İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKI KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İbrahim Erkan IŞIK

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

ARALIK 2005

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKI KULLANIMI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. İbrahim Erkan IŞIK
(501031186)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 16 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Ocak 2006

Tez Danışmanı : **Prof.Dr. M. Hulusi ÖZKUL**
Diğer Jüri Üyeleri **Prof.Dr. Mehmet UYAN (İ.T.Ü.)**
Prof.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü)

ARALIK 2005

ÖNSÖZ

Bu tezin yürütücülüğünü yapan ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımları ile yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. M.Hulusi ÖZKUL'a,
Bu çalışmaya teknik yardım ve malzeme desteği sağlayan Sika Yapı Kimyasallar A.Ş.'ye ve bu firmanın yetkilileri Dr. Ali R. SAĞLAM ve Kimya Müh. Nazmiye PARLAK'a,
Çalışmalarım sırasında bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan Araş.Gör. Cengiz ŞENGÜL ve Araş.Gör. Anıl DOĞAN'a,
Deneysel çalışmalarım sırasında yardımcı olan arkadaşım İnş.Müh. Aziz TÜRKEL'e ve İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Labaratuarı çalışanlarına,
Çalışmalarım sırasınca her zaman beni destekleyen arkadaşım Esra KILIÇ'a,
Gösterdikleri sevgi ve destek dolayısıyla aileme,

teşekkür ederim.

Aralık 2005 İbrahim Erkan IŞIK

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ **v**
ŞEKİL LİSTESİ **vi**
ÖZET **viii**
SUMMARY **ix**

1.GİRİŞ 1

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER **2**
2.1 Beton 2
2.1.1 Özel beton 3
2.1.1.1 Hafif betonlar 3
2.1.1.2 Vakum betonu 4
2.1.1.3 Agregası önceden yerleştirilmiş beton 4
2.1.1.4 Lifli beton 4
2.1.1.5 Polimer-portland çimentosu betonu 4
2.1.1.6 Silindirle sıkıştırılmış beton 5
2.1.1.7 Yüksek akışkanlığa sahip betonlar 5
2.1.2 Taze betondan beklenen özellikler 5
2.1.3 Taze betonda reolojik özellikler 9
2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar 11
2.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonlarda ince malzeme kullanımı 17
2.2.2 Kendiliğinden yerleşen betonlarda viskozite düzenleyici katkılar 18
2.2.3 Viskozite düzenleyici katkı üzerine yapılan çalışmalar 19
2.2.4 Akışkanlaştırıcı katkıların etkileri ve viskozite düzenleyici katkılarla uyumu 23
2.3 Uçucu Kül 27
2.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Deney Yöntemleri 28
2.4.1 Simule edilmiş doldurma deneyi 28
2.4.2 J-Halkası deneyi 29
2.4.3 Çökme yayılma deneyi 30
2.4.4 L-Kutusu deneyi 31
2.4.5 V-Hunisi deneyi 32

2.4.6 U-Kutusu deneyi 33

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 35
3.1 Kullanılan Malzemeler 35
3.1.1 Çimento ve uçucu kül 35
3.1.2 Agrega 35
3.1.3 Kimyasal katkılar 36
3.2 Beton Karışımı 37
3.3 Yapılan Deneyler 39
3.3.1 Taze beton deneyleri 39
3.3.1.1 Serbest yayılma deneyi 39
3.3.1.2 Kısıtlanmış yayılma deneyi 40
3.3.1.3 Terleme deneyi 41
3.3.1.4 Eleme deneyi 42
3.3.1.5 Penetrasyon deneyi 43
3.3.2 Sertleşmiş beton deneyleri 44
3.3.2.1 Kılcal su emme deneyi 44
3.3.2.2 Basınç deneyi 44

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ 45
4.1 Taze Beton Deney Sonuçları 45
4.1.1 Welan Gum içeren karışımlar 46
4.1.2 Kelzan Gum içeren karışımlar 49
4.1.3. Nişasta Eteri içeren karışımlar 52
4.1.4 550 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışım 55
4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri 57
4.2.1 Basınç dayanımları 57
4.2.2 Kılcallık katsayıları 58

5- GENEL SONUÇLAR 59

6- KAYNAKLAR 60

7- EKLER 64

8- ÖZGEÇMİŞ 68

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 3.1: Çimento ve Uçucu Külün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri……35
Tablo 3.2: Agrega Elek Analizi Sonuçları ve Agrega Özellikleri…….36
Tablo 3.3: Betonda Kullanılan Kimyasal Katkıların Özellikleri…….....37
Tablo 3.4: 1m^3 Betona Giren Malzeme Miktarları……...…….38
Tablo 3.5: Beton Karışım Oranları (kg)…….39
Tablo 4.1: Taze Beton Deney Sonuçları…….. .45
Tablo 4.2: Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları…….. 57

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Terleme Sırasında Beton Suyunun Ayrışması ve Birikmesi……8
Şekil 2.2: Newton Sıvısının Viskoz Akışı……..10
Şekil 2.3: Bingham Sıvısında Kayma Gerilmesi-Kayma Hızı (Oranı) İlişkisi……...11
Şekil 2.4: Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilen Bir Prefabrike Eleman……...14
Şekil 2.5: Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojik Özellikleri……..16
Şekil 2.6: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması…….26
Şekil 2.7: Simule Edilmiş Doldurma Testi Deney Düzeneği……..……..…29
Şekil 2.8: J-Halkası Testi Deney Düzeneği……30
Şekil 2.9: Çökme-Yayılma Testi Deney Düzeneği……..…31
Şekil 2.10: L-Kutusu Testi Deney Düzeneği……..32
Şekil 2.11: V-Hunisi Testi Deney Düzeneği…….....33
Şekil 2.12: U-Kutusu Testi Deney Düzeneği……..34
Şekil 3.1: Beton Agregası Karışımının Granülometrisi ve Referans Eğrileri……...36
Şekil 3.2: Serbest Yayılma Deneyi…….40
Şekil 3.3: Kısıtlanmış Yayılma Deneyi……..……..41
Şekil 3.4: Terleme Deneyi Aparatları……42
Şekil 3.5: Eleme Deneyi…….……43
Şekil 3.6: Penetrasyon Deneyi……43
Şekil 4.1: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları…….47
Şekil 4.2: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları…….48
Şekil 4.3: 300 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları……..50
Şekil 4.4: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Kelzan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları……..51
Şekil 4.5: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları…….53

Sayfa No

Şekil 4.6: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları……..54
Şekil 4.7: 350 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları……..56

KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONLARDA VİSKOZİTE DÜZENLEYİCİ KATKI KULLANIMI

ÖZET

Kendiliğinden yerleşen betonların (KYB) üretiminde çoğunlukla yeni kuşak kimyasal katkılar kullanılmaktadır. Dağıtma gücü çok yüksek olan bu katkılarla üretilebilen KYB'larda ayrışmayı önleyebilmek için ya 100 μm'den daha ince malzeme miktarını (çimento dahil) arttırmak, ya viskozite düzenleyici bir katkı kullanmak, ya da her iki yöntemi bir arada uygulamak gerekir.

Bu çalışmada, viskozite düzenleyici katkılar (VDK) kullanılarak daha düşük ince malzeme içeren KYB üretiminin gerçekleştirilebilme olanağı araştırılmıştır. Bu amaçla, uçucu kül/çimento oranı 0.2 olan, 350-450 kg/m^3 arasında toplam bağlayıcı dozajlı betonlarda Welan Gum, Kelzan Gum ve Nişasta Eteri adlı viskozite düzenleyici katkılar değişik oranlarda denenmiştir. Her VDK için uygun çözeltiler hazırlanmış ve kullanım oranları deneme betonları ile bulunmuştur. Serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma deneyleri taze betonların kendiliğinden yerleşme özelliklerini araştırmak için, 5 mm'lik elekten geçirme, penetrasyon ve terleme deneyleri ise taze betonların ayrışma dirençlerini belirlemek amacıyla yapılmıştır. Ayrıca, VDK'ların KYB'ın mekanik özelliklerine etkisini araştırmak için sertleşmiş betonda basınç dayanımı ve kılcal su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Yapılan deneysel çalışmaların sonunda, ince malzeme yerine VDK kullanılarak kendiliğinden yerleşen beton yapılabileceği bulunurken, VDK'ın basınç dayanımına olumsuz bir etkisi görülmemiş fakat kılcal su emme değerleri ile VDK oranları arasında kararlı bir ilişki gözlenememiştir.

USING VISCOSITY MODIFYING ADMIXTURES IN SELF-COMPACTING CONCRETES

SUMMARY

New generation chemical admixtures are usually used to produce self-compacting concretes (SCC). These chemical admixtures, which have high degree of dispersion ability, cause segregation of concrete. To avoid segregation in concrete, special concrete design has to be made either by using fine-grained (finer than 100 μm) materials or viscosity-modifying admixtures (VMA) or both.

In this study, the possibility of producing self-compacting concrete with less fine material by using VMA is investigated. For this purpose, different viscosity modifying admixtures, such as Welan Gum, Kelzan Gum and Starch Ether, were used at varying dosages. Fly ash/ Portland cement ratio was kept constant at 0.20 for all mixtures and binder contents varried between 350 and 450 kg/m^3. Slump flow and confined slump flow tests were carried out to search self-compacting properties. Also, sieving through 5 mm mesh, penetration and bleeding tests were applied to compare the segregation properties of fresh concretes. To determine the effects of VMA's on mechanical properties of concrete, compressive strengths and capillary water permeability tests were carried out on hardened concretes.

Experiments have shown that, producing self-compacting concrete with less fine material by using VMA is possible. VMA didn't effect SCC's compressive strengths negatively, but any relationship was not found between capillary water permeability and VMA's dosages.

1.GİRİŞ

Kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) ilk kez Japonya'da su altı beton uygulamaları için geliştirilmiş ve daha sonra değişik amaçlar için yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Kendiliğinden yerleşen betonlar yüksek yayılma, düşük segregasyon ve terlemeye bağlı olarak üstün işlenebilirlilik özelliği, ayrıca yeterli basınç dayanımı ve geçirimsizlik özelliği gösterirler.

Kendiliğinden yerleşen betonlarda dağıtma gücü yüksek yeni kuşak kimyasal katkılar kullanılmaktadır. Bu nedenden dolayı beton tasarımında ayrışma olasılığına karşı ince malzeme miktarı (<100μm) yüksek tutulur. İnce malzemenin yüksek oranda kullanılmasından dolayı ince malzeme cinsine bağlı olarak rötre, sünme, termal rötre gibi bazı sorunlar ortaya çıkabilirken ayrıca beton maliyeti de yükselebilir. Bu olumsuzlukları önlemek için ince malzeme oranı düşürülürse betonda terleme ve ayrışma gibi istenmeyen durumlar görülmektedir. Bu nedenle kendiliğinden yerleşen betonlarda ince malzeme miktarı azaltıldığında, ayrışma ve terleme olasılığına karşı viskozite düzenleyici katkı (VDK) kullanımı yaklaşımı geliştirilmiştir.

Viskozite düzenleyici katkılar ince malzemenin düşük olduğu kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanıldığında, betonun viskozitesini arttırarak taze betonun ayrışma direncini yükseltmektedirler. VDK kullanımı ile viskozitenin aşırı artmasından dolayı istenen yayılma sağlanamıyabilinir. Bundan dolayı kullanılan VDK'nın ve süperakışkanlaştırıcı katkıların optimum kullanım oranlarının deneme betonları ile belirlenmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı betonda ince malzeme miktarını azaltarak, bunun yerine Welan Gum, Kelzan Gum ve Nişasta Eteri gibi VDK'lar kullanarak KYB'lar elde etmektir. Bu amaçla 350,400 ve 450 kg/m^3 bağlayıcı dozajlarındaki betonlarda uygun VDK oranları araştırılmıştır.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI ve GENEL BİLGİLER

2.1 Beton

Beton, çok daha önceleri Roma çimentosu olarak bilinip kullanılmasına karşın, yapay portland çimentosunun üretilmesi ile birlikte, yeni bir kagir yapı malzemesi olarak 1824'lerde ortaya çıkmıştır. Beton ucuzluğu, şekil verebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı ile günümüzün en yaygın kullanılan taşıyıcı yapı malzemesidir. Demir donatı ile desteklenerek betonarmenin oluşturulması ile çekme mukavemetinin yeterliliği sağlanmış, öngerilmeli betonla büyük açıklıklar geçilebilmiş, katkı maddeleri ile özellikleri geliştirilmiş ve çeşitli teknikler kullanılarak su, ısı, ses, buhar geçirimsizliği sağlanabilmiştir.

Beton, doğal veya yapay iri ve ince agrega, çimento ve sudan oluşan kompozit bir malzemedir. Betona gerektiğinde, betona değişik özellikler sağlamak için kimyasal ve/veya mineral katkı maddeleri katılabilir. Betonda agregalar dağınık fazı meydana getirirken, çimento ve suyun oluşturduğu hamur fazı sürekli ortamı sağlar. Bundan dolayı beton aglomera kompozit bir malzemedir. Betonun en önemli üstün özelliği istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Başlangıçta plastik ya da akıcı kıvama sahip olan beton zamanla katılaşıp sertleşerek mukavemet kazanır. Beton başta konut yapımı olmak üzere karayolu, demiryolu, köprü, liman ve havaalanı gibi ulaştırma sistemlerinin ve enerji üretimi için çeşitli barajların inşasına kadar çok geniş bir alanda kulanılmaktadır. Beton hangi amaçla üretilirse üretilsin taze haldeyken işlenebilme, sertleşmiş haldeyken mekanik dayanım ve çevre koşullarına dayanıklılık (durabilite) özelliklerine sahip olmalıdır.

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar;

- Normal Beton: Birim ağırlığı yaklaşık 2400 kg/m^3 ağırlığında olan betonlardır.
- Hafif Beton: Birim ağırlığı 2000 kg/m$^{3'}$den az olan betonlardır.
- Ağır Beton: Birim ağırlığı 2600 kg/m^3'den fazla olan betonlardır.

Betonlar basınç dayanımlarına göre de üç ana gruba ayrılırlar;

- Düşük dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm$^{2'}$den az olan betonlardır.
- Normal dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 20-40 N/mm^2 arası olan betonlardır.
- Yüksek dayanımlı betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm$^{2'}$den fazla olan betonlardır [1].

2.1.1 Özel betonlar

Normal betonların basınç dayanımı, süneklik, yoğunluk, düşük geçirimlilik, dürabilite, sınırlı rötre, kimyasal etkilere karşı dayanıklılık gibi özelliklerinin bir amaca yönelik olarak iyileştirilmesi ve geliştirilmesi ile oluşturulan, normal, hafif, ya da ağır betonlardır.

2.1.1.1 Hafif betonlar

Hafif betonların birim ağırlıkları 550-1800 kg/m^3 arasında değişir. Hafif betonlar esas olarak üç yöntemle elde edilir. Bunlar hafif agrega kullanılması, köpük katkıları, hava kabarcığı ve gaz üreten katkılar kullanılması, betonun ince agregalarını çıkararak üretilen kumsuz betonlar üretme yöntemleridir. Bu tür betonların 28 günlük standart silindir basınç dayanımı 17 N/mm$^{2'}$nin üstünde ve aynı yaştaki hava kurusu birim ağırlığı 1850 kg/m^3'ün altındadır. Taşıyıcı hafif betonlar, tamamıyla hafif agrega kullanılarak yapılabildiği gibi, hafif ve normal ağırlıklı agregaların uygun kombinasyonları da kullanılabilir. Genellikle ince agrega normal, iri agrega ise hafif seçilir. Hafif beton üretiminde karşılaşılan en önemli pratik sorun işlenebilirlilik sorunudur. Agregaların gözenekli düzgün olmayan yapıları hafif beton karışımlarının sert ve zor işlenebilir olmasına neden olabilir. Fazla sulu karışımlar ayrışma problemi doğuracağından kullanılmamalıdır. Hafif betonun işlenebilirliğini ince agrega miktarını arttırarak, çimento miktarını arttırarak, uçucu kül kullanarak ve hava sürükleyici katkı veya akışkanlaştırıcı katkı kullanarak artırmak mümkündür [1].

2.1.1.2 Vakum betonu

Vakum betonu, yerleştirme işleminden hemen sonra beton yüzeyine konulan vakum panelleri ve uygun bir vakum pompası vasıtasıyla karışım suyunun bir kısmının betondan uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Vakum uygulamasıyla, yüzeyden 15-30 cm derinlikteki bölgede bulunan suyun yaklaşık 1/3'ü alınabilir. Ancak, yaygın uygulama 15 cm derinliğe kadar olan kısmından karışım suyunun yaklaşık %20'sinin vakumlanarak alınması yönündedir. Vakum betonlarında, suyun bir kısmının alınması nedeniyle, su/çimento oranı azaltıldığından dolayı daha yüksek dayanımlar ve dayanıklılık sağlanır [1].

2.1.1.3 Agregası önceden yerleştirilmiş beton

Kalıplara önceden yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış gradasyonlu ve temiz iri agrega taneleri arasındaki boşluklara çimento, ince agrega ve sudan oluşan karışımın pompalanmasıyla elde edilen betondur. Su altı işlerinde ve onarımlarda sıkça kullanılır. Ayrıca bazı köprü ayakları, nükleer reaktörler, tüneller, madenler gibi yerlerdeki çeşitli beton işlerinde uygulanmıştır [1].

2.1.1.4 Lifli beton

Lifli beton uygulamaları betonda çatlakların ilerlemesini ve yayılmasını önlemek, sünekliği ve tokluğu artırmak maksadıyla yapılır. Uygulamanın etkinliği kullanılan lif miktarına, lif şekline, liflerin beton içindeki yönlenmesine ve dağılımına, liflerin boy-çap oranlarına, liflerin ve betonun elastisite modüllerinin oranına ve lifli betonun sıkıştırılma yöntemine bağlıdır. Lifli betonlar genel olarak, çatlak ilerlemesinin istenmediği, enerji yutma kapasitesinin yüksek olması gereken yerlerde kullanılır. Beton yollar, köprüler, hava alanları, endüstriyel döşemeler, kayalarda şev stabilizasyonu lifli betonların kullanıldığı alanlardır [1].

2.1.1.5 Polimer-portland çimentosu betonu

Polimeri-portland çimentosu betonları lateks modifiye betonlar (LMB) ve polimer emdirilmiş betonlar olmak üzere iki gruba ayrılır. LMB, karışım suyunun bir kısmı yerine polimer emülsiyonlarının kullanılmasıyla elde edilir. PEB ise monomerlerin betona emdirildikten sonra polimerleştirilmesiyle elde edilir. LMB üretiminde elastomerik, stiren butadien ve poliakrilat kopolimer esaslı malzemeler kullanılır. Bu betonlarda su/çimento miktarı 0.40-0.45, çimento miktarı ise 400-420 kg/$m^{3'}$ tür.

PEB daha çok prekast elemanların üretimi için uygundur. Metilmetakrilat ve stiren gibi monomerlerin betona emdirildikten sonra katalizör, gama radyasyonu veya sıcaklık uygulamalarıyla polimerleştirilmesi sonucunda PEB elde edilir [1].

2.1.1.6 Silindirle sıkıştırılmış beton

Çekme değeri sıfır olan bir beton karışımının toprak dolgu veya kaya dolgu baraj inşaatlarında kullanılan deney düzeni kullanılarak taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıyla elde edilen kütle betonudur. Normal betonlar için geçerli olan su/çimento dayanım ilişkisi bu betonlar için geçerli değildir. Fazla su içeren karışım, sıkıştırma deney düzeninin beton üzerinde rahatça, betona batmadan hareket edebileceği en uygun karışımdır. Uçucu kül işlenebilirlik bakımından bu betonlarda kullanılır. Normal betonlara göre çimento miktarı azdır, tabakalar halinde yerleştirildiği için kalıp maliyeti düşüktür, hidratasyon ısısını azaltıcı soğutma sistemleri gerektirmez, taşınma masrafları daha azdır, yapım süresi kısadır ve hızlı yerleştirme imkanı verdiğinden, deney düzeni ve işçilik kullanımı daha etkindir [1].

2.1.1.7 Yüksek akışkanlığa sahip betonlar

Gelişen beton teknolojisinde süperakışkanlaştırıcı katkıların bulunmasıyla yüksek akışkanlığa sahip beton dizaynı mümkün olmuştur. Kendiliğinden yerleşen beton dizaynında ilerlemeler olmuş ve ayrıca kendiliğinden yerleşen çelik lifli beton da üretilmiştir. Bu tez kapsamında olan kendiliğinden yerleşen betonlar ve özellikleri daha kapsamlı anlatılacaktır. Kendiliğinden yerleşen betonlarda betonun taze haldeki özellikleri ön plana çıkmaktadır.

2.1.2 Taze betondan beklenen özellikler

Taze betonun taşıması gereken özellikler genel olarak şöyle özetlenebilir:

a-) Beton kolay karıştırılmalıdır. Herhangi bir kimyasal katkı maddesi de dahil olmak üzere tüm bileşen malzemeler gerekli minimum enerji ile karışım içinde hızlı ve homojen şekilde dağılmalıdır. Bu homojen dağılım her parti beton için geçerli olmalıdır

b-) Karışım işin gerektirdiği şekilde vibrasyon uygulanarak veya uygulanmadan döküldüğü kalıbı tam olarak doldurabilecek işlenebilirliğe sahip olmalıdır. Ayrıca karışımın taşınma sırasında kıvamında ve diğer özelliklerinde kabul edilebilir

değerlerin üzerinde kayıplar olmamalı, taşıma ve yerleştirme sırasında segregasyona uğramamalıdır.

c-) Karışımın yerine yerleştirilmesi için fazla enerjiye ihtiyaç duyulmamalıdır.

d-) Karışım işin gerektirdiği şekilde perdahlanabilir olmalıdır.

Taze beton teknolojisinde kullanılan terimler kıvam, işlenebilirlilik, hareketlilik, pompalanabilirlilik, kararlılık, ayrışma, terleme, yerleşebilirlilik, perdahlanabilirlik terimleridir.

Kıvam terimi bir taraftan üniformluk, düzgünlük veya uyumu, öteki taraftan da akıcılığı kapsamaktadır. Kıvam terimi bazı hallerde taze betonun ıslaklık derecesini tarif etmek için de kullanılmaktadır. Bununla beraber aynı kıvama sahip betonlar farklı işlenebirlilikte olabilmektedir. Taze beton durumunda yerleştirilebilme kolaylığı, karmaşık şekillerin içini doldurabilme yeteneği, donatılar arasından akış ve kolay perdahlanabirlik gibi özellikler dikkate alınmaktadır. Bu özellikler kıvam terimi ile açıklanamamaktadır.

İşlenebilirlilik terimi taze betonun yerleştirilme şartlarına bağlıdır. İyi işlenebilirliğe sahip bir beton fazla terleme ve ayrışma göstermemelidir. Bu nedenle taze betonun işlenebilirliği akışkanlık, kolay perdahlanabilirlilik, kohezyon (tanelerin birbirine yapışması) ve sıkıştırabilirlik kavramlarını da kapsamaktadır.

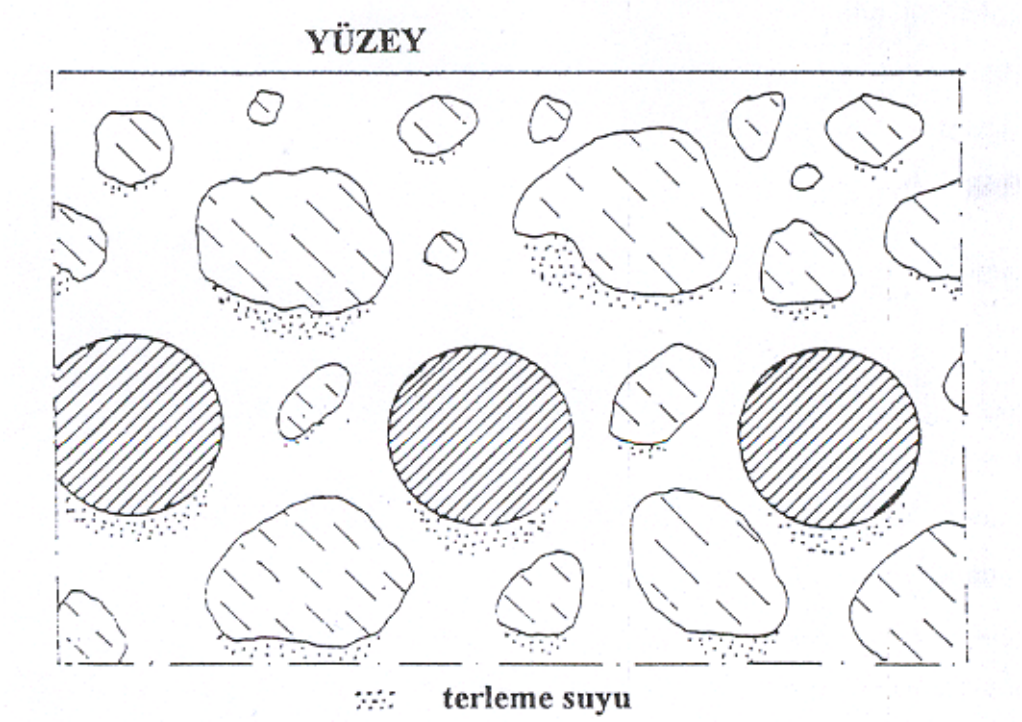
Hareketlilik terimi taze betonun akış kapasitesi olarak tanımlanır. Taze betonun taşınması ve yerleştirilebilmesi karışımın minimum bir dış güç ile kolayca akabilmesi ve bu süreç içinde bileşiminde veya özelliklerinde belirli bir değişiklik olmadan nihai konumuna ulaşabilmesini gerektirir. Taze betonun karmaşık şekildeki kalıpları tamamen doldurması ve daima karışımın donatılar arasından ve çevresinden kolayca akabilmesi beklenir.

Pompalanabirlik terimi çevresini saran boru içinde basınç altındaki betonun hareketlilik ve kararlılığı olarak tanımlanır. Kolay pompalama için betonun minimum basınç ile tıkanma tehlikesi olmadan boru içinde kütlesel olarak akması gerekmektedir. Yeterli bir kararlılıkla desteklenmiş iyi derecede haraketlilik pompalanabilir bir karışım için temel gereksinimdir. Bu kararlılık ve hareketliliğin karışımı boru içinde hareket ettirmek amacıyla dış basınç olduğunda da sürekli olması gerekmektedir.

Kararlılık terimi genellikle taze karışımın ilk andaki üniformluğunu tüm taşıma ve yerleştirme süresi boyunca koruyabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca karışımın ayrışma ve terlemeye direnme yeteneği olarak da tanımlanabilir.

Ayrışma terimi taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi sırasında iri agregaların karışımdan ayrılarak betonun üniformluluğunun bozulması olarak tanımlanabilir. Ayrışan bileşenlerin beton kütlesi içinde bir bölgede yoğunluğu artarken diğer tarafta azalmaktadır. Ayrışma iri agreganın dağılım düzeninin kaybı ile aynı anlamda kullanılmaktadır. Böyle bir durum meydana geldiğinde iri agrega karışımın dibinde veya bir köşesinde birikir. Bunun sonucunda da taze betonun diğer özellikleri üniformluğunu kaybeder, karışımın hareketlilik veya yerleşebilirlilik gibi davranışları değişir. Ayrışma taze karışım sertleştiğinde beton bünyesinde çatlaklara, yarıklara ve bazen peteksi yapıda boşluklara neden olabilir.

Terleme terimi suyun karışımdan ayrılarak yüzeye çıkması anlamında kullanılmaktadır. Terleme aslında özel bir çeşit ayrışmadır. Genellikle karışımın titreşim yoluyla yerleştirilmesi sırasında agreganın çökelmesi ile meydana gelir. Terleme üniform, toplam veya yerel olabilir. Su sıradan bir betonda en düşük yoğunluğa sahip bileşendir ve bundan dolayı taze karışımın üst yüzeyine çıkmaya çalışır. Ayrışmış su yüzeyde toplanır ve burada çok yüksek su/çimento oranına ve ters orantılı olarak zayıf dayanım ve dayanıklılığa sahip tabaka şeklinde çimento hamuru yüzeyini oluşturur. Yüzeyde biriken su tabakası plak ve döşeme yüzeylerinden veya diğer beton elemanların yüzeyinden, bunların üzerlerine yeni beton tabakaları dökülmeden ya da perdahlama işleminden önce uzaklaştırılmalıdır. Rüzgarlı, kuru ve sıcak havalarda yerleştirilmiş taze betonun yüzeyine ulaşan su kısa sürede buharlaşır ve bu da plastik rötre ve çatlak oluşumu ihtimalini yükseltir. Su beton içinde yukarıya doğru yükselirken iri agrega parçacıklarının ve yatay donatıların altında birikebilir. Bu durum sertleşmiş beton içerisinde boşluklar oluşmasına sebep olur ve betonun mukavemetini ve donatıyla arasındaki aderansı zayıflatır. Bu şekilde beton suyunun birikmesi şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2.1 Terleme Sırasında Beton Suyunun Ayrışması ve Birikmesi [2].

Genel olarak karışımdaki çimento dozajının artırılması veya daha ince çimento kullanılması, karışıma uçucu kül, silis dumanı gibi ince malzemeler katılması, su muhtevasının azaltılması ve betona hava sürükleyici katkı eklenmesi terlemeyi azaltmaktadır.

Yerleşebilirlilik (sıkışabilirlilik) terimi betonun iyi bir şekilde yerleştirilmeye mümkün kılınmasıyla açıklanabilir. Sıradan bir betonun işlenebilirliği karışımın içine hapsolmuş havanın karıştırma ve yerleştirme sırasında yüzeye çıkarak kaçmasına müsaade edecek kadar yeterli değildir. Hapsolmuş hava sertleşmiş betonun dayanım ve durabilitesinin her ikisini de önemli ölçüde düşürmektedir. Bu yüzden teknik teknik ve ekonomik açıdan mümkün olduğu sürece hapsolmuş havayı büyük oranda çıkarmak gerekmektedir. Hava boşlukları iyi bir yerleştirmeyle yok edilebilir. Sıradan bir beton iyi yerleştirildiğinde genellikle hapsolmuş hava %1-%2 mertebesine düşer. Bu mertebenin daha aşağılara çekilmesi ekonomik açıdan uygun olmamaktadır.

Perdahlanabilirlik teriminin tatmin edici bir tanımı bulunmamaktadır. Her çeşit perdah işinin kendine özgü işlenebilirlilik derecesine ihtiyaç vardır.

Perdahlanabilirlilik esas olarak derin ve karmaşık şekilde uzanan kalıplarla karşılaşıldığında veya döşeme ve kaplama olarak taze beton dökümü gerektiğinde önem kazanır [2,3].

2.1.3 Taze betonda reolojik özellikler

Genel anlamda reoloji maddenin defarmasyonu ve akışı ile ilgilenen bilim dalı olarak tanımlanmaktadır. Mühendislik uygulamalarında reoloji terimi ideal, elastik katılara, basit akışkanlara ve gazlara ait akış ve deformasyon kurallarına uymayan malzemelerin davranışlarını incelemede kullanılır. Taze beton en önemli bileşenlerinden biri olan taze çimento hamuru ile birlikte uygulamalı reolojinin faaliyet alanında incelenir. Reolojik parametreler belirli bir gerilme uygulandığında oluşacak şekil değiştirme veya akış miktarını veya belirli bir şekil değiştirmenin sebep olduğu gerilme miktarını tahmin etmemizi sağlar. Taze beton gibi karmaşık bir malzemeye uygulandığında teorik ve pratik reolojideki sınırlamaların da farkında olmak önemlidir.

İdeal bir Newton sıvısına kayma gerilmesi uygulandığında bu gerilme sıvının şekil değiştirmesine neden olur ve ideal katılardaki durumun aksine gerilme uygulandıkça sıvı şekil değiştirmeye devam eder.

$$\tau = ή.d\gamma/dt = ή.\ \gamma \qquad (2.1)$$

Birim zamandaki deformasyon oranı γ, kayma gerilmesi τ ile (2.1) bağıntısında gösterildiği gibi orantılıdır. Buradaki ή terimi viskozite katsayısı olarak ifade edilmektedir. Sıvılarda kayma genellikle biri diğerine göre bağıl hareket eden iki paralel yüzey ile temsil edilir. Sürekli devam eden kayma deformasyon oranı hız (V) olarak tanımlanabilir. Şayet sıvı laminer (düzgün) harekette kalırsa aralarında y birim mesafesi bulunan hareketli yüzeylerin hız değişim oranıyla kayma gerilmelerinin etkidiği tabakalarda Newton akışı doğacaktır. Kayma gerilmesi daha genel terimlerle tanımlanırsa;

$$\tau = ή.dv/dy = ή.D \quad [D\text{:hız değişkeni } (dv/dy)] \qquad (2.2)$$

Hız gradyanı zaman içinde kayma deformasyonunun değişme oranına eşitlendiğinde ($dv/dt= \gamma$) denklem şu şekilde yazılabilir;

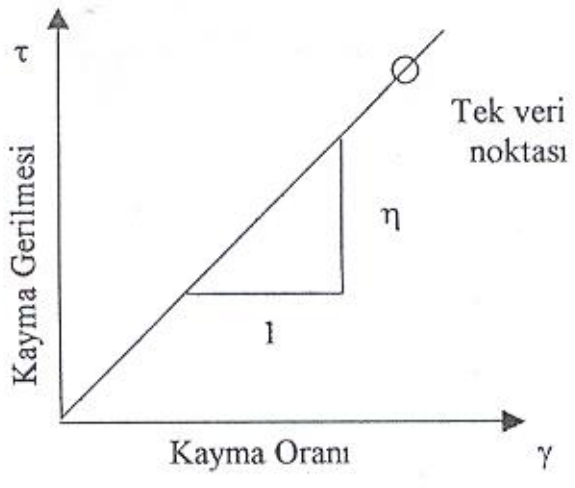
$$\tau = ή.\ \gamma \qquad (2.3)$$

Düzgün akan Newton sıvısının temel reolojik özelliği ή viskozitedir,

$$\acute{\eta} = \tau/\gamma = \text{Kayma gerilmesi / kayma oranı} \qquad (2.4)$$

$$= Pa/sn^{-1} = Pa.sn$$

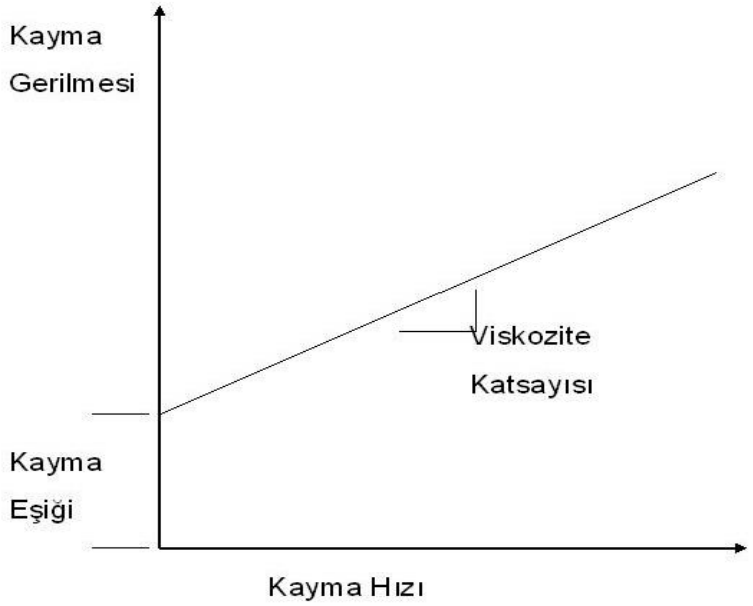
Newton sıvısın viskozite kayma gerilmesi ve kayma oranından bağımsızdır.Viskozite özellikle ilgili sıvının kendi doğasına ve karakterine bağlıdır ve o sıvının akışkanlığının ölçüsüdür. Bundan dolayı viskozite tek ölçüm neticesinde ve tek bir veri ile çizilebilen Şekil 2.2'de görülen Kayma gerilmesi / Kayma oranı diyagramından hesaplanabilinir.



Şekil 2.2 Newton Sıvısının Viskoz Akışı [2].

Newton viskoz akışı olarak anılan kanun taze beton reolojisini açıklamada basit kalmaktadır çünkü taze betonu harekete geçirebilmek için önceden bir miktar kuvvet uygulanması gerektiği açıktır. Bu durum taze betonun bir akış direncine sahip olduğunu ve sonuç olarak akış eğrisinin orijinden geçmesinin mümkün olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle taze betonun özelliklerini açıklama tek bir sabitin yetersiz olduğu görülmektedir.

Newton olmayan sıvılardan beton teknolojisini ilgilendirenler harekete başlayabilmek için önceden belli bir miktar kayma gerilmesi gerektiren τ_o eşik gerilmesine sahip sıvılardır. Bu malzemelere Bingham sıvıları ya da plastikleri denir. Bingham sıvısının davranışı Şekil 2.3'de gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Bingham Sıvısında Kayma Gerilmesi-Kayma Hızı (Oranı) İlişkisi

Kayma gerilmesi/kayma oranı diyagramının eğimi plastik viskoziteyi ($\acute{\eta}_p$) vermektedir.Bir Bingham sıvısının temel ilişkisi şu şekilde verilmektedir;

$$\tau = \tau_o + \acute{\eta}_p . \gamma \qquad \acute{\eta}_p : \text{plastik viskozite} \qquad (2.5)$$

Bu durumda sıvının davranışını karakterize etmek ve akış eğrisini çizebilmek için iki sabite (τ_o, $\acute{\eta}_p$) ihtiyaç duyulmakta ve bunları elde etmek için en az iki veri gerekmektedir. Taze beton davranışı eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozite gibi en az iki katsayı ile değerlendirilmektedir. τ_o ve $\acute{\eta}_p$ değerleri taze betonlarda iki nokta işlenebilme aygıtı ile saptanabilmektedir. Harç ve hamurlarda ise klasik eşeksenli bir viskozimetreden yararlanmak mümkündür [2,3].

2.2 Kendiliğinden Yerleşen Betonlar

Beton dökümlerinde taze betonun gerektirdiği işlenebilirlilik inşaatın tipine, uygulanan yerleştirme ve sıkıştırma yöntemlerine, beton dökülecek kalıbın şekline ve donatıların yerleştirilmesindeki sıkılık derecesine bağlıdır. Bugün bir çok betonarme inşaatta sıradan betonlara göre daha akıcı betonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Sıradan betonlarda, yerleştirme ve sıkıştırılma için vibrasyona ihtiyaç vardır. Vibrasyon uygulaması sıradan betonlarda döküm sırasında zaman kaybına yol açarken, betonların yerleştirilmesi için her zaman etkili olamamaktadır. Ayrıca vibrasyon uygulaması için nitelikli işçilik ve sıkı kalite kontrol denetimi gerekmektedir.

Vibrasyon uygulaması gürültü kirliliğine sebep olurken fazla vibrasyon betonda ayrışmaya, terlemeye ve hava boşluklarına sebep olabilir. Bu olumsuzlukların engellenmesi için yeni bir beton dizaynına ihtiyaç duyulmuştur ve özel bir beton türü olan kendiliğinden yerleşen betonlar bulunmuştur.

Kendiliğinden yerleşen (sıkışan) betonlar (KYB) vibrasyona gerek duymadan istenilen yere yerleşebilen, yüksek işlenebilirliğe sahip, terleme ve ayrışma probleminin yaşanmadığı, homojenliği yüksek betonlardır. Akıcı kıvamda olan, gürültü kirliliğini engelleyen, daha az işçilik gerektiren, ekonomik ve ayrışma olmaksızın sık donatılar arasından akabilen, her türlü kalıba yerleşebilen bu betonlar aynı zamanda kendi ağırlığının etkisi ile boşlukları minimuma indirerek yerleşme sağladığı için durabilitesi yüksek olan ve kararlı bir tekniğe sahip betonlardır. Kendiliğinden yerleşen betonların en önemli özelliği betonda ayrışma ve terleme görülmeden betonun döküldüğü kalıbı boşluk bırakmadan kendi ağırlığı ile doldurabilmesidir [4].

Kendiliğinden yerleşen betonlar ilk olarak 1980'lerde Japonya'da ortaya çıkmıştır. Su altı beton uygulamalarında suda ayrışmayan ve yıkanmayan beton üretimi amacı ile geliştirilmiştir**.** Bu betonlarda ayrışma problemi suda çözülebilen polimer esaslı katkıların kullanılması ile engellenmişti. Fakat bu betonlar hava ile temasta olan yapılarda, hava balonlarının yüksek viskoziteden dolayı ortadan kaldırılamaması ve donatı ile çevrilmiş yapı elemanlarında sıkıştırmanın çok zor olması nedeni ile kullanılamıyordu. Betonun işlenebilirliğini incelemek amacı ile yapılan deneylerde, dar kesitlerden akış sırasında iri agregaların birbirleri ile temasından kaynaklanan tıkanmalar gözlemlenmiş ve aynı zamanda iri agregalar arasındaki bağıl konumun değişiminden dolayı hamur içinde kayma gerilmelerinin oluştuğu görülmüştür. Hamurun su/çimento oranına önemli derecede bağlı olan kayma gerilmelerini azaltmak amacı ile su/çimento oranının optimum değerlerini belirleyerek ve viskozitede uyumlu bir azalmayı süperplastikleştiricilerin kullanımı ile gerçekleştirerek kendiliğinden yerleşen betonların üretiminde önemli bir mesafe alınmıştır. İri agregaların birbirleri ile temasından kaynaklanan blokaj problemi, iri agregaların toplam katı hacme olan oranının kısıtlanması ile aşılmış ve hamurun deformasyon yeteneğini azaltan ince agrega miktarının da sınırlanması ile kendiliğinden yerleşen betonların üretim teknikleri oluşturulmuştur. Kendiliğinden

yerleşen betonlar daha sonra farklı ülkelerde farklı uygulamalarda ve farklı yapı türlerinde kullanılmaya başlanmıştır [5,6].

Kendiliğinden yerleşen betonlar ilk kullanım alanı olarak donatıların çok yoğun ve vibratörlerin ulaşamadığı elemanların üretimi düşünülmekteydi. Daha sonra yüksek perdelerin üretiminde ve betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde kendiliğinden yerleşen betonlar kullanılmaya başlanmıştır. Prefabrik sektöründe de kendiliğinden yerleşen betonlar kullanılmaya başlanmıştır. Özkul ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada kendiliğinden yerleşen betonların prekast endüstrisinde kullanımı araştırılmıştır. 500 ve 550 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren beton karışımlarında belirli oranlarda Orhaneli ve Çayırhan uçucu külleri kullanılmıştır. Bu karışımlarda işlenebilirlilik hakkında fikir alabilmek için taze betonda serbest yayılma deneyi yapılmış ve yüzey görünüşü hakkında fikir alabilmek için beton ahşap bir kalıba doldurulmuştur. Ayrıca karışımların basınç dayanımları da bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre taze beton akışkanlığının 90 dakika boyunca sağlanabildiğini ve bu sürenin de prekast endüstrisi için gerekenden oldukça fazla olduğunu, kendiliğinden yerleşen betonların prekast endüstrisi için uygun bir beton türü olduğunu belirtmişlerdir**.** Şekil 2.4'de kendiliğinden yerleşen beton ile üretilen bir prefabrika elemanı görülmektedir [7,8].

Kendiliğinden yerleşen betonun başarılı bir şekilde dökülüp yerleştirilebilmesi için temel işlenebilirlilik gereksinimleri; mükemmel deformasyon kabiliyeti, yüksek kararlılık, düşük blokaj riski olarak söylenebilir. Taze betonun deformasyonu, akışını önleyebilecek engeller civarında dahi kendi ağırlığı altında akarak şekil değiştirme yeteneği olarak tarif edilebilir. Maksimum deformasyon maksimum akış değeri anlamına gelirken, deformasyon hızı deformasyon oranı ile ilgilidir. Blokaj riski ise taze betonun dar bölgelerden akması sırasında oluşabilecek tıkanma olarak tanımlanabilir. Taze betonun dar boşluklu engeller arasından akarken blokajını önlemek için su/toz malzeme oranı azaltılarak veya yeterli dozajda viskozite artırıcı katkılar ekleyerek betonun kohezif olması sağlanmalıdır. Kalıp içinde yoğun donatılı bölgelerde boşluklar azalmaktadır. Bu bölgelerde katı parçacıklar arasındaki sürtünmeyi ve blokaj riskini azaltmak için iri agrega hacmi ve maksimum tane boyutu azaltılmalıdır [9].



Şekil 2.4 Kendiliğinden Yerleşen Beton İle Üretilen Bir Prefabrike Eleman [7].

Kendiliğinden yerleşen betonun diğer bir yararı işçiliği azaltırken yapım hızını arttırmasıdır. Bir yapıda döşeme ve düşey elemanların üretiminin geleneksel betonla üretime göre kendiliğinden yerleşen beton kullanılması durumunda 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşebileceği belirtilmiştir. Bu olumlu özelliklerinden dolayı özellikle son yıllarda kendiliğinden yerleşen betonların kullanımının arttığı görülmektedir. Japonya'da Akashi-Kaikyo Köprüsü'nün ankrajı, Osaka petrol şirketinin LNG tankı, Fransa'da Cleuson Dixence projesi, İsviçre'de yürütülen bir demiryolu projesinin Loetscberg temel tüneli ve Viyana'da Milenyum Kulesi göze çarpan en önemli örneklerdir. Osaka petrol şirketinin LNG tanklarında kendiliğinden yerleşen beton kullanılması ile asansör sayısının %25 azaldığı, beton dökümü ile uğraşan çalışan sayısının yaklaşık %60 civarında azaldığı, yapım süresinin ise %17 civarında azaldığı belirtilirken, Akashi-Kaikyo Köprüsü'nde ankraj yapım periyodunun %20 azaldığı, İsveç'te yapılan karayolu köprülerinde ise verimliliğin %60 oranında arttığı görülmüştür [10,11].

Kendiliğinden yerleşen betonların ana bileşenleri vibrasyona ihtiyaç duyulan normal betonların ana bileşenleri ile aynıdır. Asıl belirleyici faktör harç bileşimidir. Bu bileşim çimento, su, ince agrega, kireçtaşı tozu gibi doldurucu özellik gösteren malzemeler ile uçucu kül ve silis dumanı gibi puzolanik özellik gösteren malzemelerden oluşmaktadır. Karışım tasarımında hedeflenen asıl amaç ayrışma, terleme ve topaklanma gibi eğilimler oluşmadan mümkün olan en yüksek akışkanlığa sahip betonu elde edebilmektir. Genel olarak su/toz oranının kontrol edilmesi, akışkanlığı etkin bir şekilde arttırma özelliğine sahip katkıların kullanılması ve kullanılan iri agreganın sınırlı tutulması ile ayrışma direnci ve akışkanlık gibi özellikler elde edilir.

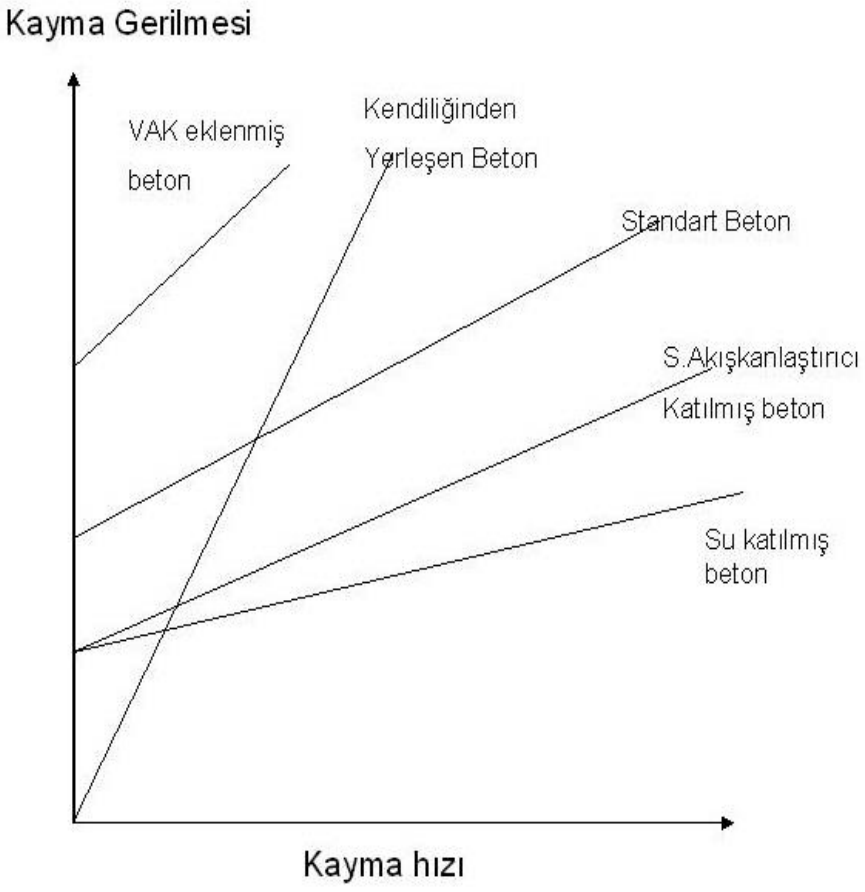
Kendiliğinden yerleşen betonlar ile normal betonları karşılaştıran bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalara göre basınç dayanımı açısından kendiliğinden yerleşen betonlar ile normal betonlar arasında ilk günlerde fazla fark olmamasına rağmen ilerleyen günlerde kendiliğinden yerleşen betonlarda basınç dayanım değerlerinin uçucu külün etkisiyle daha fazla olduğu belirtilmiştir. Kür koşullarının, kendiliğinden yerleşen betonun basınç dayanımına etkisinin normal betona göre daha az olduğu gözlemlenmiştir. Başka bir çalışmada, kendiliğinden yerleşen betonla üretilmiş blokların üst ve alt kısımlarından alınmış numunelerin basınç dayanımlarının birbirine çok yakın çıkmasıyla kendiliğinden yerleşen betonların ayrışmaması sonucu homojenliğin sağlanabildiği sonucuna varılmıştır. Bu tip betonlarla ilgili yapılan çekip çıkarma deneylerinde de üst ve alt donatılar arasında aderans açısından fazla bir fark görülmemiştir [12-14].

Persson tarafından yapılan bir çalışmada basınç dayanımları sabit tutulduğunda normal betonlar ile kendiliğinden yerleşen betonların elastisite modullerinin birbirine yakın oldukları, büzülme davranışları arasında küçük farklar olduğu ve sünme değerlerinin de birbirine yakın olduğu belirtilmiştir. Boşluk yapısının incelendiği başka bir çalışmada ise kendiliğinden yerleşen betonda oluşan iri boşlukların homojen bir boyut dağılımında olduğu ve kendiliğinden yerleşen betonun normal betona kıyasla daha yüksek oranda sıkışık hava içermesine rağmen daha yüksek dayanım vermesinin düşük su/çimento oranına, kullanılan akışkanlaştırıcı ve mineral katkılara bağlanabileceği belirtilmiştir [11,15].

Kendiliğinden yerleşen betonla normal betonu karşılaştıran başka bir çalışmada elastiklik modulleri birbirine yakın bulunmuş, basınç gerilmesi-şekil değiştirme diyagramlarının birbirine benzediği belirtilmiştir. Ayrıca kendiliğinden yerleşen betonlar normal betonlara göre daha fazla bağlayıcı karakterde ince malzeme içerdiğinden ve hacimce iri agrega oranları daha az olduğundan, kendiliğinden yerleşen betonlarda sünme ve rötre miktarlarının normal betona kıyasla biraz daha yüksek olduğu belirtilirken, bunun sebebi olarak da kendiliğinden yerleşen betonun normal betona göre daha fazla miktarda hamur ve daha az oranda iri agrega içerirken, bünyesinde uçucu kül ve fazla oranda su azaltan katkı bulundurmasına bağlanmıştır [13].

Kendiliğinden yerleşen betonlara reolojik açıdan bakılırsa betonun şekil değiştirebilir özelliği kazanabilmesi için kayma eşiğinin küçük olması, ancak ayrışma olmaması

için viskozitenin düşmemesi gerekmektedir. Normal bir betonun reolojik davranışı Bingham sıvısı modeli ile gösterilebilir. Akıcı yani şekil değiştirebilir bir beton elde etmek için kayma eşiğini düşürmek gerekir, dolayısıyla davranışın Bingham'dan Newton'a (kayma eşiği=0) doğru geçişi Şekil 2.5'de görüldüğü gibi söz konusudur. Bu özellik su miktarını artırarak sağlanamaz. Kuvvetli süperakışkanlaştırıcı kullanımı ise ilişki doğrusunun paralel ötelenerek merkeze gelmesini, dolayısı ile kayma eşiğinin sıfırlanmasını gerçekleştirebilir, ancak burada ayrışma sorunu ortaya çıkabilir. Bu durumda çözüm olarak, kayma eşiğini düşürürken ayrışmayı önlemek için betonda ince malzeme miktarını artırmak ve/veya viskozite artırıcı katkı kullanmak uygulamaları yapılabilir [7,16].



Şekil 2.5 Kendiliğinden Yerleşen Betonun Reolojik Özellikleri [7].

Kendiliğinden yerleşen betonlar aşağıda belirtildiği şekilde üç kategoride sınıflandırılmaktadır.

a-) Toz tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Bu tip betonlarda su/toz malzeme oranını azaltmak amacıyla ince malzeme miktarı arttırılır ve bu sayede gerekli

ayrışma direnci ve deformasyon kabiliyeti sağlanır. Toz tipi kendiliğinden yerleşen betonlarda esas olarak süperakışkanlaştırıcılar ve hava sürükleyici katkılar kullanılır. Taze beton hamurundaki toz miktarı yükseldiğinde hamurun eşik kayma gerilmesi ve plastik viskozitesi önemli derecede artar. Bu durumda karışıma hava sürükleyici katkı ve yüksek oranda su azaltan akışkanlaştırıcı eklenir. Bunun sonucunda eşik kayma gerilmesi önemli ölçüde düşerken plastik viskozitede küçük bir azalma meydana gelir. Bu metod yüksek akışkanlığa sahip beton üretiminde en çok kullanılan yöntemdir. Yüksek akışkanlıklı bu betonun fazla miktarda toz ihtiva etmesi kütle, beton yapılarında hidratasyon ısısından kaynaklanan termal çatlaklara sebep olabilmektedir. Bu yüzden bu tip beton genellikle yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve kireçtaşı tozu ile kullanılır. Ayrıca yine bu konuda düşük hidratasyon ısılı çimentolar da kullanılmaktadır.

b-) Viskozite tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Bu tip betonlar ayrışma direnci ve yüksek deformasyon kabiliyeti göstermek üzere viskozite arttırıcı katkılar, süperakışkanlaştırıcılar ve hava sürükleyiciler kullanılarak oranlanır. Bu tarz üretim yöntemi ayrışma dirençli su altı beton teknolojisinin bir uzantısıdır. Bu tür betonun özelliği düşük toz malzeme içeriğinde bile üretilebilmesidir. Selüloz ve akrilik veya akrilamid tip suda çözünür polimerler viskozite tipi kendiliğinden yerleşen betonun ana bileşenleridir.

c-) Kombinasyon tipi kendiliğinden yerleşen betonlar: Toz tipindeki kendiliğinden yerleşen betona viskozite arttırıcı katkı eklenerek taze betonun nem oranına ve agregaların derecelenmesine bağlı kalite dalgalanmaları azaltılır. Böylece betonun kalite kontrolu kolaylaşır [17,18].

Bu üç tür kendiliğinden yerleşen beton tasarım tiplerinden ikincisi olan viskozite tipi kendiliğinden yerleşen beton tasarımında, bu tez kapsamında ince malzeme oranını düşürerek viskozite düzenleyici katkı kullanılması araştırılmıştır.

2.2.1 Kendiliğinden yerleşen betonlarda ince malzeme kullanımı

Kendiliğinden yerleşen beton tasarımında dağıtma gücü yüksek olan yeni kuşak kimyasal katkılar kullanıldığından dolayı ayrışma olasılığına karşı ince malzeme miktarı, su içeriği değiştirilmeden yüksek tutulur. İnce malzeme olarak uçucu kül, taş tozu ve silis dumanı kullanılabilinir [2,17,18,19].

Genel olarak uçucu kül ve taş tozu kullanılan betonlarda toplam ince malzeme miktarının 500-600 kg/m^3 düzeylerine çıkması gerekir, bu ise maliyeti artıran etkenlerden birisidir. Maliyeti düşürmek için ince malzeme miktarı azaltılırsa ayrışma ve terleme gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Öte yandan ince malzeme miktarını düşürürken bunun yerine viskozite düzenleyici katkıların (VDK) kullanılarak ayrışma ve terleme problemlerinin ortadan kaldırılması yaklaşımı geliştirilmiştir.

2.2.2 Kendiliğinden yerleşen betonlarda viskozite düzenleyici katkılar

Reoloji düzenleyici katkılar da olarak bilinen viskozite düzenleyici katkılar suda çözünebilen polimerlerdir. Bu katkılar karışım suyunun viskozitesini arttırarak çimento hamurunun suspansiyon altında bileşenlerini korumasını ve agreganın çimento hamuru içinde askıda kalarak ayrışmanın önlenmesini sağlarlar. Bu katkılar aynı zamanda anti yıkanma ve anti terleme katkıları olarak da bilinirler [20].

Kawai suda çözünebilen bu polimerleri şu şekilde sınıflandırmıştır;

- Nişasta ve doğal zamklar (gum) içeren doğal polimerler.
- Ayrışmış nişasta ve türevlerini içeren yarı sentetik polimerler, selüloz eter türevleri (hidroksipropil metil selüloz, hidroksi etil selüloz, karboksil metil selüloz) ve elektrolitler (sodyum alginat)
- Etilen bazlı sentetik polimerler (polietilen oksit), vinil bazlı sentetik polimerler (polivinil alkol) [20,21].

Çimento bazlı malzemelerde çoğunlukla kullanılan reoloji düzenleyici katkılar mikrobik kaynaklı polisakkaritler (Welam zamkı), selüloz türevleri (metil selüloz), akrilik bazlı polimerler (akrilimidin kopolimeri olan polyakrilimidin kısmi hidroliz ürünleri) ve ana bileşen olarak akrilimit içeren sodyum akrilitlerdir [20].

Bu katkıların etkisi polimerin tipine ve konsentrasyonuna bağlıdır. Welan zamkının ve selüloz türevlerinin karışım suyunun viskozitesini arttırdığı düşünülmektedir. Uzun dallı polimer zincir molekülleri su moleküllerinin etrafına yapışmakta ve bu da karışım suyunun emilen kısmını oluşturmaktadır. Bu bitişik polimer zincirlerindeki moleküller etkileşim güçlerini çoğaltmakta ve böylece serbest suyun hareketini

engelleyip jel oluşmasına sebep olmaktadırlar. Bu da çimento hamurunun viskozitesini arttırmaktadır [20,22].

Uygun miktarda superakışkanlaştırıcı ile viskozite düzenleyici katkı kullanımı yüksek deformasyon yeteneğini, işlenebilirliği, ayrışmaya karşı direnci sağlar. Polimer zincirlerinin düşük kayma oranında aralarındaki bağların etkileşimlerinin sonucu olarak akışkanlık engellenir ve viskozite artar. Bu da tiksotropik özelliktir. Tiksotropik özellik betonun kararlılığını ve ayrışma direncini arttırmaktadır [23].

2.2.3 Viskozite düzenleyici katkılar üzerine yapılan çalışmalar

Bu çalışmalarda kullanılan bazı deney yöntemleri "kendiliğinden yerleşen betonlarda kullanılan deney yöntemleri" başlığı altında ayrıca ileriki aşamalarda verilecektir.

Lachemi ve arkadaşları kendiliğinden yerleşen beton dizaynında uçucu kül, cüruf çimentosu ve viskozite düzenleyici katkılar kullanarak oluşan maliyetler açısından bir çalışma yapmışlardır. Tüm karışımların toplam bağlayıcı miktarını 400 kg/ m^3 almışlardır. Çimentoyla yer değiştirmeli olarak %50, %60 ve %70 oranında cüruf çimentosu kullanmışlar ve ayrıca her karışımda su/bağlayıcı oranını 0.45, 0.35 ve 0.30 alarak üç farklı oranda kullanmışlar ve toplam 9 karışım üretmişlerdir. Aynı işlemi çimentoyla yer değiştirmeli olarak %40, %50 ve %60 oranlarında uçucu kül kullanarak da yapmışlar ve burada da toplam 9 karışım üretmişlerdir. Karışımlarda kullandıkları süperakışkanlaştırıcı miktarı değişkendir. 3 karışım daha üretip bunlarda viskozite düzenleyici katkılar kullanmışlardır. Bunlar polisakkarit bazlı Welan zamkı, sakkarit bazlı A adlı yeni bir viskozite düzenleyici katkı ve Kanada'da sıkça kullanılan ticari adı COM olan sıvı bazlı viskozite düzenleyici katkılardır. Karışımlarda hava sürükleyici katkılar da kullanmışlardır. Tüm karışımların serbest yayılma deneyi, V hunisi deneyi, eleme deneyi ve terleme deneylerini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre yüksek oranda uçucu ve cüruf çimentosu kullanarak iyi yayılan, ayrışmaya uğramayan ve terlemenin az görüldüğü kendiliğinden yerleşen beton üretilebileceğini ve ayrıca A adlı viskozite düzenleyici katkı kullanarak daha az maliyetli kendiliğinden yerleşen beton üretilebileceğini belirtmişlerdir [24].

Rols ve arkadaşları viskozite düzenleyici katkı olarak pahalı bir ürün olan Welan zamkı yerine nişasta, öğütülmüş silis ve endüstriyel ikincil ürün nişastanın vizkozite düzenleyici katkı olarak kullanılması hakkında bir çalışma yapmışlardır. Karışımlarda m^3'de 260 kg çimento ve 140 kg kireçtaşı tozu kullanarak ince

malzeme miktarını azalmışlardır. Karışımlarda su/ince malzeme oranını 0.44 oranında sabit tutmuşlar ve süperakışkanlaştırıcıyı, toplam ince malzemenin %1.25'i oranında kullanmışlardır. Viskozite düzenleyici içermeyen kontrol karışımı üretilirken aynı zamanda bu karışıma çimentoya göre %0.5 oranında nişasta çözeltisi, %1.5 oranında çökelmiş silis çözeltisi ve %2.88 oranında ikincil ürün nişasta çözeltisi eklenerek 3 beton karışımı daha hazırlanmıştır. Tüm karışımlarda taze betonun akıcılığı yayılma deneyi ile, ayrışma direncini kolon ayrışma deneyiyle bulmuşlardır. Ayrıca tüm karışımların terleme kapasiteleri ölçülmüş, engelsiz kuru rötreleri, kılcal su emme değerleri bulunmuş ve sertleşmiş betonda silindir numuneler üzerinde basınç deneyleri yapılarak karışımların basınç dayanımları bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre öğütülmüş silisin ve nişastanın Welan zamkı yerine alternatif olarak kullanılabileceğini, kullanılan katkıların su kusmayı 5 saat sonra engelliklerini ve ayrışma direncini arttırdıklarını, viskozite düzenleyici katkılı betonların mekanik performanslarının yeterli olduğunu fakat rötrenin kontrol betonuna göre %50 daha fazla olduğunu, bundan dolayı iyi bir kürün şart olduğunu, su geçirimliliğin iyi bir durabilite için yeterli olduğunu belirtmişlerdir [25].

Ambroise ve Péra genel olarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonlar kadar viskoz olmayan ve daha fazla su içeren ve daha ucuz kendiliğinden yerleşen beton tasarımı üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışmada VDK'lı ve VDK'sız beton karışımları üretmişlerdir. Viskozite düzenleyici katkı olarak organik bir katkı olan sıvı bazlı hidroksipropilen nişasta ve bir mineral katkı olan sıvı bazlı öğütülmüş silis kullanmışlardır. Viskozite katkı içeren karışımlarda su/bağlayıcı oranını 0.51'de tutarken çimentoyu 260 kg/m^3 , uçucu külü 140 kg/m^3 miktarında kullanmışlardır. Her iki viskozite düzenleyici katkı için kullandıkları oranları sabit tutarken ince agrega/iri agrega oranını değiştirerek toplam 6 karışım üretmişlerdir. Viskozite düzenleyici katkı içermeyen karışımda ise çimentoyu 300 kg/m^3 , uçucu külü 300 kg/m^3 miktarında kullanırlarken değişken su/bağlayıcı ve ince agrega/iri agrega oranları kullanarak toplam 3 karışım daha üretmişlerdir. Bu karışımlara ayrışma, terleme, basınç dayanımı, rötre testleri yapılmış ve ayrıca elastisite modulleri bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre ucuz ürün olan nişastanın kullanılarak 400 kg/m^3 toplam bağlayıcılı kendiliğinden yerleşen beton üretilebileceğini, 30 MPa'dan yüksek dayanım elde edildiğini, nişastanın betonda terlemeyi durdurduğunu ve öğütülmüş silisin betonda ayrışma direncine karşı yararlı bir etkisi olduğunu,

bağlayıcı olarak uçucu külün çimentoyla yer değiştirmeli olarak kullanılmasının otojen rötreyi arttırdığını ve yüksek oranda ince malzeme kullanımının (600 kg/m^3) su ihtiyacını ve kuru rötreyi arttırdığını belirtmişlerdir [26].

Khayat ve Yahia, Welan zamkı ve naftalin bazlı su kesici katkının (süperakışkanlaştırıcılar) kombinasyonlarının çimento şerbetinin reoloji özelliklerine etkisi üzerinde bir araştırma yapmışlardır. 0.40 su/çimento oranına sahip çimento şerbetinde viskozite düzenleyici katkı bağlayıcıya göre %0'dan %0.0075 arası değişik oranlarda kullanılmıştır. Toplamda 27 karışım üretilmiştir. Her çimento şerbeti grubu için farklı kayma oranlarında görünür viskoziteler bulunmuş ve plastik viskoziteler ile kayma değerleri hesaplanmıştır. Çimento şerbetinin kıvam deneyleri olan Marsch Konisi yayılma deneyi ve mini-çökme deneyi, yayılmanın kolaylığını ve şerbetin akışını ölçebilmek için yapılmıştır. Ayrıca çimento şerbetlerinin ilk priz süreleri de ölçülmüş, yıkanma ve basınçlı terleme deneyleri yapılmıştır. Elde ettikleri sonuçlar şöyledir;

- Çimento şerbetine yüksek oranda su kesici katkı (superakışkanlatırıcı) eklendiğinde viskozitede azalma meydana gelmekte, böylece akışkanlık artmakta ve akma değeri azalmaktadır. Viskozite düzenleyici katkı eklendiğinde ise viskozite orantısal olarak artmakta ve akma değerinde göze çarpan bir artış görülmekte ve bu durum da kararlılığı sağlamaktadır. Viskozite düzenleyici katkı içeriğinin artmasıyla, süperakışkanlaştırıcı katkının akışkanlığı sağlama etkisi azalmış ve bu da daha fazla süperakışkanlaştırıcı katkı eklenmesi ihtiyacını doğurmuştur.
- Viskozite düzenleyici katkı ve süperakışkanlaştırıcı katkı uygun oranlarda kullanılırsa şerbetin mevcut olan yıkanma ve terleme direncine etkisi zararlı yönde olmayabilir.
- Viskozite düzenleyici katkı içeriğinin artması ve süperakışkanlaştırıcı katkının dozajının kesilmesi çimento şerbetinin pseudo-plastisitesini arttırmaktadır.
- Yıkanma direnci viskozite düzenleyici katkı dozajının artmasıyla ve süperakışkanlaştırıcı katkı içeriğinin azalmasıyla arttırılabilinir. Yine de uygun oranlarda her iki katkının kullanılması yüksek akışkanlığı sağlayabilir

- Viskozite düzenleyici katkının ve süperakışkanlaştırıcı katkının kombinasyonları basınçlı terlemeye direnç sağlarken, su geçirimsizliği çimento partiküllerinin dağılımı ve sulu sistemin viskozitesinin viskozite düzenleyici katkı ile arttırılması sayesinde arttırılmıştır.
- Viskozite düzenleyici katkının ve süperakışkanlaştırıcının birlikte gösterdikleri etki şerbetin prize başlamasını geciktirmiştir. Bu gecikme viskozite düzenleyici katkı dozajının etkisinde daha fazla görülmektedir [20].

Lachemi ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada pahalı bir ürün olan Welan zamkı yerine 4 farklı yeni viskozite düzenleyici katkıları kendiliğinden yerleşen betonda denemişler ve bunları ticari adı COM olan özellikleri bilinen viskozite düzenleyici katkı içeren beton karışımı ve viskozite düzenleyici katkı içermeyen beton karışımı ile karşılaştırmışlardır. İlk safhada harç üzerinde çalışmışlardır. Harç üzerindeki testler yeni viskozite düzenleyici katkıların performansını bulmak ve kendiliğinden yerleşen beton dizaynı için hangisinin daha iyi olduğuna karar vermek için yapılmıştır. Viskometre ile Bingham modeli uygulanarak hazırladıkları karışımların akma gerilmeleri, viskoziteleri, kayma gerilmeleri ve kayma oranları gibi reolojik datalarını bulmuşlardır. Ayrıca harç karışımlarının priz süreleri ölçülmüştür. İlk safhada elde ettikleri sonuçlara göre viskozite düzenleyici katkı oranı arttıkça viskozitenin arttığını, akma gerilmesinin azaldığını gözlemlemişler ve sonuçta tüm yeni viskozite düzenleyici katkıların kendiliğinden yerleşen betonun gelişimi için COM'a göre daha az kullanılmasına rağmen faydalı olduğunu bulmuşlardır. Bu 4 yeni viskozite düzenleyici katkılardan reolojik özelliği en iyi olanı seçmişler ve 2.safhada beton karışımında kullanmaya karar vermişlerdir. 2. safhada kendiliğinden yerleşen 9 tane beton karışımı üretmişlerdir. Bunlarda 1 tanesi COM adlı viskozite düzenleyici katkı içeren karışım, 1 tanesi Welan zamkı içeren karışım, 1 tanesi viskozite düzenleyici katkı içermeyen karışım ve 6 tanesi de daha önce harçlar üzerinde yaptıkları testlerin sonuçlarına göre seçtikleri farklı oranlarda yeni tip viskozite düzenleyici içeren karışımlardır. Tüm karışımlarda yayılma, V-huni testi, ayrışma, terleme deneyleri yapılmış, karışımların priz süreleri, hava içerikleri ve basınç dayanımları 1 ve 28. günlerde bulunmuştur. Elde ettikleri sonuçlara göre yeni tip viskozite düzenleyici katkının uygun oranlarda kullanıldığında karışımın iyi bir kararlılık gösterdiğini, maliyetin Welan zamkı ve COM içeren karışımlara göre daha az olduğunu ve ayrışma ile terlemenin engellendiğini belirtmişlerdir [23].

2.2.4 Akışkanlaştırıcı katkıların etkileri ve viskozite düzenleyici katkılarla uyumları

Genel olarak katkı maddeleri harç ve betonun taze ve sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, betondaki diğer ana bileşenlere göre daha az miktarda kullanılan kimyasallardır. Kullanım amaçlarına göre taze beton veya harcın reolojisini, hava içeriğini, fiziksel, mekanik ve kimyasal etkilere karşı direnç kuvvetini etkileyen katkılar olarak gruplandırılabilinir.

Akışkanlaştırıcı katkılar, taze beton ya da harcın işlenebilirliğini değiştirerek reolojik özelliklerini etkilerken, su/çimento oranını düşürerek boşluk ve ayrışma olmaksızın daha iyi yerleşmenin sağlanması ile dayanım ve dayanıklılık özelliklerini etkileyen katkılardır.Akışkanlaştırıcılar etkinlik derecelerine göre normal akışkanlaştırıcılar, orta derecede su azaltıcı akışkanlaştırıcılar ve süper akışkanlaştırıcılar olarak sınıflandırılabilinir. Akışkanlaştırıcıların bu etkileri göstermeleri, hava sürüklemeleri, çimento taneleri tarafından absorbe edilmeleri ve prizi geciktirmelerinden kaynaklanmaktadır. Akışkanlaştırıcı kullanılması ile oluşan kapalı hava boşluklarının yüzeysel sürtünme kuvveti bulunmamaktadır. Böylece kararlı olan bu hava boşlukları, betonun içsel sürtünmesini azaltarak daha az su ile benzer işlenebilme yeteneğinin elde edilmesini sağlamaktadır.

Çimento taneleri su ile temas ettikten sonra çözünmeye başlayarak ortama Ca^{++} iyonları vermektedir. Tane yüzeyinde Ca^{++} iyonlarının konsantrasyonlarının artması ile polimer esaslı akışkanlaştırıcıların polimer moleküllerinin tane yüzeylerine yapışması gerçekleşmektedir. Böylece tane yüzeylerinin elektrostatik yükleri değişmekte ve (-) yükle yüklenen çimento taneleri birbirlerini itmektedir. Betonun iç sürtünmesini azaltan bu unsur işlenebilme özelliğini arttırmaktadır. Priz geciktirici özelliğe sahip olan akışkanlaştırıcılar, bu özelliklerine ek olarak başlangıçtaki hidratasyon reaksiyonları için gerekli su gereksinimini azaltması ile akışkanlığı arttırmaktadır.

Yeni kuşak süperakışkanlaştırıcılarda dağıtma (dispersiyon) etkisinin yanında sterik etki de akışkanlığı arttırmaktadır. Uzun dallar içeren polimer zincirleri sayesinde çimento tanecikleri çevresinde birbirini iten fiziksel bir etki oluşur. Sterik etki adı verilen bu etki sayesinde çimento taneleri dağılarak kararlı hale gelmektedir.

İşlenebilirliği düşürmeden su/çimento oranını ve aynı zamanda kullanılan çimento miktarını azaltan, ayrışma olmaksızın akıcılığı arttırarak ulaşılması en zor yerlere dahi beton dökümüne izin veren akışkanlaştırıcılar, son dönemde yeni kuşak süperakışkanlaştırıcıların da ortaya çıkması ile yüksek performanslı betonların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Bu betonların akışkanlıkları kendiliğinden yerleşme sağlayacak derecede yüksek olabilmekte ve kendiliğinden yerleşen betonların gelişmesine olanak sağlamaktadır. Kimyasal bileşimleri göz önüne alındığında süperakışkanlaştırıcıları 3 farklı grupta toplamak mümkün olmaktadır;

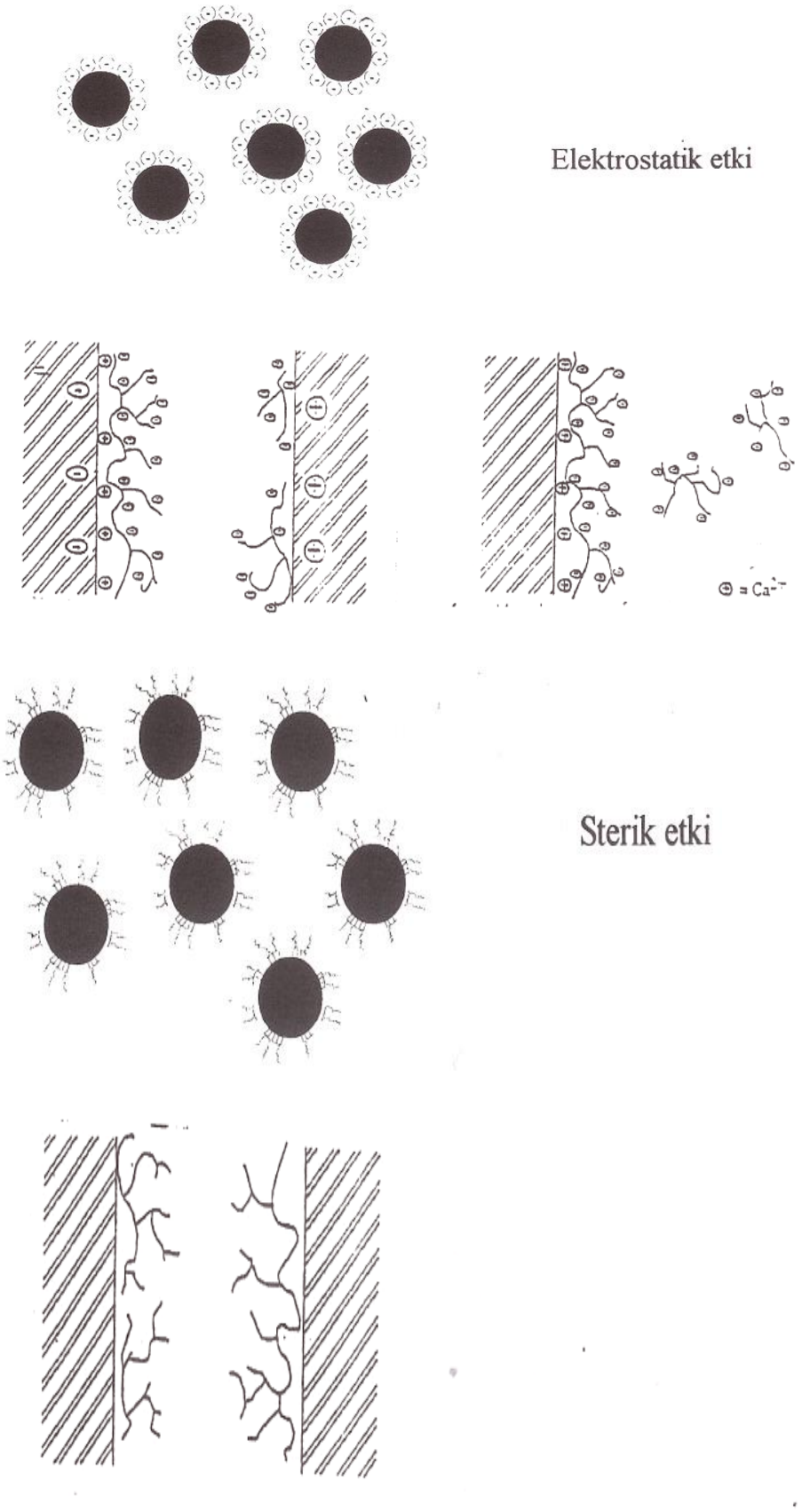
a) Sülfonatlı sentetik polimerler,
b) Karboksilatlı sentetik polimerler,
c) Modifiye linyo sülfonatlar.

Sülfonatlı sentetik polimerler sülfonatlı naftalin formaldehit (SNF) ya da sülfonatlı melamin formaldehit (SMF) bileşiklerinden oluşmaktadır ve piyasada da çoğunlukla kullanılan bu malzemeler süperakışkanlaştırıcıların temelini oluşturmaktadır. Karboksilat ya da hidrokarboksilat tuzları olan karboksilatlı sentetik polimerler, poliakrilat ana polimer zincirleri ile tarak şeklinde polieter yan bağları içeren katkılardır. Bu yapıları sayesinde sterik etki de oluşturarak daha yüksek performans elde edilmesini sağlamaktadır. Modifiye edilmiş linyosülfonatlar ise yapılarında farklı anodik ve kutupsal fonksiyon gruplarına sahip olan dağıtma (dispersiyon) etkisi ile çalışan katkılardır.

Çimento tanelerini dağıtarak daha etkin bir hidratasyona olanak sağlayan ve sıvı ortamdaki viskoziteyi ve kayma eşiğini düşürerek reolojik özellikleri etkileyen bu katkıların etki mekanizmaları Şekil 2.6’ da görülmektedir [2].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda ince malzeme yerine viskozite düzenleyici katkı kullanılacaksa, betonda bu katkıların kullanım oranları süperakışkanlaştırıcıyla beraber uygun oranlarda ayarlanmalıdır. Kullanılan oran gereğinden fazla olursa beton karışımının fazla viskoz olmasından dolayı süperakışkanlaştırıcı kullanılmasına rağmen istenilen yayılma elde edilemiyebilinir. Bundan dolayı viskozite düzenleyici katkıları kullanmadan önce betonun içeriğindeki çimento ve su miktarları göz önüne alınmalı ve önceden deneme betonları üretilerek betonun yayılma davranışı incelenmelidir. Bir taraftan ayrışmayı ve terlemeyi önlerken diğer taraftan istenilen yayılma miktarını elde etmek için süperakışkanlaştıcı ve viskozite

düzenleyici katkıların optimum kullanım oranlarının bulunması gerekmektedir. Ayrıca viskozite düzenleyici katkı ile süperakışkanlaştırıcı katkılar birlikte kullanıldığında süperakışkanlaştırıcı katkının tipi de önem kazanmaktadır. Çünkü selüloz türevlerinden oluşan viskozite düzenleyici katkıların naftalin bazlı süperakışkanlaştırıcıyla kullanıldığında bazı uyumsuzluklar gösterebileceği ama melamin bazlı olanlarla uyumluluk gösterdiği, selüloz bazlı viskozite düzenleyici katkının poliakril sulfonat bazlı su kesici katkılarla kullanıldığında viskozitenin anormal arttığı, Welan zamkının ise hem melamin hem de naftalin bazlı süperakışkanlaştırıcı katkılarla uyumlu çalıştığı belirtilmiştir [20].



Şekil 2.6: Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Etki Mekanizması [2].

2.3 Uçucu Kül

Uçucu kül, termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu meydana gelen baca gazları ile taşınarak siklon veya elektrofiltrelerde toplanan önemli bir yan üründür. Kömürün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucu meydana gelen ergimiş malzeme soğuyarak, gaz akışı ile kısmen veya tamamen küresel şekilli kül taneciklerine dönüşmektedir. Bu kül tanecikleri çok ince(0.5-150 mikron) olup, baca gazları ile sürüklenmeleri sebebiyle uçucu kül olarak adlandırılmaktadır. Uçucu külde bulunan başlıca bileşenler $Si0_2$, Al_20_3, Fe_20_3 ve CaO olup, bunların miktarları uçucu külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO, SO_3, alkali oksitler de minör bileşen olarak bulunmaktadır. Uçucu küldeki temel oksitlerden $Si0_2$ %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_20_3 %1-15 ve CaO %1-40 arasında bulunmaktadır. Bu farklı değerler uçucu külün tipini karakterize etmektedir

Uçucu küller ASTM C1618'e göre F ve C sınıfına ayrılmaktadır. F sınıfına bitümlü kömürden üretilen ve toplam $Si0_2$ + Al_2O_3 + Fe_2O_3 yüzdesi %70'den fazla uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı uçucu küller ise linyit veya yarı-bitümlü kömürden üretilen ve toplam $Si0_2$ + Al_2O_3 + Fe_2O_3 miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO > %10 olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu küller olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliği de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre uçucu küller silisli (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı uçucu küller, çoğunluğu puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum oksit ($Si0_2$) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir. W sınıfı küller ise, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

Bu tez kapsamında Çayırhan termik santrali uçucu külü karışımlarda kullanılmıştır. Bu uçucu külün kimyasal analizleri sonucu, reaktif kireç miktarının %10'un altında olması nedeniyle TS EN 197-1 standardına göre V sınıfına, $Si0_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$ değerinin %70'in üzerinde olması nedeniyle ASTM C618 standardına göre F sınıfına dahil olmakla birlikte, analitik CaO miktarının %10'un altında olması sebebiyle kireçsi kül sınıfına da girdiği belirtilmiştir.

Uçucu külünün betonda nasıl bir etki yapacağı uçucu külün tipine bağlıdır. Örnek verirsek yapılan bir çalışmada orta, yüksek ve düşük düzeyde aktivite veren küllerden gelişi güzel seçilen 3 termik santrale ait küller üzerinde su/bağlayıcı oranı 0.5 olarak sabit tutularak ve portland çimentosuna ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ikame edilerek numunelerin basınç dayanım değerleri bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre Soma 3-4. ünite külü ve Afşin Elbistan 1. ünite külü tüm yüzde ikame değerleri için referans PÇ'ye göre daha az basınç dayanımı vermekte ve ikame kül miktarı arttıkça harçların işlenebilirlilik değerleri düşmektedir. Buna karşın, Orhaneli uçucu külünün %30 ikame oranına kadar referans PÇ'den daha yüksek basınç dayanımına ve referans PÇ'den daha iyi işlenebilirliliğe sahip olduğu gözlemlenmiştir [27].

Kendiliğinden yerleşen betonlarda, ultra pulverize (öğütülmüş) uçucu kül kullanarak optimum karışım parametlerini bulmak amacıyla yapılan bir çalışmada ultra pulverize uçucu külün taze betonun viskozitesini aynı viskozite düzenleyici katkı gibi arttırdığı ve ultra pulverize uçucu küllü kendiliğinden yerleşen betonun yüksek mekanik özellikler taşıdığı, mükemmel su geçirimsizliğine, donma direncine ve düşük kuru rötreye sahip olduğu belirtilmiştir [28].

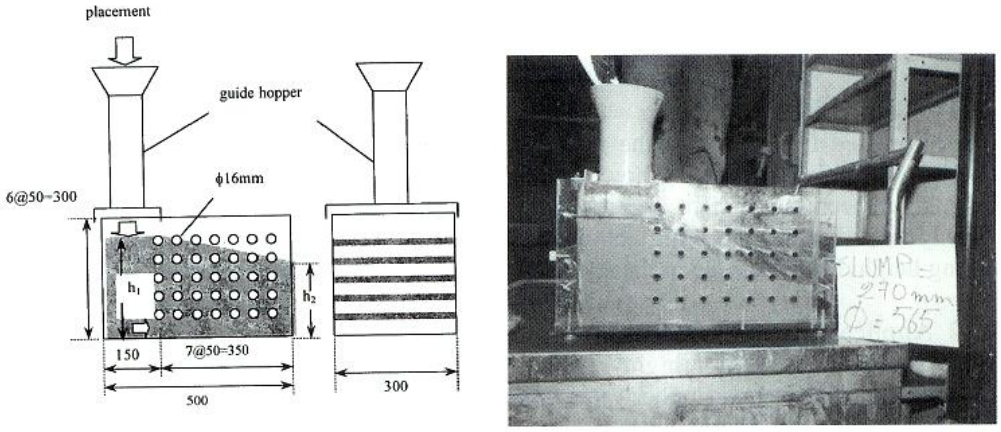
2.4 Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Kullanılan Deney Yöntemleri

Kendiliğinden yerleşen betonlar için bir çok deney yöntemi araştırmacılar tarafından dizayn edilmiştir. Bu tez kapsamında kullanılan deney yöntemleri deneysel çalışmalar kısmında verilecektir.

2.4.1 Simule edilmiş doldurma deneyi

İlk kez Ozawa tarafından Japonya'da geliştirilen bu test yöntemi, kendiliğinden yerleşen betonlarda taze betonun akış hareketinin gözlemlenmesi ve doldurma yeteneğinin belirlenmesi ile taze betonun tıkanma olasılığını incelemek amacıyla

kullanılmaktadır. Maksimum agrega boyutu 25mm'nin altında olan betonlarda uygulanmaktadır. Bu test methodunda 38 litre taze beton kullanılmaktadır. Yatayda 7, düşeyde 5 sıradan oluşan toplam 35 adet donatı içeren bu sistemde betonun yerleştirildiği haznenin yüzeyleri şeffaf bir malzemeden yapılmaktadır. Belirli bir hız ile hazneye yerleştirilen taze betonun donatılar arasından akışı tamamlandıktan sonra iki farklı uçtaki beton yükseklikleri belirlenerek taze betonun doldurma oranı hesaplanmaktadır [29]. Şekil 2.7' de simule edilmiş doldurma testi deney düzeneği yer almaktadır.

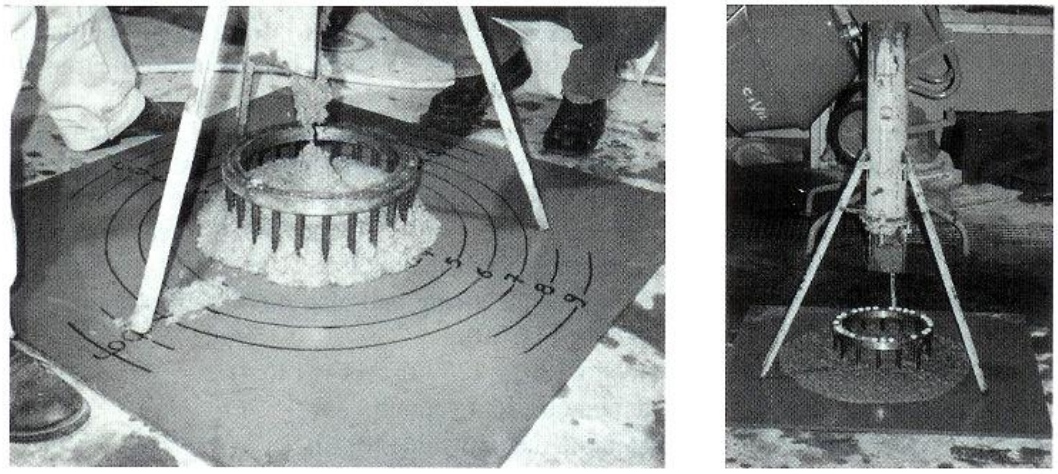


Şekil 2.7: Simule Edilmiş Doldurma Testi Deney Düzeneği [29].

2.4.2 J-Halkası deneyi

Japonya orijinli olan J-Halkası deney yöntemi Paisley Üniversitesi ACM Merkezi'nde geliştirilmiştir. Kendiliğinden yerleşen betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini ve bloklanma davranışını belirleyebilmek amacıyla tasarlanmıştır. Bu deney düzeneğinde yayılma tablası, yayılma tablasının merkezine yerleştirilmiş üretilen betonun özelliklerine göre değişen donatılardan oluşmuş bir halka ve Abram's konisi bulunmaktadır. Gerçek durumdaki donatıları temsil eden halkanın çapı 300mm ve donatı yüksekliği 100mm'dir. Deney yapılırken yayılma tablası tamamen yatay yerleşmiş olmalı ve deney aletindeki her aparatın temiz ve yüzeyleri nemlendirilmiş olmalıdır. J-Ring yayılma tablasının üzerine donatılar sistemi sabitlendikten sonra bu halkanın içerisine Abram's konisi yerleştirilir. Bu koninin içine 5.5 litre taze beton doldurulduktan sonra koni sabit hızla diker olarak kaldırılır ve betonun tabla üzerinde akması sağlanır. Donatılar arasından beton yayılmasını tamamladıktan sonra birbirine dik iki yönde yayılma çapları ölçülür ve ortalamaları

alındıktan sonra yayılma çapı bulunur. Sürenin ölçülmesi sağlanabilinirse yayılma davranışı hakkında daha iyi bilgi edilinebilinir. Halka içinde kalan betonun yüksekliği ile halka dışında kalan betonun yüksekliği 4 farklı noktadan ölçülür ve yükseklikler arasındaki fark incelenerek betonun donatılar arasından geçiş yeteneği hakkında bilgi sahibi olunur [29]. Şekil 2.8'de J-Halkası testi deney düzeneği görülmektedir.

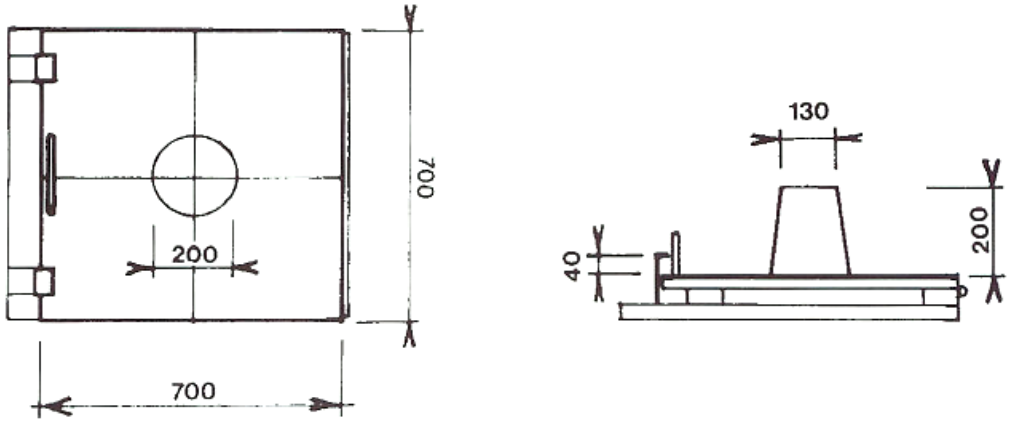


Şekil 2.8: J-Halkası Testi Deney Düzeneği [29].

2.4.3 Çökme-yayılma deneyi

Çökme-yayılma deneyi ilk olarak Japonya'da su altı betonlarının incelenmesi amacıyla geliştirilmiştir. Üretilen betonun taze haldeki akıcılık ve yayılma yeteneklerinin belirlenmesi için kullanılan bu deney yöntemi kendiliğinden yerleşen betonlar için de kullanılmaktadır. Taze betonun engelsiz ortamda kendi ağırlığı altında serbest olarak deforme olabilme yeteneğini incelemek amacıyla kullanılmaktadır. Fakat gerçek durumda donatılar mevcut olduğu için beton serbest olarak deforme olmamaktadır. Bu nedenle bu deney yöntemi tıkanma hakkında bilgi vermese de ayrışma direnci hakkında veri elde etmek mümkündür. 20cm ve 50cm çaplı iki daire yayılma tablası üzerinde çizili halde bulunmaktadır. Düz bir yüzeye yerleştirilen yayılma tablasının üzeri nemlendirildikten sonra merkezine Abram's konisi yerleştirilir. Koni 5.5 litre taze beton ile doldurulduktan sonra koni tablaya dik olarak çekilir ve taze beton yayılmaya bırakılır. Bu arada 50 cm'lik daireye yayılma süresi kayıt edilir. Yayılma bittikten sonra birbirine dik doğrultuda çaplar ölçülerek bulunan değerlerin ortalaması alınır ve yayılma çapı bulunur. T_{50} süresi ve yayılma

çapı betonun akıcılığı hakkında fikir verirken, gözlem yapılarak ayrışma hakkında bilgi de edilinebilinir. İri agregaların çap boyunca dağılmaması veya çimento hamurunun bir şerit şeklinde agregalardan ayrılması ayrışma (segregasyon) olduğuna dair bir işarettir [29]. Şekil 2.9'da çöme yayılma deneyinin deney düzeneği gösterilmektedir.

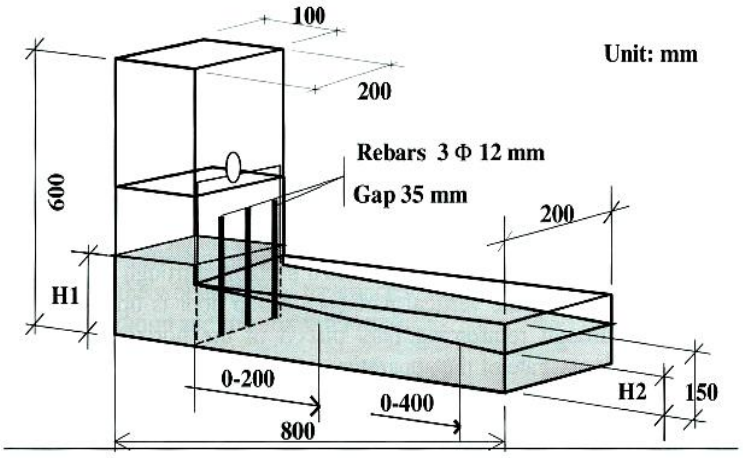


Şekil 2.9: Çökme-Yayılma Testi Deney Düzeneği [29].

2.4.4 L-Kutusu deneyi

L-Kutusu deney düzeneği ilk olarak Japonya'da M.Sonebi tarafından su altı betonların akış kabiliyetlerini değerlendirmek için tasarlanmış olan L-Flow isimli deney düzeneği esas alınarak Ö. Petersson tarafından oluşturulmuştur. Bu deney ile taze betonun akıcılığını ve tıkanma riskini değerlendirmek mümkün olmaktadır. L-Box deney düzeneği yatay ve dikey olmak üzere iki hazneden oluşmaktadır. Dikey haznenin son kısmında gerçek durumdaki donatıları temsil eden donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların açıklıkları kullanılan maksimum agrega boyutuna ve lif oranına göre değişmektedir. Dikey haznenin sonunda bulunan kapak aracılığı ile betonun akışına izin verilmekte ve donatılar arasından akması sağlanmaktadır. Çelik veya ahşap malzemeden yapılabilen bu deney düzeneğinin standartlaşması henüz oluşmamıştır. Deneye başlanmadan önce deney düzeneğinin iç yüzeyleri yağlanır, nemlendirilinir ve dikey haznenin ucundaki kapak kapatılır. Yaklaşık 13 litre taze beton dikey hazneye yerleştirilir ve 1 dakika süre ile bekletilir. Bu bekletilmenin amacı taze betonun oturmasına izin vermek ve olabilecek bir ayrışma durumunu gözlemleyebilmektir. Herhangi bir sıkıştırma işlemi görmeyen dikey haznedeki taze beton, kapağın kaldırılmasıyla beraber yatay haznedeki donatılar arasından geçerek

akmaya başlar. Akış sırasında kapak önünden itibaren 200mm ve 400mm'lik mesafelere akış süreleri ölçülür. Taze betonun akışı tamamlandıktan sonra her iki uçtaki beton yükseklikleri ölçülerek birbirine oranlanır. Bloklanma oranı olarak adlandırılan bu değer, T_{20} ve T_{40} değerleriyle birlikte tıkanma olasılığı hakkında bilgi edinilmesini sağlar. Deneyi uygulayan kişinin tecrübesinin önem kazandığı bu deney yönteminde betonun geçiş yeteneği, ayrışma ve tıkanma olasılığı hakkında bilgi edinilebilmekle beraber akış özellikleri hakkında da verilere ulaşmak mümkün olmaktadır [29]. Şekil 2.10'da L-Kutusu testi deney düzeneği gösterilmektedir.

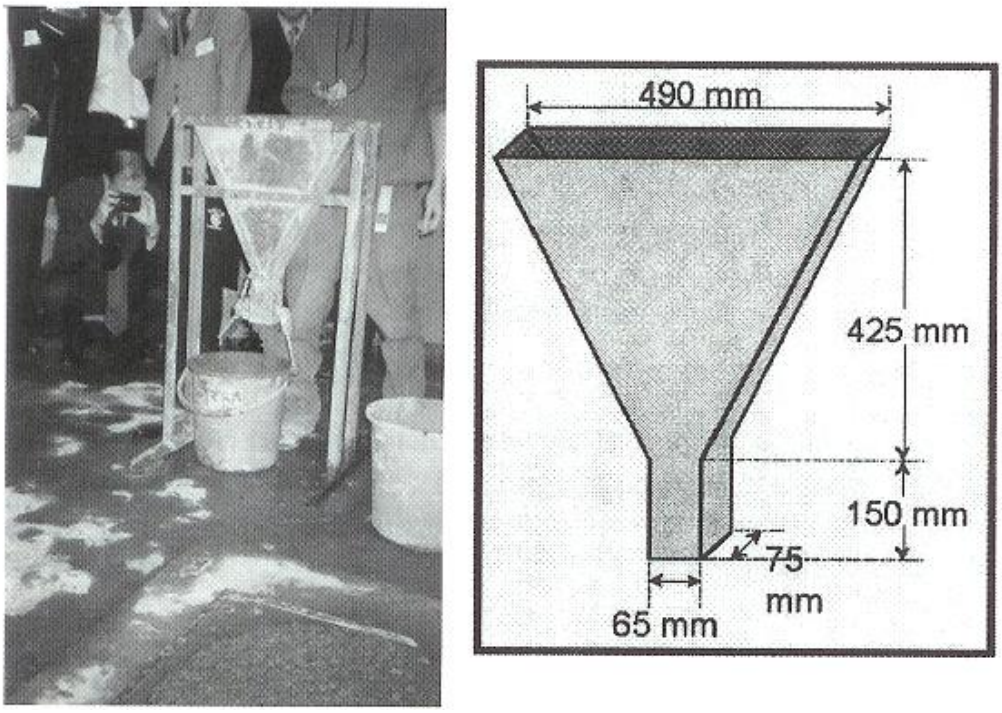


Şekil 2.10: L-Kutusu Testi Deney Düzeneği [29].

2.4.5 V-Hunisi deneyi

İlk olarak Ozawa tarafından Japonya'da geliştirilen ve kullanılan bu test methodu kendiliğinden yerleşen betonun dar bir kesitten kendi ağırlığı altında geçiş yeteneğini belirleyebilmek amacıyla kullanılmaktadır. Akış hızının belirlenip gözlem yapılması ile kendiliğinden yerleşen betonun viskozitesi hakkında bilgi veren bu yöntem, belirli aralıklarla belirlenen akış sürelerinin kullanılması sonucu taze betonun ayrışma direnci hakkında da bilgi vermektedir. Maksimum agrega boyutu 25mm'nin altında olan betonlar için kullanılabilinen bu deney methodunda, V şeklinde dikdörtgen kesitli bir huni bulunmaktadır. Yaklaşık hacmi 12 litre olan bu huninin altında betonun akışına izin vermek üzere kullanılan bir kapak bulunmaktadır. Deney düzeneğinin yüzeyleri nemlendirilir ve üst yüzeye kadar taze beton huniye yerleştirilir. Alt kapağın açılmasıyla beraber deney başlar ve süre çalıştırılır. Akış, üstten bakıldığında ışığın görülmesi ile tamamlanır ve bu sırada geçen süre kayıt edilir. Deney sırasında sürekli ya da geçici olarak, akışın bloklanma ile engellenip

engellenmediği gözlem ile kayıt edilir. Kullanılan taze beton deney bittikten 5 dakika sonra tekrar test edilir ve süre tekrar kayıt edilir. Yaklaşık 10 saniye olması gereken toplam akış süresi betonun akıcılığı hakkında bilgi verirken, 5 dakika ara ile yapılan ölçümler arası fark taze betonun ayrışma direnci hakkında bilgi vermektedir [29]. Şekil 2.11'de V-Hunisi testi deney düzeneği görülmektedir.

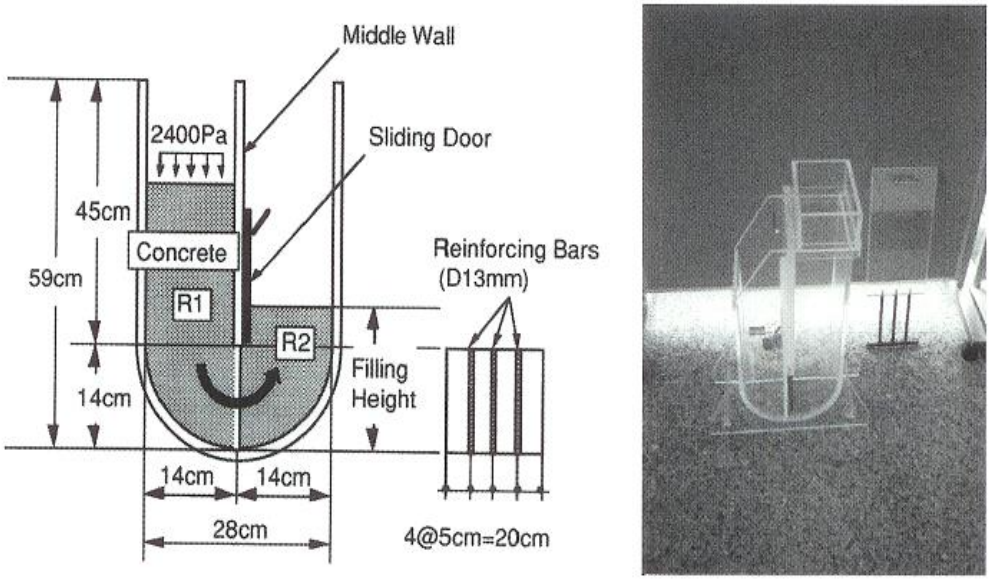


Şekil 2.11: V-Hunisi Testi Deney Düzeneği [29].

2.4.6 U-Kutusu deneyi

Japonya'da Taisei şirketinin teknoloji araştırma merkezinde geliştirilen U-kutusu testi maksimum agrega boyutu 25mm'nin altında olan su altı betonlarına ve kendiliğinden yerleşen betonlara, doldurma kapasitelerini ve akış yeteneklerini tayin etmek amacıyla uygulanmaktadır. U şeklinde olan bu alet bir orta duvar ile iki hazneye ayrılmıştır. Bu orta duvar tabana kadar devam etmemekte olup taban kısmında kayıcı bir kapak bulunmaktadır. Mevcut kapağın önünde gerçek durumu temsilen 13mm çapında ve 35mm net açıklığa sahip donatılar bulunmaktadır. Bu donatıların yerleştirilmesinden sonra kapak kapatılır ve ilk hazneye yaklaşık 20 litre taze beton doldurulur. Bir dakika bu haznede bekletilen beton daha sonra kapağın açılmasıyla beraber diğer hazneye doğru akmaya başlar. Akma işlemi tamamlandıktan sonra iki haznedeki beton yükseklikleri ölçülerek aradaki fark bulunur. Elde edilen bu ölçüm ile betonun doldurma yeteneği hakkında veri elde

edinilmektedir. Her iki haznedeki beton yükseklikleri 3 farklı noktadan ölçülür ve ortalama değerler kullanılarak yükseklik farkı hesaplanır. Bu hesaplanan farkın 30cm'den az olması durumunda betonun doldurma yeteneğinin yeterli olduğu kabul edilmektedir [29]. Şekil 2.12'de U-Kutusu testi deney düzeneği gösterilmektedir.



Şekil 2.12: U-Kutusu Testi Deney Düzeneği [29].

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Çimento ve uçucu kül

Tüm beton karışımlarında PÇ 42.5 sınıfında Aslan çimento ile Çayırhan uçucu külü kullanılmıştır. Tablo (3.1)'de uçucu kül ve çimentonun özellikleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1: Çimento ve Uçucu Külün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

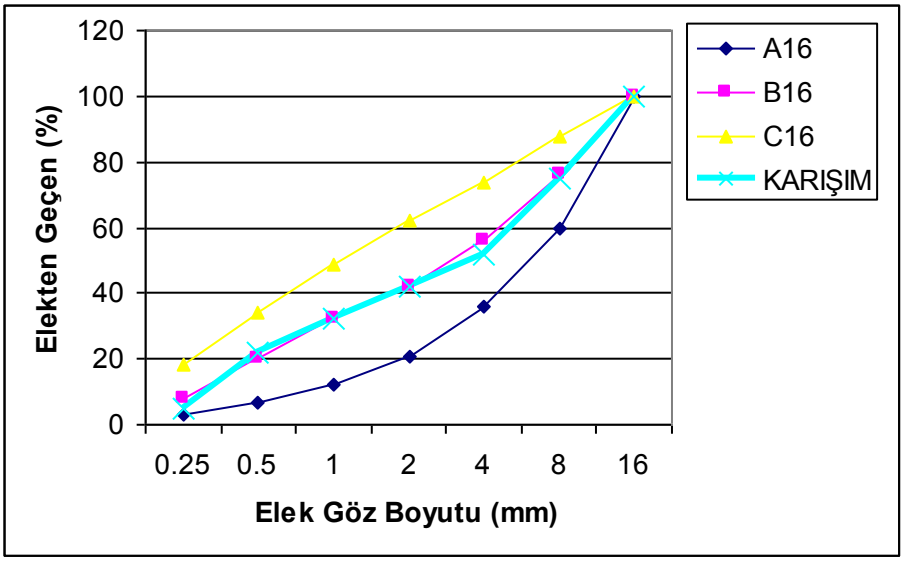
			Çimento	Uçucu kül
Fiziksel özellikler	Özgül Ağırlık (g/cm^3)		3,16	2.24
	İncelik	45μ'dan geçen (%)	-	30,8
		Blaine (cm^2/g)	3250	-
	Basınç Dayanımı, MPa	2-gün	28.6	-
		7-gün	43,4	-
		28-gün	54,1	-
	Priz süresi (s:dak)	Başlama	2:55	-
		Bitme	3:30	-
Kimyasal özellikler	Serbest kalsiyum oksit (CaO) (%)		0,73	0,43
	Magnezyum oksit (MgO) (%)		1,66	
	Sülfür trioksit (SO_3) (%)		3,01	3,20
	Klor (Cl) (%)		0,02	0,002
	Potasyum oksit (K_2O) (%)		0,65	
	C_3A (%)		8,36	
	Çözünmeyen kalıntı (%)		0,64	
	Kızdırma kaybı (%)		1,97	0,55

3.1.2 Agrega

İnce malzeme olarak iki tür doğal kum ve kırma kum, iri agrega olarak kalker esaslı kırmataşlar kullanılmıştır. Agrega karışımında %16 doğal kum 1, %14 doğal kum 2, %20 kırma kum, %30 1 nolu kırmataş ve %20 2 nolu kırmataş kullanılmıştır. Agregaların elek analizi, su emme ve özgül ağırlıkları Tablo (3.2)'de gösterilmiştir. Agrega karışımda maksimum dane çapı 16mm'dir. Agrega karışımda B16 eğrisi referans olarak alınmış olunup, agrega karışımın granülometri eğrisi B16 eğrisine yakındır. Şekil 3.1'de beton agrega karışımın granülometri eğrisi gösterilmektedir.

Tablo 3.2: Agrega Elek Analizi Sonuçları ve Agrega Özellikleri

Elek Açıklığı	Doğal Kum1	Doğal Kum2	K.Kum	KT1	KT2
16	100	100	100	100	100
8	100	100	100	82	0
4	100	100	97	8	0
2	100	98	59	0	0
1	100	70	30	0	0
0.5	100	17	16	0	0
0.25	23	0	6	0	0
0.125	4	0	3	0	0
Su emme(%)	1.48	1.49	1.00	0.67	0.38
Özgül Ağırlık(kg/dm^3)	2.65	2.57	2.62	2.70	2.74



Şekil 3.1 Beton Agregası Karışımının Granülometrisi ve Referans eğrileri

3.1.3 Kimyasal katkılar

Betonda superakışkanlaştırıcı olarak RMC-2 (Sika) ve viskozite düzenleyici olarak Welan zamkı (Gum), Kelzan zamkı (Gum) ve Nişasta Eteri kullanılmıştır. Welan Gum'ın ve Kelzan Gum'ın %2'lik sulu çözeltileri hazırlanılarak kullanılırken, Nişasta Eterinin %20'lik sulu çözeltisi hazırlanılarak kullanılmıştır. Süperakışkanlaştırıcı katkı karboksilat bazlı polimer olup, viskozite düzenleyici katkılardan Welan Gum polisakkarit, Kelzan Gum polisakkarit gum ve Nişasta eteri polisakkarit eteri kimyasal yapısındadırlar. Tablo (3.3)'de betonda kullanılan kimyasal katkıların özellikleri gösterilmektedir.

Tablo 3.3: Betonda Kullanılan Kimyasal Katkıların Özellikleri

Kimyasal Adı	Kimyasal Yapısı	Tanecik boyutu	Yoğunluk	Viskozite	pH	Nem
Welan Gum	Polisakkarit	180µm 75µm	-	1000-2000 cp %0.25 çöz.	7.5-10	9,19
Kelzan Gum	Polisakkarit Gum	600µm 355µm	-	800-1200cp %1 çöz.	5.5-8.5	11,3
%20'lik Nişasta Eteri Çözeltisi	Polisakkarit Eteri Çözeltisi	-	~1.07	3000-5500 cp	11-12	79-81
RMC-2 karboksilat bazlı polimer	Sulu polimer Çözeltisi	-	~1.0850	73.5 cp	5.5-6	58-62

3.2 Beton Karışımı

Beton karışımlarında 350 kg/m^3, 400 kg/m^3, 450 kg/m^3 ve 550 kg/m^3 toplam bağlayıcı kullanılmış ve uçucu kül/çimento oranı 0.2 alınmıştır. Farklı dozajlı karışımlar için su/bağlayıcı oranı değişken, aynı dozajlı karışımlar için sabittir. Viskozite düzenleyici katkılar 350 kg/m^3, 400 kg/m^3, 450 kg/m^3 toplam bağlayıcılı karışımlarda kullanılmıştır. Viskozite düzenleyici katkıların ve süperakışkanlaştırıcı katkının oranları deneme betonları ile bulunmuştur. Örnek olarak Welan Gum'ın kullanım oranlarını bulmak için yapılan deneme betonlarının karışım oranları ve deney sonuçları tezin ekler kısmında verilmiştir. Toplam 22 karışım üretilmiştir. 550 kg/m^3 toplam bağlayıcılı karışım kendiliğinden yerleşen betonda ince malzeme oranı yüksek tutularak yapılan karışımdır ve çalışma sonunda ince malzemesi düşük olan karışımlarla karşılaştırmak için ekstra olarak üretilmiştir. İnce malzeme oranı düşük tutularak (350,400,450 kg/m^3) yapılan karışımlar 21 tanedir. Bunlardan 3 tanesi kontrol amaçlı (her dozaj için VDK'sız), 9 tanesi Welan Gum çözeltili (her dozaj için 3 oran), 6 tanesi Nişasta Eteri çözeltili (her dozaj için 2 oran) ve 3 tanesi Kelzan Gum çözeltilidir (400 bağlayıcılı için 3 oran). 1m^3 için gerekli karışım miktarları her kontrol karışımı için ve 550 kg/m^3 toplam bağlayıcı karışım için tablo (3.4)'de verilmiştir. VDK'lı karışımların aynı dozajlı karışımlardan tek farkı eklenen viskozite düzenleyici katkılardır. Beton bir panmikserde 35 litrelik partiler halinde hazırlanmış ve tüm katkılar sırayla eklendikten sonra karışım 10 dk karıştırılmıştır.

Tablo 3.4: 1m^3 Betona Giren Malzeme Miktarları (kg)

	350-Kontrol	400-Kontrol	450-Kontrol	550
Toplam Bağ.	350	400	450	550
Çimento	291.7	333.3	375	458.33
Uçucu Kül	58.3	66.7	75	91.66
Su	171.5	172	180	182
Doğal Kum1	291	283	273	260
Doğal Kum2	247	241	232	221
Kırma Kum	361	352	339	322
Kırmataş1	559	545	524	497
Kırmataş2	378	369	355	336
SüperAkış.	9.8	8	9	9.35

Kontrol karışımlarının, 550 kg/m^3 toplam bağlayıcı karışımın ve viskozite düzenleyici içeren karışımların bileşenleri tablo (3.5)'de verilmiştir. Karışımların kodlanmasında W = Welan Gum, K = Kelzan Gum, N = Nişasta Eteri çözeltilerini temsil etmektedir. 350,400,450 ve 550 toplam bağlayıcı miktarını belirtmektedir.

Örnekler verilirse;

W-450-1: Welan Gum çözeltisi içeren 450 kg/m^3 toplam bağlayıcılı birinci beton karışımı

N-400-2: Nişasta Eteri çözeltisi içeren 400 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren ikinci beton karışımı

550 kg/m^3 toplam bağlayıcı içeren karışım sadece 550 olarak adlandırılmıştır.

Viskozite düzenleyici katkı içermeyen ince malzeme oranı düşük kontrol karışımları 350-kontrol, 400-kontrol, 450-kontrol isimleriyle adlandırılmıştır.

Tablo (3.5)'de verilen viskozite düzenleyici katkı oranları bağlayıcı miktarına göre olup, bu oranlar katkıların, beton karışımlarında kullanmak için hazırlanan çözeltilerde kullanılan toz miktarlarını belirtmektedir.

Tablo 3.5: Beton Karışım Oranları (kg)

Karışım Adı	Top.Bağ. (kg)	Çimento (kg)	Uç.Kül (kg)	VDK. (Bağ.gore) (%)	Superakış. (Bağ. Göre) (%)	Su(kg)	Su/bağ.
450-Kontrol	450	375	75	0	2	180	0.4
W-450-1	450	375	75	0.005	2	180	0.4
W-450-2	450	375	75	0.0075	2	180	0.4
W-450-3	450	375	75	0.01	2	180	0.4
N-450-1	450	375	75	0.4	2	180	0.4
N-450-2	450	375	75	0.5	2	180	0.4
400-Konrol	400	333.3	66.6	0	2	172	0.43
W-400-1	400	333.3	66.6	0.0015	2	172	0.43
W-400-2	400	333.3	66.6	0.002	2	172	0.43
W-400-3	400	333.3	66.6	0.0025	2	172	0.43
N-400-1	400	333.3	66.6	0.4	2	172	0.43
N-400-2	400	333.3	66.6	0.5	2	172	0.43
K-400-1	400	333.3	66.6	0.003	2	172	0.43
K-400-2	400	333.3	66.6	0.0035	2	172	0.43
K-400-3	400	333.3	66.6	0.004	2	172	0.43
350-Kontrol	350	291.6	58.3	0	2.8	171.5	0.49
W-350-1	350	291.6	58.3	0.0015	2.8	171.5	0.49
W-350-2	350	291.6	58.3	0.002	2.8	171.5	0.49
W-350-3	350	291.6	58.3	0.0025	2.8	171.5	0.49
N-350-1	350	291.6	58.3	0.4	2.8	171.5	0.49
N-350-2	350	291.6	58.3	0.5	2.8	171.5	0.49
550	550	458.33	91.66	0	1.7	181.5	0.33

3.3 Yapılan Deneyler

3.3.1 Taze beton deneyleri

Taze beton deneylerinden serbest yayılma, kısıtlanmış yayılma, terleme, eleme ve penetrasyon deneyleri yapılmıştır.

3.3.1.1 Serbest yayılma deneyi

Bu deney betonun kendiliğinden yayılma özelliğini (doldurma yeteneğini) ölçmek için uygulanmıştır. Klasik çökme konisi (yükseklik:30cm, alt silindir çapı:20cm, üst silindir çapı:10cm) yayılma tablasının üzerine ters konmuştur. Yayılma tablası önceden nemlendirilmiş ve üzerine 50cm çaplı bir daire çizilmiştir. Taze beton koninin içine şişleme yapılmadan yerleştirildikten sonra koni dikey olarak yukarıya

doğru kaldırılmıştır. Taze beton kendi ağırlığı ile yayılırken betonun 50cm'ye yayılma süresi 50 cm çaplı daire yardımıyla ölçülmüş ve T_{50} olarak kaydedilmiştir. Yayılma bittikten sonra birbirine dik iki doğrultuda yayılma çapları ölçülmüş ve ortalamaları alınarak betonun yayılma çapı bulunmuştur. Şekil 3.2'de serbest yayılma deneyi görülmektedir.



Şekil 3.2: Serbest Yayılma Deneyi

3.3.1.2 Kısıtlanmış yayılma deneyi

Özkul tarafından geliştirilmiş olan bu deney yönteminde kullanılan alette, içte alt ve üstü açık 15cm çapında ve 30cm yüksekliğinde bir silindir bulunur ve bunun hemen etrafına 12mm çapında ve 35mm aralıkta 14 adet çelik çubuk düşey olarak 200mm'lik daire oluşturacak şekilde yerleştirilmiştir. İçteki silindir beton ile doldurulduktan sonra düşey doğrultuda yukarıya doğru kaldırılır ve betonun çubuklar arasından geçmesi sağlanır. Alet prensip olarak J-Halkasına benzemektedir [2,12,19].

Serbest yayılmada olduğu gibi çizilen 50cm çaplı daire yardımıyla T_{50} süreleri ölçülmüş ve yayılma çapı yine toplam yayılma çaplarının birbirine dik iki doğrultuda ölçülüp ortalamaları alınarak bulunmuştur. Bu deney kendiliğinden yerleşen betonun donatılar arasından geçiş yeteneğini ölçmek amacıyla yapılmıştır. Bu deneyde donatılar arasından geçen betonun gözlem yapılarak ayrışmaya uğrayıp uğramadığını da görmek mümkün olabilmektedir. Şekil 3.3'de kısıtlanmış yayılma deneyi görülmektedir.



Şekil 3.3: Kısıtlanmış Yayılma Deneyi

3.3.1.3 Terleme deneyi

Terleme deneyi TS EN 480-8'e göre yapılmış fakat kalıbın 250mm olan iç çap ve 280mm olan yükseklik boyutu modifiye edilerek 190mm ve 380mm olarak değiştirilmiştir.

Deney kabına alınan taze beton karışımının, ilk 40 dakika içinde, her 10 dakikada bir defa, devamında ise her yarım saatte bir defa yüzeyindeki su cam pipet ve pipetin ucuna takılan pompa yardımıyla alınarak, hacim (ml) cinsinden ölçümler yapılmıştır. Deneye, betonun yüzeyinden su salınımı bitene kadar devam edilmiştir.

(B) terleme değeri terleyen toplam suyun kalıptaki betonun içerdiği toplam suya oranıdır. Terleme deneyinde dikkat edilmesi gereken en önemli husus terleme başlangıçta görülmese de en az 3-4 saat numunenin terleme yapıp yapmayacağı izlenmelidir. Yapılan deneyler sırasında bazı numunelerin yaklaşık bir saat sonra terlemeye başladığı dikkati çekmiştir. Şekil 3.4'de terleme deneyinde kullanılan aparatlar görülmektedir.



Şekil 3.4: Terleme Deneyi Aparatları

3.3.1.4 Eleme deneyi

Betonda ayrışma olup olmadığını incelemek amacıyla yapılan bu deneyde, 2 litre taze beton 5mm'lik eleğin üstüne boşaltılır ve 5 dakika beklendikten sonra elekten geçen miktar gram cinsinden ölçülür. Sonuçta ayrışma katsayısı elekten geçen taze betonun toplam taze betona oranı ile bulunur ve bulunan oran yüz ile çarpılarak yüzde olarak ifade edilir [30].

Fujiwara tarafından geliştirilen bu deney yöntemi uygulanırken deney modifiye edilerek 1'er litre taze beton ile iki defa yapılmış ve bulunan ayrışma katsayılarının ortalamaları alınmıştır.

Bu deney yönteminde, araştırmacılar bulunan ayrışma katsayısı için, betonda ayrışma olmaması için sınır değerin %5 olduğunu fakat %10 değerinin daha gerçekçi olduğunu belirtmişlerdir [31].

Yapılan eleme deneylerinde görülmüştür ki %10 değeri bu çalışma için de daha gerçekçidir, bundan dolayı sınır değeri %10 alınmıştır. Şekil 3.5'de eleme deneyi görülmektedir.



Şekil 3.5: Eleme Deneyi

3.3.1.5 Penetrasyon deneyi

B.K Van tarafından geliştirilen ve Şekil 3.6'da görülen bu deneyde 200mm kenar uzunluğuna sahip küp kalıba doldurulan taze betonun yüzeyine bir silindir halka, kendi ağırlığında bırakılarak daldırılmış ve 45 saniye sonra dalma derinliği ölçülerek kayıt edilmiştir. Bu deney aletinde, beton yüzeyinden dalmaya bırakılan kısmı 54 gram ağırlığındadır. Bu deneyin amacı betonda ayrışma direnci hakkında bilgi edinmektir. Dalma derinliği 8mm'yi geçmezse betonda ayrışma yoktur [32].



Şekil 3.6: Penetrasyon Deneyi

3.3.2 Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş beton deneylerinden kılcal su emme deneyi ve basınç deneyi yapılmıştır.

3.3.2.1 Kılcal su emme deneyi

Üretilen betonların kılcal su emme katsayılarını belirlemek amacıyla 10cm'lik küp numuneler alınmış ve 28 gün 22 ± 2ºC sıcaklıktaki kirece doygun suda bekletilmiştir. Daha sonra bu numuneler sudan çıkartılarak alt kısımlarından ortalama 2-3 cm beton kesme aleti ile kesilmiştir. Kesilen bu numuneler daha sonra 2 gün süreyle 70ºC'lik etüvde kurumaları için bekletilmiştir. Etüvde bekleme işlemi yapıldıktan sonra numuneler 1 gün havada bekletilmiş ve kılcal su emme deneyi 31. günde yapılmıştır.

Kılcal su emme deneyinde ilk olarak numuneler yandan su almaması için numunelerin etrafı parafin ile kaplanmıştır. Daha sonra numunelerin kuru ağırlığı tartılmış ve W0 olarak kayıt edilmiştir. Numunelerin kesilen yüzeyleri suyla temas ettirilerek 1., 4., 9., 16., 25., 36., 49., 64. dakikalarda numunelerin ağırlıkları kayıt edilmiştir. Bu ağırlıklardan kuru ağırlık çıkartılarak numunelerin bu dakikalarda emdikleri su miktarları bulunmuştur.

$$q = Q / A = \sqrt{kt} + C \qquad (3.1)$$

Q: Kılcal olarak emilen su(cm^3) A: Numunenin su ile temas eden alanı(cm^2)

t: Temas süresi(dk) K: Kılcallık katsayısı cm^2/dk

(3.1) denkleminin yardımıyla ölçüm yapılan her zaman için q^2 değerleri noktasal olarak q^2-t grafiğinde işaretlenir ve işaretlenen noktalar arasından doğrusal bir çizgi çekilir. Bu doğrunun eğimi kılcallık katsayısını vermektedir. Ancak genellikle bu doğru kordinat ekseninin merkezinden geçmez ve pozitif bir C katsayısı içerir.

3.3.2.2 Basınç deneyi

Üretilen betonların basınç dayanımlarının belirlenebilmesi amacıyla 15x15x15cm^3 küp numuneler alınmış ve basınç deneyleri tarihine kadar 22 ± 2ºC sıcaklıktaki kirece doygun suda bekletilmiştir. Basınç deneyleri 7.gün ve 28.günde ELE marka 3000 kN kapasiteli yükleme makinesi ile küp numunelerin kırılması sonucu yapılmış ve betonların 7.gün ve 28.günkü basınç dayanımları bulunmuştur.

4. DENEY SONUÇLARI VE İRDELENMESİ

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Taze betonlarda yapılan deneylerin sonuçları tablo (4.1)'de verilmiştir.

Tablo 4.1: Taze Beton Deney Sonuçları

Karışım	Penetrasyon (mm)*	Eleme(%)*	Serbest Yayılma(cm)	T_{50} (s)	Kısıtlanmış Yayılma(cm)	T_{50}(s)	Terleme (cm^3/ cm^3)
450-Kontrol	**23**	**14,36**	**67**	**4**	**68**	**5**	**0,200**
W-450-1	8	7,35	65	5	63	8	0,075
W-450-2	5	6,32	62	5	61	9	0,000
W-450-3	4	5,47	62	6	60	9	0,000
N-450-1	7	7,85	66	4	64	6	0,000
N-450-2	4	6,51	63	5	62	7	0,000
400-Kontrol	**15**	**12,72**	**67**	**4**	**64**	**5**	**0,159**
W-400-1	10	9,29	62	4	61	8	0,156
W-400-2	8	7,07	61	5	61	8	0,116
W-400-3	7	4,14	60	6	60	10	0,097
N-400-1	6	7,65	62	4	62	8	0,000
N-400-2	3	4,84	59	5	59	8	0,000
K-400-1	7	11,54	63	4	63	5	0,000
K-400-2	6	8,53	62	4	62	6	0,000
K-400-3	4	5,68	61	5	60	6	0,000
350-Kontrol	**14**	**12,84**	**65**	**3**	**67**	**3**	**0,137**
W-350-1	10	9,42	63	4	62	4	0,116
W-350-2	6	8,61	61	5	61	6	0,092
W-350-3	5	6,71	59	5	59	7	0,073
N-350-1	7	6,93	63	3	61	7	0,000
N-350-2	5	6,18	62	4	60	8	0,000
550	**3**	**5.13**	**65**	**4**	**64**	**5**	**0,000**

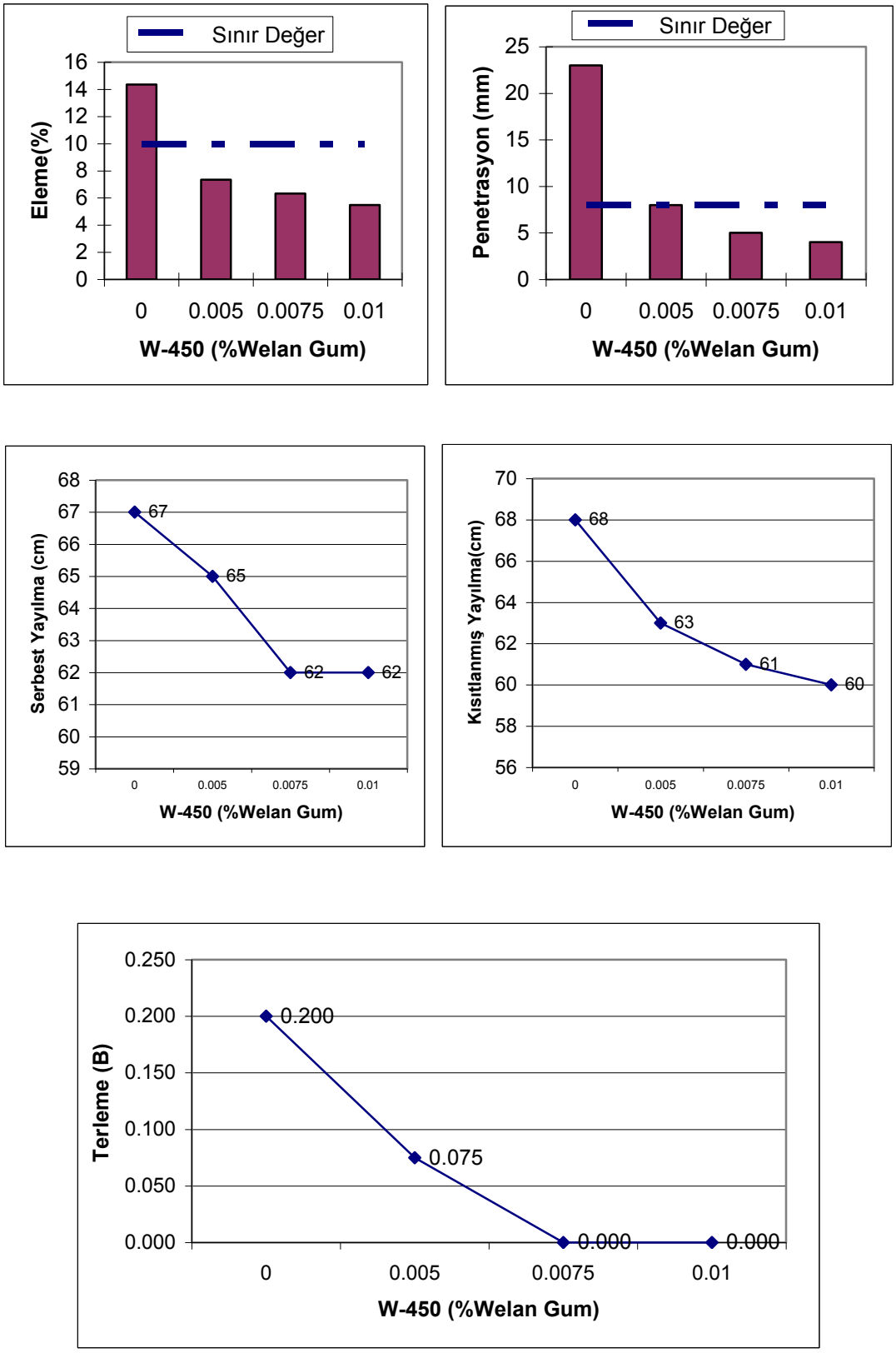
*Penetrasyon ve eleme deneylerinde sınır değerler sırasıyla 8mm ve %10'dur.

Tablo (4.1)'de görüldüğü gibi viskozite düzenleyici katkı içermeyen ince malzemesi azaltılmış kontrol betonlarının hepsinde beklendiği üzere terleme görülmekte, penetrasyon ve eleme değerleri sınır değerlerinin üzerine çıkarak ayrışma olduğu görülmektedir. Viskozite düzenleyici katkı eklenerek yapılan karışımlar kontrol betonlarıyla karşılaştırılarak grafikleriyle beraber incelenecektir.

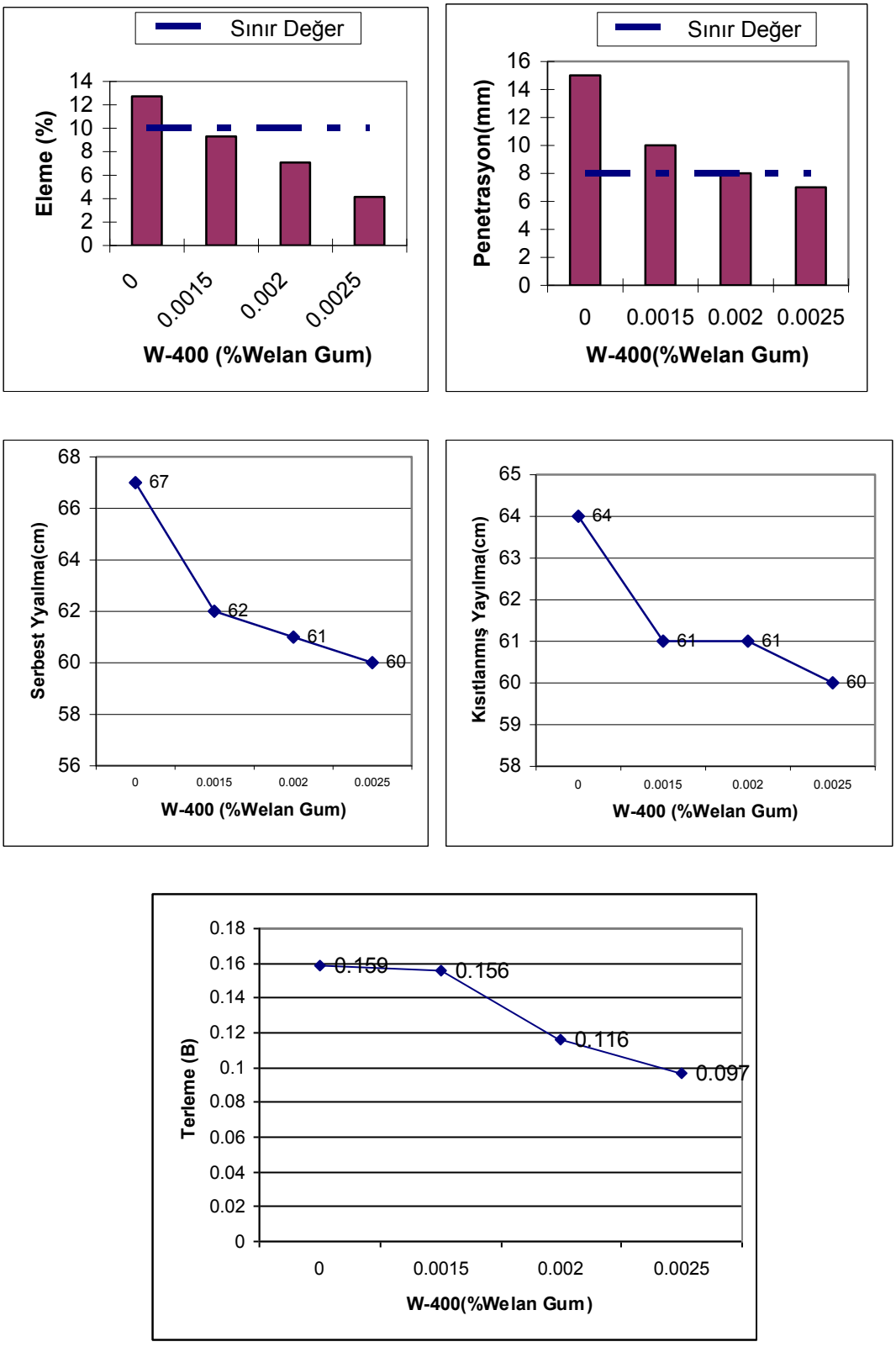
4.1.1 Welan Gum içeren karışımlar

Tablo (4.1)'in ve Şekil 4.1'in incelenmesinden, 450 bağlayıcı dozajlı ve Welan Gum içeren karışımlarda serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma değerlerinde Welan Gum oranı arttıkça azalma görülmektedir. Kontrol betonunda en büyük yayılma elde edilebilmekle beraber, bu yayılma taze beton yayılırken çimento şerbetinin ayrışması sonucu meydana gelmiştir. Kısıtlanmış yayılma değerleri serbest yayılma değerlerinden biraz düşük elde edilmiştir, bunun sebebi taze betonun donatılar arasından geçmesi olarak açıklanabilinir. T_{50} yayılma süreleri kısıtlanmış yayılmada serbest yayılmaya göre daha fazladır ve genellikle yayılma süreleri VDK oranı arttıkça artmaktadır. Eleme ve penetrasyon değerleri kontrol betonunda sınır değerlerin üstündeyken, VDK oranı arttıkça bu değerler azalmış ve sınır değerlerinin altına inmiştir. Welan Gum oranı arttıkça yayılma bir miktar azalırken betonun ayrışmaya karşı direnci artmaktadır. Terleme değerlerine baktığımız zaman ise %0.005 oranında kullanılan Welan Gum kontrol betonuna göre terlemeyi yaklaşık %50 oranında azaltırken, Welan Gum oranı %0.0075 ve %0.01 olduğu zaman terleme tamamen durdurulmuştur.

Tablo (4.1)'in ve Şekil 4.2'nin incelenmesinden, 400 bağlayıcı dozajlı Welan Gum içeren karışımlarda serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma değerlerinde genel olarak Welan Gum oranı arttıkça azalmalar görülmektedir. Kısıtlanmış yayılma değerleri serbest yayılma değerlerine yakın elde edilmiştir. Bu grupta da kontrol betonunda çimento şerbetinin ayrışması sonucu oluşan fazladan bir yayılma vardır. T_{50} yayılma süreleri VDK oranı arttıkça genellikle artmaktadır. Eleme ve penetrasyon değerleri VDK oranı arttıkça azalmış, %0.005 oranında penetrasyon değeri sınır değerin üstündeyken, eleme değeri sınır değerin altında kalmış fakat oran daha da arttırıldığında her iki deneyde de sınır değerlerinin altına inilmiştir. Ayrışma direnci ikinci oranla birlikte sağlanmış gibi gözükürken terleme, Welan Gum oranı arttıkça azalmasına rağmen sıfırlanamamıştır. Daha fazla Welan Gum kullanımının terlemeyi sıfırlayabileceği öngörülmektedir fakat bu oran arttırılırsa istenen yayılma miktarının (60cm) altına inileceği de görülmektedir. Ayrıca 400 bağlayıcı dozlu karışımlarda kullanılan Welan Gum oranı 450 dozlu bağlayıcı karışımlara göre daha azdır. Daha fazla olması beklenen miktarın daha az bulunması dikkat çekicidir.



Şekil 4.1: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları



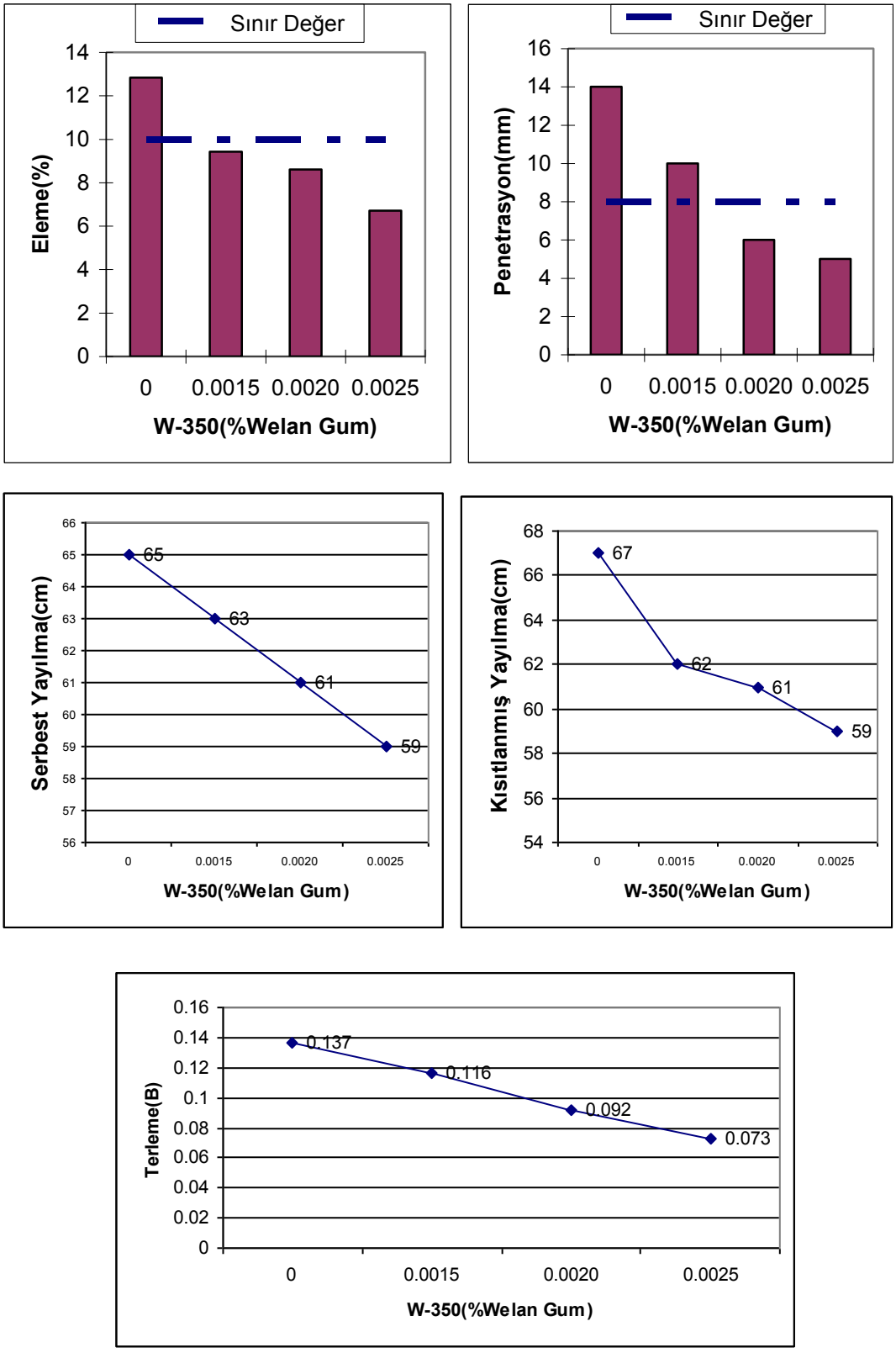
Şekil 4.2: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları

Tablo (4.1)'in ve şekil 4.3'ün incelenmesinden 350 bağlayıcı dozlu Welan Gum içeren karışımlarda, Welan Gum oranı arttıkça serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma değerlerinde azalma görülmektedir. T_{50} yayılma süreleri VDK oranı arttıkça artma eğilimindedir. Eleme ve penetrasyon değerleri Welan Gum oranı arttıkça sınır değerinin altına inmiş fakat burada da 400 bağlayıcı dozajlı Welan Gum içeren karışımlarda olduğu gibi terleme azalmış fakat sıfırlanamamıştır. %0.0025 oranında Welan Gum kullanıldığında terleme yaklaşık %50 azalmıştır. Burada da daha fazla Welan Gum kullanımının terlemeyi sıfırlatabileceği öngörülmektedir fakat zaten %0.0025 oranında 59 cm olan yayılma değerleri daha fazla Welan Gum eklenmesiyle daha da azalacaktır. 350 bağlayıcı dozajlı karışımlar için kullanılan Welan Gum oranı 400 bağlayıcı dozajlı karışımlar için kullanılanlarla aynı olmuştur.

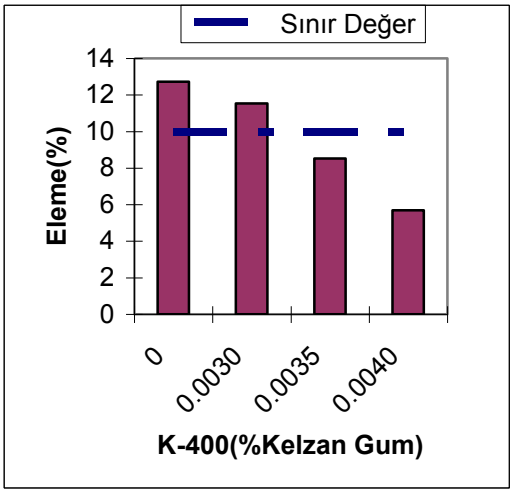
Yüksek bağlayıcı dozajlı betonlarda daha düşük VDK oranı, buna karşılık bağlayıcı dozajı düşük olan karışımlarda daha yüksek VDK oranı beklenirken, Welan Gum için 350 ve 400 kg bağlayıcı dozajlarında aynı oranda VDK yeterli olurken bağlayıcı dozajı 450'ye çıkarıldığında daha yüksek VDK gerekmiştir. Ayrıca 350 kg bağlayıcı dozajlı betonda 60 cm civarında bir yayılma elde edebilmek için süperakışkanlaştırıcı dozajını artırmak (%2.8) durumunda kalınmıştır.

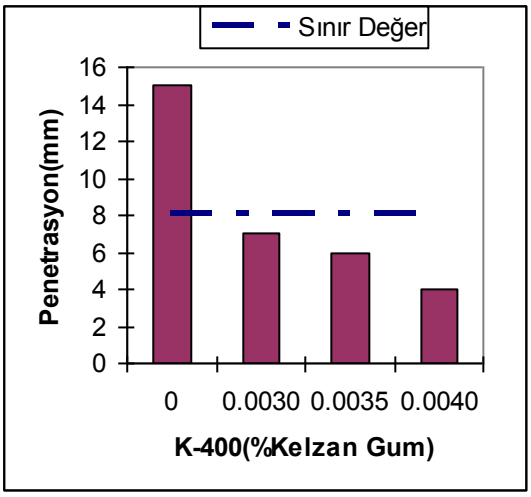
4.1.2 Kelzan Gum içeren karışımlar

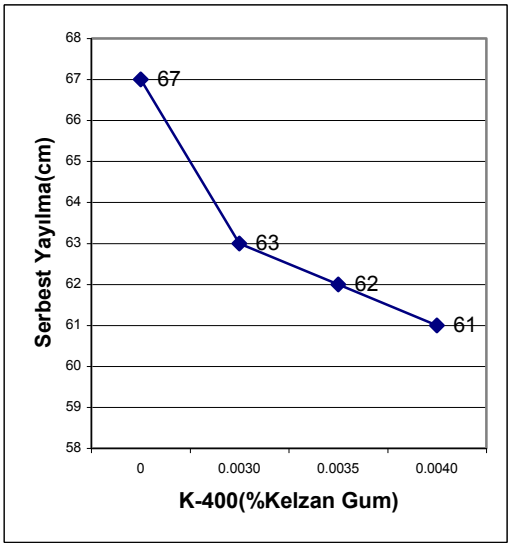
Viskozite düzenleyici katkı olarak Kelzan Gum'ın kullanılması yalnız 400 bağlayıcı dozajlı betonlarda denenmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo (4.1) ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Bu betonlarda 400 kg dozajlı ve Welan Gum'lı betonlardan daha fazla VDK gerekmiş ancak aynı oranda superakışkanlaştırıcı ile benzer yayılmalar elde edilebilmiştir. Kelzan Gum oranı arttıkça serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma değerlerinde azalma görülmüştür. T_{50} yayılma süreleri VDK oranlarında birbirine yakın değerler vermiştir. Eleme ve penetrasyon değerleri VDK oranı arttıkça azalmış ve sınır değerin altına inmiştir. Fakat 1. oranda (%0.030) eleme değeri sınır değerin üstündeyken , penetrasyon değeri altında kalmıştır. Her iki deneyde de sınır değerin altına inilmesi 2. oranla (%0.0035) birlikte olmuştur. Böylelikle betonda ayrışma direncinin sağlandığı görülmektedir. Kelzan Gum'ın her üç oranında da 400 bağlayıcı dozajlı beton karışımlarında terleme tamamen engellenmiştir..

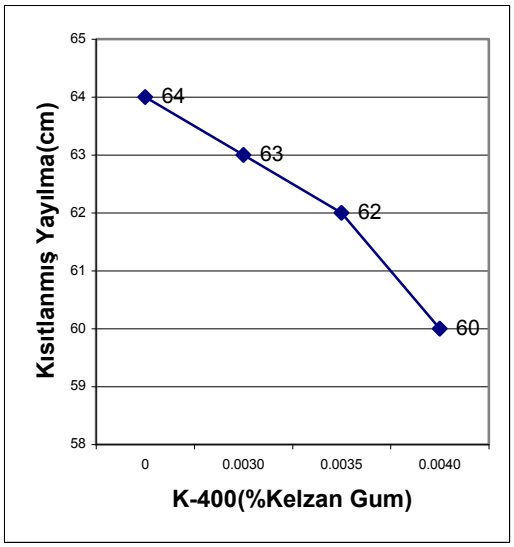


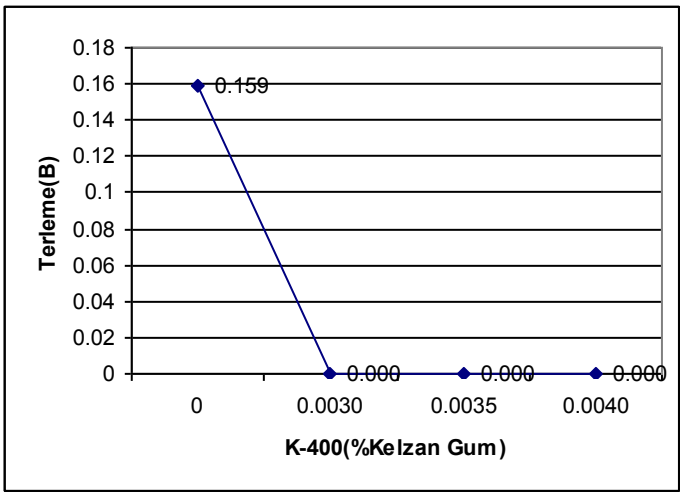
Şekil 4.3: 350 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Welan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları











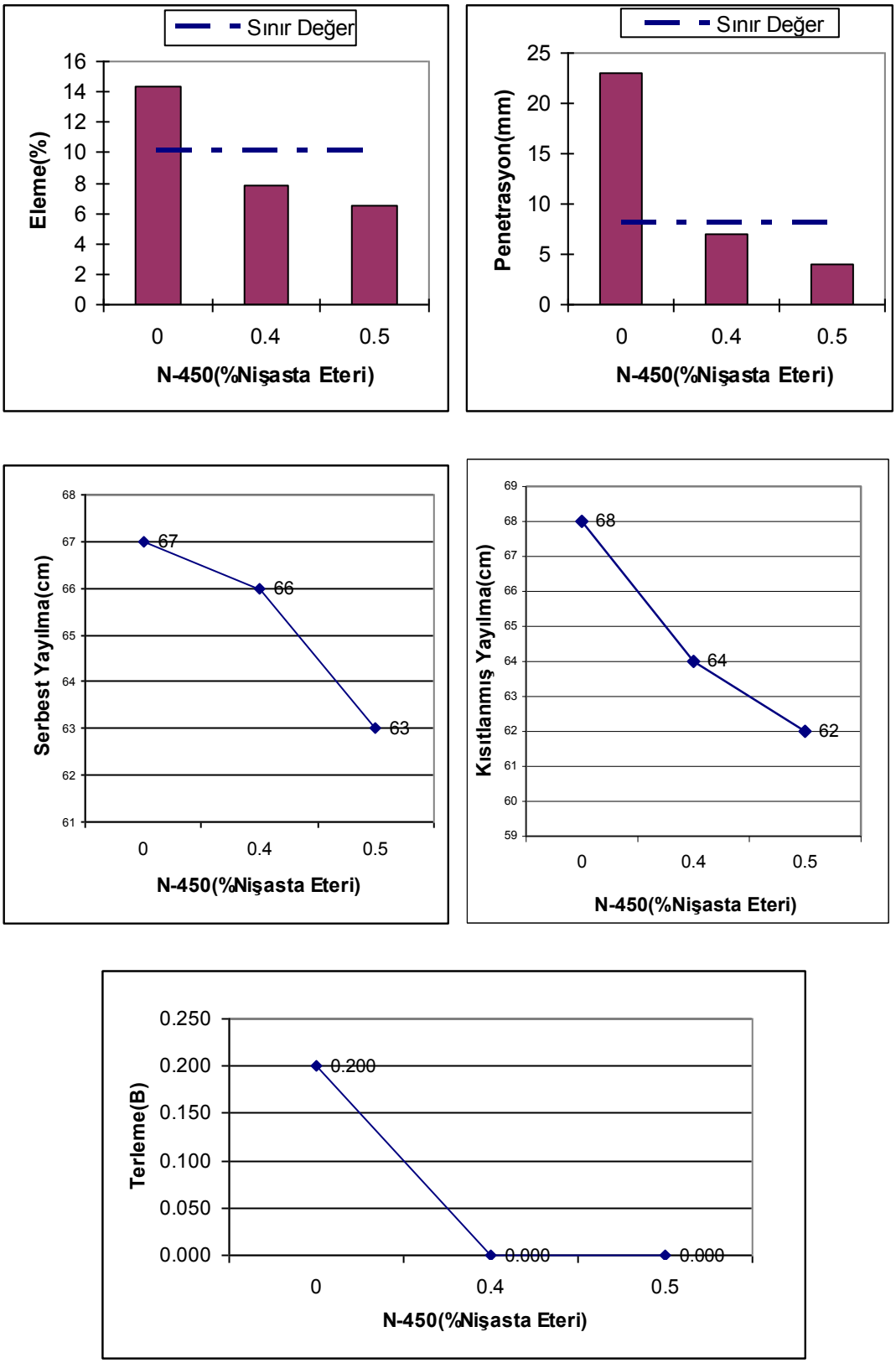
Şekil 4.4: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Kelzan Gum İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları

4.1.3 Nişasta eteri içeren karışımlar

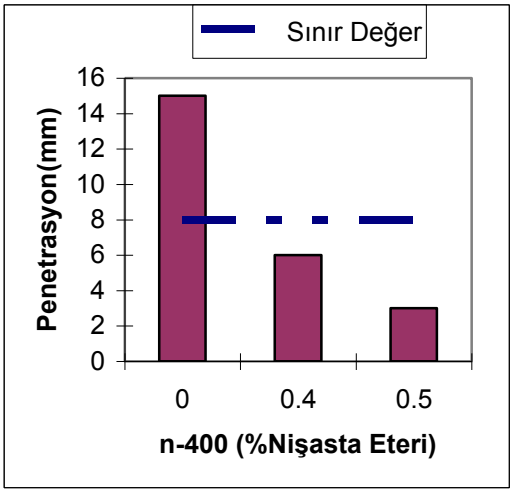
Viskozite düzenleyici katkı olarak nişasta eteri 350,400 ve 450 bağlayıcı dozajlı karışımlarda her bağlayıcı dozajı için iki oran kullanılarak denenmiştir.

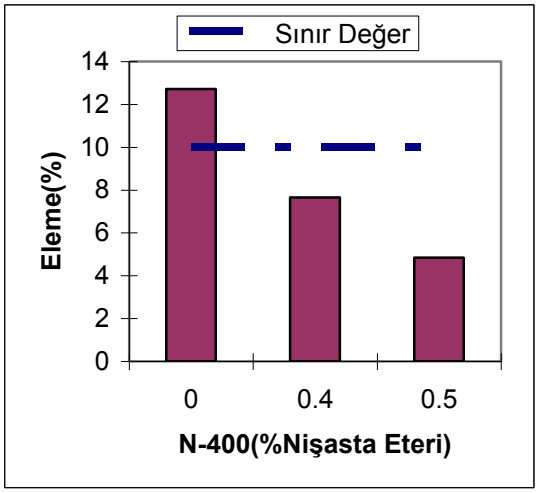
Tablo (4.1) ve Şekil 4.5 incelenirse 450 bağlayıcı dozajlı Nişasta Eteri içeren karışımlarda Nişasta Eteri oranı %0.4'deyken 66 cm serbest yayılma değeri ve 64 cm kısıtlanmış yayılma değerinin elde edildiği görülmektedir. Bu oranda, eleme ve penetrasyon değerleri de sınır değerlerin altına inmekte ve ayrışma engellenmektedir. Terlemenin de sıfırlandığı görülmektedir. %0.4 nişasta eteri kullanarak yapılan bu karışım yayılma bakımından elde edilen en iyi sonuçları verirken, ayrışmanın ve terlemenin de ayrıca engellenmesi ile bu karışımın en ideal sonuçları verdiği görülmektedir. Nişasta Eteri %0.5 oranına çıktığında yayılma değerleri azalmakta fakat yine de 60cm'nin üzerinde kalmakta, ayrışma değerleri sınır değerlerin daha da altına inmekte ve terleme de yine sıfırlanmaktadır. T_{50} yayılma süreleri kısıtlanmış yayılmada serbest yayılmadan daha fazla olmakta ve VDK oranı arttıkça yayılma süreleri artma eğilimine girmektedirler.

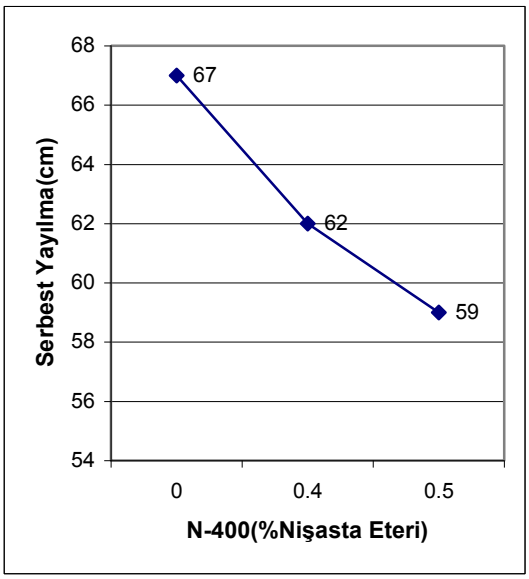
400 dozajlı bağlayıcı Nişasta Eteri içeren karışımlarda Tablo (4.1) ve Şekil 4.6 incelenirse Nişasta Eteri oranı arttıkça kısıtlanmış ve serbest yayılma değerlerinde azalma görülürken, %0.5 Nişasta Eteri oranında yayılma değerleri 60cm'nin altına inerek 59 cm değerini almıştır. Bu bağlayıcı dozajında da 450 bağlayıcı dozajında kullanılan oranlar kullanılmıştır. Eleme ve penetrasyon değerleri her iki oranda da sınır değerin altına inmiştir. Betonda ayrışma direnci sağlanmıştır ve terleme daha ilk oranda (%0.4) sıfırlanmıştır. T_{50} yayılma süreleri kısıtlanmış yayılmada serbest yayılmadan daha fazla olmakta ve kontrol betonuna göre daha yüksek yayılma süreleri görülmektedir. Nişasta oranı %0.5 olduğunda eleme değeri ilk kez %5'in altına inerek %4.84 olmuştur. Sadece bu karışımda %5'in altına inilebildiğinden dolayı eleme deneyinde %10 değerinin sınır değeri olarak alınılmasının daha gerçekçi olduğu elde ettiğimiz verilerle de görülmüştür. %4.84 eleme değeri elde edilirken penetrasyon değeri de karışımlarda elde edilen en düşük değer olan 3mm değerine erişmiştir. %0.5 Nişasta Eteri içeren 400 bağlayıcı dozajlı karışım ayrışma direnci bakımından en iyi sonuçları vermekte fakat yayılma 60cm'nin altında kalarak istenmeyen bir durum ortaya çıkmaktadır.

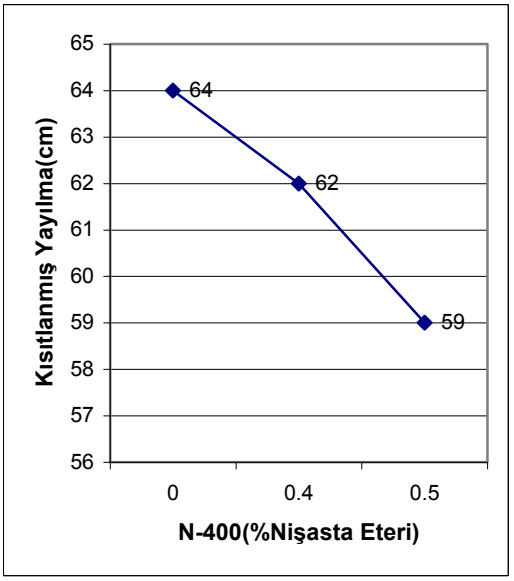


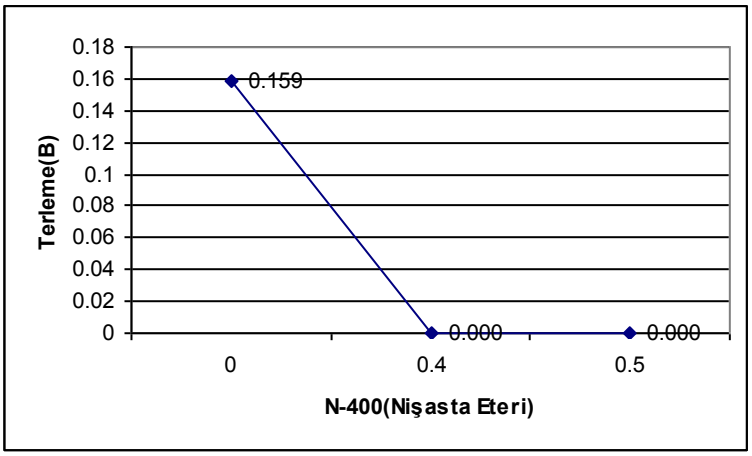
Şekil 4.5: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları









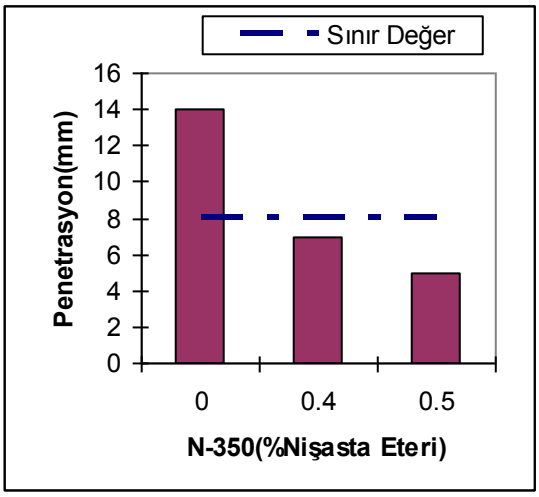


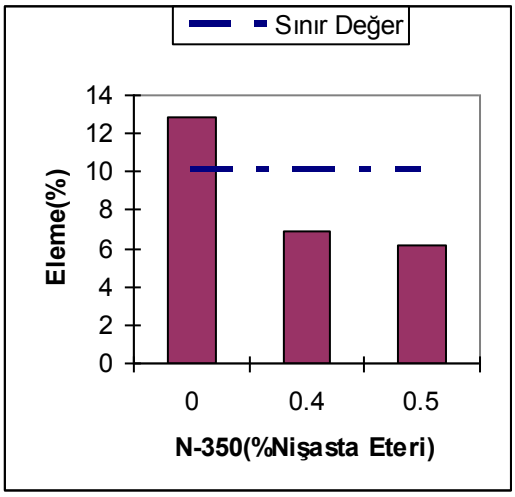
Şekil 4.6: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları

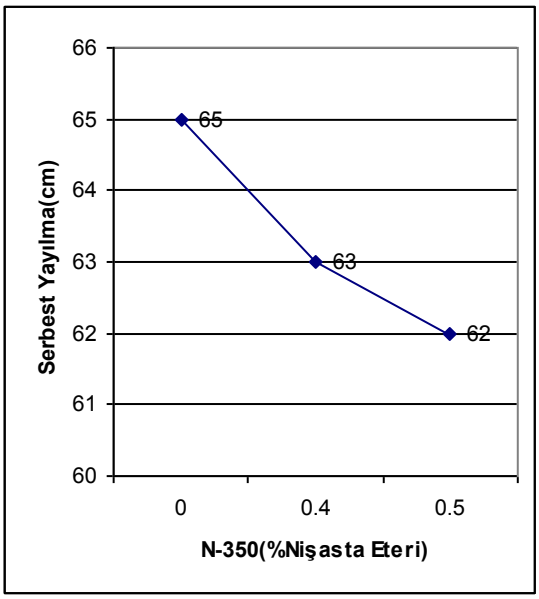
350 dozajlı bağlayıcı Nişasta Eteri içeren karışımlarda Tablo (4.1) ve Şekil 4.7 incelenirse VDK oranı arttıkça serbest yayılma ve kısıtlanmış yayılma değerlerinde azalma görülmekte, T_{50} yayılma süreleri serbest yayılma için kontrol betonuna göre yakın değerler verirken, kısıtlanmış yayılma için 3sn'den 7 ve 8 sn'ye çıkmaktadır. Bu betonlarda da, Welan Gum'lı karışımlara benzer şekilde 350 kg bağlayıcı dozajı için daha yüksek oranda (%2.8) süperakışkanlaştırıcı kullanımı gerekmiştir. Ayrıca kullanılan Nişasta Eteri oranları da 450 ve 400 bağlayıcı dozajlı Nişasta Eteri içeren karışımlardakilerle aynıdır. Eleme ve penetrasyon değerleri kullanılan her iki Nişata Eteri oranı için sınır değerlerin altına inmiş ve oran arttıkça elde edilen değerler azalmıştır. Bu grup için de betonda ayrışma direnci sağlanmış ve her iki oranda da betonda terleme sıfırlanmıştır.

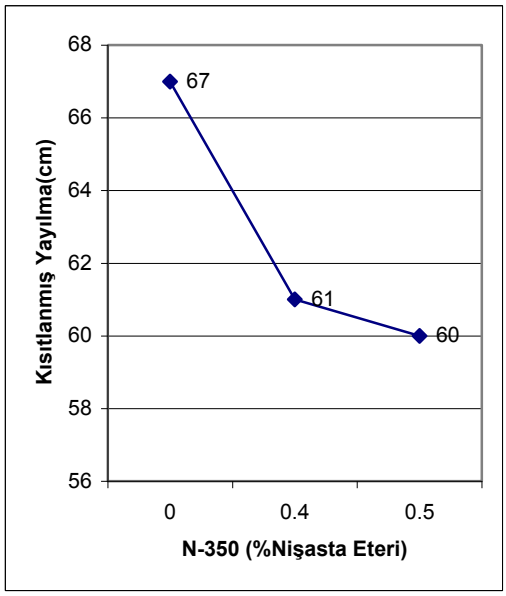
4.1.4 550 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı karışım

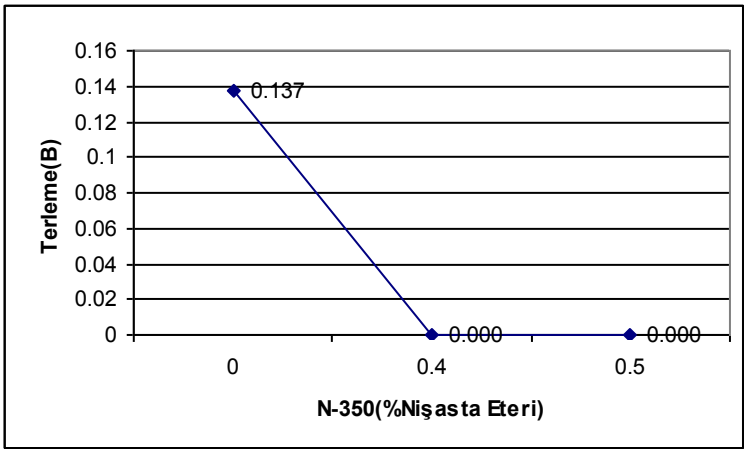
550 bağlayıcı dozajlı karışım viskozite düzenleyici katkısız ve yüksek ince malzeme içeren kendiliğinden yerleşen beton karışımı olarak üretilmiştir. Bu karışımın üretilmesindeki amaç viskozite düzenleyici katkılı düşük ince malzeme içeren karışımlarda elde edilen sonuçları, klasik kendiliğinden yerleşen betonla karşılaştırmak içindir. Tablo 3.5'de görüldüğü üzere bu karışım düşük su/bağlayıcı oranında (0.33) ve %1.7 süperakışkanlaştırıcı kullanılarak yapılmıştır. Tablo (4.1)'de bu karışımın taze beton deney sonuçlarına bakarsak serbest yayılmanın 64cm, kısıtlanmış yayılmanın 65cm, penetrasyon ve eleme değerlerinin sırasıyla 3mm ve %5.13, terlemenin sıfır ve T_{50} yayılma sürelerinin serbest yayılma için 4sn, kısıtlanmış yayılma için de 5sn olduğu görülmektedir. VDK'ların yayılma miktarında azalma meydana getirmelerinden dolayı ortalama 65cm'lik yayılmaya sadece 450 bağlayıcılı Nişasta Eteri içeren karışımlarda elde edilmiştir. Tüm katkılarda ayrışma direnci elde edilirken aynen 550 bağlayıcı dozajlı karışım gibi sınır değerlerin altına inilmiştir. Terleme 450 bağlayıcı dozajlı Welan Gum içeren karışımlarda, 400 bağlayıcı dozajlı Kelzan Gum içeren karışımlarda ve tüm Nişasta Eteri içeren karışımlarda sıfırlanabilmiştir. Viskozite düzenleyici katkı kullanılarak yapılan kendiliğinden yerleşen betonların, ince malzemenin yüksek olduğu kendiliğinden yerleşen betonlarla karşılaştırıldığında ayrışma, terleme, yayılma bakımından yaklaşık sonuçlar verebildiği görülmektedir.











Şekil 4.7: 350 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Nişasta Eteri İçeren Karışımların Taze Beton Deney Sonuçları

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Sertleşmiş betonlar üzerinde basınç dayanımı deneyi ile kılcal su emme deneyleri yapılmış ve deney sonuçları Tablo (4.2)'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Sertleşmiş beton deney sonuçları

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)		Kılcal Su Emme Katsayısı
	7.gün	28.gün	10^{-5} cm^2/dk
450-Kontrol	40.1	50.2	7.71
W-450-1	39	48.7	3.81
W-450-2	40.4	49.8	5.39
W-450-3	38.7	47.5	7.63
N-450-1	39.5	49.6	8.63
N-450-2	38.3	48.6	9.81
400-Kontrol	35.6	43.4	6.47
W-400-1	35	42.7	7.31
W-400-2	34.4	43	5.31
W-400-3	36.7	43.7	6.65
N-400-1	35.2	41.8	5.66
N-400-2	35.7	42.3	3.31
K-400-1	33.6	41.9	5.31
K-400-2	35.1	43.8	3.15
K-400-3	33.3	41.4	3.65
350-Kontrol	21.7	28.8	10.21
W-350-1	26.6	32.1	10.52
W-350-2	27.7	33.7	7.47
W-350-3	25.8	31.8	7.05
N-350-1	25.3	32.3	3.31
N-350-2	25.7	32.1	3.39

4.2.1 Basınç dayanımları

Tablo (4.2)'de görüldüğü üzere 450 bağlayıcı dozajlı karışımlar için basınç dayanımları 7.gün için 38-40 MPa arası, 28.gün içinse 48-50 MPa arası değişmektedir. 400 bağlayıcı dozajlı betonlar için 7.gün için 33-35 MPa arası, 28. gün içinse 41-44 MPa arasında değişmektedir. Kontrol betonlarına göre fazla bir değişim görülmemektedir. 450 ve 400 bağlayıcı dozajlı betonlar için VDK'ların betonun basınç dayanımına bir etkisi olduğu söylenemez. 350 bağlayıcı dozajlı betonlarda kontrol betonuna göre VDK'lı karışımların basınç dayanımları 4-5 MPa arasında değişen miktarlarda fazla çıkmıştır. Bunun sebebi olarak da 350 kontrol

betonunun ayrışmadan dolayı kalıba homojen yerleştirilemediğinden basınç dayanımlarının biraz düşük çıkması olarak söylenebilir. 350 bağlayıcı dozajlı VDK'lı betonların kendi aralarında basınç dayanım farkı fazla görülmemektedir. Bundan dolayı 350 bağlayıcı dozajlı betonlarda da VDK'nın basınç dayanımına bir etkisinin bulunmadığını söyleyebiliriz.

4.2.2 Kılcallık katsayıları

Tablo (4.2)'de görülen kılcal su emme katsayıları çok dağınık çıkmıştır. Nişasta Eteri 450 bağlayıcı dozajlı betonun kılcal su emme katsayısını arttırırken, 400 ve 350 bağlayıcı dozajlı betonların kılcal su emme katsayılarını düşürmüştür. Kelzan Gum 400 bağlayıcı dozajlı betonların kılcal su emme katsayılarını düşürmüş fakat Kelzan Gum oranları arttıkça kılcal su emme katsayılarında kararlı bir değişim görülmemiştir. Welan Gum 450 bağlayıcı dozajlı betonun kılcal su emme katsayısını ilk oranında düşürmüş fakat Welan Gum oranı arttıkça kılcal su emme katsayı değeri kontrol betonunun değerine yaklaşmıştır. Welan Gum 400 bağlayıcı dozajlı betonun kılcal su emme katsayısını ilk oranında arttırırken, 2. oranında azaltmış ve 3.oranında da tekrar artırmıştır. 350 bağlayıcı dozajlı beton için ilk Welan Gum oranı kılcal su emme katsayı değerini arttırırken 2. ve 3. oranlar azaltmıştır. Kılcal su emme katsayıları genel olarak incelendiğinde VDK'lar ile betonun su geçirimliliği arasında kararlı bir ilişki gözlenememiştir.

5-GENEL SONUÇLAR

- Welan Gum, Kelzan Gum ve Nişasta Eteri kullanılarak 350, 400 ve 450 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı (Kelzan Gum sadece 400 kg/m^3 bağlayıcı dozajda denenmiştir) ve en az 60 cm yayılan kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilebilir**.**
- Genel olarak tüm karışımlarda viskozite artırıcı katkı oranı arttıkça penetrasyon miktarı ve eleme deneyinde elekten geçen beton miktarı ve ayrıca terleme oranı azalmaktadır. Bu durum VDK kullanımı ile betonların ayrışma direncinin yükseldiğini ancak yayılma değerlerinin yaklaşık olarak 60 cm'nin üzerinde kalabildiğini göstermektedir.
- Kısıtlanmış yayılma deney sonuçları serbest yayılma sonuçlarına yakın değerler vermiştir. Ancak, kısıtlanmış yayılmada 50 cm'lik çembere ulaşmak için gereken süreler daha uzamıştır.
- Welan Gum'lı karışımlardan 450 kg/m^3 bağlayıcı içeren betonlarda terleme önemli ölçüde azalırken, daha düşük bağlayıcı dozajların (400 ve 350 kg/m^3) sıfırlanamamıştır. Öte yandan Kelzan Gum içeren 400 kg bağlayıcı dozajlı betonlarda terleme tüm VDK oranlarında sıfırlanmıştır. Benzer şekilde, Nişasta Eteri içeren karışımlarda tüm bağlayıcı dozajlarında terlemenin sıfırlandığı görülmektedir. Dolayısı ile terleme açısından bakıldığında Nişasta Eteri'nin daha başarılı olduğu söylenebilir.
- Welan Gum'lı karışımlarda 450 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı betonlarda ayrışma direnci yüksek ve en az 60 cm'ye yayılan betonlar, 400 ve 350 kg/m^3 bağlayıcı dozajlı betonlara göre daha yüksek Welan Gum oranı kullanılarak elde edilmiştir. Bu durum daha yüksek bağlayıcı dozajı içeren betonlar için daha düşük VDK gerekebileceği düşüncesine ters düşmektedir.
- Viskozite düzenleyici katkıların basınç dayanımına etkisi görülmemekle birlikte bu katkıların oranları ile betonun kılcal su geçirimliliği arasında kararlı bir ilişki gözlenememiştir.

KAYNAKLAR

[1] **Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M.,** 1999. Her Yönüyle Beton, THBB, İstanbul.

[2] **Doğan, Ü., A.,** 2000. Yeni Kuşak Süper Akışkanlaştırıcıların Harç ve Beton Özelliklerine Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

[3] **Demirtaş, M.,** 2004. Yüksek Akışkanlığa Sahip Betonlarda (Kendiliğinden Yerleşen Betonlar) bileşimin taze ve sertleşmiş betonlara etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[4] **Grünewald, S., Walraven, J. C.,** Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete., *Cement and Concrete Research* 31 (12): 1793-1798 Dec. 2001.

[5] **Okamura, H.**, Development of Self-Compacting High-Performance Concrete, Self-Compacting High-Performance Concrete Ferguson Lecture for 1996.

[6] **Khayat, K.H., Manai, K., Trudel, A.,** 1997 In Situ Mechanical Properties of Wall Elements Using Self-Consolidating Concrete, *ACI Mater.* J. 94 (6) 491-500.

[7] **Özkul, M.H.,** 2002. Beton Teknolojisinde Bir Devrim: Kendiliğinden Yerleşen-Sıkışan Beton,*THBB Hazır Beton Dergisi* yıl:9 sayı:32 Sf. 64-71.

[8] **Özkul, M.H., Parlak, N., Mutlu, M., Doğan, A.,** 2002. The Usage of Self-Compacting Concrete In The Precast Industry, *17th. Int. Congress of the Precast Concrete Industry*, BIBM 2002, İstanbul, Turkey.

[9] **Khayat, K.H.,** 1999. Workability, Testing and Performance of Self-Consolidating Concrete, *ACI Materials Journal*, N. 96, No 3, May-June 1999, 346-353.

[10] **Semioli, W.J.,** 2001. Self-Placing Concrete, *Concrete International*, V.23, No.12, December 2001, 69-72.

[11] **Perrson, B.,** 2000. A Comparision Between Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete and Corrosponding Properties of Normal Concrete, Lund Institute of Technology, Sweeden.

[12] **Özkul, M.H., Doğan, Ü.A., Çavdar, Z., Sağlam, R.A., Parlak, N.,** 2000. Effects of Self Compacting Concrete Admixtures on Fresh and Hardened Concrete Properties, Cement and Concrete Technology in the 2000 s *Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul TURKEY.

[13] **Kim, Jin-Keun., Han, S.H., Park, Y.D., Noh, J.H.,** 1998. Materials Properties of Self Flowing Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 10, No. 4, November, 1998, 244-249.

[14] **Topçu, O., Sağlık, A., Çil, İ., İnal, M., Polat, S., Üste, A.,** 2000. Application of Self-Compacting Concrete in Common Building Structure-A Case Study, Proceedings of the Cement and Concrete Technology in the 2000 s *Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Volume 1, 483-492.

[15] **Felekoğlu, B., Önal, O., Özden, G.,** 2005. Kendiliğinden Yerleşen Betonların Boşluk Yapısının Normal Betonla Karşılaştırılması, *6.Ulusal Beton Kongresi*, Sf: 147-156.

[16] **Droll, K.,** 2001. Self Compacting Concrete State of the Art-New Perspectives, Concrete Plant International, No.6, Dec.2001, 40-51.

[17] **Nagataki, S.,** 2000. Advanced Techonology for High Fluidity Concrete, *Proceedings of The Cement and Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium*, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Vol 1, pp. 87-102.

[18] **Khurana, R., Topçu, O.,** 2000 Role of Superplasticizers in the Development of Self Compacting Concrete, *Proceedings of The Cement and*

Concrete Technology in the 2000 s Second International Symposium, 6-10 September 2000, İstanbul, Turkey, Vol 1, pp. 473-484.

[19] **Özkul, M.H., Doğan, Ü.A., Çavdar, Z., Sağlam, R.A., Parlak, N.,** 1999. Properties of Fresh and Hardened Concretes Prepared By New Generation Superplasticizers, *Creating With Concrete, Proc. Int. Conference*, Dundee, U.K., pp. 467-474.

[20] **Khayat, K.H., Yahia, A.,** 1997., Effect of Welan Gum-High-Range Water Reducer Combinations on Rheology of Cement Grout, *ACI Materials Journal* V.94, No.5, October 1997 pp. 365-372.

[21] **Kawai, T.,** 1987. Non-Dispersible Underwater Concrete Using Polymers, Marine Concrete, *International Congress on Polymers in Concrete*, Brighton, England, Sept. 1987, Chapter11.5, p.6.

[22] **Izumi, T.,** 1990. Special Underwater Concrete Admixtures, *Concrete Engineering,* V. 28, No.3, Mar.1990, p.23.

[23] **Lachemi, M., Hossain, K.M.A., Lambros, V., Nkinamubanzi, P.-C., Bouzoubaâ, N.,** 2004. Self-consolidating concrete incorporating new viscosity modifying admixtures, *Cement and Concrete Research*, 34, (2004) pp. 917-926.

[24] **Lachemi, M., Khandaker, M.A., Hossain, M.A., Lambros, V., Bouzoubaâ, N.,** 2003. Development of Cost-Effective Self-Consolidating Concrete Incorporating Fly Ash, Slag Cement, or Viscosity-Modifying Admixtures, *ACI Materials Journal*, V.100, No.5, September-October, pp.419-425.

[25] **Rols, S., Ambroise, J., Péra, J.,** 1999. Effects of different viscosity agents on the properties of self-leveling concrete, *Cement and Concrete Research*, 29 (1999), pp. 261-266.

[26] **Ambroise, J., Péra, J.,** 2000. Self-Compacting Concrete Using High Volume Fly Ash, *Séminaire International CANMET/ACI* sur les "Ciments et Bétons a Haut Volume de Cendres Volantes : Leur Role dans le Développement Durable" lyon- 29/11/2000.

[27] **Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğinobalı, A.,** 2004. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri, Ar-Ge Enstitüsü TÇMB Ankara, 2004.

[28] **Xie, Y., Liu, B., Yin, J., Zhou, S.,** 2002. Optimum mix parameters of high-strength self-compacting concrete with ultrapulverized fly ash, Cement and Concrete Research 32 (2002) pp.477-480.

[29] **Bartos, P.J.M., Sonebi, M., Tamim, A.K.,** Workability and Rheology of Fresh Concrete: Compendium of Tests, RILEM Technical Commitee TC 145-WSM Workability of Special Concrete Mixes.

[30] **Fujiwara, H.,** 1992. Fundemental study of self-compacting property of high fluidity concrete, Proc. Japan. Concrete Inst. 14 (1) pp. 27-32.

[31] **Khayat, K.H., Ghezal, A., Hadriche, M.S.,** 1998. Development of factorial design models for propotioning self-consolidating concrete, in:V.M Malhoitra (Ed.), Nagataki Symposium on Vision of Concrete: 21st century, June, pp. 173-197.

[32] **Van, B.K., Montgomery, D.G., Hinczak, I., Turner, K.,** 1998 Rapid testing methods for segregation resistance and filling ability of self-compacting concrete" Proceedings of The Fourth CANMET/ACI/JCI International Conference on Recent Advances in Concrete Techonology, Tokushima, Japan, SP-179-6, Ed. V. M. Malhotra 85-103.

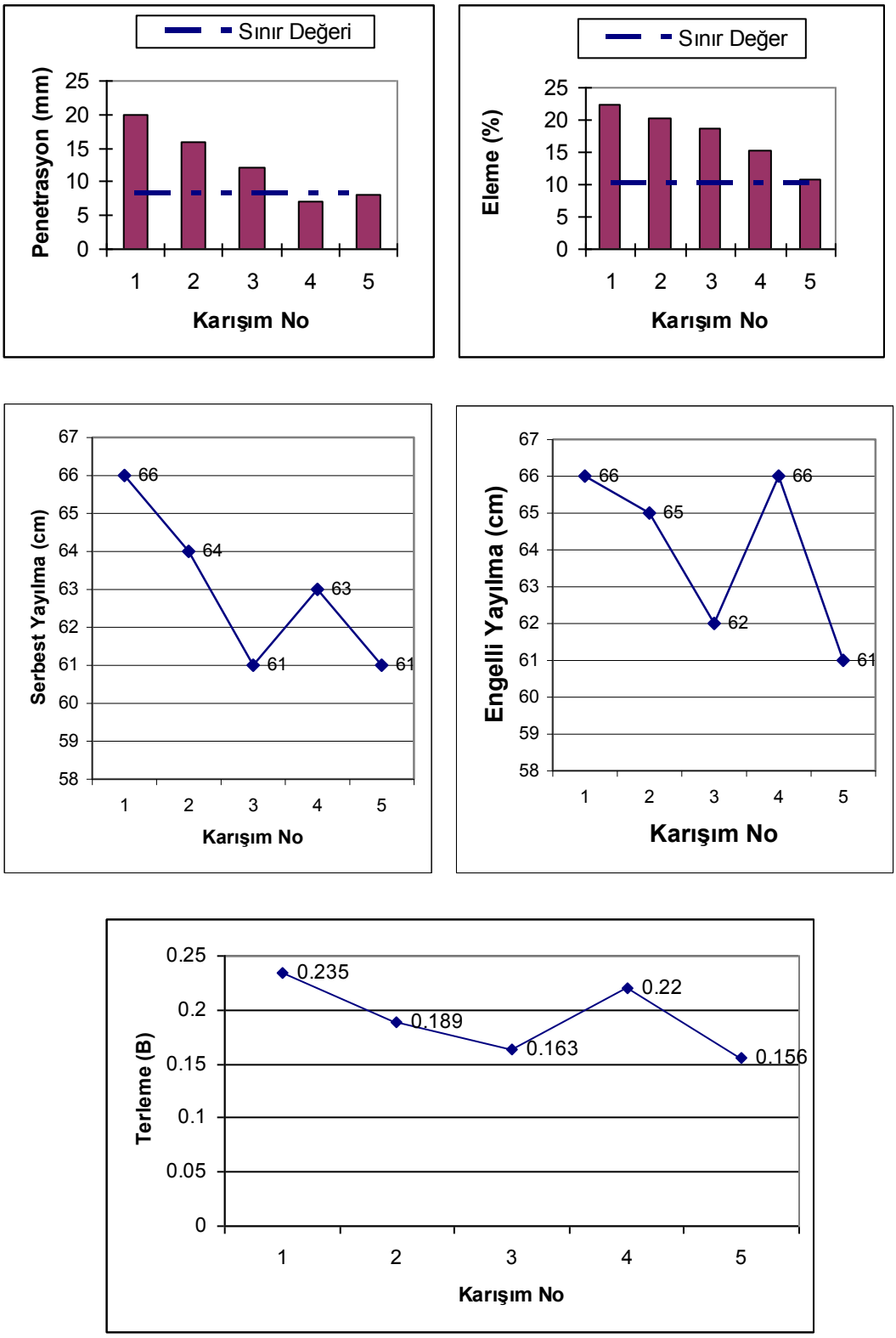
EKLER

Tablo A.1: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozlu Deneme Betonlarının Bileşimleri

				Welan Gum			
Karışım	Bağ.	Çim.	Uçucu Kül	Viz.Düz %(Bağ.Göre)	RMC-2 %(Bağ. Göre)	Su	Su/Bağ
1	450	375	75	0.015	1.5	225	0.5
2	450	375	75	0.0175	1.5	225	0.5
3	450	375	75	0.02	1.5	225	0.5
4	450	375	75	0.025	2	225	0.5
5	450	375	75	0.015	2	203	0.45
6	450	375	75	0	1.5	225	0.5

Tablo A.2: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozlu Deneme Betonlarının Taze Beton Deney Sonuçları

Karışım	Penetrasyon(mm)	Eleme(%)	SerbestYayılma(cm)	Engelli Yayılma(cm)	Terleme(B)
1	20	22.37	66	66	0.235
2	16	20.26	64	65	0.189
3	12	18.73	61	62	0.163
4	7	15.35	63	66	0.220
5	8	10.84	61	61	0.156
6	Üzerinde deney yapılamıyacak kadar kötü ayrışan bir beton				



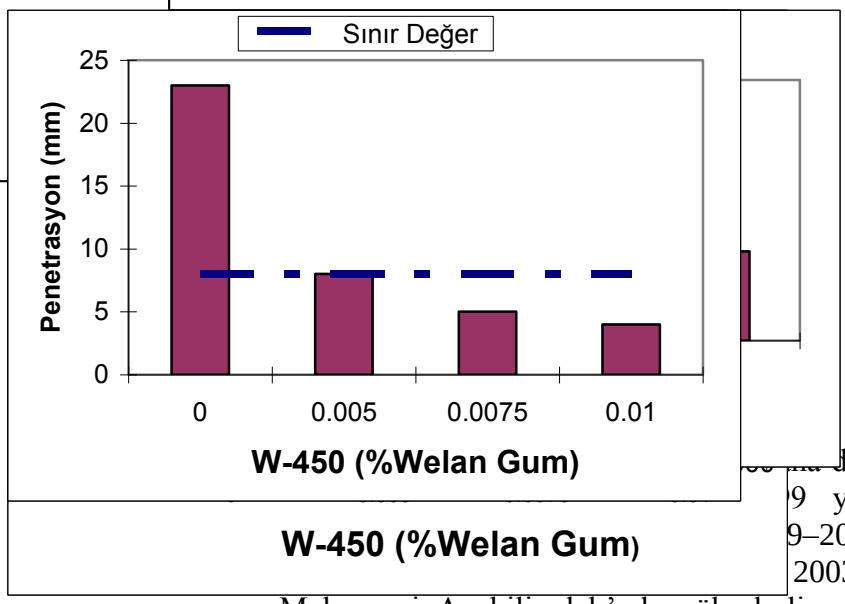
Şekil A.1: 450 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Betonların Taze Beton Deney Sonuçları

Tablo A.3: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Deneme Betonu

				Welan Gum			
Karışım	Bağ	Çim.	Uç Kül	Viz.Düz%(Bağ.Göre)	RMC-2(Bağ Göre)	Su	S/Bağ
Kontrol400	400	333.33	66.66	0	2	172	0.43
D	400	333.33	66.66	0.005	2.5	172	0.43

Tablo A.4: 400 kg/m^3 Bağlayıcı Dozajlı Deneme Betonunun Taze Beton Deney Sonuçları

Karışım	Penetrasyon (mm)	Eleme (%)	Serbest Yayılma(cm)	Engelli Yayılma (cm)	Terleme (B)
Kont.400	15	12.72	67	64	0.159
D	5	7.17	61	60	0.187



W-450 (%Welan Gum)

da doğdu. Orta ve lise öğrenimini Adana
9 yılında Y.T.Ü İnşaat Fakültesi İnşaat
9–2000 öğretim yılında başladığı lisans
2003 yılında İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Anabilimdalı'nda yüksek lisans öğrenimine başladı. Yapı Malzemesi öğreniminde tez çalışmalarına devam etmektedir.