] Zhang S.L., Zhang Z.X., Xin Z.X., Pal K., Kim J.K., *"Prediction of mechanical properties of polypropylene/waste ground rubber tire powder treated by bitumen composites via uniform design and artificial neural networks",* Materials and Design, **31**, 1900-1905, 2010.

[79] Zhang S.L., Zhang Z.X., Pal K., Xin Z.X., Suh J., Kim J.K., *"Prediction of mechanical properties of waste polypropylene/waste ground rubber tire powder blends using artificial neural networks",* Materials and Design, **31**, 3624-3629, 2010.

[80] Tapkın S., Çevik A., Uşar Ü., "*Prediction of Marshall test results for polypropylene modified dense bituminous mixtures using neural networks"* Expert Systems with Applications, **37**, 4660–4670, 2010.

[81] Kandhal, P.S., and Koehler, W.S. *"Marshall mix design practice: Current practices."* Asphalt paving technology , Vol. 54, Association of Asphalt Paving Technologists, St. Paul Minn., 284-314, 1985.

[82] Roberts, F.L., Mohammad, L.N. and Wang L.B., *"History of Hot Mix Apshalt Mixture Desing in the United States."* Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 14, No.4, American Society of Civil Engineers 150th Anniversary Paper, 279-293, 2002.

[83] White, T.D., *"Marshall procedures for design and quality control of asphalt mixtures."* Asphalt Paving Technology, **54**, 265-284, 1985.

[84] Kennedy, T.W., Huber, G.A., Harrigan, E.T., Cominsky, R.J., Hughes, C.S., Quintus, H.V. and Moulthrop, J.S., *"SHRP-A-410, Superior Performing Asphalt Pavements(Superpave): The Product of the SHRP Asphalt Research Program"* Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994.

[85] Cominsky, R., Leahy, R.B. and Harrigan, E.T., *"SHRP-A-408, Level One Mix Design: Materials Selection, Compaction, and Conditioning."* Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1994.

[86] Bahia, H.U. and Anderson, D.A., *"The pressure aging vessel (PAV): A test to simulate rheological changes due to field aging."* Special technical publication 1241, ASTM, Philadelphia, 1994.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[87] McGennis, R.B., Shuler, S. And Bahai, H.U., *"Background of superpave asphalt binder test methods."* FHWA, Rep. No. FHWA-SA-94-069, Federal Highway Administration, Washington, D.C., 1994.

[88] Christensen, D.W. and Anderson, D.A., *"Interpretation of dynamic mechanical test data for paving grade asphalt cement."* Journal of AAPT, 61, 1992.

[89] Bahia, H.U. and Anderson, D.A., *"The SHRP binder rheological parameters: Why are they required and how do they compare to comventional properties."* Preprint Paper Number 950793, Transportation Research Board, Washington, D.C., 1995

[90] Vallerga, B.A., *"Recent Laboratory Compaction Studies of Bituminous Paving Mixtures."* Proc. Association of Asphalt Paving Technologists, 21, 117-153, 1951.

[91] Consuerga, A., Little, D.N., Von Quintos, H. And Burati Jr, J.L., *"Comparative Evaluation of Labratory Compaction Devices Based on Their Ability to Produce Mixtures with Engineering Properties Similar to Those Produced in the Field."* Transportation Research Record, 1228, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1989.

[92] Button J. W., Chowdhury A., Bhasin A., *"Design of txdot asphalt mixtures using the Superpave gyratory compactor"*, Texas Transportation Institute, 2004.

[93] Scherocman, J.A. and Acott, M., *"Hot mix asphalt production, placement, and compaction related to pavement performance."* Proc. Assoc Asphalt Paving Technol, **58**, 571-623, 1989.

[94] Sigurjonsson, S. And Ruth, B., *"Use of gyratory testing machine to evaluate shear resistance of asphalt paving mixture."* Transportation Research Record No. 1259, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., 63-72, 1992.

[95] Button, J.W., Little, D.N., Jagadam, V. And Pendelton, O.J., *"Correlation of Selected Laboratory Compaction Methods with Field Compaction."* Transportation Research Record 1454, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 193-201, 1994.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[96] Maupin, Jr., G.W., *"Comparison of Several Apshalt Design Methods."* Final Report, Virginia Transportation Research Council, A Cooperative Organization Sponsored Jointly by the Virginia Department of Transportation and the University of Virginia, VRTC, 98-R15, 1998.

[97] Khan, Z.A., Al-Abdul Wahab, H.I., Asi, I. And Ramadhan, R., *"Comparative study of asphalt concrete laboratory compaction methods to simulate field compaction."* Construction and Building Materials, 12(6-7), 373-384, 1998.

[98] Ziauddin, A.K., Hamad, I.A.W., Ibrahim, A., Rezgallah, R., *"Comparative Study of Asphalt Concrete Laboratory Compaction Methods to Simulate Field Compaction"* Research report, Center for Engineering Research, Research Institue, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Saudi Arabia, 1998.

[99] Maupin, G.W.J., *"Comparison of Several Apshalt Design Methods"*, Virginia Transportation Research Council, Virginia Deparment of Transportation and the University of Virginia, 1998.

[100] Brown, R., *"Interim Report",* 31st Annual Rock Mountain Asphalt Conference, Colorado State University, 2000.

[101] Peterson, R.L., Mahboub, K.C., Anderson, R.M., Masad, E. And Tashman L., *"Comparing Superpave gyratory compactor data to fields cores",* Journal of materials in civil Engineering, 16(1), 78-83, 2004.

[102] Jackson N.M., Czor J., *"100-mm-Diameter Mold Used with Superpave Gyratory Compactor",* Journal of Materials in Civil Engineering, 60-66, 2003.

[103] Buchanan M.S., Brown. R, *"Effect of Superpave Gyratory Compactor Type on Compactor Type on Compacted Hot-Mix Asphalt Density"* Transportation Research Record, **1761**, 50-60, 2001.

[104] McGennis R.B., Anderson R.M., Perdomo D., Turner P., "*Issues Pertaining to Use of Superpave Gyratory Compactor",* Transportation Research Record, **1543**, 139-144, 1996.

[105] Dr. John Oliver, Allan Alderson, Peter Milne, *"A Review of Austroads Gyratory Compaction Research",* Austroads Report, Sydney, 2007.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[106] ASTM 2003, Standard Test Method for Compaction and Shear Properties of Bituminous Mixtures by Means of the U.S. Corps of Engineers Gyratory Testing Machine (GTM)[1]. ASTM D3387-83. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pa., 2003.

[107] Sinadinos C., Servo-Controlled Gyratory Compactor, Operating and Maintenance Manual, Firmware Version 2.04, Sep 22, 2005.

[108] IPC Servopac™ Gyratory Compactor Background & Routine Maintenance Guide, 2009.

[109] Faheem A. F., Bahia H. U., Ajideh H., *"Estimating results of proposed simple performance test for hot mix asphalt from Superpave gyratory compactor results"* Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 1929, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., 104-113, 2005.

[110] Anderson R.M., Turner P.A., Peterson R.L., Mallick R.B., *"Relationship of Superpave Gyratory Compaction Properties to HMA Rutting Behavior"* NCHRP Report 478, Transportation Research Board, Washington D.C., 2002.

[111] Karayolları Genel Müdürlüğü, *Karayolu teknik şartnamesi-2006*, KGM Yayınları, Ankara, 2006.

[112] Önal, M.A., Kahramangil M., *Bitümlü karısımlar laboratuar el kitabı*, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 1993.

[113] Keçeciler, A.F., Akkol, G., Gümrükçüoğlu, A., Gökçe, A.F., *Bitümlü malzemeler laboratuvar el kitabı*, KGM Yayınları, Ankara, 1990.

[114] Tunç A., *Yol malzemeleri ve Uygulamaları,* Atlas, İstanbul, Türkiye, 2001.

[115] ASTM D 4402-84, *"Standard Method for Viscosity determinations of unfilled asphalts using the brookfield thermosel apparatus",* 1984.

[116] Brookfield Thermosel Accessory with EZ-Lock, Operating Instruction, Manual No:M09-208, Brookfield Engineering Laboratories, Inc., 2009.

[117] More Solutions To Sticky Problems, Brookfield Engineering Labs., Inc., 2009.
http://www.can-am.net/suppliers/brookfield/more_solutions.pdf

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

[118] Airey G. D., *"Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens"* Fuel 82, 1709-1719, 2003.

[119] Uşar Ü., "*Polipropilen fiber katkılı yoğun bitümlü karışımların tekrarlı sünme deneyindeki reolojik davranışlarının incelenmesi"*, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2007.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-1 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 30 ve 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ:.35 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	p * Düzeltme F.	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*g/(SG$_{ag}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g						q/s
1	5,000	4,762	61,28	1152,0	683,4	468,6	2458	2538	11,388	85,481	3,131	14,519	78,433	3,119	2458	35	1281,4	1,09938	1357,490	4,719	287,665
2	5,000	4,762	61,31	1152,2	682,1	470,1	2451	2538	11,353	85,223	3,424	14,777	76,831	3,411	2451	35	1303,8	1,05844	1379,994	4,513	305,782
3	5,000	4,762	61,68	1157,0	685,5	471,5	2454	2538	11,367	85,324	3,309	14,676	77,451	3,297	2454	35	1169,3	1,04688	1224,117	4,287	285,542
4	5,000	4,762	61,38	1150,8	681,1	469,7	2450	2538	11,349	85,192	3,459	14,808	76,642	3,446	2450	35	1247,5	1,05625	1317,672	4,287	307,365
5	5,000	4,762	61,68	1153,7	682,4	471,3	2448	2538	11,339	85,117	3,544	14,883	76,187	3,532	2448	35	1184,6	1,04688	1240,134	3,932	315,395
6	5,000	4,762	61,64	1152,9	682,9	470,0	2453	2538	11,363	85,293	3,344	14,707	77,259	3,332	2453	35	1170,5	1,04813	1226,836	4,320	283,990
7	5,000	4,762	61,84	1152,5	679,4	473,1	2436	2538	11,284	84,705	4,001	15,295	73,776	3,999	2436	35	1129,9	1,04188	1177,220	3,949	298,106
8	5,000	4,762	61,95	1152,2	680,0	472,2	2440	2538	11,303	84,844	3,883	15,156	74,576	3,841	2440	35	1206,9	1,03875	1253,667	4,173	300,424
9	5,000	4,762	61,56	1150,9	681,1	469,8	2450	2538	11,348	85,181	3,471	14,819	76,577	3,458	2450	35	1157,2	1,05063	1215,789	4,215	288,443
10	5,000	4,762	61,74	1152,7	681,2	471,5	2445	2538	11,325	85,007	3,669	14,993	75,531	3,656	2445	35	1206,1	1,04500	1260,375	4,500	280,083
Ort.			61,61									14,863	76,326	3,509	2448	35			1265,329	4,290	295,279

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ | AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ | BİTİŞ:.30 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	p * Düzeltme F.	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*g/(SG$_{ag}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g						q/s
1	5,000	4,762	62,23	1155,0	681,8	473,2	2441	2538	11,306	84,870	3,823	15,130	74,730	3,811	2441	30	1216,8	1,03175	1255,433	4,619	271,798
2	5,000	4,762	62,18	1155,3	682,2	473,1	2442	2538	11,312	84,910	3,778	15,090	74,963	3,765	2442	30	1107,6	1,03300	1144,151	4,889	234,026
3	5,000	4,762	61,75	1153,5	682,1	471,4	2447	2538	11,335	85,084	3,581	14,916	75,990	3,569	2447	30	1138,2	1,04469	1189,066	4,861	244,613
4	5,000	4,762	61,37	1149,0	680,2	468,8	2451	2538	11,353	85,222	3,425	14,778	76,825	3,412	2451	30	1166,3	1,05656	1232,266	4,874	252,824
5	5,000	4,762	61,91	1154,1	682,3	471,8	2446	2538	11,331	85,056	3,613	14,944	75,823	3,600	2446	30	1091,8	1,03975	1135,199	4,498	252,379
6	5,000	4,762	62,12	1157,5	684,7	472,8	2448	2538	11,340	85,126	3,534	14,874	76,244	3,521	2448	30	1089,4	1,03450	1126,984	4,295	262,394
7	5,000	4,762	61,93	1150,6	678,1	472,5	2435	2538	11,280	84,672	4,048	15,328	73,592	4,035	2435	30	1051,3	1,03925	1092,564	3,651	299,250
8	5,000	4,762	61,68	1147,3	676,0	471,3	2434	2538	11,276	84,644	4,079	15,356	73,435	4,067	2434	30	1108,4	1,04688	1160,362	4,201	276,211
9	5,000	4,762	62,08	1152,4	678,8	473,6	2433	2538	11,271	84,608	4,121	15,392	73,228	4,108	2433	30	1128,3	1,03550	1168,355	3,905	299,195
10	5,000	4,762	62,09	1152,1	679,1	473,0	2436	2538	11,283	84,693	4,024	15,307	73,710	4,012	2436	30	1102,6	1,03525	1141,467	4,220	270,490
Ort.			61,93									15,111	74,854	3,790	2441	30			1164,585	4,401	266,318

Ek-2 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 40, 45 ve 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 45 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ad}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,40	1154,1	684,3	469,8	2457	2538	11,379	85,418	3,203	14,582	78,037	3,190	2457	45	1327,5	1,05563	1401,349	4,196	333,973
2	5,000	4,762	61,22	1151,0	681,8	469,2	2453	2538	11,363	85,297	3,339	14,703	77,288	3,327	2453	45	1167,2	1,06125	1238,691	3,571	346,875
3	5,000	4,762	61,31	1157,6	688,9	468,7	2470	2538	11,441	85,878	2,681	14,122	81,013	2,669	2470	45	1256,6	1,05844	1330,036	3,948	336,888
4	5,000	4,762	61,44	1151,2	682,8	468,4	2458	2538	11,385	85,458	3,157	14,542	78,288	3,145	2458	45	1269,8	1,05438	1338,852	4,252	314,876
Ort.			61,34									14,487	78,657	3,082	2459	45			1327,232	3,992	333,153

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 40 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ad}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,16	1152,7	684,1	468,6	2460	2538	11,395	85,533	3,073	14,467	78,762	3,060	2460	40	1187,9	1,06313	1262,892	3,872	326,160
2	5,000	4,762	61,13	1141,6	674,1	467,5	2442	2538	11,311	84,908	3,780	15,092	74,953	3,767	2442	40	1128,3	1,06406	1200,579	4,177	287,426
3	5,000	4,762	61,60	1154,3	683,1	471,2	2450	2538	11,348	85,179	3,474	14,821	76,563	3,461	2450	40	1196,1	1,04938	1255,163	3,990	314,577
4	5,000	4,762	61,22	1152,3	683,3	469,0	2457	2538	11,381	85,430	3,189	14,570	78,114	3,176	2457	40	1248,3	1,06125	1324,758	4,052	326,939
5	5,000	4,762	61,50	1150,5	680,6	469,9	2448	2538	11,341	85,133	3,525	14,867	76,288	3,513	2448	40	1197,8	1,05563	1264,434	4,204	300,769
Ort.			61,32									14,763	76,936	3,395	2451	40			1261,565	4,059	311,174

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 50 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ad}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,41	1156,9	687,4	469,5	2464	2538	11,414	85,680	2,906	14,320	79,708	2,893	2464	50	1220,1	1,05531	1287,584	3,795	339,284
2	5,000	4,762	60,98	1151,5	685,2	466,3	2469	2538	11,439	85,865	2,696	14,135	80,928	2,683	2469	50	1187,9	1,06875	1269,568	3,770	336,755
3	5,000	4,762	61,17	1150,9	684,3	466,6	2467	2538	11,426	85,765	2,809	14,235	80,266	2,796	2467	50	1234,2	1,06281	1311,720	3,959	331,326
4	5,000	4,762	60,54	1151,2	685,8	465,4	2474	2538	11,458	86,009	2,533	13,991	81,895	2,520	2474	50	1360,9	1,08250	1473,174	4,142	355,667
5	5,000	4,762	60,59	1155,2	689,0	466,2	2478	2538	11,478	86,160	2,362	13,840	82,932	2,349	2478	50	1317,0	1,08094	1423,598	3,869	367,950
6	5,000	4,762	61,08	1157,7	688,9	468,8	2469	2538	11,439	85,867	2,694	14,133	80,941	2,681	2469	50	1262,4	1,06563	1345,251	3,502	384,138
Ort.			60,96									14,109	81,112	2,654	2470	50			1351,816	3,840	352,520

Ek-3 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 55 ve 60 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 55 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

Birikmet No	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	HACİM (Toplama Göre) %			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Karışım	Agrega	Asfalta Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
a	b	a/(100+a)	c	d	e	f	i	j	k	g	l	m	n	o		p		q	s	t	q/s
Agrega Ağırlığına Göre						d-e	b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	d/(d-e)	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.			
1	5,000	4,762	61,25	1149,5	682,4	467,1	11,400	85,569	3,031	2461	14,431	78,995	3,018	2461	55	1337,1	1,06031	1417,741	3,413	415,394	
2	5,000	4,762	60,93	1151,3	685,6	465,7	11,452	85,961	2,587	2472	14,039	81,570	2,575	2472	55	1295,5	1,07031	1386,587	4,177	331,958	
3	5,000	4,762	60,68	1148,8	684,5	464,3	11,461	86,033	2,506	2474	13,967	82,059	2,493	2474	55	1339,4	1,07813	1444,047	4,232	341,221	
4	5,000	4,762	60,93	1153,3	687,1	466,2	11,460	86,022	2,519	2474	13,978	81,982	2,506	2474	55	1279,8	1,07031	1369,783	3,842	356,529	
5	5,000	4,762	61,28	1151,3	683,4	467,9	11,398	85,557	3,045	2461	14,443	78,915	3,033	2461	55	1177,1	1,05938	1246,996	4,018	310,352	
Ort.			**61,01**								**14,172**	**80,704**	**2,725**	**2468**	**55**			**1373,031**	**3,936**	**351,091**	

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 60 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

Birikmet No	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	HACİM (Toplama Göre) %			BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Karışım	Agrega	Asfalta Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
a	b	a/(100+a)	c	d	e	f	i	j	k	g	l	m	n	o		p		q	s	t	q/s
Agrega Ağırlığına Göre						d-e	b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	d/(d-e)	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.			
1	5,000	4,762	59,91	1147,0	684,9	462,1	11,498	86,307	2,195	2482	13,693	83,969	2,182	2482	60	1293,8	1,10219	1426,013	3,519	405,233	
2	5,000	4,762	60,09	1150,9	687,4	463,5	11,502	86,339	2,159	2483	13,661	84,196	2,146	2483	60	1415,5	1,09656	1552,181	4,399	352,849	
3	5,000	4,762	60,55	1152,8	687,7	465,1	11,481	86,184	2,335	2479	13,816	83,102	2,322	2479	60	1401,4	1,08219	1516,581	4,003	378,861	
Ort.			**60,18**								**13,723**	**83,755**	**2,217**	**2481**	**60**			**1498,258**	**3,974**	**378,981**	

Ek-4 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 70 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

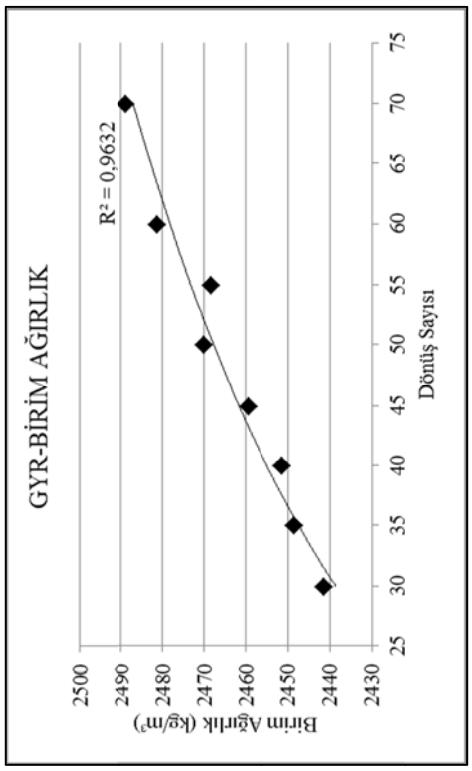
KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: 70 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	0,0	‰	

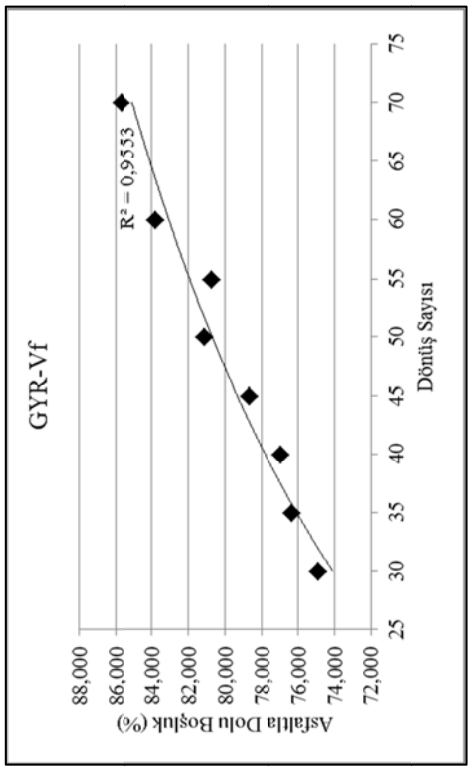
BİRLEŞİM NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		mm	
a	b	c		d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q	p * Düzeltme F.	s	t
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)					d-e	d/(d-e)			$b*g/(SG_{ef})$	(100-b)*g/SG_{ag}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g							q/s
1	5,000	4,762	60,01	1147,6	685,6	462,0	2484	2538		11,506	86,371	2,123	13,629	84,424	2,110	2484	70	1404,8	1,09906	1543,959	4,324	357,067	
2	5,000	4,762	60,37	1153,4	688,7	464,7	2482	2538		11,497	86,303	2,200	13,697	83,940	2,187	2482	70	1421,3	1,08781	1546,104	4,632	333,788	
3	5,000	4,762	60,15	1148,3	686,1	462,2	2484	2538		11,508	86,386	2,106	13,614	84,534	2,093	2484	70	1384,9	1,09469	1516,036	4,392	345,181	
4	5,000	4,762	60,41	1151,6	688,6	463,0	2487	2538		11,521	86,485	1,994	13,515	85,248	1,981	2487	70	1363,4	1,08656	1481,416	3,920	377,912	
5	5,000	4,762	60,19	1149,5	686,5	463,0	2483	2538		11,500	86,327	2,173	13,673	84,111	2,160	2483	70	1470,1	1,09344	1607,466	4,122	389,972	
6	5,000	4,762	60,44	1153,2	688,7	464,5	2483	2538		11,500	86,325	2,175	13,675	84,098	2,162	2483	70	1324,5	1,08563	1437,917	4,121	348,924	
7	5,000	4,762	60,44	1151,8	687,5	464,3	2481	2538		11,491	86,258	2,251	13,742	83,618	2,238	2481	70	1331,1	1,08563	1445,082	4,040	357,694	
8	5,000	4,762	60,33	1151,4	688,2	463,2	2486	2538		11,515	86,432	2,053	13,568	84,867	2,040	2486	70	1308,7	1,08906	1425,253	3,835	371,643	
9	5,000	4,762	60,45	1155,0	689,9	465,1	2483	2538		11,503	86,348	2,148	13,652	84,264	2,135	2483	70	1399,8	1,08531	1519,217	4,072	373,089	
10	5,000	4,762	60,01	1150,4	687,6	462,8	2486	2538		11,514	86,432	2,054	13,568	84,864	2,041	2486	70	1478,4	1,09906	1624,850	4,260	381,420	
11	5,000	4,762	60,34	1154,9	690,3	464,6	2486	2538		11,515	86,434	2,051	13,566	84,878	2,039	2486	70	1437,0	1,08875	1564,534	4,338	360,658	
12	5,000	4,762	60,67	1157,9	691,5	466,4	2483	2538		11,500	86,324	2,176	13,676	84,089	2,163	2483	70	1293,0	1,07844	1394,423	4,049	344,387	
13	5,000	4,762	60,04	1148,5	686,4	462,1	2485	2538		11,513	86,420	2,067	13,580	84,777	2,054	2485	70	1433,700	1,09813	1574,389	4,503	349,631	
14	5,000	4,762	59,75	1144,3	684,7	459,6	2490	2538		11,533	86,572	1,895	13,428	85,890	1,882	2490	70	1430,400	1,07719	1540,813	3,771	408,595	
15	5,000	4,762	60,42	1157,6	692,8	464,8	2491	2538		11,537	86,599	1,865	13,401	86,086	1,852	2491	70	1481,700	1,08625	1609,497	4,216	381,759	
16	5,000	4,762	60,00	1151,8	689,6	462,2	2492	2538		11,543	86,649	1,807	13,351	86,464	1,794	2492	70	1522,700	1,09938	1674,026	4,226	396,125	
17	5,000	4,762	60,12	1151,7	688,6	463,1	2487	2538		11,520	86,474	2,006	13,526	85,166	1,994	2487	70	1417,200	1,09563	1552,727	4,276	363,126	
18	5,000	4,762	60,20	1150,1	686,9	463,2	2483	2538		11,502	86,335	2,164	13,665	84,166	2,151	2483	70	1573,000	1,09313	1719,493	4,151	414,236	
19	5,000	4,762	60,09	1149,9	687,0	462,9	2484	2538		11,507	86,376	2,117	13,624	84,459	2,105	2484	70	1493,300	1,09656	1637,493	4,468	366,494	
20	5,000	4,762	60,20	1152,3	689,1	463,2	2488	2538		11,524	86,500	1,977	13,500	85,359	1,964	2488	70	1461,000	1,09313	1597,063	4,214	378,990	
21	5,000	4,762	60,39	1152,1	688,0	464,1	2482	2538		11,499	86,317	2,184	13,683	84,041	2,171	2482	70	1365,800	1,08719	1484,884	4,191	354,303	
22	5,000	4,762	60,32	1150,8	687,2	463,6	2482	2538		11,499	86,313	2,189	13,687	84,010	2,176	2482	70	1406,100	1,08938	1531,777	4,285	357,474	
23	5,000	4,762	59,99	1152,7	690,7	462,0	2495	2538		11,557	86,755	1,688	13,245	87,257	1,675	2495	70	1522,400	1,09969	1674,168	4,574	366,018	
24	5,000	4,762	60,25	1153,3	690,3	463,0	2491	2538		11,538	86,612	1,849	13,388	86,188	1,836	2491	70	1445,300	1,09156	1577,632	3,957	398,694	
25	5,000	4,762	59,36	1144,9	686,9	458,0	2500	2538		11,579	86,920	1,500	13,080	88,530	1,487	2500	70	1498,300	1,11938	1677,167	4,510	371,877	
26	5,000	4,762	60,20	1153,1	690,1	463,0	2490	2538		11,536	86,597	1,866	13,403	86,076	1,853	2490	70	1440,300	1,09313	1574,435	4,576	344,064	
27	5,000	4,762	59,80	1149,1	688,6	460,5	2495	2538		11,559	86,765	1,676	13,235	87,339	1,663	2495	70	1465,200	1,10563	1619,969	4,028	402,177	
28	5,000	4,762	60,09	1152,5	690,4	462,1	2494	2538		11,553	86,721	1,726	13,279	87,001	1,713	2494	70	1380,700	1,09656	1514,020	4,208	359,796	
29	5,000	4,762	59,97	1153,7	691,4	462,3	2496	2538		11,560	86,774	1,666	13,226	87,401	1,654	2496	70	1481,700	1,10031	1630,329	4,486	363,426	
30	5,000	4,762	59,80	1150,3	689,9	460,4	2498	2538		11,573	86,875	1,552	13,125	88,178	1,539	2498	70	1506,600	1,10563	1665,742	4,261	390,928	
31	5,000	4,762	59,76	1151,0	689,6	461,4	2495	2538		11,555	86,739	1,705	13,261	87,141	1,692	2495	70	1555,600	1,10688	1721,863	4,343	396,468	
32	5,000	4,762	60,10	1151,9	689,4	462,5	2491	2538		11,537	86,601	1,862	13,399	86,101	1,849	2491	70	1458,600	1,09625	1598,990	4,368	366,069	
33	5,000	4,762	59,96	1148,8	688,3	460,5	2495	2538		11,556	86,743	1,701	13,257	87,167	1,688	2495	70	1487,500	1,10063	1637,187	4,132	396,221	
34	5,000	4,762	59,93	1151,0	689,4	461,6	2494	2538		11,550	86,702	1,748	13,298	86,857	1,735	2494	70	1481,700	1,10156	1632,181	3,925	415,842	
35	5,000	4,762	59,87	1151,5	689,8	461,7	2494	2538		11,553	86,721	1,726	13,279	86,999	1,713	2494	70	1437,900	1,10344	1586,636	4,217	376,248	
36	5,000	4,762	59,86	1150,7	690,0	460,7	2498	2538		11,570	86,849	1,582	13,151	87,975	1,569	2498	70	1500,000	1,10375	1655,625	4,627	357,818	
Ort.			60,12										13,462	85,655	1,921	2489	70			1577,621	4,239	372,725	

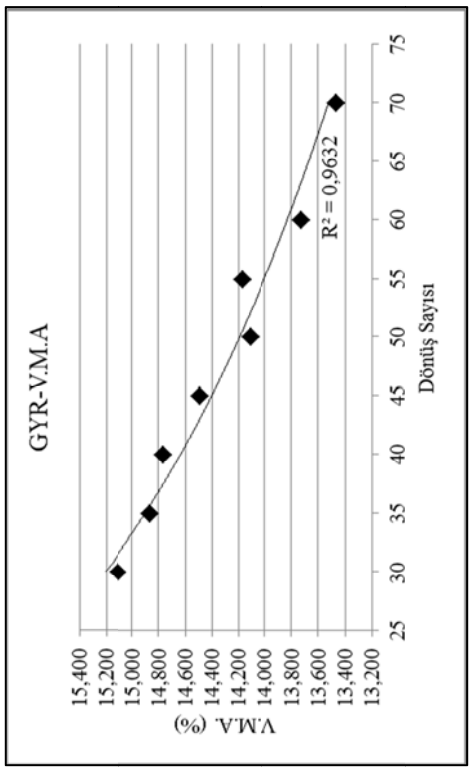
Ek-5 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, farklı dönüş sayılarına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları

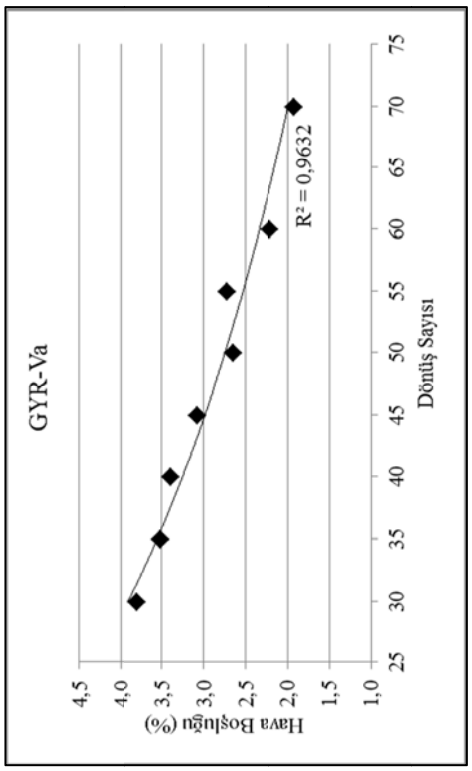
ORTALAMAYA ALINAN NUMUNE ADEDİ	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³			BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ PP KATKISI : 0,0 ‰				SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI BİTİŞ: GYR SAYISI																	
	AÇ	AÇ	BİRİKİT	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	%	%	YÜKSEKLİĞİ (mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ak}$)	(100-b)*g/SG$_{ag}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g		p * Düzeltme F.			q/s	
10	5,000	4,762	61,93	1152,7	680,5	472,2	2441	2538	11,309	84,889	3,803	15,111	74,854	3,790	2441	**30**	1120,1	1,03971	1164,585	4,401	266,318
10	5,000	4,762	61,61	1152,7	681,9	470,8	2448	2538	11,342	85,137	3,522	14,863	76,326	3,509	2448	**35**	1205,7	1,04922	1265,329	4,290	295,279
5	5,000	4,762	61,32	1150,3	681,0	469,2	2451	2538	11,355	85,237	3,408	14,763	76,936	3,395	2451	**40**	1191,7	1,05869	1261,565	4,059	311,174
4	5,000	4,762	61,34	1153,5	684,5	469,0	2459	2538	11,392	85,513	3,095	14,487	78,657	3,082	2459	**45**	1255,3	1,05743	1327,232	3,992	333,153
6	5,000	4,762	60,96	1153,9	686,8	467,1	2470	2538	11,442	85,891	2,667	14,109	81,112	2,654	2470	**50**	1263,8	1,06932	1351,816	3,840	352,520
5	5,000	4,762	61,01	1150,8	684,6	466,2	2468	2538	11,434	85,828	2,738	14,172	80,704	2,725	2468	**55**	1285,8	1,06769	1373,031	3,936	351,091
3	5,000	4,762	60,18	1150,2	686,7	463,6	2481	2538	11,494	86,277	2,230	13,723	83,755	2,217	2481	**60**	1370,2	1,09365	1498,258	3,974	378,981
36	5,000	4,762	60,12	1151,4	688,7	462,6	2489	2538	11,529	86,538	1,934	13,462	85,655	1,921	2489	**70**	1440,7	1,09483	1577,621	4,239	372,725

Ek-6 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, farklı dönüş sayılarına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri



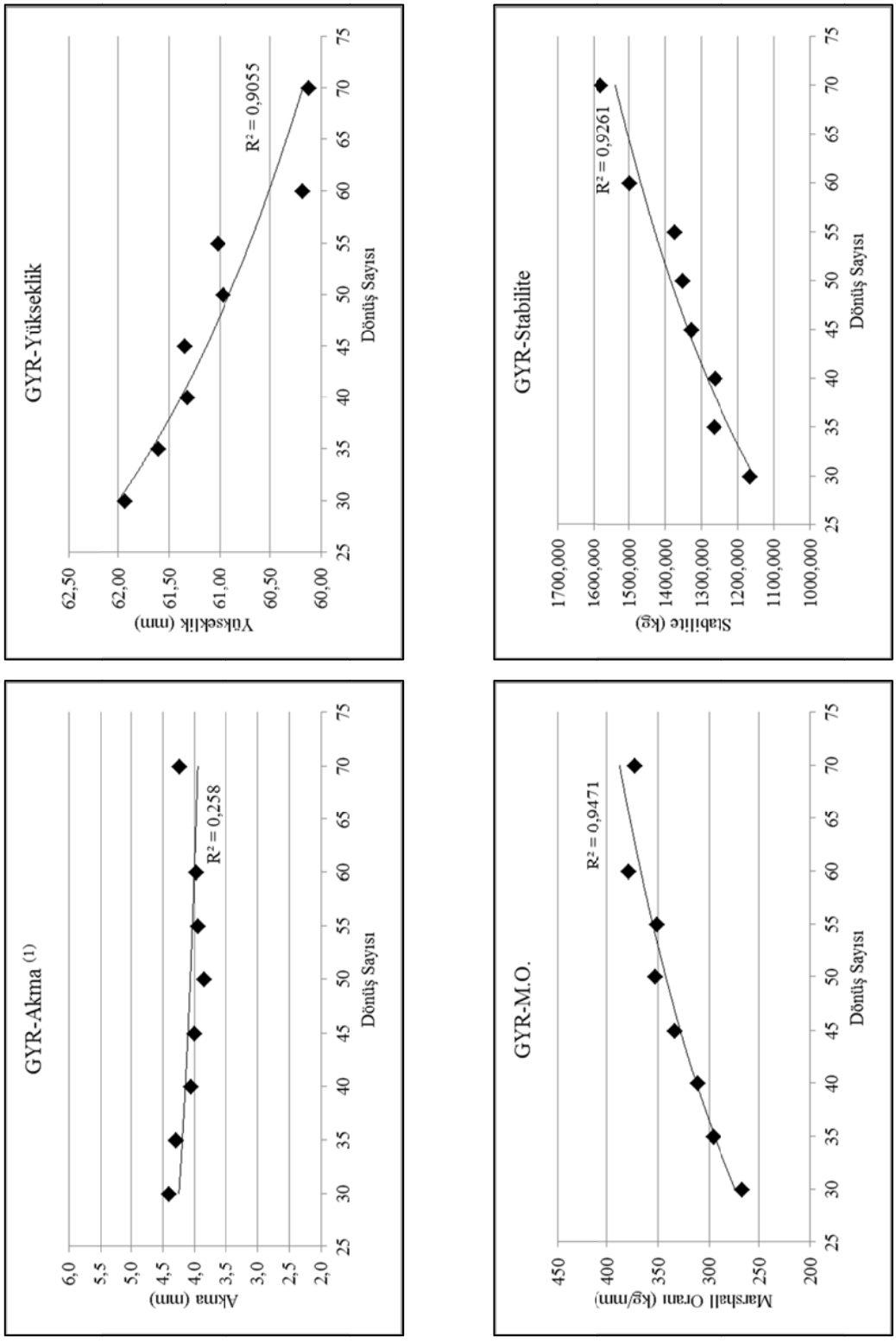






ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(1) GYR-Akma grafiğindeki düşük R^2 değerleri akma değerlerinin 600kPa sıkıştırma paterninde dönüş sayısı ile pek de bağlantılı olmadığının bir göstergesidir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-7 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 30 ve 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

BİRİKEŞ NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	PP KATKISI : 5,5 ‰	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI	BİTİŞ:.30 GYR SAYISI																	
	AÇ %	AÇ %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK(kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ		
				Havada	Suda		Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t	
	Agrega Ağırlığına Göre	a(100+a)				d-e	d/(d+e)				$b*g/(SG_{ag})$	$(100-b)*g/SG_{ag}$	100-i-j	100-j	i.l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s		
1	5,000	4,762	62,38	1150,0	674,3	475,7	2417	2533		11,387	84,059	4,555	15,941	71,429	4,542	2417	30	1697,6	1,02800	1745,133	3,983	438,145		
2	5,000	4,762	63,99	1162,2	675,0	487,2	2385	2533		11,236	82,945	5,819	17,055	65,881	5,806	2385	30	1769,9	0,96080	1700,520	4,058	419,054		
3	5,000	4,762	62,66	1153,4	676,1	477,3	2417	2533		11,382	84,025	4,593	15,975	71,248	4,581	2417	30	1728,4	1,02100	1764,696	3,827	461,117		
4	5,000	4,762	63,42	1153,5	671,3	482,2	2392	2533		11,267	83,178	5,555	16,822	66,980	5,542	2392	30	1798,1	1,00200	1801,696	4,204	428,567		
5	5,000	4,762	63,39	1150,3	669,2	481,1	2391	2533		11,262	83,137	5,601	16,863	66,784	5,589	2391	30	1845,5	1,00275	1850,575	4,467	414,277		
6	5,000	4,762	62,31	1153,3	676,6	476,7	2419	2533		11,395	84,123	4,481	15,877	71,773	4,469	2419	30	1852,1	1,02975	1907,200	4,328	440,665		
Ort.	5,000	4,762	63,03	1153,8	673,8	480,0	2404	2533		11,321	83,578	5,101	16,422	69,016	5,088	2404	30	1781,9	1,00738	1794,970	4,145	433,638		

BİRİKEŞ NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	PP KATKISI : 5,5 ‰	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI	BİTİŞ:.35 GYR SAYISI																	
	AÇ %	AÇ %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK(kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ		
				Havada	Suda		Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş			
	a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t	
	Agrega Ağırlığına Göre	a(100+a)				d-e	d/(d+e)				$b*g/(SG_{ag})$	$(100-b)*g/SG_{ag}$	100-i-j	100-j	i.l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s		
1	5,000	4,762	62,53	1147,1	672,2	474,9	2415	2533		11,377	83,988	4,635	16,012	71,054	4,622	2415	35	1667,7	1,02425	1708,142	3,777	452,248		
2	5,000	4,762	62,80	1153,9	675,8	478,1	2414	2533		11,368	83,921	4,712	16,079	70,698	4,699	2414	35	1862,1	1,01750	1894,687	3,858	491,106		
3	5,000	4,762	62,17	1149,3	675,5	473,8	2426	2533		11,425	84,345	4,230	15,655	72,980	4,218	2426	35	1892,8	1,03325	1955,736	3,495	559,581		
4	5,000	4,762	61,61	1144,1	672,7	471,4	2427	2533		11,432	84,390	4,178	15,610	73,234	4,166	2427	35	1845,5	1,04906	1936,040	4,011	482,683		
5	5,000	4,762	61,01	1136,7	668,8	467,9	2429	2533		11,443	84,472	4,086	15,528	73,689	4,073	2429	35	1876,2	1,06781	2003,425	3,807	526,248		
6	5,000	4,762	61,64	1151,3	677,0	474,3	2427	2533		11,433	84,402	4,165	15,598	73,300	4,152	2427	35	1890,3	1,04813	1981,280	3,766	526,097		
7	5,000	4,762	63,05	1171,0	688,9	482,1	2429	2533		11,441	84,458	4,102	15,542	73,609	4,089	2429	35	1985,0	1,01125	2007,331	3,683	545,026		
Ort.	5,000	4,762	62,12	1150,5	675,8	474,643	2424	2533		11,417	84,282	4,301	15,718	72,652	4,288	2424	35	1859,9	1,03589	1926,663	3,771	511,855		

Ek-8 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 40, 45 ve 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI: 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 40 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AÇ %	AÇ %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*g/(SG$_{ort}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,66	1156,9	679,3	477,6	2422	2533	11,409	84,227	4,364	15,773	72,334	4,351	2422	40	1886,2	1,02100	1925,810	3,615	532,728
2	5,000	4,762	62,03	1156,5	681,0	475,5	2432	2533	11,456	84,570	3,975	15,430	74,241	3,962	2432	40	1911,1	1,03675	1981,333	3,380	586,193
3	5,000	4,762	61,08	1158,0	670,1	487,9	2373	2533	11,179	82,527	6,294	17,473	63,980	6,282	2373	40	1645,3	0,95782	1575,901	3,639	433,059
Ort.	5,000	4,762	61,92	1157,1	676,8	480,3	2409	2533	11,348	83,774	4,877	16,226	70,185	4,865	2409	40	1814,2	1,00519	1827,681	3,545	517,327

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI: 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 45 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AÇ %	AÇ %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*g/(SG$_{ort}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,10	1119,2	649,3	469,9	2382	2533	11,218	82,817	5,964	17,183	65,289	5,952	2382	45	1681,8	1,03500	1740,663	3,550	490,328
2	5,000	4,762	62,15	1154,0	679,4	474,6	2432	2533	11,453	84,547	4,001	15,453	74,112	3,988	2432	45	1987,5	1,03375	2054,578	3,919	524,261
3	5,000	4,762	61,68	1153,7	680,7	473,0	2439	2533	11,488	84,811	3,701	15,189	75,635	3,688	2439	45	1970,9	1,04688	2063,296	3,507	588,336
Ort.	5,000	4,762	61,98	1142,3	669,8	472,5	2417	2533	11,387	84,058	4,555	15,942	71,679	4,543	2417	45	1880,1	1,03854	1952,846	3,659	534,308

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI: 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 50 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AÇ %	AÇ %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*g/(SG$_{ort}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	62,82	1150,9	672,2	478,7	2404	2533	11,324	83,597	5,078	16,403	69,038	5,066	2404	50	1659,4	1,01700	1687,610	6,662	253,319
2	5,000	4,762	61,46	1146,2	677,1	469,1	2443	2533	11,509	84,960	3,532	15,040	76,519	3,519	2443	50	1924,4	1,05375	2027,837	3,278	618,620
3	5,000	4,762	60,89	1135,8	670,5	465,3	2441	2533	11,497	84,877	3,626	15,123	76,023	3,614	2441	50	1835,5	1,07156	1966,848	3,625	542,579
Ort.	5,000	4,762	61,72	1144,3	673,3	471,0	2430	2533	11,443	84,478	4,079	15,522	73,860	4,066	2430	50	1806,4	1,04744	1894,098	4,522	471,506

Ek-9 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 55, 60 ve 65 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 55 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{ag})	(100-b)*g/SG_{ag}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,29	1151,5	682,0	469,5	2453	2533	11,552	85,280	3,168	14,720	78,478	3,155	2453	55	1959,3	1,05906	2075,016	3,849	539,105
2	5,000	4,762	61,58	1151,9	680,1	471,8	2442	2533	11,500	84,894	3,607	15,106	76,125	3,594	2442	55	1914,4	1,05000	2010,120	5,483	366,610
3	5,000	4,762	61,76	1155,0	682,1	472,9	2442	2533	11,504	84,924	3,572	15,076	76,306	3,559	2442	55	1970,0	1,04438	2057,429	3,652	563,370
Ort.	5,000	4,762	61,54	1152,8	681,4	471,4	2445	2533	11,519	85,033	3,449	14,967	76,970	3,436	2445	55	1947,9	1,05115	2047,522	4,328	489,695

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 60 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{ag})	(100-b)*g/SG_{ag}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,94	1151,3	682,4	468,9	2455	2533	11,565	85,374	3,061	14,626	79,071	3,048	2455	60	1892,0	1,07000	2024,440	4,038	501,347
2	5,000	4,762	61,11	1152,8	683,3	469,5	2455	2533	11,565	85,376	3,059	14,624	79,084	3,046	2455	60	2040,6	1,06469	2172,606	3,951	549,888
3	5,000	4,762	61,34	1152,1	681,4	470,7	2448	2533	11,529	85,107	3,365	14,893	77,409	3,352	2448	60	1927,7	1,05750	2038,543	4,543	448,722
Ort.	5,000	4,762	61,13	1152,1	682,4	469,7	2453	2533	11,553	85,286	3,161	14,714	78,521	3,149	2453	60	1953,4	1,06406	2078,530	4,177	499,986

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: 65 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 5,5 ‰

BİRLEŞİM NO	AC %	AC	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG_{ag})	(100-b)*g/SG_{ag}	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	61,42	1153,4	682,1	471,3	2447	2533	11,527	85,094	3,379	14,906	77,333	3,366	2447	65	1955,1	1,05500	2062,631	3,737	551,948
2	5,000	4,762	60,74	1148,7	681,0	467,7	2456	2533	11,568	85,400	3,032	14,600	79,235	3,019	2456	65	1893,6	1,07625	2037,987	3,519	579,138
Ort.	5,000	4,762	61,08	1151,1	681,6	469,5	2452	2533	11,548	85,247	3,205	14,753	78,284	3,193	2452	65	1924,4	1,06563	2050,309	3,628	565,543

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-10 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 70 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1011	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: 70 GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	5,5	‰	

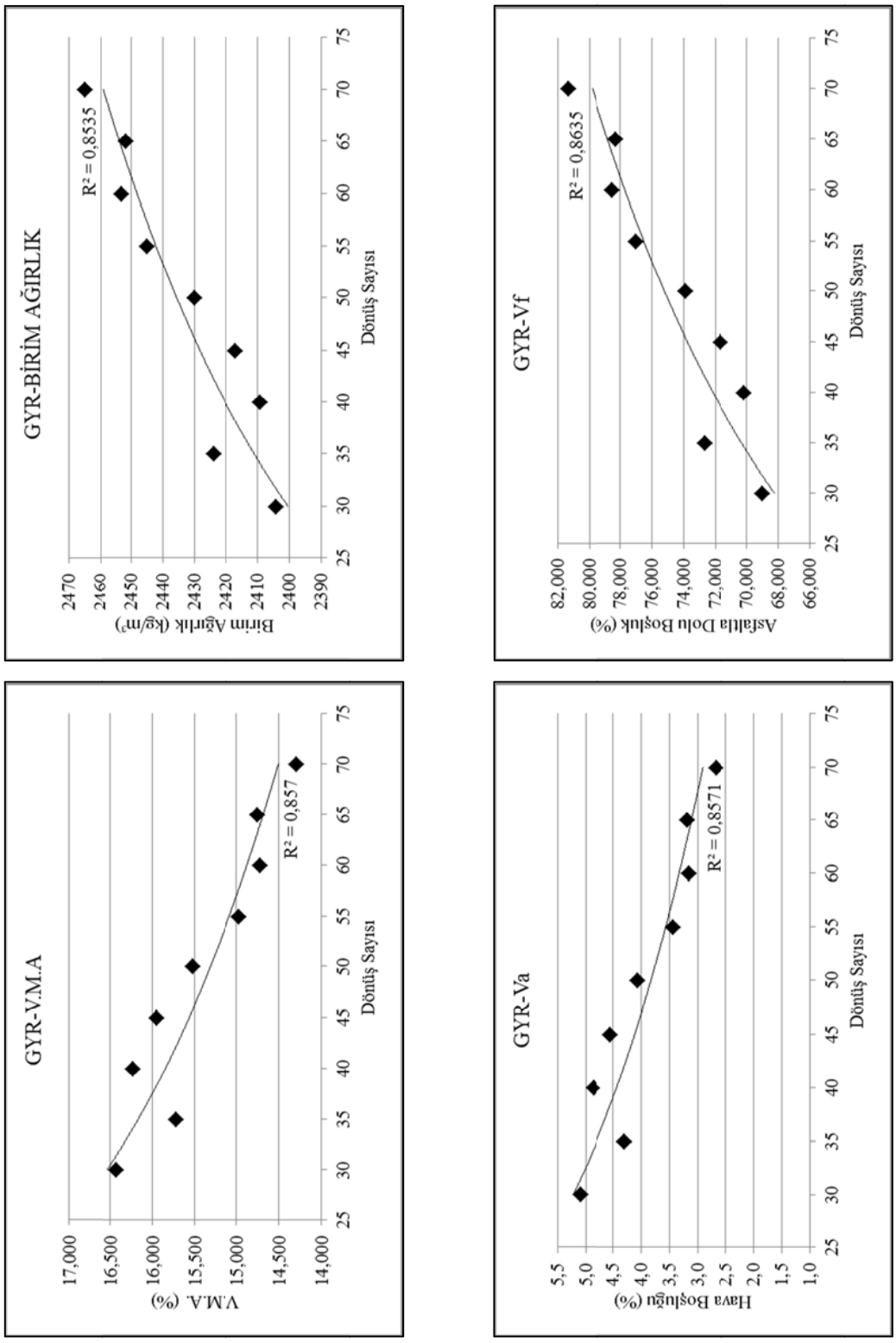
BİRİKEŞ NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK(gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK(kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE(kg)			AKMA	MQ
																	Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	$b*g/(SG_{ab})$	$(100-b)*g/SG_{ag}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	Toplam Karışım	100-100g/h				p * Düzeltme F.		q/s
1	5,000	4,762	60,01	1143,1	680,8	462,3	2473	2533	11,646	85,976	2,377	14,024	83,048	2,365	2473	70	1977,500	1,09906	2173,391	3,980	546,078
2	5,000	4,762	60,88	1157,7	688,3	469,4	2466	2533	11,617	85,757	2,626	14,243	81,563	2,613	2466	70	2047,900	1,07188	2195,103	4,463	491,845
3	5,000	4,762	60,70	1155,6	687,4	468,2	2468	2533	11,625	85,821	2,553	14,179	81,991	2,541	2468	70	2010,500	1,07750	2166,314	3,818	567,395
4	5,000	4,762	60,61	1154,0	686,3	467,7	2467	2533	11,622	85,794	2,584	14,206	81,808	2,572	2467	70	2088,500	1,08031	2256,227	4,011	562,510
5	5,000	4,762	60,72	1154,1	687,0	467,1	2471	2533	11,638	85,912	2,451	14,088	82,605	2,438	2471	70	2046,300	1,07688	2203,620	3,639	605,556
6	5,000	4,762	60,89	1155,3	685,9	469,4	2461	2533	11,593	85,580	2,828	14,420	80,390	2,815	2461	70	2066,000	1,07156	2213,843	3,661	604,710
7	5,000	4,762	60,54	1150,1	684,2	465,9	2469	2533	11,627	85,834	2,538	14,166	82,080	2,526	2469	70	2129,100	1,08250	2304,751	4,171	552,566
8	5,000	4,762	61,07	1154,2	685,7	468,5	2464	2533	11,604	85,662	2,734	14,338	80,933	2,721	2464	70	1944,300	1,06594	2072,507	3,797	545,828
9	5,000	4,762	59,82	1149,3	686,9	462,4	2486	2533	11,707	86,424	1,869	13,576	86,233	1,856	2486	70	2138,900	1,10500	2363,485	3,213	735,601
10	5,000	4,762	60,23	1149,4	685,8	463,6	2479	2533	11,678	86,208	2,115	13,792	84,669	2,102	2479	70	2095,000	1,09219	2288,138	3,780	605,328
11	5,000	4,762	60,64	1153,4	686,8	466,6	2472	2533	11,643	85,952	2,405	14,048	82,878	2,393	2472	70	2100,700	1,07938	2267,454	3,785	599,063
12	5,000	4,762	60,07	1148,9	685,0	463,9	2477	2533	11,665	86,115	2,220	13,885	84,009	2,208	2477	70	1994,100	1,09719	2187,907	3,853	567,845
13	5,000	4,762	62,26	1155,3	676,7	478,6	2414	2533	11,370	83,935	4,696	16,065	70,772	4,683	2414	70	1925,200	1,09125	2100,875	3,966	529,721
14	5,000	4,762	61,07	1150,8	679,8	471,0	2443	2533	11,508	84,957	3,535	15,043	76,501	3,522	2443	70	1968,400	1,06594	2098,196	3,798	552,448
15	5,000	4,762	60,80	1152,7	685,2	467,5	2466	2533	11,614	85,734	2,652	14,266	81,407	2,640	2466	70	2028,400	1,07438	2179,272	3,456	630,577
16	5,000	4,762	61,01	1156,1	687,3	468,8	2466	2533	11,615	85,748	2,636	14,252	81,504	2,623	2466	70	2043,800	1,06781	2182,390	4,022	542,613
17	5,000	4,762	60,60	1154,7	687,2	467,5	2470	2533	11,634	85,883	2,484	14,117	82,408	2,471	2470	70	2054,400	1,08063	2220,046	3,866	574,249
18	5,000	4,762	60,91	1155,3	686,3	469,0	2463	2533	11,602	85,653	2,745	14,347	80,868	2,732	2463	70	1905,300	1,07094	2040,462	3,733	546,601
19	5,000	4,762	61,13	1156,7	688,0	468,7	2468	2533	11,624	85,811	2,565	14,189	81,924	2,552	2468	70	2164,900	1,06406	2303,583	3,468	664,240
20	5,000	4,762	60,74	1151,5	684,3	467,2	2465	2533	11,609	85,700	2,691	14,300	81,180	2,679	2465	70	2166,500	1,07625	2331,696	3,783	616,362
21	5,000	4,762	60,32	1149,4	684,8	464,6	2474	2533	11,653	86,022	2,325	13,978	83,365	2,312	2474	70	1990,300	1,08938	2070,149	3,916	528,639
22	5,000	4,762	61,68	1157,9	684,4	473,5	2445	2533	11,518	85,030	3,452	14,970	76,939	3,440	2445	70	2034,900	1,04688	2130,296	3,789	562,232
23	5,000	4,762	60,36	1149,4	684,2	465,2	2471	2533	11,638	85,911	2,451	14,089	82,602	2,438	2471	70	2177,900	1,08813	2369,838	3,845	616,343
24	5,000	4,762	61,18	1157,6	687,4	470,2	2462	2533	11,596	85,604	2,800	14,396	80,550	2,787	2462	70	2061,700	1,06250	2190,556	3,840	570,457
Ort.	**5,000**	**4,762**	**60,76**	**1153,0**	**685,2**	**467,8**	**2465**	**2533**	**11,610**	**85,709**	**2,681**	**14,291**	**81,343**	**2,668**	**2465**	**70**	**2044,6**	**1,07823**	**2204,587**	**3,819**	**579,950**

Ek-11 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları

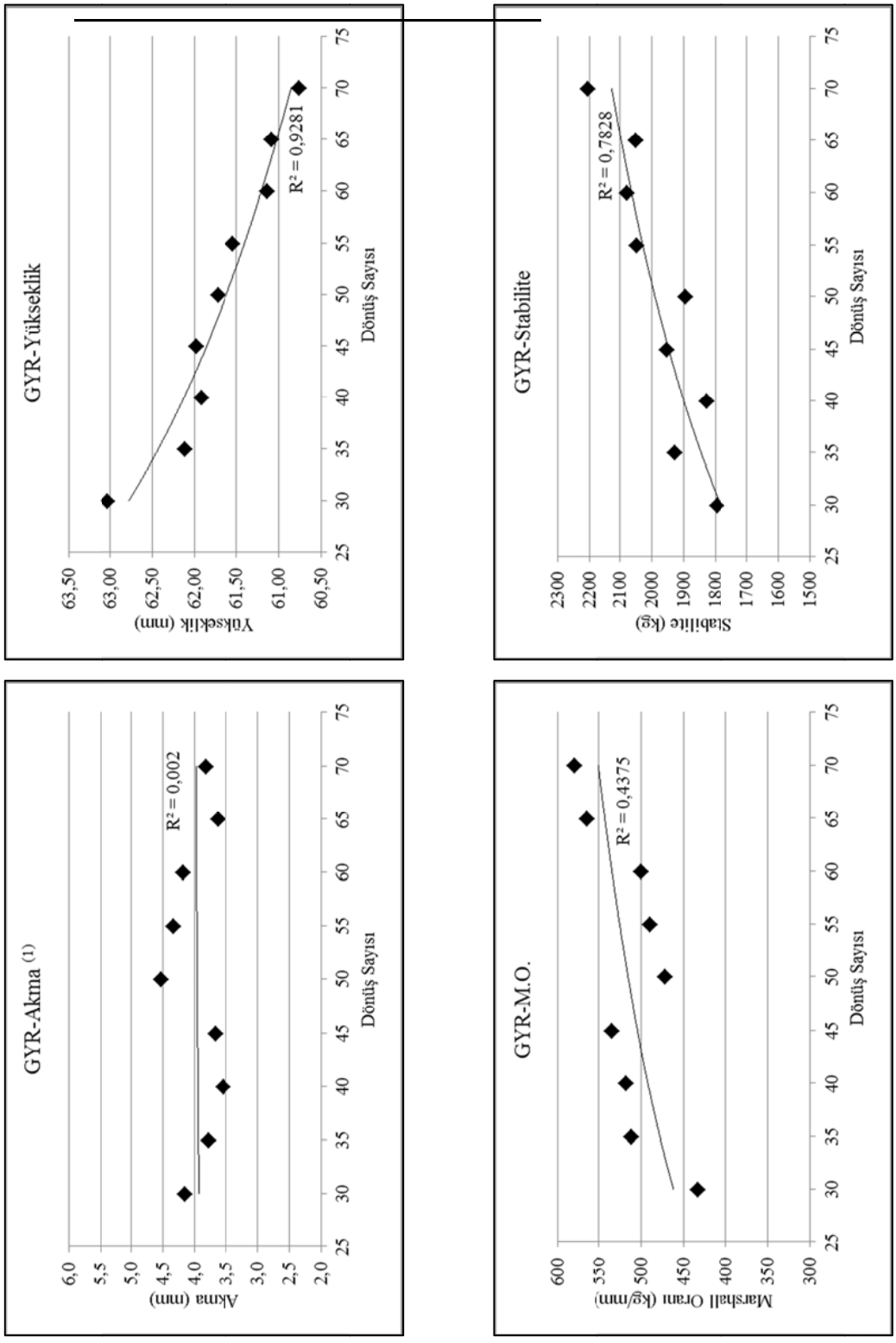
KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	5,5	‰	

ORTALAMAYA ALINAN NUMUNE ADEDİ	AÇ %	AÇ %	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda		Karışım	Karışım / Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
a	b		c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d+e)		b*gt/(SG$_{ast}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100gh	g			p * Düzeltme F.		q/s	
6	5,000	4,762	63,03	1153,8	673,8	480,0	2404	2533	11,321	83,578	5,101	16,422	69,016	5,088	2404	30	1781,9	1,00738	1794,970	4,145	433,638
7	5,000	4,762	62,12	1150,5	675,8	474,6	2424	2533	11,417	84,282	4,301	15,718	72,652	4,288	2424	35	1859,9	1,03589	1926,663	3,771	511,855
3	5,000	4,762	61,92	1157,1	676,8	480,3	2409	2533	11,348	83,774	4,877	16,226	70,185	4,865	2409	40	1814,2	1,00519	1827,681	3,545	517,327
3	5,000	4,762	61,98	1142,3	669,8	472,5	2417	2533	11,387	84,058	4,555	15,942	71,679	4,543	2417	45	1880,1	1,03854	1952,846	3,659	534,308
3	5,000	4,762	61,72	1144,3	673,3	471,0	2430	2533	11,443	84,478	4,079	15,522	73,860	4,066	2430	50	1806,4	1,04744	1894,098	4,522	471,506
3	5,000	4,762	61,54	1152,8	681,4	471,4	2445	2533	11,519	85,033	3,449	14,967	76,970	3,436	2445	55	1947,9	1,05115	2047,522	4,328	489,695
3	5,000	4,762	61,13	1152,1	682,4	469,7	2453	2533	11,553	85,286	3,161	14,714	78,521	3,149	2453	60	1953,4	1,06406	2078,530	4,177	499,986
2	5,000	4,762	61,08	1151,1	681,6	469,5	2452	2533	11,548	85,247	3,205	14,753	78,284	3,193	2452	65	1924,4	1,06563	2050,309	3,628	565,543
24	5,000	4,762	60,76	1153,0	685,2	467,8	2465	2533	11,610	85,709	2,681	14,291	81,343	2,668	2465	70	2044,6	1,07823	2204,587	3,819	579,950

Ek-12 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(1) GYR-Akma grafiğindeki düşük R^2 değerleri akma değerlerinin 600 kPa sıkıştırma paterninde dönüş sayısı ile bağlantılı olmadığının bir göstergesidir. Ayrıca akma değerlerinin dengesizliği Marshall Oranı değerlerini de düzensizleştirmiştir ve daha sonraki çalışmalarda etraflıca irdelenmelidir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-13 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:240 kPa BASINÇ-2.00 DERECE YOĞURMA AÇISI
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739 kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
	İLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0 kg / m³	PP KATKISI :	0,0 ‰	

BİRİKEN NO	AÇ	AÇ	BİRİKEŞ YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)				ARMA	MQ
																	Deneysel	Düzeltme Faktörü	p * Düzeltme F.	Düzeltilmiş		
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)				q	s		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p						
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{ab}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i.l * 100	100-100g/h	g							q/s
1	5,000	4,762	62,98	1153,9	675,8	478,1	2414	2538	11,180	83,921	4,900	16,079	69,529	4,887	2414	30	959,6	1,01300	972,075	5,112	190,155	
2	5,000	4,762	63,04	1151,5	673,6	477,9	2409	2538	11,161	83,781	5,058	16,219	68,816	5,045	2409	30	920,1	1,01150	930,681	5,158	180,434	
3	5,000	4,762	63,84	1152,8	674,2	478,6	2409	2538	11,158	83,753	5,090	16,247	68,674	5,077	2409	30	898,6	0,97280	874,158	5,170	169,083	
4	5,000	4,762	63,59	1153,3	673,3	480,0	2403	2538	11,130	83,545	5,325	16,455	67,637	5,313	2403	30	868,5	0,99280	862,247	4,641	185,789	
5	5,000	4,762	62,46	1155,2	680,3	474,9	2433	2538	11,268	84,581	4,151	15,419	73,079	4,138	2433	40	1057,9	1,02600	1085,405	5,265	206,155	
6	5,000	4,762	62,41	1152,6	678,0	474,6	2429	2538	11,250	84,444	4,306	15,556	72,318	4,294	2429	40	1168,0	1,02725	1199,828	5,263	227,974	
7	5,000	4,762	62,57	1153,1	679,5	473,6	2435	2538	11,278	84,659	4,063	15,341	73,518	4,050	2435	40	1032,2	1,02325	1056,199	4,603	229,459	
8	5,000	4,762	62,36	1149,7	678,3	471,4	2439	2538	11,298	84,803	3,899	15,197	74,343	3,886	2439	40	1062,9	1,02850	1093,193	5,074	215,450	
9	5,000	4,762	62,03	1154,1	683,3	470,8	2451	2538	11,355	85,237	3,408	14,763	76,914	3,396	2451	50	1181,2	1,03675	1224,609	4,725	259,177	
10	5,000	4,762	61,76	1147,4	679,0	468,4	2450	2538	11,347	85,176	3,477	14,824	76,545	3,464	2450	50	1186,2	1,04438	1238,844	4,753	260,645	
11	5,000	4,762	62,17	1152,8	681,5	471,3	2446	2538	11,330	85,050	3,619	14,950	75,789	3,607	2446	50	1097,6	1,03325	1134,095	5,022	225,825	
12	5,000	4,762	61,90	1149,8	680,7	469,1	2451	2538	11,354	85,227	3,419	14,773	76,854	3,407	2451	50	1061,2	1,04000	1103,648	4,915	224,547	
13	5,000	4,762	61,34	1154,3	686,0	468,3	2465	2538	11,418	85,706	2,876	14,294	79,880	2,863	2465	60	1254,9	1,05750	1327,057	4,868	272,608	
14	5,000	4,762	61,56	1154,4	684,9	469,5	2459	2538	11,390	85,495	3,116	14,505	78,520	3,103	2459	60	1234,2	1,05063	1296,688	4,525	286,561	
15	5,000	4,762	61,27	1153,9	686,1	467,8	2467	2538	11,426	85,768	2,806	14,232	80,286	2,793	2467	60	1301	1,05969	137,866	4,623	29,822	
16	5,000	4,762	61,43	1153,2	685,0	468,2	2463	2538	11,409	85,643	2,948	14,357	79,469	2,935	2463	60	1284,7	1,05469	1354,960	5,220	259,571	
17	5,000	4,762	61,36	1153,5	685,6	467,9	2465	2538	11,420	85,720	2,860	14,280	79,971	2,847	2465	70	1185,4	1,05688	1252,826	4,394	285,122	
18	5,000	4,762	61,69	1153,1	683,8	469,3	2457	2538	11,382	85,435	3,184	14,565	78,143	3,171	2457	70	1188,7	1,04656	1244,046	4,318	288,107	
19	5,000	4,762	61,32	1154,7	687,1	467,6	2469	2538	11,439	85,864	2,697	14,136	80,922	2,684	2469	70	1238,4	1,05813	1310,388	4,574	286,486	
20	5,000	4,762	61,26	1151,3	684,5	466,8	2466	2538	11,425	85,758	2,817	14,242	80,220	2,804	2466	70	1213,5	1,06000	1286,310	5,316	241,970	
21	5,000	4,762	61,46	1152,5	684,8	467,7	2464	2538	11,415	85,683	2,903	14,317	79,725	2,890	2464	80	1191,2	1,05375	1255,227	4,620	271,694	
22	5,000	4,762	61,28	1153,8	687,0	466,8	2472	2538	11,450	85,945	2,606	14,055	81,460	2,593	2472	80	1203,1	1,05938	1274,540	4,692	271,641	
23	5,000	4,762	61,21	1148,6	682,7	465,9	2465	2538	11,420	85,722	2,858	14,278	79,985	2,845	2465	80	1228,4	1,06156	1304,020	4,677	278,816	
24	5,000	4,762	61,26	1149,0	683,1	465,9	2466	2538	11,424	85,752	2,824	14,248	80,181	2,811	2466	80	1185,4	1,06000	1256,524	4,488	279,974	
Ort.			61,98									14,889	76,366	3,538	2448	55			1128,143	4,834	234,461	

Ek-14 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları

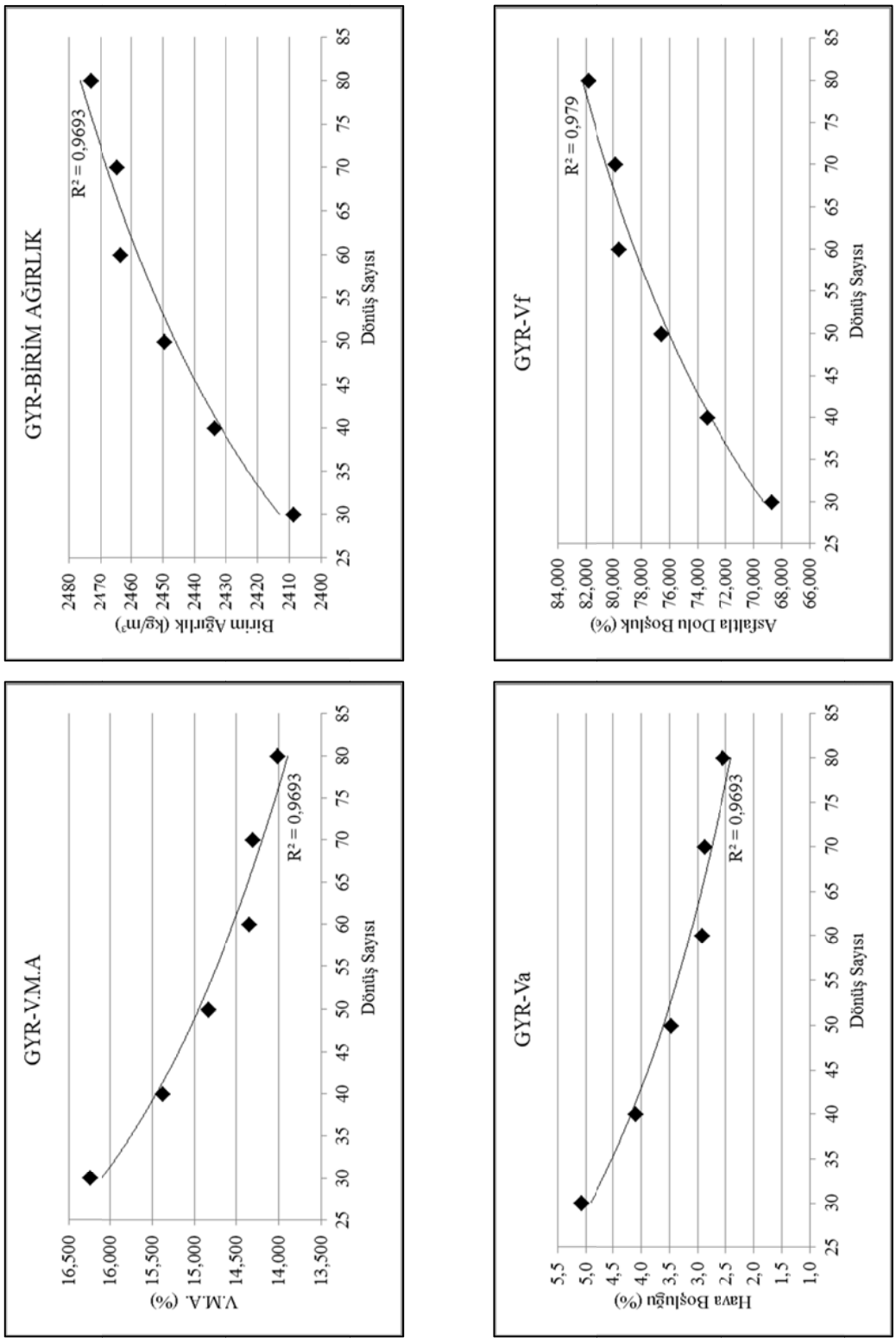
KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ — BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³ — SIKIŞTIRMA PATERNİ:240 kPa BASINÇ-2,00 DERECE YOĞURMA AÇISI

İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ — AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ — BİTİŞ: GYR SAYISI

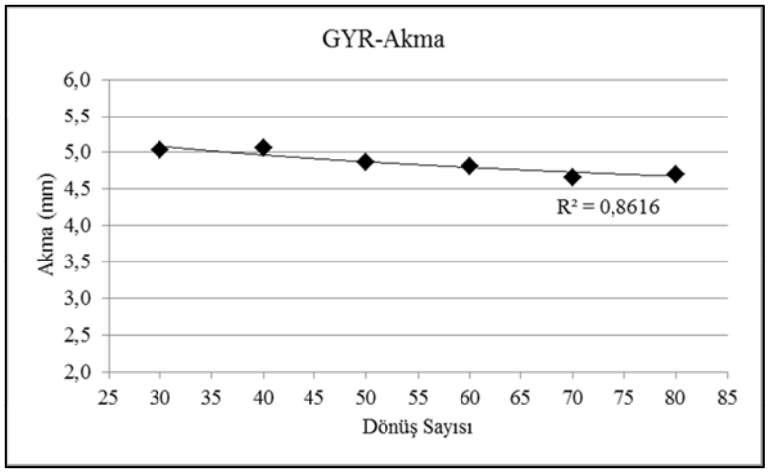
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ — PP KATKISI : 0,0 ‰

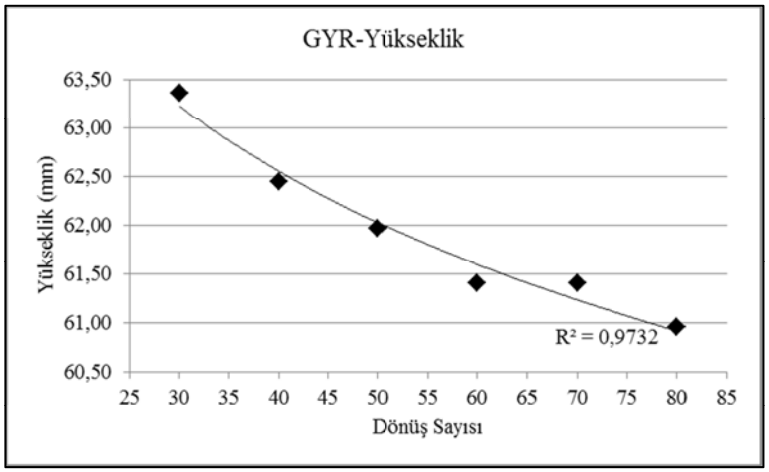
ORTALAMAYA ALINAN NUMUNE ADEDİ	AC %	AC %	BİRİKİT YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş	mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{as}$)	(100-b)*g/SG$_{ag}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F		q/s
4	5,000	4,762	63,36	1152,9	674,2	478,7	2409	2538	11,157	83,750	5,093	16,250	68,664	5,081	2409	**30**	911,7	0,99753	909,790	5,020	181,365
4	5,000	4,762	62,45	1152,7	679,0	473,6	2434	2538	11,273	84,622	4,105	15,378	73,314	4,092	2434	**40**	1080,3	1,02625	1108,656	5,051	219,759
4	5,000	4,762	61,97	1151,0	681,1	469,9	2450	2538	11,347	85,172	3,481	14,828	76,526	3,468	2450	**50**	1131,6	1,03860	1175,299	4,854	242,548
4	5,000	4,762	61,40	1154,0	685,5	468,5	2463	2538	11,411	85,653	2,936	14,347	79,539	2,923	2463	**60**	976,0	1,05563	1029,143	4,809	212,140
4	5,000	4,762	61,41	1153,2	685,3	467,9	2465	2538	11,416	85,694	2,889	14,306	79,814	2,877	2465	**70**	1206,5	1,05539	1273,392	4,651	275,421
7	5,000	4,762	60,96	1150,1	685,0	465,1	2473	2538	11,455	85,988	2,557	14,012	81,802	2,544	2473	**80**	1253,5	1,06938	1341,567	4,694	285,749

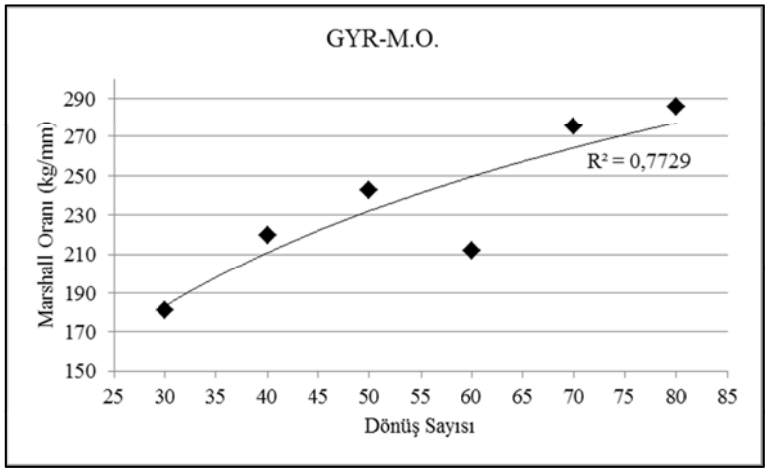
Ek-15 240 kPa düşey basınç ve 2.00° yoğurma açısıyla, dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin dönüş sayısına göre grafikleri

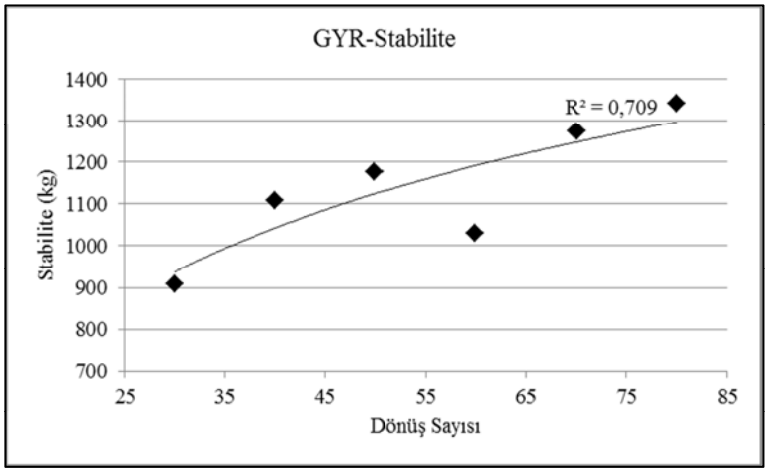


ANADOLU ÜNİVERSİTESİ


GYR-Akma
Akma (mm)
6,0
5,5
5,0
4,5
4,0
3,5
3,0
2,5
2,0
R² = 0,8616
25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
Dönüş Sayısı


GYR-Yükseklik
Yükseklik (mm)
63,50
63,00
62,50
62,00
61,50
61,00
60,50
R² = 0,9732
25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
Dönüş Sayısı


GYR-M.O.
Marshall Oranı (kg/mm)
290
270
250
230
210
190
170
150
R² = 0,7729
25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85
Dönüş Sayısı


GYR-Stabilite
Stabilite (kg)
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
R² = 0,709
25 35 45 55 65 75 85
Dönüş Sayısı

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-16 240 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 50 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

BİRİKİM NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1028 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ: 240 kPa BASINÇ
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³	PP KATKISI : 0,0 ‰	NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK(kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE(kg)			AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Hasuda	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.		q/s	
1	5,000	4,762	62,06	1152,5	682,3	470,2	2451	2538	11,354	85,227	3,419	14,773	76,856	3,406	2451	50	2,4	1109,2	1,03600	1149,131	5,165	222,484
2	5,000	4,762	61,71	1149,6	680,6	469,0	2451	2538	11,354	85,230	3,416	14,770	76,874	3,403	2451	50	2,4	1173,0	1,04594	1226,888	4,557	269,231
3	5,000	4,762	61,66	1148,7	681,0	467,7	2456	2538	11,377	85,400	3,223	14,600	77,925	3,210	2456	50	2,4	1195,3	1,04750	1252,077	4,642	269,728
4	5,000	4,762	61,60	1152,9	683,4	469,5	2456	2538	11,375	85,384	3,242	14,616	77,822	3,229	2456	50	2,2	1169,7	1,04938	1227,460	4,666	263,065
5	5,000	4,762	61,87	1149,3	676,8	470,5	2443	2538	11,315	84,936	3,749	15,064	75,115	3,736	2443	50	2,2	1201,1	1,04094	1250,273	4,729	264,384
6	5,000	4,762	61,79	1154,4	684,9	469,5	2459	2538	11,390	85,495	3,116	14,505	78,520	3,103	2459	50	2,2	996,5	1,04344	1039,788	4,924	211,167
7	5,000	4,762	61,93	1145,6	674,2	471,4	2430	2538	11,257	84,501	4,242	15,499	72,632	4,229	2430	50	1,8	1127,4	1,03925	1171,650	4,888	239,699
8	5,000	4,762	62,38	1153,9	679,9	474,0	2434	2538	11,277	84,646	4,077	15,354	73,446	4,064	2434	50	1,8	1048,8	1,02800	1078,166	4,469	241,255
9	5,000	4,762	62,08	1151,5	679,7	471,8	2441	2538	11,306	84,864	3,830	15,136	74,695	3,818	2441	50	1,8	1167,2	1,03550	1208,636	5,044	239,618
10	5,000	4,762	61,18	1142,9	671,9	471,0	2427	2538	11,240	84,373	4,386	15,627	71,930	4,374	2427	50	1,6	1045,5	1,06250	1110,844	4,907	226,379
11	5,000	4,762	63,07	1154,0	677,7	476,3	2423	2538	11,223	84,245	4,532	15,755	71,235	4,519	2423	50	1,6	1073,6	1,01075	1085,141	5,052	214,794
12	5,000	4,762	62,70	1155,1	679,0	476,1	2426	2538	11,239	84,361	4,401	15,639	71,861	4,388	2426	50	1,6	1087,7	1,02000	1109,454	4,694	236,356
Ort.			62,00									15,111	74,909	3,790	2441	50	2,0			1159,126	4,811	241,513

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-17 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

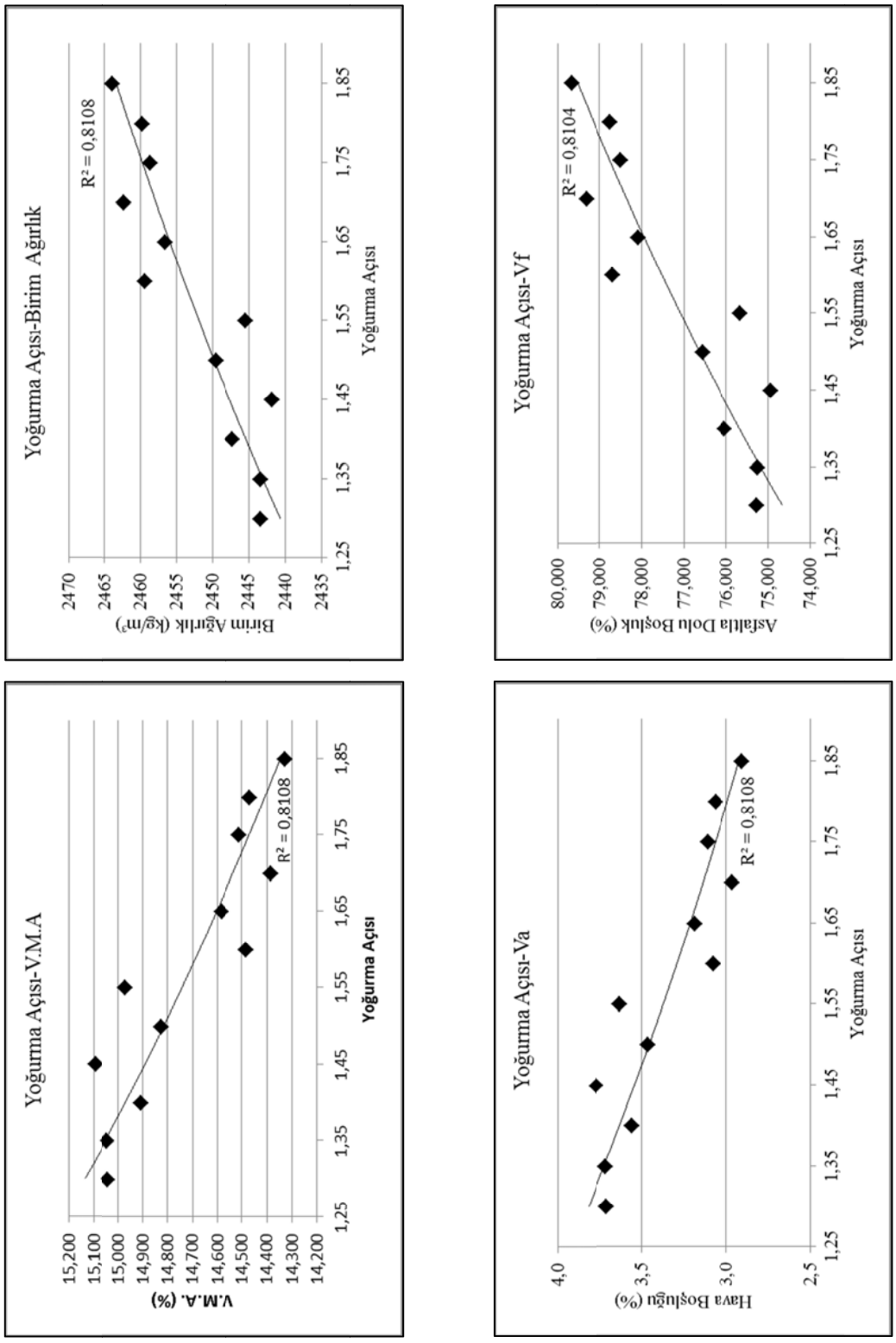
KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: GYR SAYISI
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	0,0	‰	NOT: YOĞURMA AÇILARI DEĞİŞTİRİLEREK HAZIRLANMIŞTIR.

Bitiklerno	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)			HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)	HACİM (Toplama Göre) %				BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
	AÇ % Agrega Ağırlığına Göre	%	(mm)	Havada	Suda		cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	d-e	d/(d-e)	h	i	j	k	l	m	n	o	g			p		q	p * Düzeltme F.	s	mm	q/s	t
	a/(100+a)									$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h										
1	5,000	4,762	61,45	1155,0	683,5	471,5	2450	11,347	85,176	3,476	14,824	76,548	3,464	2450	35	1,30	1250,8	1,05406	1318,418	4,684	281,473		
2	5,000	4,762	62,02	1153,4	680,0	473,4	2436	11,286	84,717	3,997	15,283	73,846	3,984	2436	35	1,30	1198,6	1,03700	1242,948	4,613	269,445		
3	5,000	4,762	61,63	1153,3	681,3	472,0	2443	11,318	84,961	3,721	15,039	75,260	3,708	2443	35	1,30	1206,1	1,04844	1264,523	4,529	279,206		
4	5,000	4,762	61,82	1152,9	681,2	471,7	2444	11,322	84,985	3,693	15,015	75,405	3,680	2444	35	1,30	1175,4	1,04250	1225,355	4,187	292,657		
5	5,000	4,762	61,07	1141,0	674,0	467,0	2443	11,318	84,955	3,728	15,045	75,224	3,715	2443	35	1,35	1091,8	1,06594	1163,793	4,487	259,370		
6	5,000	4,762	62,01	1161,2	686,6	474,6	2447	11,334	85,074	3,592	14,926	75,933	3,580	2447	35	1,35	1242,5	1,03725	1288,783	4,762	270,639		
7	5,000	4,762	61,91	1153,0	681,3	471,7	2444	11,323	84,993	3,684	15,007	75,449	3,672	2444	35	1,35	1207,7	1,03975	1255,706	4,335	289,667		
8	5,000	4,762	61,25	1144,6	675,3	469,3	2439	11,298	84,805	3,897	15,195	74,352	3,885	2439	35	1,35	1173,0	1,04031	1243,744	4,172	298,117		
9	5,000	4,762	61,74	1152,5	681,2	471,3	2445	11,327	85,028	3,645	14,972	75,658	3,632	2445	35	1,40	1137,4	1,04500	1188,583	4,139	287,167		
10	5,000	4,762	61,49	1152,5	681,8	470,7	2448	11,342	85,136	3,522	14,864	76,306	3,509	2448	35	1,40	1223,5	1,05281	1288,113	4,143	310,913		
11	5,000	4,762	61,75	1154,0	682,4	471,6	2447	11,335	85,085	3,581	14,915	75,995	3,568	2447	35	1,40	1187,9	1,04469	1240,987	4,298	288,736		
12	5,000	4,762	61,54	1154,0	682,6	471,4	2448	11,340	85,121	3,540	14,879	76,211	3,527	2448	35	1,40	1302,1	1,05125	1368,833	4,369	317,668		
13	5,000	4,762	61,34	1144,5	676,3	468,2	2444	11,323	84,997	3,680	15,003	75,473	3,667	2444	35	1,45	1201,9	1,05750	1271,009	4,419	287,624		
14	5,000	4,762	61,76	1151,7	679,4	472,3	2438	11,296	84,789	3,915	15,211	74,260	3,903	2438	35	1,45	1083,6	1,04438	1131,690	4,315	262,269		
15	5,000	4,762	61,63	1153,1	681,6	471,5	2446	11,329	85,036	3,635	14,964	75,706	3,623	2446	35	1,45	1232,6	1,04844	1292,307	4,383	294,845		
16	5,000	4,762	61,99	1152,5	679,9	472,6	2439	11,296	84,794	3,910	15,206	74,289	3,897	2439	35	1,45	1074,5	1,03775	1115,062	4,094	272,365		
17	5,000	4,762	61,57	1154,2	683,0	471,2	2449	11,347	85,172	3,482	14,828	76,519	3,469	2449	35	1,50	1153,9	1,05031	1211,953	4,056	298,805		
18	5,000	4,762	61,75	1151,2	679,9	471,3	2443	11,315	84,932	3,753	15,068	75,091	3,741	2443	35	1,50	1168,0	1,04469	1220,198	4,183	291,704		
19	5,000	4,762	61,40	1153,1	683,9	469,2	2458	11,384	85,453	3,163	14,547	78,257	3,150	2458	35	1,50	1227,6	1,05563	1295,891	4,313	300,462		
20	5,000	4,762	61,91	1153,6	682,5	471,1	2449	11,343	85,145	3,512	14,855	76,360	3,499	2449	35	1,50	1206,9	1,03975	1254,874	3,421	366,815		
21	5,000	4,762	62,21	1153,1	681,5	471,6	2445	11,326	85,018	3,656	14,982	75,599	3,643	2445	35	1,55	1203,6	1,03225	1242,416	4,327	287,131		
22	5,000	4,762	61,61	1151,5	681,8	469,7	2452	11,356	85,244	3,400	14,756	76,958	3,388	2452	35	1,55	1347,6	1,04906	1413,713	4,867	290,469		
23	5,000	4,762	61,79	1146,5	676,5	470,0	2439	11,300	84,819	3,881	15,181	74,434	3,868	2439	35	1,55	1163,9	1,04344	1214,460	4,373	277,718		
24	5,000	4,762	62,01	1152,6	681,3	471,3	2446	11,328	85,035	3,636	14,965	75,701	3,624	2446	35	1,55	1178,8	1,03725	1222,710	4,205	290,775		
25	5,000	4,762	61,49	1147,5	679,2	468,3	2450	11,351	85,201	3,448	14,799	76,701	3,435	2450	35	1,60	1125,0	1,05281	1184,411	4,185	283,013		
26	5,000	4,762	61,77	1149,9	688,1	472,8	2455	11,374	85,376	3,250	14,624	77,775	3,237	2455	35	1,60	1134,1	1,04406	1184,068	3,780	313,246		
27	5,000	4,762	61,11	1149,2	683,1	466,1	2466	11,421	85,730	2,849	14,270	80,038	2,836	2466	35	1,60	1239,2	1,06469	1319,364	4,401	299,787		
28	5,000	4,762	61,02	1150,0	683,7	466,3	2466	11,424	85,753	2,823	14,247	80,188	2,810	2466	35	1,60	1250,0	1,06750	1334,375	4,303	310,103		
29	5,000	4,762	60,91	1149,5	683,9	465,6	2469	11,436	85,845	2,719	14,155	80,793	2,706	2469	35	1,65	1288,0	1,07094	1379,371	4,207	327,875		
30	5,000	4,762	61,57	1154,7	684,7	470,0	2457	11,380	85,426	3,194	14,574	78,087	3,181	2457	35	1,65	1239,2	1,05031	1301,544	4,302	302,544		
31	5,000	4,762	61,66	1152,3	682,1	470,2	2451	11,352	85,212	3,436	14,788	76,765	3,423	2451	35	1,65	1136,5	1,04750	1190,484	4,211	282,708		
32	5,000	4,762	61,81	1156,7	684,6	472,1	2450	11,349	85,193	3,457	14,807	76,651	3,445	2450	35	1,65	1111,7	1,04281	1159,292	4,137	280,225		
33	5,000	4,762	61,04	1151,9	685,1	466,8	2468	11,431	85,803	2,766	14,197	80,515	2,754	2468	35	1,70	1283,1	1,06688	1368,914	4,330	316,146		
34	5,000	4,762	61,71	1151,0	681,8	469,2	2453	11,363	85,297	3,339	14,703	77,288	3,327	2453	35	1,70	1268,2	1,04594	1326,461	4,472	296,615		
35	5,000	4,762	61,14	1153,0	685,2	467,8	2465	11,417	85,701	2,882	14,299	79,848	2,869	2465	35	1,70	1273,1	1,06375	1354,260	4,508	300,413		
36	5,000	4,762	61,34	1153,5	685,3	468,2	2464	11,412	85,665	2,922	14,335	79,613	2,910	2464	35	1,70	1197,0	1,05750	1265,828	4,142	305,608		
37	5,000	4,762	60,50	1144,4	679,5	464,9	2462	11,403	85,593	3,005	14,407	79,145	2,992	2462	35	1,75	1232,6	1,08375	1335,830	4,142	322,599		
38	5,000	4,762	61,34	1153,8	684,3	469,5	2458	11,384	85,450	3,166	14,550	78,240	3,153	2458	35	1,75	1305,4	1,05750	1380,461	4,585	301,082		
39	5,000	4,762	61,54	1152,2	683,7	468,5	2459	11,392	85,514	3,094	14,486	78,642	3,081	2459	35	1,75	1179,6	1,05125	1240,055	4,297	288,586		
40	5,000	4,762	61,48	1153,9	684,1	469,8	2456	11,377	85,403	3,219	14,597	77,944	3,207	2456	35	1,75	1312,0	1,05313	1381,707	4,321	319,765		
41	5,000	4,762	61,16	1152,3	684,9	467,4	2465	11,420	85,723	2,857	14,277	79,986	2,845	2465	35	1,80	1264,9	1,06313	1344,753	3,977	338,133		
42	5,000	4,762	61,39	1150,7	682,3	468,4	2457	11,380	85,421	3,199	14,579	78,055	3,187	2457	35	1,80	1382,2	1,05594	1459,520	4,529	322,261		
43	5,000	4,762	61,38	1152,0	683,6	468,4	2459	11,393	85,517	3,090	14,483	78,664	3,077	2459	35	1,80	1203,6	1,05625	1271,303	4,386	289,855		
44	5,000	4,762	61,41	1150,3	682,3	468,0	2458	11,386	85,464	3,150	14,536	78,327	3,138	2458	35	1,80	1223,5	1,05531	1291,172	4,306	299,854		
45	5,000	4,762	61,61	1152,3	683,1	469,2	2456	11,376	85,394	3,230	14,606	77,886	3,217	2456	35	1,85	1221,0	1,04906	1280,902	4,443	288,297		
46	5,000	4,762	60,93	1146,3	681,2	465,1	2465	11,417	85,698	2,885	14,302	79,826	2,873	2465	35	1,85	1283,9	1,07031	1374,171	3,165	434,177		
47	5,000	4,762	60,86	1150,1	684,3	465,8	2469	11,437	85,853	2,710	14,147	80,845	2,697	2469	35	1,85	1226,8	1,07250	1315,743	4,036	326,002		
48	5,000	4,762	61,01	1150,3	683,8	466,5	2466	11,422	85,739	2,839	14,261	80,093	2,826	2466	35	1,85	1254,9	1,06781	1339,995	4,698	285,227		

Ek-18 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortalamaları

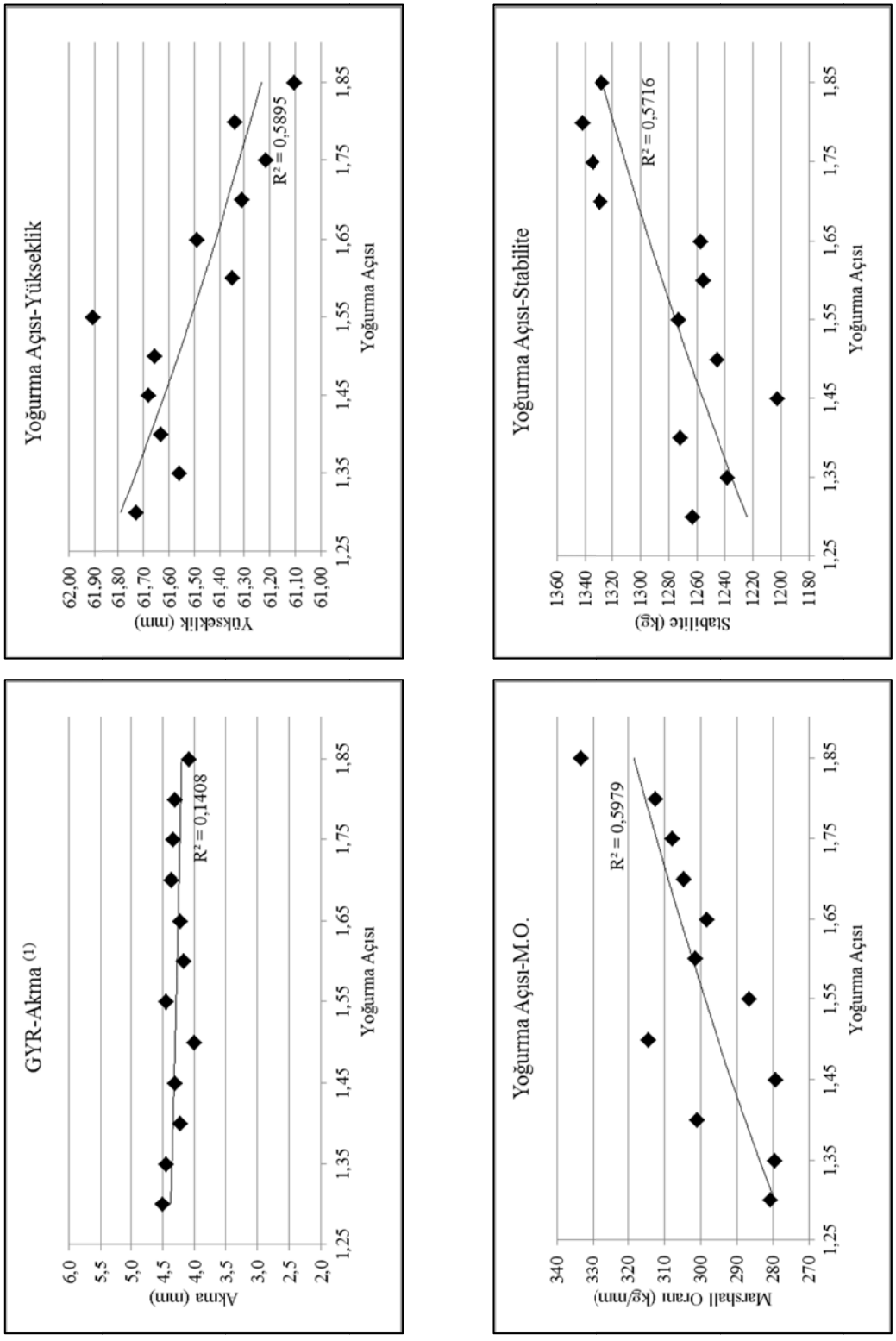
KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :					BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :		1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-FARKLI YOĞURMA AÇILARI																
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :			2712,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :		2739	kg / m³	BİTİŞ: 35 GYR SAYISI														
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :			2756,0	kg / m³	PP KATKISI :		0,0	‰															
ORTALAMAYA ALINAN NUMUNE ADEDİ	AÇ %	AÇ %	BİRİKİT YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)		BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	YOĞ AÇISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)			Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o			p		q	s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		$b*g(SG_{sb})$	(100-b)*gSG_{ag}	100-j-k	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g			p * Düzeltme F.				q/s
4	5,000	4,762	61,73	1153,7	681,5	472,2	2443	2538	11,318	84,960	3,722	15,040	75,265	3,709	2443	35	**1,30**	1207,7	1,04550	1262,811	4,503	280,695
4	5,000	4,762	61,56	1150,0	679,3	470,7	2443	2538	11,318	84,957	3,725	15,043	75,239	3,713	2443	35	**1,35**	1178,8	1,05081	1238,007	4,439	279,448
4	5,000	4,762	61,63	1153,3	682,0	471,3	2447	2538	11,336	85,092	3,572	14,908	76,042	3,559	2447	35	**1,40**	1212,7	1,04844	1271,629	4,222	301,121
4	5,000	4,762	61,68	1150,5	679,3	471,2	2442	2538	11,311	84,904	3,765	15,096	74,932	3,772	2442	35	**1,45**	1148,2	1,04702	1202,517	4,303	279,276
4	5,000	4,762	61,66	1153,0	682,3	470,7	2450	2538	11,347	85,176	3,477	14,824	76,557	3,465	2450	35	**1,50**	1189,1	1,04760	1245,729	3,993	314,446
4	5,000	4,762	61,91	1150,9	680,3	470,7	2445	2538	11,328	85,029	3,643	14,971	75,673	3,631	2445	35	**1,55**	1223,5	1,04050	1273,325	4,443	286,523
4	5,000	4,762	61,35	1151,9	683,5	468,4	2459	2538	11,392	85,515	3,092	14,485	78,675	3,080	2459	35	**1,60**	1187,1	1,05727	1255,555	4,167	301,537
4	5,000	4,762	61,49	1153,3	683,8	469,5	2457	2538	11,380	85,419	3,201	14,581	78,074	3,189	2457	35	**1,65**	1193,9	1,05289	1257,673	4,214	298,338
4	5,000	4,762	61,31	1152,4	684,4	468,0	2462	2538	11,406	85,617	2,977	14,383	79,316	2,965	2462	35	**1,70**	1255,4	1,05852	1328,866	4,363	304,695
4	5,000	4,762	61,22	1151,1	682,9	468,2	2459	2538	11,389	85,490	3,121	14,510	78,493	3,108	2459	35	**1,75**	1257,4	1,06141	1334,513	4,336	307,985
4	5,000	4,762	61,34	1151,3	683,3	468,1	2460	2538	11,394	85,531	3,074	14,469	78,758	3,062	2460	35	**1,80**	1268,6	1,05766	1341,687	4,300	312,526
4	5,000	4,762	61,10	1149,8	683,1	466,7	2464	2538	11,413	85,671	2,916	14,329	79,662	2,903	2464	35	**1,85**	1246,7	1,06492	1327,703	4,086	333,426

Ek-19 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 35 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özelliklerinin yoğurma açısına göre grafikleri



ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ



(1) Yoğurma Açısı-Akma grafiğindeki düşük R^2 değerleri akma değerlerinin 600 kPa sıkıştırma paterninde yoğurma açısı ile pek de bağlantılı olmadığının bir göstergesidir.

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-20 600 kPa düşey basınç ve farklı yoğurma açılarıyla, 45 dönüş sayısına göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

| BİRİKİMLİ ÖZGÜL AĞIRLIĞI : | | |

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-21 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 61.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, kontrol numunelerinin, fiziksel ve mekanik özellikleri

KABA AGRBGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2712,0	kg / m³	BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	1028	kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
İNCE AGRBGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2756,0	kg / m³	AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739	kg / m³	BİTİŞ: 61.5mm YÜKSEKLİK
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :	2739,0	kg / m³	PP KATKISI :	0,0	‰	

BRİKET NO	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ
														(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)		Havada	Suda	d-e	d/(d-c)	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	100-j	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	100-100g/h	g			p * Düzeltme F.		φ/s
									$b*g/(SG_{asf})$	$(100-b)*g/SG_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100							
1	5,000	4,762	61,97	1157,0	683,0	474,0	2441	2538	11,307	84,874	3,819	15,126	74,750	3,807	2441	33	1187,0	1,03825	1232,403	4,303	286,405
2	5,000	4,762	61,50	1154,1	683,2	470,9	2451	2538	11,353	85,218	3,429	14,782	76,804	3,416	2451	39	1230,1	1,05250	1294,680	4,256	304,201
3	5,000	4,762	61,50	1155,9	685,1	470,8	2455	2538	11,373	85,369	3,258	14,631	77,734	3,245	2455	45	1336,9	1,05250	1407,087	4,294	327,687
4	5,000	4,762	61,47	1154,7	684,0	470,7	2453	2538	11,364	85,299	3,338	14,701	77,297	3,325	2453	37	1121,0	1,05344	1180,906	4,160	283,872
5	5,000	4,762	61,49	1152,3	681,7	470,6	2449	2538	11,342	85,140	3,518	14,860	76,326	3,505	2449	39	1121,6	1,05281	1180,832	3,759	314,135
6	5,000	4,762	61,47	1153,7	683,4	470,3	2453	2538	11,363	85,298	3,339	14,702	77,289	3,326	2453	42	1260,7	1,05344	1328,072	4,152	319,863
7	5,000	4,762	61,48	1152,7	683,4	469,3	2456	2538	11,378	85,405	3,217	14,595	77,957	3,204	2456	43	1236,7	1,05313	1302,406	4,153	313,606
8	5,000	4,762	61,48	1151,9	681,6	470,3	2449	2538	11,346	85,164	3,490	14,836	76,476	3,477	2449	38	1236,7	1,05313	1302,406	4,364	298,443
9	5,000	4,762	61,47	1157,9	687,9	470,0	2464	2538	11,412	85,663	2,925	14,337	79,597	2,913	2464	54	1294,7	1,05344	1363,889	4,297	317,405
10	5,000	4,762	61,48	1150,9	682,4	468,5	2457	2538	11,379	85,417	3,203	14,583	78,034	3,191	2457	41	1249,1	1,05313	1315,465	4,379	300,403
11	5,000	4,762	61,48	1154,8	684,9	469,9	2458	2538	11,384	85,452	3,165	14,548	78,248	3,152	2458	49	1286,4	1,05313	1354,746	4,193	323,097
12	5,000	4,762	61,48	1150,8	680,4	470,4	2446	2538	11,332	85,065	3,603	14,935	75,878	3,590	2446	39	1233,4	1,05313	1298,931	4,532	286,613
13	5,000	4,762	61,49	1149,1	678,6	470,5	2442	2538	11,313	84,921	3,765	15,079	75,028	3,753	2442	39	1155,6	1,05281	1216,627	4,194	290,088
14	5,000	4,762	61,44	1154,0	683,5	470,5	2453	2538	11,361	85,283	3,355	14,717	77,202	3,342	2453	39	1187,9	1,05438	1252,498	4,353	287,732
15	5,000	4,762	61,50	1159,0	688,2	470,8	2462	2538	11,403	85,598	2,998	14,402	79,182	2,985	2462	44	1295,5	1,05250	1363,514	4,176	326,512
16	5,000	4,762	61,48	1154,3	684,1	470,2	2455	2538	11,372	85,360	3,268	14,640	77,676	3,256	2455	43	1234,2	1,05313	1299,773	4,166	311,995
17	5,000	4,762	61,49	1152,7	682,0	470,7	2449	2538	11,344	85,151	3,505	14,849	76,396	3,492	2449	35	1211,0	1,05281	1274,953	4,394	290,158
18	5,000	4,762	61,46	1155,5	685,5	470,0	2459	2538	11,388	85,485	3,127	14,515	78,460	3,114	2459	38	1138,2	1,05375	1199,378	4,403	272,400
19	5,000	4,762	61,44	1149,5	681,0	468,5	2454	2538	11,365	85,314	3,321	14,686	77,387	3,308	2454	37	1065,3	1,05438	1123,231	4,043	277,821
20	5,000	4,762	61,49	1156,4	687,2	469,2	2465	2538	11,417	85,698	2,886	14,302	79,823	2,873	2465	44	1206,1	1,05281	1269,794	4,583	277,066
21	5,000	4,762	61,46	1149,4	680,4	469,0	2451	2538	11,352	85,215	3,432	14,785	76,784	3,420	2451	36	1169,7	1,05375	1232,571	4,390	280,768
22	5,000	4,762	61,47	1154,7	685,6	469,1	2462	2538	11,402	85,590	3,008	14,410	79,127	2,995	2462	42	1134,1	1,05344	1194,706	4,086	292,390
23	5,000	4,762	61,50	1151,5	682,0	469,5	2453	2538	11,361	85,280	3,359	14,720	77,180	3,346	2453	40	1132,4	1,05250	1191,851	3,923	303,811
24	5,000	4,762	61,48	1151,8	681,8	470,0	2451	2538	11,352	85,211	3,437	14,789	76,761	3,424	2451	36	1134,1	1,05313	1194,355	4,330	275,833
25	5,000	4,762	61,47	1153,7	683,7	470,0	2455	2538	11,371	85,352	3,277	14,648	77,625	3,265	2455	35	1185,4	1,05344	1248,748	4,376	285,363
26	5,000	4,762	61,49	1155,5	685,1	470,4	2456	2538	11,379	85,412	3,209	14,588	78,003	3,196	2456	34	1163,0	1,05381	1225,581	4,022	304,719
27	5,000	4,762	61,50	1160,2	689,9	470,3	2467	2538	11,427	85,778	2,795	14,222	80,351	2,782	2467	42	1222,6	1,05250	1286,787	4,145	310,443
28	5,000	4,762	61,46	1154,7	685,5	469,2	2461	2538	11,400	85,572	3,029	14,428	79,010	3,016	2461	38	1158,1	1,05375	1220,348	4,121	296,129
29	5,000	4,762	61,44	1152,8	685,3	467,5	2466	2538	11,422	85,741	2,836	14,259	80,110	2,823	2466	38	1191,2	1,05438	1255,977	3,887	323,123
30	5,000	4,762	61,46	1154,4	685,6	468,8	2462	2538	11,407	85,622	2,971	14,378	79,336	2,958	2462	41	1195,3	1,05375	1259,547	3,961	317,987
31	5,000	4,762	61,47	1155,1	685,7	469,4	2461	2538	11,399	85,565	3,036	14,435	78,966	3,024	2461	37	1228,4	1,05344	1294,046	4,128	313,480
32	5,000	4,762	61,44	1147,8	679,5	468,3	2451	2538	11,353	85,224	3,423	14,776	76,836	3,410	2451	35	1164,7	1,05438	1228,036	4,175	294,140
33	5,000	4,762	61,49	1157,0	687,0	470,0	2462	2538	11,403	85,596	3,001	14,404	79,167	2,988	2462	41	1237,5	1,05281	1302,852	3,893	334,665
34	5,000	4,762	61,45	1151,1	683,5	467,6	2462	2538	11,403	85,597	3,000	14,403	79,171	2,987	2462	36	1190,3	1,05406	1254,648	4,163	301,381
35	5,000	4,762	61,48	1151,8	683,0	468,8	2457	2538	11,381	85,430	3,190	14,570	78,110	3,177	2457	36	1125,8	1,05313	1185,614	4,263	278,117
36	5,000	4,762	61,48	1158,1	688,5	469,6	2466	2538	11,424	85,750	2,826	14,250	80,169	2,813	2466	42	1288,0	1,05313	1356,431	4,018	337,589
Ort.												**14,608**	**77,896**	**3,219**	**2456**	**40**			**1263,714**	**4,195**	**301,651**

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-22 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62.7 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

| BİRİKİM NO | KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³
İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³
FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³ | | | | | BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1011 kg / m³
AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³
PP KATKISI : 5,5 ‰ | | | SIKIŞTIRMA PATERNİ:600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI
BİTİŞ : 62.7 mm YÜKSEKLİK
NOT: | | | | |

Ek-23 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 5.5 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :		2712,0 kg / m³			BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI :			1011 kg / m³	SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI																	
	İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI :		2756,0 kg / m³			AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI :			2739 kg / m³	BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK																	
	FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI :		2739,0 kg / m³			PP KATKISI :			5,5 ‰																	
BİRİKEN NO	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)			HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)					AKMA	MQ
	%	%	(mm)	Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)		Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		mm	
	a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o		p		q		s	t
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)			b*g/(SG$_{ab}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i.l * 100	100-100g/h	g				p * Düzeltme F.			q/s	
1	5,000	4,762	63,49	1152,8	671,3	481,5	2394		2533	11,277	83,248	5,475	16,752	67,318	5,462	2394	63	1897,0	1,00025	1897,474		3,755	505,319
2	5,000	4,762	63,47	1153,7	670,6	483,1	2388		2533	11,248	83,038	5,714	16,962	66,313	5,702	2388	26	1662,7	1,00075	1663,947		3,968	419,341
3	5,000	4,762	63,46	1153,4	673,3	480,1	2402		2533	11,316	83,535	5,150	16,465	68,724	5,137	2402	29	1803,1	1,00100	1804,903		3,850	468,806
4	5,000	4,762	63,50	1152,3	671,0	481,3	2394		2533	11,277	83,247	5,476	16,753	67,311	5,464	2394	20	1569,7	1,00000	1569,700		3,983	394,100
5	5,000	4,762	63,44	1156,9	675,5	481,4	2403		2533	11,319	83,562	5,119	16,438	68,860	5,106	2403	29	1817,2	1,00150	1819,926		4,009	453,960
6	5,000	4,762	63,45	1153,1	673,7	479,4	2405		2533	11,329	83,635	5,036	16,365	69,228	5,023	2405	26	1679,4	1,00125	1681,499		3,874	434,047
7	5,000	4,762	63,48	1155,1	673,6	481,5	2399		2533	11,299	83,415	5,286	16,585	68,128	5,274	2399	42	1696,8	1,00050	1697,648		3,874	438,216
8	5,000	4,762	63,42	1153,8	672,8	481,0	2399		2533	11,298	83,407	5,294	16,593	68,092	5,282	2399	20	1628,7	1,00200	1631,957		3,863	422,459
9	5,000	4,762	63,49	1155,0	674,1	480,9	2402		2533	11,312	83,511	5,176	16,489	68,608	5,164	2402	22	1716,7	1,00025	1717,129		3,949	434,826
10	5,000	4,762	63,47	1152,5	671,1	481,4	2394		2533	11,276	83,244	5,480	16,756	67,297	5,467	2394	35	1745,0	1,00075	1746,309		3,664	476,613
11	5,000	4,762	63,49	1154,4	673,6	480,8	2401		2533	11,309	83,485	5,206	16,515	68,478	5,193	2401	30	1748,3	1,00025	1748,737		3,686	474,427
12	5,000	4,762	63,43	1152,5	673,0	479,5	2404		2533	11,321	83,574	5,105	16,426	68,921	5,093	2404	22	1867,9	1,00175	1871,169		4,065	460,312
13	5,000	4,762	63,50	1154,0	669,5	484,5	2382		2533	11,219	82,819	5,962	17,181	65,298	5,950	2382	38	1690,1	1,00000	1690,100		3,851	438,873
14	5,000	4,762	63,49	1150,5	668,4	482,1	2386		2533	11,240	82,979	5,781	17,021	66,038	5,768	2386	43	1625,4	1,00025	1625,806		3,969	409,626
15	5,000	4,762	63,49	1155,1	673,4	481,7	2398		2533	11,295	83,380	5,325	16,620	67,958	5,313	2398	39	1775,7	1,00025	1776,144		3,696	480,558
16	5,000	4,762	63,48	1154,3	673,0	481,3	2398		2533	11,296	83,391	5,312	16,609	68,014	5,300	2398	40	1780,7	1,00050	1781,590		4,054	439,465
17	5,000	4,762	63,43	1155,1	673,4	481,7	2398		2533	11,295	83,380	5,325	16,620	67,958	5,313	2398	31	1873,7	1,00175	1876,979		4,366	429,908
18	5,000	4,762	63,48	1153,3	672,5	480,8	2399		2533	11,298	83,406	5,296	16,594	68,085	5,284	2399	34	1831,3	1,00050	1832,216		3,932	465,975
19	5,000	4,762	63,49	1152,0	669,8	482,2	2389		2533	11,253	83,070	5,677	16,930	66,466	5,665	2389	31	1681,8	1,00025	1682,220		3,981	422,562
20	5,000	4,762	63,48	1152,9	671,0	481,9	2392		2533	11,268	83,187	5,545	16,813	67,021	5,533	2392	36	1731,7	1,00050	1732,566		3,660	473,379
21	5,000	4,762	63,46	1153,2	670,9	482,3	2391		2533	11,262	83,139	5,599	16,861	66,794	5,586	2391	39	1708,4	1,00100	1710,108		3,926	435,585
22	5,000	4,762	63,50	1154,9	674,0	480,9	2402		2533	11,311	83,504	5,184	16,496	68,572	5,172	2402	35	1817,2	1,00000	1817,200		4,225	430,107
23	5,000	4,762	63,47	1153,9	671,9	482,0	2394		2533	11,276	83,241	5,483	16,759	67,285	5,470	2394	36	1750,0	1,00075	1751,313		3,667	477,587
24	5,000	4,762	63,48	1154,6	672,9	481,7	2397		2533	11,290	83,344	5,366	16,656	67,781	5,354	2397	33	1916,1	1,00050	1917,058		4,149	462,053
Ort.			63,47										16,677	67,689	5,378	2396	33			1751,821		3,917	447,838

ANADOLU ÜNİVERSİTESİ

Ek-24 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 63.5 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin, fiziksel özellikleri

BİRİKEŢ NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³					BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³ AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ PP KATKISI : 3,0 ‰			SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1.25 DERECE YOĞURMA AÇISI BİTİŞ: 63.5mm YÜKSEKLİK							GYR SAYISI
	AC %	AC %	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %			BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	
				Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfaltla Dolu	Toplam Karışım	(kg/m³)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)				d-e	d/(d-e)		b*g/(SG$_{asf}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-i-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h	g	
1	5,000	4,762	63,48	1153,7	667,8	485,9	2374	2535	11,107	82,559	6,334	17,441	63,681	6,322	2374	33
2	5,000	4,762	63,47	1153,8	670,0	483,8	2385	2535	11,156	82,925	5,920	17,075	65,332	5,907	2385	20
3	5,000	4,762	63,49	1153,3	670,3	483,0	2388	2535	11,169	83,026	5,805	16,974	65,803	5,792	2388	24
4	5,000	4,762	63,48	1151,5	665,9	485,6	2371	2535	11,092	82,453	6,455	17,547	63,213	6,443	2371	45
5	5,000	4,762	63,50	1153,4	673,7	479,7	2404	2535	11,247	83,604	5,148	16,396	68,599	5,136	2404	31
6	5,000	4,762	63,47	1155,3	674,0	481,3	2400	2535	11,228	83,464	5,308	16,536	67,901	5,296	2400	31
7	5,000	4,762	63,46	1154,6	672,2	482,4	2393	2535	11,196	83,223	5,581	16,777	66,733	5,569	2393	26
8	5,000	4,762	63,46	1149,2	663,3	485,9	2365	2535	11,063	82,237	6,700	17,763	62,282	6,688	2365	51
9	5,000	4,762	63,42	1151,7	669,0	482,7	2386	2535	11,161	82,962	5,877	17,038	65,506	5,865	2386	26
10	5,000	4,762	63,45	1155,1	674,3	480,8	2402	2535	11,238	83,536	5,226	16,464	68,258	5,214	2402	29
11	5,000	4,762	63,49	1153,8	671,5	482,3	2392	2535	11,190	83,182	5,627	16,818	66,540	5,615	2392	30
12	5,000	4,762	63,40	1153,1	671,9	481,2	2396	2535	11,209	83,322	5,469	16,678	67,210	5,456	2396	22
13	5,000	4,762	63,44	1155,2	673,0	482,2	2396	2535	11,206	83,301	5,493	16,699	67,107	5,481	2396	27
14	5,000	4,762	63,42	1155,4	672,9	482,5	2395	2535	11,201	83,263	5,535	16,737	66,927	5,523	2395	24
15	5,000	4,762	63,46	1154,3	670,8	483,5	2387	2535	11,167	83,012	5,821	16,988	65,737	5,808	2387	22
16	5,000	4,762	63,40	1153,4	669,7	483,7	2385	2535	11,154	82,913	5,933	17,087	65,279	5,921	2385	21
17	5,000	4,762	63,49	1153,4	671,3	482,1	2392	2535	11,191	83,188	5,621	16,812	66,567	5,608	2392	24
18	5,000	4,762	63,42	1153,2	670,8	482,4	2391	2535	11,182	83,122	5,696	16,878	66,254	5,683	2391	24
19	5,000	4,762	63,41	1153,5	673,9	479,6	2405	2535	11,250	83,629	5,120	16,371	68,722	5,108	2405	24
20	5,000	4,762	63,46	1154,0	671,2	482,8	2390	2535	11,181	83,111	5,708	16,889	66,200	5,696	2390	29
21	5,000	4,762	63,48	1152,8	670,3	482,5	2389	2535	11,176	83,076	5,748	16,924	66,037	5,736	2389	27
22	5,000	4,762	63,43	1153,8	674,1	479,7	2405	2535	11,251	83,633	5,116	16,367	68,744	5,103	2405	24
23	5,000	4,762	63,43	1152,7	670,8	481,9	2392	2535	11,189	83,172	5,639	16,828	66,491	5,626	2392	24
24	5,000	4,762	63,44	1155,0	671,5	483,5	2389	2535	11,174	83,062	5,763	16,938	65,973	5,751	2389	24
Ort.			63,45									16,876	66,296	5,681	2391	28

Ek-25 600 kPa düşey basınç ve 1.25° yoğurma açısıyla, 62.6 mm yüksekliğe göre sıkıştırılan, 100 mm çaplı, ‰ 3.0 PP katkılı numunelerin, fiziksel ve mekanik özellikleri

BİRİKİMİ NO	KABA AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2712,0 kg / m³ İNCE AGREGA ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2756,0 kg / m³ FİLLER ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739,0 kg / m³			BİTÜM ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 1018 kg / m³ AGREGANIN ÖZGÜL AĞIRLIĞI : 2739 kg / m³ PP KATKISI : 3,0 ‰			SIKIŞTIRMA PATERNİ: 600 kPa BASINÇ-1,25 DERECE YOĞURMA AÇISI BİTİŞ : 62,6 mm YÜKSEKLİK																		AKMA	MQ
	AÇ	AÇ	BİRİKET YÜKSEKLİĞİ (mm)	AĞIRLIK (gr)		HACİM	BİRİM AĞIRLIK (kg/m³)		HACİM (Toplama Göre) %		BOŞLUK ORANI (%)			BİRİM AĞIRLIK	GYR SAYISI	STABİLİTE (kg)			AKMA	MQ							
	%	%		Havada	Suda	cm³	Karışım	Karışım (Teorik)	Asfalt	Agrega	Hava Boşluğu	Agrega	Asfalta Dolu	Toplam Karışım		(kg/m³)		Deneysel	Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş		s						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n		o		p		q	p * Düzeltme F.	s	t	φ/s		
Agrega Ağırlığına Göre	a/(100+a)			d-e		d/(d-e)		b*g/(SG$_{ca}$)	(100-b)*g/SG$_{agr}$	100-j	100-j	i/l * 100	100-100g/h															
1	5,000	4,762	62,55	1138,3	661,5	476,8	2387	2535	11,167	83,012	5,821	16,988	65,736	5,809	20	2387	20	1312,9	1,02375	1344,081	5,753	233,631						
2	5,000	4,762	62,60	1157,8	681,1	476,7	2429	2535	11,361	84,451	4,187	15,549	73,069	4,175	54	2429	54	1348,5	1,02350	1380,190	3,255	424,021						
3	5,000	4,762	62,58	1159,1	681,3	477,8	2426	2535	11,348	84,352	4,301	15,648	72,517	4,288	51	2426	51	1602,9	1,02300	1639,767	3,558	460,868						
4	5,000	4,762	62,59	1157,5	679,4	478,1	2421	2535	11,325	84,182	4,493	15,818	71,597	4,480	51	2421	51	1467,7	1,02275	1501,090	3,223	465,743						
5	5,000	4,762	62,56	1154,9	677,7	477,2	2420	2535	11,321	84,152	4,528	15,848	71,432	4,515	34	2420	34	1477,6	1,02350	1512,324	3,676	411,405						
6	5,000	4,762	62,59	1153,4	674,0	479,4	2406	2535	11,254	83,657	5,089	16,343	68,861	5,077	79	2406	79	1489,2	1,02275	1523,079	3,542	430,005						
7	5,000	4,762	62,58	1155,0	677,7	477,3	2420	2535	11,319	84,141	4,539	15,859	71,377	4,527	78	2420	78	1543,1	1,02300	1578,591	3,662	431,074						
8	5,000	4,762	62,58	1159,2	683,3	475,9	2436	2535	11,394	84,696	3,910	15,304	74,450	3,898	50	2436	50	1595,5	1,02300	1632,197	3,390	481,474						
9	5,000	4,762	62,56	1151,5	674,4	477,1	2414	2535	11,290	83,921	4,789	16,079	70,217	4,776	45	2414	45	1468,5	1,02350	1503,010	3,426	438,707						
10	5,000	4,762	62,58	1159,6	681,7	477,9	2426	2535	11,350	84,370	4,279	15,630	72,620	4,267	33	2426	33	1408,1	1,02300	1440,486	3,662	393,361						
11	5,000	4,762	62,59	1153,7	673,4	480,3	2402	2535	11,236	83,522	5,242	16,478	68,187	5,230	105	2402	105	1533,2	1,02275	1568,080	3,457	453,596						
12	5,000	4,762	62,60	1153,4	676,5	476,9	2419	2535	11,313	84,095	4,592	15,905	71,131	4,579	48	2419	48	1466,0	1,02250	1498,985	3,610	415,231						
13	5,000	4,762	62,55	1152,5	676,7	475,8	2422	2535	11,331	84,224	4,446	15,776	71,821	4,433	38	2422	38	1482,6	1,02375	1517,812	3,676	412,898						
14	5,000	4,762	62,53	1143,4	667,2	476,2	2401	2535	11,232	83,489	5,280	16,511	68,024	5,267	13	2401	13	1011,5	1,02425	1036,029	5,811	178,288						
15	5,000	4,762	62,47	1121,1	651,8	469,3	2389	2535	11,174	83,064	5,762	16,936	65,980	5,749	19	2389	19	1122,5	1,02575	1151,404	3,780	304,604						
16	5,000	4,762	62,56	1154,9	676,3	478,6	2413	2535	11,288	83,905	4,807	16,095	70,134	4,794	45	2413	45	1425,4	1,02350	1458,897	3,475	419,826						
17	5,000	4,762	62,58	1161,2	684,9	476,3	2438	2535	11,404	84,771	3,825	15,229	74,882	3,813	52	2438	52	1575,5	1,02300	1611,737	3,367	478,686						
18	5,000	4,762	62,56	1136,5	662,6	473,9	2398	2535	11,218	83,388	5,394	16,612	67,528	5,382	38	2398	38	1401,4	1,02350	1434,333	3,558	403,129						
19	5,000	4,762	62,58	1141,0	668,0	473,0	2412	2535	11,284	83,877	4,839	16,123	69,986	4,827	34	2412	34	1515,7	1,02300	1550,561	3,425	452,719						
20	5,000	4,762	62,53	1151,1	676,1	475,0	2423	2535	11,336	84,263	4,401	15,737	72,034	4,388	33	2423	33	1583,8	1,02425	1622,207	3,256	498,221						
21	5,000	4,762	62,56	1154,8	677,7	477,1	2420	2535	11,322	84,162	4,516	15,838	71,487	4,503	36	2420	36	1640,3	1,02350	1678,847	3,642	460,968						
22	5,000	4,762	62,58	1153,2	677,0	476,2	2422	2535	11,328	84,204	4,468	15,796	71,715	4,455	37	1921,0	1,02300	1965,183	3,780	519,890						
23	5,000	4,762	62,56	1135,7	659,6	476,1	2385	2535	11,158	82,944	5,898	17,056	65,421	5,886	27	2385	27	1288,0	1,02350	1318,268	3,931	335,352						
24	5,000	4,762	62,55	1151,5	675,0	476,5	2417	2535	11,304	84,027	4,669	15,973	70,770	4,656	28	2417	28	1498,3	1,02375	1533,885	3,586	427,743						
25	5,000	4,762	62,53	1158,9	681,8	477,1	2429	2535	11,362	84,461	4,177	15,539	73,121	4,164	26	2429	26	1738,3	1,02425	1780,454	3,690	482,508						
26	5,000	4,762	62,62	1155,3	676,4	478,9	2412	2535	11,285	83,882	4,834	16,118	70,012	4,821	26	2412	26											
27	5,000	4,762	62,60	1152,5	674,7	477,8	2412	2535	11,283	83,871	4,846	16,129	69,957	4,833	25	2412	25											
28	5,000	4,762	62,62	1155,4	678,7	476,7	2424	2535	11,338	84,276	4,386	15,724	72,105	4,374	40	2424	40											
29	5,000	4,762	62,58	1151,1	676,9	474,2	2427	2535	11,355	84,405	4,240	15,595	72,813	4,227	32	2427	32											
30	5,000	4,762	62,62	1154,5	677,1	477,4	2418	2535	11,312	84,087	4,601	15,913	71,089	4,588	24	2418	24											
31	5,000	4,762	62,56	1156,3	678,4	477,9	2420	2535	11,318	84,130	4,552	15,870	71,318	4,539	29	2420	29											
32	5,000	4,762	62,62	1153,6	676,8	476,8	2419	2535	11,318	84,127	4,555	15,873	71,303	4,543	29	2419	29											
33	5,000	4,762	62,57	1154,2	675,8	478,4	2413	2535	11,286	83,890	4,825	16,110	70,052	4,812	31	2413	31											
34	5,000	4,762	62,56	1151,3	675,4	475,9	2419	2535	11,316	84,118	4,565	15,882	71,255	4,553	29	2419	29											
35	5,000	4,762	62,61	1154,5	677,4	477,1	2420	2535	11,319	84,140	4,541	15,860	71,370	4,528	29	2420	29											
36	5,000	4,762	62,60	1156,7	680,4	476,3	2429	2535	11,360	84,442	4,198	15,558	73,016	4,186	41	2429	41											
37	5,000	4,762	62,58	1153,0	676,8	476,2	2421	2535	11,326	84,190	4,484	15,810	71,636	4,472	24	2421	24											
38	5,000	4,762	62,62	1155,0	675,6	479,4	2409	2535	11,270	83,773	4,957	16,227	69,450	4,945	32	2409	32											
39	5,000	4,762	62,59	1152,7	675,9	476,8	2418	2535	11,309	84,062	4,629	15,938	70,954	4,617	28	2418	28											
40	5,000	4,762	62,56	1155,0	676,5	478,5	2414	2535	11,291	83,930	4,779	16,070	70,263	4,766	27	2414	27											
41	5,000	4,762	62,61	1154,3	677,0	477,3	2418	2535	11,313	84,090	4,597	15,910	71,105	4,585	25	2418	25											
42	5,000	4,762	62,61	1153,6	675,6	478,0	2413	2535	11,289	83,916	4,795	16,084	70,190	4,782	24	2413	24											
43	5,000	4,762	62,61	1152,7	674,6	478,1	2411	2535	11,278	83,833	4,889	16,167	69,760	4,876	25	2411	25											
44	5,000	4,762	62,62	1151,4	674,9	476,5	2416	2535	11,303	84,020	4,677	15,980	70,732	4,665	24	2416	24											
45	5,000	4,762	62,58	1155,9	677,8	478,1	2418	2535	11,309	84,066	4,625	15,934	70,976	4,612	31	2418	31											
46	5,000	4,762	62,62	1154,7	676,0	478,7	2412	2535	11,283	83,873	4,843	16,127	69,968	4,831	38	2412	38											
47	5,000	4,762	62,62	1153,3	675,9	477,4	2416	2535	11,300	84,000	4,700	16,000	70,627	4,687	26	2416	26											
48	5,000	4,762	62,61	1152,6	674,8	477,8	2412	2535	11,284	83,879	4,837	16,121	69,994	4,825	35	2412	35											
49	5,000	4,762	62,61	1153,9	676,4	477,5	2417	2535	11,304	84,026	4,670	15,974	70,764	4,658	28	2417	28											
Ort.	NOT: 1,6,7,11,14,15,16,17 VE 23 NUMARALI NUMUNELER ORTALAMADAN ÇIKARILMIŞTIR										15,904		71,155	4,578	33	2419				1574,458	3,526	446,805						