İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASFALT YOL İNŞAATININ TEDARİK ZİNCİRİNİN SİMÜLASYON TABANLI MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yalçın BÜYÜKSARAÇOĞLU

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

OCAK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ASFALT YOL İNŞAATININ TEDARİK ZİNCİRİNİN SİMÜLASYON TABANLI MODELLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Yalçın BÜYÜKSARAÇOĞLU
(501061127)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 29 Aralık 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 23 Ocak 2009

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Gül POLAT TATAR (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Uğur MÜNGEN (İTÜ)
Yrd. Doç. Dr. Emrah ACAR (İTÜ)

OCAK 2009

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında, bana verdiği destek ve yardımlarından dolayı tez danışmanım Sayın Yrd. Doç. Dr. Gül POLAT TATAR'a, babam İnş. Müh. Yahya BÜYÜKSARAÇOĞLU'na, DÜNYALAR Asfalt Yol Yapımı Taahhüt Madencilik Tic. San. Ltd. Şti.'ne, TÜBİTAK Bilim İnsanı Destekleme Daire Başkanlığı'na, çalışmam süresince bana sağladığı esnek mesai saatleri ile anlayış gösteren iş yerim POLİMEKS İnşaat A.Ş.'ye sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Ocak 2009

Yalçın BÜYÜKSARAÇOĞLU

İnş. Müh

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 1
2. ASFALT HAKKINDA GENEL BİLGİLER **3**
2.1 Asfaltın Tarihçesi 3
2.2 Asfalt Yolların Tarihsel Gelişimi 4
2.3 Asfalt Yolların Ülkemizdeki Gelişimi 8
2.4 Ülkemizde Asfalt Yolların Günümüzdeki Durumu 9
3. YALIN ÜRETİM **15**
3.1 Yalın Üretimin Gelişimi 15
3.2 İnşaat Üretiminde Yeni Yaklaşımlar 22
4. ASFALT YOL KAPLAMALARIN TEDARİK ZİNCİRİ **27**
4.1 Asfalt Yol Kaplamaları Hakkında Genel Bilgiler 27
4.2 Asfalt Yol Kaplamalarının Özellikleri 28
4.3 Asfalt Betonu Üretimi 32
4.3.1 Asfalt betonu üretiminde kullanılan malzemeler 32
4.3.1.1 Agregalar 32
4.3.1.2 Bitümlü bağlayıcılar 35
4.3.1.3 Katkı malzemeleri 38
4.3.2 Asfalt plentleri ve üretim 41
4.3.2.1 Asfalt plentlerinin çalışma prensibi 41
4.3.2.2 Üretime giren malzemelerin depolanması ve beslenmesi 45
Agreganın depolanması ve beslenmesi 45
Bitümün depolanması ve beslenmesi 50
Fillerin depolanması ve beslenmesi 52
4.3.2.3 Agreganın ısıtılması ve kurutulması 53
4.3.2.4 Emisyon kontrol sistemi 56
4.3.2.5 Bitümlü sıcak karışımın depolanması 56
4.3.3 Ağırlıklı tip asfalt plenlteri 57
4.3.4 Sürekli tip asfalt plentleri 60
4.3.5 Asfalt plentlerinde otomasyon 62
4.3.6 Asfalt plent seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar 63
4.4 Asfalt Betonunun Uygulanması 65
4.4.1 Asfalt betonu serilmeden önce yol güzergahının hazırlanması 66
4.4.2 Asfalt betonunun yola serilmesi 68
4.4.3 Asfalt betonunun sıkıştırılması 70
4.5 Asfaltın Yeniden Değerlendirilmesi 75
5. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ **77**
5.1 Ön Çalışma 77
5.2 Temel Çalışma 77
5.3 Son Çalışma 80

6. VAKA ÇALIŞMASI 83
6.1 Vaka Çalışması Yapılan Firmanın Tanıtımı 83
6.2 Bir Çevre Yolu Projesinin Vaka Çalışması 85
6.2.1 İhalenin kazanılması ve imalatlara başlanılması arasındaki süreç 87
6.2.2 Alt temel tabakasının yapılması 89
6.2.3 Plent-miks temel tabakasının yapılması 93
6.2.4 Asfalt betonu binder tabakası yapılması 98
6.2.5 Asfalt betonu aşınma tabakası yapılması 102
7. SONUÇ VE ÖNERİLER 107
KAYNAKLAR 123
EKLER 125

KISALTMALAR

AC : Asfalt Betonu
AT : Alt Temel
BSK : Bitümlü Sıcak Karışım
Kg : Kilogram
KGM : Karayolları Genel Müdürlüğü
Km : Kilometre
KO : Kullanım Oranı
m : Metre
m2 : Metrekare
m3 : Metreküp
MC : Orta Kür
mm : Milimetre
MÖ : Milattan Önce
MS : Orta Hızda Kesilen
PMB : Polimer Modifiye Bitüm
PMT : Plent-miks Temel
RC : Çabuk Kür
RS : Çabuk Kesilen
RT : Yol Katranı
sa : Saat
TCK : Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
TÜPRAŞ : Türkiye Petrol Rafineleri Anonim Şirketi
ÜP : Üretim Planı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Satıh tiplerine gore karayolu ağı uzunlukları. 10
Çizelge 2.2 : Satıh tipine gore bölünmüş devlet ve il yolu uzunlukları..... 10
Çizelge 2.3 : TÜPRAŞ rafinelerinde bitüm üretimi. 11
Çizelge 2.4 : TÜPRAŞ rafinelerinde bitüm üretimi. 12
Çizelge 2.5 : PMB'ün son yıllara gore kullanım miktarları. 12
Çizelge 2.6 : Emülsiyon üretimi ve kullanım alanları. 13
Çizelge 4.1 : Yol agrega grupları..... 34
Çizelge 4.2 : Bitümlü bağlayıcı grupları..... 36
Çizelge 4.3 : Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması. 39
Çizelge 4.4 : Katkı maddelerinin etkileri..... 40
Çizelge 4.5 : Astar malzemesinin püskürtülme sıcaklıkları. 67
Çizelge 4.6 : Yapıştırıcı malzemesinin püskürtülme sıcaklıkları. 67
Çizelge 4.7 : Sıkışma ve yüzey kalınlık özellikleri (TCK tablo 407-13) 74
Çizelge 5.1 : Üretim Planı – 1 Süreçleri 78
Çizelge 5.2 : Üretim Planı – 2 Süreçleri 79
Çizelge 5.3 : Üretim Planı – 3 Süreçleri 80
Çizelge 6.1 : Firmanın makine parkı 85
Çizelge 6.2 : Firmanın son üç yıllık cirosu..... 85
Çizelge 6.3 : Modellenen çevre yoluna ait metraj tablosu..... 87
Çizelge 6.4 : Alt temel tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi. 90
Çizelge 6.5 : Alt temel malzeme temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri..... 91
Çizelge 6.6 : 1günde imalatı yapılan alt temel tabakası miktarı..... 92
Çizelge 6.7 : Plent-miks temel tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi..... 94
Çizelge 6.8 : Plent-miks temel malzeme temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri. . 96
Çizelge 6.9 : 1günde imalatı yapılan plent-miks temel tabakası miktarı..... 96
Çizelge 6.10 : Asfalt betonu binder tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi. .. 98
Çizelge 6.11 : Asfalt betonu binder temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri. 100
Çizelge 6.12 : 1günde imalatı yapılan asfalt betonu binder tabakası miktarı. 100
Çizelge 6.13 : Asfalt betonu aşınma tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi 103
Çizelge 6.14 : Asfalt betonu aşınma temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri. 104
Çizelge 6.15 : 1günde imalatı yapılan asfalt betonu binder tabakası miktarı. 105
Çizelge 7.1 : Üretim Planı 1'e ait kaynak kullanım oranları (proje süresince) 107
Çizelge 7.2 : Üretim Planı 1'e ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince) ... 108
Çizelge 7.3 : Üretim Planı 2'ye ait kaynak kullanım oranları (proje süresince) 109
Çizelge 7.4 : Üretim Planı 2'ye ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince) . 110
Çizelge 7.5 : Üretim Planı 3'e ait kaynak kullanım oranları (proje süresince) 111
Çizelge 7.6 : Üretim Planı 3'e ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince) ... 112
Çizelge 7.7 : Kolmogorov-Smirnov normalite testi sonuçları..... 114
Çizelge 7.8 : Üretim planı 1 için maliyet hesabı 118
Çizelge 7.9 : Üretim planı 2 için maliyet hesabı 119
Çizelge 7.10 : Üretim planı 3 için maliyet hesabı 120
Çizelge 7.11 : Gecikme cezaları eklenerek oluşan maliyetler. 120

Çizelge 7.12 : Üç farklı iş programının karşılaştırmalı sonuçları. 121

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : 1.987 km otoyol + 444 km kavşak ve bağlantı yolu = 2.431 km. 10
Şekil 4.1 : Yol üst yapı tabakaları..... 28
Şekil 4.2 : Sabit tip asfalt plenti..... 42
Şekil 4.3 : Mobil tip asfalt plenti. 42
Şekil 4.4 : Benninghoven mobil tip asfalt plent mobilizasyonu. 43
Şekil 4.5 : Benninghoven mobil asfalt plenti. 43
Şekil 4.6 : Ağırlıklı (Batch) tip asfalt plenti (makfalt). 44
Şekil 4.7 : Sürekli (Continuous) tip asfalt plenti (makfalt). 45
Şekil 4.8 : Stok sahasında doğru ve yanlış stoklama biçimleri..... 46
Şekil 4.9 : Agrega stok sahasından bir görünüş..... 47
Şekil 4.10 : Soğuk agrega bunkerleri (Teknomak). 48
Şekil 4.11 : Vargelli besleyici (Asfalt enstitüsü, el kitabı serisi no:4, 1989). 48
Şekil 4.12 : Vibratörlü besleyici 1 (Asfalt enstitüsü, el kitabı serisi no:4, 1989). 49
Şekil 4.13 : Vibratörlü besleyici 2 (Teknomak). 49
Şekil 4.14 : Kurutucu yükleme bandı. 50
Şekil 4.15 : Düşey bitüm tankları. 51
Şekil 4.16 : Yatay bitüm tankları. 51
Şekil 4.17 : Bitüm tankı devir daim hatları (HMA). 52
Şekil 4.18 : Filler silosu (Teknomak). 53
Şekil 4.19 : Kurutucu (Teknomak). 54
Şekil 4.20 : Kurutucu içerisindeki kanatçık ve kanallar. 54
Şekil 4.21 : Paralel akımlı kurutucu (Asphalt Institute, 1998). 55
Şekil 4.22 : Karşıt akımlı kurutucu (Asphalt Institute, 1998)..... 55
Şekil 4.23 : Sıcak asfalt karışımı stok silosu. 57
Şekil 4.24 : Ağırlıklı (Batch) tip asfalt plenti prosesleri akış şeması. 59
Şekil 4.25 : Agrega ve bağlayıcının mikserde karıştırılması. 60
Şekil 4.26 : Sürekli (Continuous) tip asfalt plenti prosesleri akış şeması. 61
Şekil 4.27 : Asfalt plenti otomasyon sistemi bilgi ekranı (Mas Otomasyon). 63
Şekil 4.28 : Asfalt finişeri (Voegele). 68
Şekil 4.29 : Vibrasyonlu silindir (Dynapac). 72
Şekil 4.30 : Pnömatik silindir (Dynapac). 74
Şekil 6.1 : Modellenen çevre yoluna ait tip en kesit ve tabaka kesitleri. 86
Şekil 6.2 : Alt temel tabakası imalatı akış şeması. 90
Şekil 6.3 : Alt temel tabakası malzeme temini döngüsü..... 91
Şekil 6.4 : Greyderin malzeme sermesi. 92
Şekil 6.5 : Plent-miks temel tabakası imalatı akış şeması. 95
Şekil 6.6 : Plent-miks temel tabakası malzeme temini döngüsü. 95
Şekil 6.7 : Asfalt betonu binder tabakası imalatı akış şeması..... 99
Şekil 6.8 : Asfalt betonu binder tabakası malzeme temini döngüsü..... 99
Şekil 6.9 : Asfalt betonu serilmesi. 101
Şekil 6.10 : Asfalt betonu aşınma tabakası imalatı akış şeması. 103

Şekil 6.11 : Asfalt betonu aşınma tabakası malzeme temini döngüsü. 104
Şekil A.1 : Üretim planı 1 126
Şekil A.2 : Üretim planı 2 127
Şekil A.3 : Üretim planı 3 128
Şekil B.1 : Toprak işleri onay formu 129
Şekil B.2 : Üst yapı işleri onay formu 130
Şekil D.1 : AT malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 141
Şekil D.2 : PMT malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 142
Şekil D.3 : Binder malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 143
Şekil D.4 : Aşınma malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 144
Şekil D.5 : AT malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 145
Şekil D.6 : PMT malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 146
Şekil D.7 : Binder malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 147
Şekil D.8 : Aşınma malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 148
Şekil D.9 : AT malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 149
Şekil D.10 : PMT malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)..... 150
Şekil D.11 : Binder malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 151
Şekil D.12 : Aşınma malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika) 152
Şekil E.1 : Alt temel imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu 153
Şekil E.2 : Plent-miks imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu..... 154
Şekil E.3 : Binder imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu 155
Şekil E.4 : Aşınma imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu..... 156

ASFALT YOL İNŞAATININ TEDARİK ZİNCİRİNİN SİMÜLASYON TABANLI MODELLENMESİ

ÖZET

Ülkemizde ve diğer bir çok ülkede yaygın olarak yol inşaatlarında kullanılan asfalt betonu, üretim ve uygulama süreçleri bakımından iyi bir planlamaya ve tedarik zincirine sahip olması gereken bir inşaat malzemesidir. Ayrıca asfalt betonu, üretildikten sonra uzun süreli bir şekilde depolanamadığı ve hemen serilip, sıkıştırılması gerektiği için, inşaat imalatları arasında tam zamanında üretime en iyi şekilde örnek olabilecek bir malzemedir. Bu nedenle asfalt betonunun üretim sürecinden, serilmesi ve sıkıştırılması sürecine kadar geçen her süreç dikkatlice incelenmeli, ihtiyaç duyulan imalat miktarlarına göre kaynak tedarikleri çok iyi bir şekilde organize edilmelidir.

Bu çalışmanın amacı, asfalt betonu üretimi tedarik zincirinin kapsamını inceleyerek, farklı üretim ve uygulama planlarına ait simülasyon modellemelerin yapılması ve her üretim planı için modelleme sonuçlarının proje süresi, kullanım oranları ve maliyet açısından karşılaştırılmasıdır. Bu amaca yönelik olarak çalışmanın ilk bölümü olan giriş kısmında tezin amacına yer verilmiştir. İkinci bölümde asfalt malzemesinin tarihsel gelişimi ve genel bilgiler yer almıştır. Asfalt betonu üretildikten sonra depolanamadığı ve kısa sürede tüketilmesi gerektiği için üçüncü bölümde yalın üretim ve tam zamanında üretim hakkında bilgiler sunulmuş, inşaat üretimindeki yeni yaklaşımlar açıklanarak asfalt betonunun bu üretim felsefesine olan uygunluğu üzerinde durulmuştur. Dördüncü bölümde asfalt üretim tesisleri, prosesleri ve asfalt betonunun uygulanması açıklanarak asfalt yol kaplamalarının tedarik zinciri incelenmiştir. Beşinci bölümde araştırma yöntemi anlatılarak, simülasyonu yapılan üç farklı üretim planının senaryoları açıklanmıştır. Altıncı bölümde örnek bir çevre yolu projesi modellenerek, Marmara Bölgesi'nde yol müteahhitliği yapan firmanın proje müdürü ile beraber çalışılmış ve gerçekçi saha verileri kullanılarak üç farklı üretim planı için vaka çalışması yapılmıştır. Yedinci ve son bölümde vaka çalışması kapsamında örnek seçilen çevre yolu projesi için yapılan üç farklı üretim planına ait simülasyon modellerinin bilgisayardan alınan raporları istatistiksel olarak değerlendirilerek, farklı üretim planlarına göre toplam proje süreleri, kaynak kullanım oranları ve maliyetler irdelenmiştir.

SIMULATION-BASED MODELLING OF ASPHALT ROAD CONSTRUCTION'S SUPPLY CHAIN

SUMMARY

Among the construction equipments, asphalt concrete is the best example for just-in-time production due to not to be stored for a long time after manufactured which is widely used in all around the world. Also asphalt concrete ,which is not possible to be stored and should be consumed in a short period of a time after be produced, is one of the best example material for Jus-in-Time production. Asphalt concrete should be examined very carefully in every single step from the production process to laid and compaction process, also source supplies should be organized very well according to production quantity that is needed.

The purpose of this work is, to analyze the supply chain of asphalt concrete, doing simulation models and compare the results which belong to different production and application plans, utilization rates, project times and costs. Goal-oriented of the first section in this work to give place the purpose of this argument. On the second section, the asphalt's historical development and general information are mentioned. On the third section lean production and just-in-time production information were given, clarified the new approaches in construction production and these production methods were correlated with suitability for asphalt concrete. On the fourth section, asphalt production facilities, processes, and asphalt concrete applications were analyzed. 3 different production plan scenarios which were made their analyzing process and simulation, were explained on the fifth section. On the sixth section, in order to sample of beltway Project, circumstances exercises were made for 3 different production plans by using realistic field data which is based on experience of the project manager of a highway construction company. On the seventh and last section, as part of circumstances exercise, simulation models which belong the 3 different production plans made for beltway project were statistically evaluated from the reports, taken from the computer, utilization rates, processes and total costs were researched.

1. GİRİŞ

Asfalt betonu, üretim ve uygulama süreçleri bakımından iyi bir planlamaya ve tedarik zincirine sahip olması gereken, yol inşaatlarında yaygın kullanıma sahip bir inşaat malzemesidir. Ayrıca asfalt betonu, üretildikten sonra uzun süreli bir şekilde depolanamadığı için, inşaat imalatları arasında tam zamanında üretime en iyi şekilde örnek olabilecek bir malzemedir. Bu nedenle asfalt betonunun üretim sürecinden, serilmesi ve sıkıştırılması sürecine kadar geçen her süreç dikkatlice incelenmeli, ihtiyaç duyulan imalat miktarlarına göre kaynak tedarikleri çok iyi bir şekilde organize edilmelidir.

1.1 Tezin Amacı

Asfalt betonu üretimi karmaşık proseslere sahiptir ve asfalt plentlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada, asfalt betonu üretimi tedarik zincirinin kapsamı incelenerek, farklı üretim ve uygulama planlarına ait simülasyon modellemelerin yapılması ve sonuçlarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak, yapılan literatür araştırmasına dayanarak üretim ve uygulama süreçleri açıklanmıştır. Sonraki kısımda ise örnek bir çevre yolu projesi için vaka çalışması yapılmıştır. Vaka çalışmasına ait yapılan tüm araştırmalar, incelemede bulunulan firmanın proje müdürü ile beraber hazırlanmış, asfalt plenti, agrega üretim tesisi ve sahadaki serme ve sıkıştırma ekiplerine ait gerçekçi veriler temin edilmiştir. Edinilen saha verilerine göre örnek bir çevre yolu projesi için üç farklı üretim ve uygulama planlaları hazırlanmış ve bilgisayar ortamında planlamaları yapılan örnek proje için gerçekçi veriler kullanılarak farklı modeller oluşturulmuştur. Yapılan modellemeler sonucunda üretim süreçlerine ve kullanılan kaynaklara ait raporlar alınarak çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır ve ulaşılan bu sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. ASFALT HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Asfaltın Tarihçesi

Asfaltın terimsel olarak tarihçesi incelendiğinde, asfalt sözcüğünün eski Akadca'da kullanılan "asfaltik" terimine dayandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda bu terim, antik Yunan'da "sağlam ve sabit yapmak" anlamına gelen "asphaltos" olarak kullanılmıştır. Romalılar döneminde ise bu kelime "asphaltus"'a çevirmiştir. Zamanla Latinceye geçen terim, daha sonra Fransızcaya "asphalte" ve İngilizceye de "asphalt" olarak geçmiş ve günümüzde literatürdeki yerini almıştır (Ilıcalı, 2001).

Asfalt insanoğlunun kullandığı en eski mühendislik malzemelerinden biri olup, kullanışlı yapısı ile medeniyetlerin gelişimi boyunca vazgeçemediği, kendini kanıtlamış bir malzemedir. Milattan önce 6000 civarında Sümerya' da, asfalt üretimi ve kullanımı gerçekleştiren bir gemi inşa endüstrisi bulunmaktaydı. Tarih kayıtlarına göre bitümü(asfalt) ilk olarak Sümerler milattan önce 3000 yılı civarında değerli taşlar ve kabuklardan yaptıkları heykellerde bağlayıcı maddesi olarak kullanmışlardır. Babil Kulesinin de bir örnek teşkil ettiği ziguratların (tapınak kuleleri) inşasında asfalt harç malzemesi olarak kullanılmıştır. Sodom ve Gomore şehirleri yakınında, büyük çaplı bir asfalt üretimi gerçekleştirilmiştir. Asfalt Mısırlılar tarafından milattan önce 2600 tarihine kadar uzanan bir geçmişte yalıtım malzemesi olarak kullanılmıştır. Asfalt, Mısırlılar tarafından ayrıca mumyalarda koruyucu madde olarak kullanılmıştır. Perslerde ise asfalt (mumiya) kelimesinden günümüzdeki mumya kelimesi türetilmiştir. İlk zamanlarda doğal yollar ile elde edilen asfalt, geçirimsiz yapısı ve bağlayıcı özelliği ile özellikle gemi inşaat endüstrisinde kaplama malzemesi olarak, inşaat sektöründe ise bağlayıcı ve izolasyon maddesi olarak kullanılmıştır.

Doğal yollarla asfalt, jeolojik tabakalardan hem yumuşak, kolay işlenebilir "harçlar" olarak hem de sert, kayaç biçimlerinde siyah sert damarlar şeklinde bulunmuştur.Ayrıca Trinidad Adasındaki Trinidad Asfalt Gölü, Venezuela'daki Bermudez Asfalt Gölü ile Batı Kanada'daki yaygın "katran kumları"nda asfalt doğal

olarak yer almaktadır. Günümüzde özel rafinerilerde elde edilen bu malzeme, yol inşaatlarında en çok tercih edilen kaplama malzemesidir. Yol inşaatlarında asfalt kullanılması ve günden güne yeni teknolojilerle uygulamasının geliştirilmesi, yaklaşık olarak günümüzden 100 yıl öncesine kadar uzanan bir zaman dilimi içerisinde yer almaktadır. Asfalt, yol inşaatlarında ilk olarak içerisinde bağlayıcı bulunmayan kaplamalar üzerine, tozların kalkmasını engellemek amacıyla kullanılmıştır. Teknolojinin önlenemez gelişimi ve sanayi devrimlerinin ortaya çıktığı 20. yüzyılın başlarında, 1920 ve 1930 yılları arasında, günümüzde de asfalt kaplamalarının teknolojik bir şekilde üretiminin yapıldığı, asfalt karışım plentleri işletmeye alınmıştır (Url -1).

2.2 Asfalt Yolların Tarihsel Gelişimi

İnsanlık tarihi ile yol tarihi de başlamıştır. M.Ö 5000 yıllarında tekerleğin icadı ile birlikte yol ihtiyacı ortaya çıkmış ve yol tekniğinde gelişmeler başlamıştır. Tarihte ilk önemli yollara M.Ö 3500 yıllarında Mezopotamya bölgesinde rastlanmıştır. M.Ö 1500 yılında Girit adasında ve M.Ö 359 yılında Babil ile Mısır arasında yapıldığı saptanan yollar bilinen en eski yollardır (Url-2).

Roma İmparatorluğu'nun genişleme çabaları yol inşaat tekniğinde önemli gelişmelere yol açmıştır. Romalılar, tesviye edilmiş toprak yollar, çakıl satıhlı yollar ve kaplamalı yollar olmak üzere inşa ettikleri yaklaşık 80.000 km'lik yol uzunluğu ile Avrupa'daki en büyük yol yapım çağını gerçekleştirmiştir. Bu devirde yapılan kaplamalı yollar, bugünkü yol yapısına da uymaktadır. Bu devirde yapılan yollar 4.50 metre genişliğinde olup her iki kenarında da yaya yolları ve drenaj hendekleri bulunmaktadır. M.S. 5. yüzyılda Romalıların Britanya'dan çekilmesiyle birlikte bu yollar bozulmuş ve kullanılamaz hale gelmiştir (Url-2).

Gelişmiş yol teknikleri 18. yüzyılın ikinci yarısında yol inşası ile ilgili uygulamalardaki hızlı gelişmeler ile ortaya çıkmaya başlamış ve ilk Roma yollarına benzeyen yollar yapılmaya başlanmıştır. Ancak, Roma döneminde kullanılan malzemelerin bulunmasında yaşanan sıkıntılar ve işçilikteki zorluklar nedeniyle, büyük blok taşlar kullanılarak inşa edilen yollar yavaş yavaş azalarak, taşın yol inşasında kullanımı ile ilgili yeni arayışlara ve çalışmalara başlanmıştır.

Yol inşaatında taşın farklı bir şekilde kullanımı ile ilgili olarak, ilk gerçek karayolu mühendisi sayılan İskoçyalı J.L. Mc adam (1756–1836) yol yapım malzemesi olarak kırma taş kullanarak bir ayrıcalık yaratmış ve böylece ülkemizde de kullanılmakta olan ve kendi ismini taşıyan Makadam tipi yollar ortaya çıkmıştır. Bu yollarda üst tabaka, kırma taşın bir silindir yardımı ile sıkıştırılması ve boşlukların taş tozu ile sudan oluşan hamurla doldurulması suretiyle inşa olunmaktadır. Bu yolları daha önce yapılmış olan yollardan ayıran diğer bir özellikte enine eğimin en alttaki taban tabakasından başlamasıdır (Url -2).

Aynı yıllarda Fransa'da Pierre Tresaguet (1716–1796) tarafından yol yapımında yeni yöntemler geliştirilmiş ve Makadam tipi yollara benzer kesitte yollar inşa edilmiştir. Ayrıca yine bu dönemde ilk olarak yol inşası ile ilgili eğitim veren bir okul Fransa'da öğretime başlamıştır (Url -2).

1800'lerin başından itibaren kömür santrallerinin açılmasıyla beraber İngiltere'nin elinde fazla miktarda artık kömür katranı bulunmaktaydı. Bu nedenle, katranın bağlayıcı olarak yol inşaatlarında kullanılması ve artık bir malzemenin kaplama olarak yeniden değerlendirilmesi modern yolların gelişmesinde önemli ölçüde katkıda bulunmuştur (Yonar, 2007).

Lokomotifin icadıyla 19. yüzyılın başlarında yol inşaatlarında bir duraklama yaşanmıştır ancak bu yüzyılın ikinci yarısında yapılmış olan demiryolları ile şehir merkezleri arasındaki bağlantı yolları yol inşaatlarının yeniden canlanmasını sağlamıştır. Yine bu dönemde yapılan yollarda, kaplamalar yönünden önemli bir değişiklik olmamış, granülometri ve sıkıştırma yönünden biraz daha geliştirilmiş olan Makadam tipi kaplamalar kullanılmıştır (Url -2).

20. Yüzyılda otomobilin keşfedilmesi ve I. Dünya savaşı'ndan sonra ulaştırma hizmetlerinde büyük ölçüde kullanılmaya başlamasıyla karayolu inşaatı tekrar canlanmış ve yapım tekniği taşıt teknolojisine paralel olarak eskisinden daha büyük bir hızla gelişmiştir.

Motorsuz taşıtların tekerlek yüklerine karşı koymakta yeterli olan Makadam tipi kaplamalar, motorlu taşıtların özellikle bandaj etkileri karşısında yetersiz kalmış, yol inşasında yeni tabakaların ve özellikle kaplama tabakasında bir bağlayıcının kullanılmasına ihtiyaç duyulmuştur. Bunun sonucu olarak taşıtlara daha uygun bir yuvarlanma yüzeyi sağlayan ve daha uzun ömürlü bitümlü kaplamalar ve çimento

bağlayıcılı beton yollar kullanılmıştır (Url -2).

1900'lü yıllarda otomobilin keşfi ve asfaltın ucuz ve tükenmez bir malzeme olarak görülmesi sonucunda, modern yolların yapımında ve birçok diğer uygulamada yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Bitümlü sıcak karışımların kullanıldığı yol kaplamaları, günümüzdeki modern biçimini 20. yüzyılın başlarında almaya başlamıştır. Bunun nedeni, 20. yüzyılın başlarında asfaltın doğal yollardan elde edilmesi yerine teknolojik olarak rafinerilerde ham petrolün işlenmesi sonucu elde edilmesinin başlamasıdır. Aynı dönemde otomobil sektöründeki gelişmelere paralel olarak yol inşaatlarındaki gelişmeler ortaya çıkmış, bitümlü bağlayıcılar modern yolların yapımında ucuz ve tükenmez bir kaynak olarak görülmüştür. Bu gelişmeler sonucunda yol inşaatları yeni ve sürekli ihtiyaç duyulan, dinamik bir endüstri dalı olarak ortaya çıkmıştır (Asfalt El Kitabı, 1989).

Yol kaplaması olarak bitümlü sıcak karışımların kullanılmasına başlanması ile bağlayıcı görevi gören bitümün fiziksel özellikleri ile karakterinin belirlenmesi ihtiyacı duyulmuştur. Trafik yükü ile doğrudan temas halinde bulunan bitümlü yol kaplamalarının dayanımını ve güvenliğini ölçebilmek, kaplama yapısını geliştirebilmek için birçok deney ve yöntem geliştirilmiştir. Bitümlü kaplamaların tasarlanmasındaki ilk önemli yaklaşım agrega boşluklarına dayalı olarak bitüm içeriğinin saptanması yöntemi olmuştur (Asfalt El Kitabı, 1989).

Bitümlü sıcak karışım üretiminde karışıma giren bitüm ve boşluk oranları, kaplamanın kalitesini etkileyen önemli unsurlardır. Bu nedenle istenilen bitüm ve boşluk oranına ulaşabilmek için yapılan testlerde kullanılan numunelerin arazideki şartları iyi yansıtması ve performanslar hakkında tutarlı bilgiler verebilmesi için sıkıştırılmaları gerekmektedir. 1920'li yıllarda Asfalt Enstitüsünden F. C. Field ile Prevost Hubbard tarafından sıkıştırılmış bitümlü karışımın fiziksel özelliklerinin değerlendirilmesi konusundaki en eski yöntemlerden biri geliştirilmiştir. Amprik Hubbard-Field deneyi olarak bilinen bu deney ile karışımın stabilitesi belirlenmiştir (Asfalt El Kitabı, 1989).

1930 yılında, sıkıştırılmış bitümlü kaplama karışımlarının stabil olmasını ve karışıma giren fazla miktardaki bitümün kusmasını önlemek amacıyla Francis Hveem tarafından başka bir deney geliştirilmiştir. Hveem yöntemi olarak bilinen bu deney,

üç eksenli basınç deneyi ve agreganın yüzey alanı ile saptanan, bitüm içeriğini tahminine dayanan bir deneydir. Hveem yönteminin günümüzde kullanılmasına devam edilmektedir (Asfalt El Kitabı, 1989).

2. Dünya Savaşının başlamasından sonra özellikle askeri havaalanlarının uygun bir şekilde tasarlanabilmesi ve inşa edilebilmesi için basit bir deneyin gereksinimi ortaya çıkmıştır. Ağır uçak tekerleği dingil yüklerine karşı koyabilmek amacıyla arzu edilen kıvam ve bitüm içeriğinin saptanması amacıyla, Bruce Marshall tarafından bir karışım tasarım yöntemi düşünülmüştür. Marshall yöntemi sayesinde tasarım kıstasları ortaya çıkmış ve tatminkâr bir düzeye ulaşmıştır. Bu ampirik yöntem dünya genelinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Asfalt El Kitabı, 1989).

Günümüzde kullanılan asfalt, petrolün doğal bir bileşenidir. Kuyulardan çıkan ham petrol rafinerilerde bileşenlerine ayrılır. Bu temel işlemden sonra bileşenler tekrar rafine edilerek çeşitli ürünlere dönüştürülürler. Bu ürünlerin başında benzin, makine yağı, parafin ve asfalt gelmektedir. Asfalt, ham petrolün damıtılmasında sonra elde edilen atıklardan oluşur. Bu temel atık maddenin kırılmış taş (agrega), filler, su ve bitüm (asfalt çimentosu) ile yeni bir işleme tabi tutulması sonucunda bugünkü yol yapımında kullanılan mamul asfalt elde edilir (Url -2).

Şehir içi ve şehir dışı yollarda kırılmış taşların birbirine bağlanmasını sağlayan asfalt çimentosu ya da teknik deyimiyle bitüm, normal hava sıcaklığında kullanılamayacak kadar katı ve yeterince akıcı olmadığı için işlenebilir hale getirilmesi gerekmektedir. Satıh kaplamasında kullanılacak olan bitüm genelde iki şekilde inceltilmektedir (Url -2).

Bunardan ilki bitümün içerisine rafinerilerde benzin, mazot veya gazyağı karıştırılarak inceltilmesi ve akıcı hale getirilmesidir. Bu şekilde elde edilen bitümlere "sıvı petrol asfaltı" adı verilmektedir. İkinci yöntem ise, gelişmiş ülkelerde yaygın olarak kullanılan, bitümün su ile özel bir değirmende karıştırılması sureti ile inceltilmesidir. Bu şekilde elde edilen bitümlere de "asfalt emülsiyonları adı verilmektedir.

Sıvı petrol asfaltların bünyesinde bulunan benzin, mazot veya gazyağı uygulama sırasında atmosfere karışarak hava kirliliğine neden olmaktadır. Gelişmiş ülkelerde kullanımı yasak olan bu tür bağlayıcılar (bitümler) maalesef Türkiye'de hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca sıvı petrol asfaltları içerdikleri petrol ürünlerinden

dolayı emülsiyonlara göre daha pahalı malzemelerdir. Asfalt emülsiyonları ise su ve bitümün karışımından meydana geldiği için çevre dostu bir malzemedir.

Tarihin en eski yol yapım malzemelerinden biri olan asfalt, geliştirilen teknik özellikleri ile yüksek performanslı, uzun ömürlü, güvenli ve çevre ile uyumlu yolların yapımına olanak tanımaktadır. Bugün Amerika'da 3.63 milyon km uzunluğundaki kaplamalı yolların %94'ü ve Avrupa karayollarının %95'i asfalt kaplama olup hem ağır hem de hafif trafikli yollarda soğuk ve sıcak olarak hazırlanan karışım olanakları ve çeşitli yüzey kaplama tipleri ile asfalt, tüm dünyada yol kaplamasında en yaygın olarak kullanılan kaplama malzemesidir (Url -2).

2.3 Asfalt Yolların Ülkemizdeki Gelişimi

Ülkemizin mevcut yollarının temelleri, Osmanlı İmparatorluğu dönemine kadar uzanmaktadır. Osmanlı İmparatorluğu'nun yükseliş döneminde, dönem şartları göz önüne alındığında, yolların durumu gereksinimleri karşılayacak bir yapıdaydı. Fakat İmparatorluğun son dönemlerinde savaşlar ve savaşların sonucu ekonomik zayıflama sebebi ile tüm alanlarda olduğu gibi karayollarına da gerekli yatırımlar yapılamamış, yollar bakımsız kalmıştır.

1923 yılında Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda, toplam uzunluğu 18.350 km olan yol ağı devralmıştı ve bu yol ağının 4.000 km.si iyi durumda, geriye kalan bölümü ise onarıma muhtaç yollardan oluşmaktaydı (Url -3).

Atatürk, Cumhuriyetin kurulmasından sonra ülke kalkınmasının öncelikle ulaşımdaki yetersizliklerin giderilmesi ile çözülebileceğini düşünmüş ve yolların iyileştirilmesi gerektiğini savunmuştur. Fakat demiryolu politikasının uygulanması ve eldeki kıt kaynakların bu politikaya harcanması nedeni ile karayolları için ihtiyaç duyulan yatırımlar yapılamamıştır. 1945 yılına kadar karayollarının iyileştirilmesi için birçok teşebbüste bulunulmuş, farklı programlar ve yeni düzenlemeler hazırlanmış olmasına rağmen, önemli bir ilerleme sağlanamamıştır. İstenilen ilerlemenin sağlanması ve karayollarının plan ve programlı bir şekilde yapılanması için 1946 yılında ABD'den yardım istenilmesi kararlaştırılmıştır. Tüm bu gelişmelerin sonucunda yol tarihimizin dönüm noktası olan 1948 yılında, ABD'den sağlanan yardım ile Marshall Planı hayata geçirilmiş ve insan gücüne dayalı çalışma dönemi yerini makineli çalışma dönemine bırakmıştır (İSDER, 2006).

Bir devletin medeniyet seviyesini ve gelişmişliğini gösteren en önemli unsurlardan biri olan karayolları gibi önemli bir aktivitenin çağdaş yöntemlerle organize edilmesi ve yürütülmesinin gerekliliği sonucunda, 1 Mart 1950 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü kurulmuştur. Bitümlü sıcak karışımların üretiminin gerçekleştirildiği asfalt plentleri ilk kez özel sektör tarafından 1956-1957 yılında getirilerek üretime başlamış, daha sonrasında ise KGM tarafından satın alınarak ülke hizmetine sokulmuştur. Bu girişimler sonrasında, 1970 yılında asfalt kaplamalı devlet yolu uzunluğu 17.124 km'ye ulaşmıştır.

Asfalt plentlerinin üretime geçmesi ve yol inşaatlarındaki makineleşmenin artması sonucu 1980 yılında asfalt kaplamalı devlet yolu uzunluğunda gelinen nokta 34.205 km'ye ulaşmıştır. 1980 sonrasında sanayideki gelişmeler ve özel sektörün ülkemizdeki yatırımlarının ivme kazanması ile ulaşımdaki standartları arttırmak için karayolları ağında iyileştirme çalışmaları yapılmış, otoyol inşaatları sayesinde asfalt uygulamaları günümüze kadar artarak devam etmiştir.

Karayolu ulaşımının ülkemiz için büyük önem taşıması ve yollarımızda yaşanan trafik yoğunluğu sonucunda, yol kapasitelerini arttırmak, geometrik standartları geliştirerek konforu yükseltmek amacı ile 2000'li yıllarda bölünmüş yol yapımlarına başlanmıştır. Halen devam eden çalışmalar kapsamında bölünmüş yol uzunluğunun 15.000 km'ye çıkarılması hedeflenmektedir (İSDER, 2006).

2.4 Ülkemizde Asfalt Yolların Günümüzdeki Durumu

2007 yılı başı itibariyle 64.196 km'ye ulaşan karayolu ağının satıh tipine göre dağılımı Çizelge 2.1'de verilmiştir. Asfaltın diğer uygulama alanlarından biri olan köy yollarının toplam uzunluğu 285.632 km olup %33'ü bitümlü sathi kaplama ile kaplıdır. Ülkemizde asfaltın en yüksek oranda kullanıldığı şehir içi yolların ise uzunluğu bilinmemektedir.

%93'ü asfaltla kaplı olan karayolu ağının %15'i BSK tabakalarıyla kaplı olup geri kalan %78'lik kısmı hiçbir taşıma gücü olmayan sathi kaplama ile kaplıdır.

Son yıllarda karayollarında acil eylem planı çerçevesinde gerçekleştirilen yoğun çalışmalarla bölünmüş yol uzunluğu Çizelge 2.2'de verildiği gibi otoyol hariç 9.702 km'ye ulaşmıştır. Ancak kaynak yetersizliği nedeniyle bu yolların % 63'ü sathi kaplama ile yapılmıştır.

Çizelge 2.1 : Satıh tiplerine gore karayolu ağı uzunlukları.

Yol Tipi		Toplam km	Satıh Tipi (km)		
			Bitümlü Sıcak Karışım	Sathi Kaplama	Diğer (Stabilize ve Parke..)
Devlet yolu	Çift yönlü (2x2)	9.059	3.519	5.530	10
	Tek yönlü (1x2)	22.276	2.818	18.879	579
	Toplam	**31.335**	**6.337**	**24.409**	**589**
İl yolu	Çift yönlü (2x2)	643	107	522	14
	Tek yönlü (1x2)	29.787	761	25.241	3.785
	Toplam	**30.430**	**868**	**25.763**	**3.799**
Otoyol*		**2.431**	**2.431**	**-**	**-**
Toplam	Çift yönlü (2x2)	11.689	5.613	6.052	24
	Tek yönlü (1x2)	52.507	4.023	44.120	4.364
	Toplam	**64.196**	**9.636**	**50.172**	**4.388**



Şekil 2.1 : 1.987 km otoyol + 444 km kavşak ve bağlantı yolu = 2.431 km.

Mevcut karayolu ağıyla yük taşımacılığının %92'si, yolcu taşımacılığının ise %95'i gerçekleştirilmekte olup, yollarımızdaki ağır vasıta oranı %25 ila %50 arasında değişmektedir.

Çizelge 2.2 : Satıh tipine gore bölünmüş devlet ve il yolu uzunlukları.

	BSK	Sathi Kaplama	Diğer	Toplam
Devlet yolu	3.519	5.530	10	9.059
İl yolu	107	522	14	643
Toplam	**3.626**	**6.052**	**24**	**9.702**

Genellikle Yıllık Ortalama Günlük Ağır Taşıt sayısı 1000'in üzerinde olan ana yollarımızda istenilen performansın elde edilebilmesi için üst tabakaların belirli bir taşıma gücüne sahip bitümlü sıcak karışım tabakaları ile kaplanması gerekmektedir (İSDER, 2006).

Asfalt endüstrisinde kullanılan bitüm, Türkiye Petrol Rafinerileri A.Ş. (TÜPRAŞ)'a ait dört rafineride üretilmektedir.

Asfalt kaplamalarda kullanılmak üzere farklı penetrasyon değerlerinde bitüm üreten TÜPRAŞ, üretimde talepleri göz önüne almaktadır.

%10'u yerli ham petrol olmak üzere ortalama yılda 20 milyon ton civarında ham petrol işleyen TÜPRAŞ rafinerileri, özellikle bitüm üretimine yönelik olarak tasarlanmış rafineriler değildir. Bitüm talebinin yoğun olduğu yaz aylarında bitüm üretimini artırmak amacıyla, ham petrol ithalatında Ortadoğu menşeli ağır ham petrolleri tercih etmektedir. Genelde TÜPRAŞ tarafından üretilen bitüm ihtiyacı karşıladığından bitüm ithalatı yapılmamaktadır.

TÜPRAŞ rafinerilerinde son 4 yılda üretilen toplam bitüm miktarı Çizelge 2.3'de, yol inşaatında tüketilen kısmı ise Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : TÜPRAŞ rafinelerinde bitüm üretimi.

Yıl	**Kırıkkale (Ton)**	**İzmir (Ton)**	**İzmit (Ton)**	**Batman (Ton)**	**Toplam (Ton)**
2003	395.800	249.700	533.100	231.500	**1.404.000**
2004	371.300	242.500	535.200	241.700	**1.389.000**
2005	526.000	296.300	632.700	306.500	**1.753.000**
2006	604.900	351.600	899.000	365.000	**2.179.000**

Çizelge 2.4 : TÜPRAŞ rafinelerinde bitüm üretimi.

Yıl	Üretim (Ton)	Yol İnşaatlarında Kullanılan Miktarı (Ton)	Yol İnşaatlarında Kullanım Oranı (%)
2003	1.404.000	1.193.000	85
2004	1.389.000	1.326.000	95
2005	1.753.000	1.453.000	83
2006	2.179.000	1.555.000	71

Asfalt uygulamalarının yoğun olduğu yaz aylarında bitüm talebinin karşılanmasında sorunlar yaşanmakta, üretilen bitümün kalitesinde önemli değişiklikler olabilmektedir. Özellikle yaz aylarında yüksek olan talebin karşılanması ve bitüm kalitesinde süreklilik sağlanabilmesi için gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir.

Son yıllarda giderek artan trafik yükleri nedeniyle yüksek performanslı üstyapılara olan gereksinim artmıştır. Bu durum, her türlü iklim koşullarına ve ağır trafik yüklerine dayanıklı bitümlü bağlayıcıları gündeme getirmiştir. Dünyada kullanımı giderek yaygınlaşan polimer modifiye bitümler ülkemizde de 2000 yılından itibaren karayollarında kullanılmaya başlanmıştır. Son yıllarda büyük şehir belediyelerince de uygulanmaya başlanılan polimer modifiye bitüm'ün yıllara göre kullanım miktarı aşağıdaki Çizelge 2.5'te verilmiştir:

Çizelge 2.5 : PMB'ün son yıllara gore kullanım miktarları.

Yıl	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	Toplam
PMB(Ton)	3.700	4.350	14.950	5.572	19.098	11.994	34.392	**94.056**

Ayrıca, bitümlü bağlayıcılar grubundan bitüm emülsiyonları, sathi kaplama, soğuk asfalt karışımları ve harç tipi kaplamaların yanı sıra asfalt tabakaları arasında yapıştırıcı olarak kullanılmaktadır. Bitüm emülsiyonları, üretimi ve uygulamasında daha az enerji kaynağı gerektirmesi, çevresel etkilerinin düşüklüğü ve özellikle yağışlı iklim şartlarında uygulanabilirliği nedeniyle tercih edilen bir bağlayıcı tipidir. Çizelge 2.6'da görüldüğü gibi genellikle yapıştırıcı olarak kullanılan emülsiyonların tüketimi 2003 ve 2004 yıllarında sathi kaplama uygulamaları nedeniyle artmıştır (İSDER, 2006).

Çizelge 2.6 : Emülsiyon üretimi ve kullanım alanları.

	Karayolları (Ton)	**Şehir İçi Yollar (Ton)**	**Köy Yolları (Ton)**	**Toplam (Ton)**
2002	1.145	5.000	-	**6.145**
2003	68.742	37.736	339	**99.127**
2004	*53.013	28.035	1.156	**83.360**
2005	714	6.433	940	**8.087**
2006	14.725	11.340	840	**26.905**
***** 450 Ton'u Havaalanları için kullanılmıştır.				

3. YALIN ÜRETİM

3.1 Yalın Üretimin Gelişimi

Yalın üretim, "Toyota üretim sistemi" ya da "stoksuz üretim" gibi isimlerle de anılan ve 1940'ların ikinci yarısından itibaren Japonya'da Toyota şirketinin öncülüğünde geliştirilip ve 1980'lerde özellikle ABD'nde yaygınlık kazanmış olan "Tam zamanında üretim" sistemleri, kitle üretimine getirilen eleştiriler sonucunda ortaya çıkmıştır. 1950'lerin başında Toyoda ailesinin bireylerinden mühendis Eiji Toyoda ve beraber çalıştığı mühendis Taiichi Ohno, Toyoda'nın 1950'de Ford firmasını incelemek üzere Amerika'ya yaptığı gezisinde edindiği bilgilerin ışığında, Ford'un yüzyılın başlarından itibaren öncülük ettiği "kitle üretim" sisteminin Japonya için hiç de uygun olmadığına karar verdiklerinde, bu karar yepyeni bir üretim ve yönetim anlayışının ilk adımlarının atılmasına yol açmıştır.

Tam zamanında üretim (JIT) yaklaşımı, Japonların savaş sonrası içinde bulundukları ekonomik koşulların bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. İkinci dünya savaşı sonrası, zaten kısıtlı olan doğal kaynaklara, işgücü ve sermaye kaynaklarının da yetersizliği eklenince Japonya, ekonomik varlığını sürdürebilmek için kısıtlı olan kaynakları mümkün olan en düşük maliyetle kullanmayı öğrenmek zorunda kalmıştır. Tam zamanında üretimin ortaya çıkışında bu tür bir gereksinim yer almaktadır.

Eiji Toyoda ve Taiichi Ohno'nun saptamaları özetle şöyledir. Kitle üretiminde, her üretim faktörü ya da unsuru olabildiğince çok sayıda (bolca, "kitlesel" bir şekilde) kullanılıp, üretim pek çok gereksizlik ya da israf (Japonca'da muda) içermektedir. İsrafın kaynağı, sistemin aşırı bir iş bölümüne dayanması, yani, gerek makineler gerek de işçilerin, çoğu kez sadece tek bir ürün için tek bir operasyon gerçekleştirecek şekilde organize edilmeleri, yani, tek bir işe/operasyona "adanmış" olmalarıdır. Hatta, makineler özellikle bu tür bir adanmışlık sağlayacak şekilde tasarlanmışlardır.

Üretim organizasyonuna bu şekilde yaklaşılması, bir yandan üretim faktörlerinin gereksiz yere kitlesel boyutta kullanılmalarına yol açmakta — çok büyük fabrika mekânlarında, binlerce işçi ve pahalı makine, aynı işlemi aylarca, hatta yıllarca sür-dürebilmektedirler — öte yandan da, üretime aşırı bir rijitlik ve hiyerarşi getirip, üretimde esnekliğe set çekmektedir. Ayrıca, işçiler birer el gücü olarak algılanıp, beyin güçleri üretimin iyileştirmesine kanalize edilmemekte, en kötüsü, "değişken maliyet" olarak görülüp, işlerin kötü gittiği dönemlerde rahatlıkla işten çıkarılabilmektedirler. Sonuç, üretim faktörlerinin olabilecek azami potansiyellerinden yararlanılmamasıdır (Ballard, 2000).

Gözlemlenen diğer bir önemli nokta da şudur: Üretimdeki aşırı "adanmışlık" ve esneksizliğin doğal bir sonucu olarak, kalıp değiştirme ya da bir üründen diğerine geçebilme için gerekli ayarlamalar çok uzun süre almakta, dolayısıyla büyük miktarlarda üretim zorunluluğu doğmaktadır. Büyük miktarlarda üretimin en önemli "yan etkisi", özellikle işlenmekte olan ürün (work-in-process) stoğunun çok yüksek düzeylere çıkmasıdır. Örneğin, Ford'da tek bir seferde 500,000 adet sağ kapı paneli basılıp, bu paneller son montaj için gerekli olana kadar stokta bekletilmekteydi. Yüksek miktardaki stok, hem önemli bir maliyet kaynağıdır, hem üretime bir tür "rehavet" de getirmekte, hem de üretimde "kalite"nin yüzde yüz sağlanması gereken bir olgu olarak görülmemesine neden olmaktadır. Nasılsa, ıskarta olması durumunda, yedekteki stoktan takviye edilme şansı vardır. Oysa ıskarta ve akabinde gelen "onarım" bir yandan maliyetleri yükseltmekte, diğer yandan da müşteri memnuniyetsizliği ve güvensizliğine yol açmaktadır.

Üretimdeki israfı bertaraf etmek, yalın üretim sisteminin en belirgin özelliğidir. Bu sistemde, diğer sistemlere kıyasla çalışan iş gücünün yarısı, üretim için kullanılan alanın yarısı, araç-gereç için öngörülen yatırımın yarısı, yeni bir ürünün tasarımının gerçekleşmesi için gerekli olan zamanın yarısı kullanılarak, üretimin gerçekleştirilmesi için gerekli olan kaynakların akılcı kullanılması ile gerçekleşmektedir. Yalın üretimde gerek duyulan stokların yarısından çok daha azı bulundurulur, kullanılamayacak durumda olan malın çıkma olasılığı çok daha azdır ve gittikçe artan çeşitlilikte çok daha fazla ürün elde edilebilir. Yalın üreticiler üretimin her evresinde kalifiye işçiler çalıştırırlar, büyük kapasitesi olan ve otomasyonu gittikçe artan makineler kullanırlar, bu durum ürünün artan çeşitlilikte ve büyük miktarlarda elde edilmesini sağlar (Polat, 1999).

Seri üretimdeki dolaylı işçi kitleleri, yalın üretim tesislerinde bulunmaz. Mümkün olan minimum alanda üretim gerçekleştirildiğinden, bu az alanda işçilerin birbirleri ile olan karşılıklı iletişimi daha kolay sağlanmaktadır. Ayrıca işçilerin yanında fazla parça bulundurulmadığından ve ancak bir saatten az bir süre için parça bulundurulduğundan, parça stoğu için de yer ayrılmamaktadır.

Yalın üretim sisteminde en önemli, en iyi çalışan birim kalite kontrol sistemidir. Yalın üretimde, bozuk bir parça üretilmesi durumunda bunun bir daha tekrarlanmaması için bozukluğun sebebi ciddi bir şekilde araştırılır. Üretim esnasında bozuk bir parçaya rastlanıldığında o parça etiketlenir ve kalite kontrol bölümüne gönderilir. Çalışanlardan bir tanesi herhangi bir sorun ile karşılaşırsa çalışma istasyonu üzerindeki kordonu çekerek üretimi durdurabilir, ancak bu gibi durumlara pek rastlanmaz. Bundan dolayı da hattın sonunda bir tamir alanı da bulunmamaktadır. Üretim hattı üzerindeki bütün işçilere gerekli yetki ve sorumluluklar verilir, çeşitli yetenekleri elde etmeleri sağlanır. Üretimi tamamlanmış olan ürünler direkt olarak hattan nakliye araçlarına yüklenir. İşçilerin düşünmeleri ve teşvik edilmeleri gerekir, ancak bu şekilde sorunların çok büyük boyutlara erişmeden çözümleri mümkün olabilir (Formosco, 1999)

Yalın üretim sistemi bir bütün olduğundan onun ilkelerinin sadece ana firmada uygulanması üretimde yeterli ve kalıcı başarının elde edilmesinde yeterli olmaz. Ana sanayide uygulanan yalın üretim yöntem ve ilkelerinin bu ana sanayiye çalışan yan sanayilerde de uygulanması gereklidir, çünkü elde edilen ürünün maliyetinde yan sanayiden alınan parçaların payı yüksek olabilir. Bir üretici yalın üretime geçerken tüm yan sanayicilerini belirler. Bu yan sanayiciler, ana sanayiciye yabancı değillerdir. Ana sanayicinin geçmiş modellerinin üretiminde ona parça ikmali yapmışlardır. Yan sanayiciler genellikle geçmişte yapmış oldukları işlerle ilgili performanslarını gösteren sicillerine ve montajcılarla olan ilişkilerine bakılarak seçilirler. Yan sanayici seçimleri sadece verilen teklife bakılarak yapılmaz. Yalın üretimde, üretim esnasında gerekli olacak ana parça için birinci derece yan sanayici belirlenir, bundan dolayı yan sanayici sayısı az olur. Bu birinci derece yan sanayicinin, ikinci derece yan sanayici denen yan sanayicileri vardır ve bunlar genellikle birbirlerinden bağımsız olarak çalışan, her biri bir parçanın üretiminde uzmanlaşmış şirketlerdir.

Bu ikinci derece yan sanayiciler, tekil parçaların çizimini yaparlar ve üçüncü bazen de dördüncü yan sanayicileri devreye sokarak bu parçaların üretimini geçekleştirirler.

Yalın üretim sisteminde yan sanayicinin parça tasarımına katılımı hususu önemli bir yer tutar.

Yalın üretim sisteminde, yalın tasarım sayesinde zamanında üretime giren proje sayısının seri üretim ile karşılaştırıldığında daha fazla olduğu görülmektedir. Bir şirkette (fabrikada) yalın üretim düşüncesi benimsendikten sonra, yeni ürünlerin daha kolay elde edilmesi yalın geliştirme projelerinin uygulanması sonucunda gerçekleşebilir. Bu sistem çok kısa geliştirme devirleri olan ve tüketici isteklerindeki ani değişikliklere çok daha çabuk cevap verebilen bir sistemdir.

Yalın sistemde kalıp ve takım değiştirme zamanları sadece birkaç dakikaya kadar indirilmiştir ve üretim çevrimleri sık, kısa ve kesintisiz duruma getirilmiştir. Bu nedenle yalın üretimde maliyet analizleri diğer üretimlere kıyasla daha tahmin edilebilir ve daha kolay yapılabilmektedir. Seri üretimde bir sözleşmenin başında teklif verenlerin maliyet altında satış yaptıkları ve yıldan yıla fiyatı yükselterek yatırımı telafi edecekleri varsayılır. Sonuç olarak; yalın üretimdeki maliyet analizleri diğer üretim sistemlerine göre daha kolay ve daha isabetlidir (Koskela, 1992).

Yalın üretimde her işçi bir süre üretim hattında çalışır. Bunlar arasında ast-üst ilişkisi yoktur ve ünvan değişiklikleri yoktur, gittikçe ağırlaşan, zorlaşan sorunları çözmenin onların başaracakları en önemli gelişme olduğu düşüncesinin onlarda yerleşmesi en büyük teşvik olmaktadır. Yalın sistemde yukarıdan başlayıp en aşağıya kadar uzanan bir yetki devri söz konusudur. Karar verme ve sorun çözme yetkisinin alt kademelere kadar inmesi orta ve kıdemli yöneticilerin bir yığın emiri alt kademeye ulaştırması ve bilgileri tekrar üste iletmesi konusundaki görevini büyük ölçüde hafifletir. Yöneticilerin esas görevi, ikmal kuruluşlarını montaj kuruluşlarına bağlamak ve şirketin birbirinden bağımsız çalışan birimleri arasındaki etkileşimi ve aralarındaki veri transferini sağlamaktır. Orta ve üst düzey yöneticiler ise şirketin yurtdışı temaslarında dönüşümlü olarak görevlendirilirler. Bu şekilde, personel arasındaki ilişkiler kurulmuş olur ve ana üretici, yan sanayiler ve şirketlerin yurtdışı faaliyetlerinde görevli kimselerin birbirlerini tanıması sağlanmış olur.

Seri üretimden yalın üretime geçişte birçok sorunla karşılaşılmaktadır. En temel olanı, eski üretim tekniklerini ve buna bağlı araç-gereci kullananların başka ülkelerin

öncülüğünü yaptığı yeni yöntemleri kullanmak istememeleridir. Bunun yanı sıra, üst düzey yöneticilerin yeni üretim sistemine geçmek istememeleri de büyük etkendir. Esas neden ise; yalın üretime geçilmesi durumunda seri üretimde çalışan işçilerin büyük bölümünün işsiz kalacak olması idi. Emek-yoğun üretimden seri üretime geçilirken böyle bir şey söz konusu olmamıştır, çünkü emek-yoğun üretimde çalışan işçilerin büyük kısmı seri üretime geçince de çalışmıştır. Ancak bu durum seri üretimden yalın üretime geçerken gerçekleşmeyecekti. Bunun nedeni ise, işçilerin kalifiye olmamasıdır, sonuçta büyük kısmı işsiz kalacaktı (Womack, 1999).

Seri üretimden yalın üretime geçişte, yalın üretime göre yeniden örgütlenmeye gidilirken, sistemin kimi bileşenleri bünyeye alınmış, çok önemli sayılabilen birçok konuya dikkat edilmemiş, kısmi düzenlemeler veya iyileştirmelerle yetinilmeye çalışılmıştır. Örnek olarak; bu uygulamalarda, bünyeye alınması çok daha kolay olan "kalite çemberleri" gibi uygulamalar bünyeye alınmış, ya da yan sanayi ile "tam zamanında sevkıyat" (JIT-delivery) uygulamalarına gidilmiş, buna karşılık sistemin bütünü içerisinde büyük önem taşıyan "tam zamanında üretim" (JIT-production) anlayışına yer verilmeyebilmiştir. Bir çok ülkedeki uygulamada da, bu eğilim sürmektedir.

Yalın üretim sistemi bir bütündür ve eğer bir sistemden diğer bir sisteme geçilecek ise yeni sistemin bütün bileşenleri göz önüne alınmalıdır. Parça parça düzenlemeler hem elde edilecek kazancın hem de verimliliğin düşmesine neden olur. Yalın üretimden yüksek verim almak ancak onun bütün öğelerinin birlikte kavranması ve uygulanması ile mümkün olur.

Ürün geliştirme sisteminin ilk adımını pazardaki tüm tüketiciler hakkında periyodik araştırmalar oluşturur. Seri üretimdeki zaman alıcı, pahalı ve genellikle hatalı olan pazar araştırmalarına yalın üretim sisteminde gerek yoktur. Yalın satış sistemi stok maliyetlerini büyük oranda düşürmekte ve fabrikadaki üretim akışını kusursuz bir duruma getirmektedir.

Maliyetlerin sürekli düşürülmesi, sıfır stok, sıfır bozuk mal ve devamlı artan ürün çeşitliliği gibi durumlar çoğu üretici tarafından bir ütopya gibi görünse de, yalın üretimde gerçekleştirilmeye çalışılan asıl hedef kusursuzluktur.

Yalın üretim, Toyota Üretim Sisteminin temel ilkeleri üzerinde yükselmekle beraber, bütünsellik açısından bu felsefenin ötesine geçmekte, Toyota Sisteminde kullanılan yalın teknikleri, bir sistem bütünlüğü çerçevesinde bir araya getirmektedir. Yalın üretim, tüm aşamalarda, "değer" yaratmadan kaynakları tüketen "israfı" sorguladığı için, günümüzde verimlilik ve kalitenin geliştirilmesi için de çarpıcı bir model oluşturmaktadır.

Yalın üretim gereksiz olan her şeyden kurtulmak demektir. Başka bir deyişle az kaynak kullanımıyla, kısa zamanda, en ucuz ve aynı zamanda hatasız üretimi müşteri talebine bire bir uyacak şekilde minimum israfla ve tüm üretim faktörlerini en esnek şekilde kullanıp potansiyellerin tümünden yararlanmak olarak tanımlanmaktadır. Ohno ve Toyoda'ya göre Kitle üretimi pek çok gereksizlik üretim ya da israf (Japonca'da muda) içermektedir. Yalın üretimin başarı ile gerçekleştirilebilmesi için aşağıdaki prensiplerin uygulanması gerekmektedir.

İsrafın yok edilmesi: İsraf, en basit tanımıyla, son ürüne değer katmayan ancak üretim sürecinde isteyerek yada istemeyerek gerçekleştirilen aktivitelerdir. Literatürde 8 tip israf tanımlanmıştır:

Üretim fazlası,

Gecikmeler,

Taşıma,

Gereksiz işlemler,

Envanter fazlası,

Malzeme ve işgücünün gereksiz hareketi,

Hatalı üretim.

Yalın üretim tüm bu israfların yok edilmesini gerektirmektedir.

Çekme sistemi: Seri üretimde imalat talep tahminine dayanarak yapılır ve bu tahminin altında talep geldiği zaman envanter fazlası meydana gelir. Ancak, yalın üretimde imalat talebe göre yapılır, yani, her üretim süreci üretime bir sonraki üretim sürecinden talep geldiği anda başlar. Diğer bir deyişle, bir sonraki üretim süreci gerekli olan ürünü bir önceki üretim ürecinden çeker. Böylece, envanter fazlası oluşmaz.

Kesintisiz iş akışı: Yalın üretimde her üretim süreci gerekli olan malzemeyi bir önceki üretim sürecinden çektiği ve yarı-mamul stoğu bulunmadığı için kesintisiz iş akışının sağlanması çok önemlidir. Bu nedenle, yalın üretimde işlerin basitleştirilmesi, otomasyon ve mekanizasyon gibi tekniklerle iş akışının kesintisiz olması sağlanır.

Toplam Kalite Kontrolü: Yalın üretimde stoksuz üretim yapıldığı için hatalı üretim yapılması, yani üretilen parçaların istenilen kalite standartlarını sağlamaması iş akışını kesintiye uğratacaktır. Yalın üretimde tek seferde hatasız üretim yapılması amaçlanır. Her işçi bireysel olarak kendi işini doğru ve hatasız olarak yapmaktan sorumludur. Üretimin herhangi bir aşamasında bir problemle karşılaşılırsa, işçi bu hatayı düzeltip ileride tekrar karşılaşılmaması için gerekli önlemleri almakla yükümlüdür.

Tedarikçilerle ilişkiler: Satın alınan malzemelerin ihtiyaç duyulduğu anda gelmemesi, istenilen kalite standartlarında olmaması, veya yanlış miktarda olması büyük zaman kayıplarına yol açmaktadır. Bu durumda, iş akışı kesintiye uğramaktadır.

Ayrıca, satın alınan malzemenin kalitesi son ürün kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu nedenlerle, ihtiyaç duyulan malzemenin tam zamanında, doğru miktar ve kalitede tedarik edilebilmesi için firma ile tedarikçiler arasında karşılıklı yarar sağlayıcı, uzun süreli yakın ilişkiler kurulmalıdır. Ayrıca, çok sayıda tedarikçi ile uğraşmak firma yönetimi için uğraştırıcı ve zaman alıcı olacağı için uzun vadede tedarikçi sayısının azaltılması ve tek bir tedarikçi ile anlaşılması hatta tedarikçi ile firma arasında ortaklık kurulması önerilmektedir (Polat, 1999).

İşçilerin katılımı: Yalın üretimde tek seferde hatasız üretim yapılması amaçlandığı ve her işçinin kendi işinden bizzat sorumlu olması nedeniyle, işçilerin işlerinin ehli olması, katılımcı ve motive olmuş olmaları çok önemlidir. Bu nedenle, işçilerin kendi işleri ile ilgili diğer birçok konuda eğitilerek becerilerinin arttırılması, işlerinden memnun olmalarını sağlamak amacıyla motive edilmeleri, üretim sürecinin daha verimli olması için gereken iyileştirmelerin yapılması konusunda fikirlerini belirtmeleri konusunda cesaretlendirilmeleri ve firma içindeki iyileştirme çalışmalarına katılımcı olmalarının sağlanması gerekmektedir.

3.2 İnşaat Üretiminde Yeni Yaklaşımlar

Yalın üretim sisteminin otomotiv endüstrisinde kazanmış olduğu büyük başarılardan sonra, 1992 yılında Lauri Koskela tarafından hazırlanmış olan raporda yalın üretim tekniklerinin inşaat üretiminde kullanılabilirliği sorgulanmıştır. Lauri Koskela, geleneksel inşaat üretimi yaklaşımında, üretimin sadece bir dönüşüm olarak algılandığını, ancak aktiviteler arasındaki ve tedarik zincirindeki bağımlığının üretim süreci üzerindeki etkilerinin yeterince anlaşılmadığını belirtmiştir. İnşaatın ilk hedefi, üretimin fiziğini, ve üretim aktiviteleri ve çalışma grupları arasındaki bağımlılığın ve değişimin tedarik zinciri boyunca gerçekleşen etkilerini anlamak olmalıdır. İnşaat işlerinde değer tanımlanmalıdır. Değer, müşterinin amaçlarını ve ihtiyaçlarını karşılayan ve para vermeye razı olduğu her şeydir. Yalın inşaat kavramı, en genel tanımıyla, müşteri isteklerinin tam olarak en kısa zamanda ve en düşük maliyetle gerçekleştirilmesinin sağlanmasıdır.

Günümüzde inşaat üretimi yönetimi yaklaşımı, tıpkı seri üretimde olduğu gibi, vasıfsız işçilerin sürekli olarak meşgul tutulmalarını sağlamak ve büyük miktarlarda stoklar tutarak kesintisiz iş akışını sağlamaktır.

İşçiler sürekli meşgul tutularak, gerçekçi olmayan iş programına yetişebilmek için iş akışı hızlandırılmaya çalışılmaktadır. Bunun yanı sıra, geleneksel inşaat üretimi yönetimi yaklaşımı, planlama sisteminin performansını ölçmez, sadece sözleşme ve ürüne dayanmaktadır. Gerçekçi olmayan planların baskısı altında olan geleneksel inşaat üretimi yaklaşımında israflar kaçınılmazdır (Koskela, 1992).

Yalın inşaat kavramı ise, inşaat sanayinde üretim yönetimine yeni bir yaklaşımdır. Yalın inşaat; planlama, kontrol teknikleri ve iş akışının güvenilirliğini arttırarak inşaat üretiminde ve yönetiminde israfı azaltmaktadır.

İnşaat üretimindeki israflar çeşitli şekillerde gruplandırılmıştır. Bir yaklaşıma göre, inşaat üretimindeki israflar iki grup altında toplanabilir. Bunlar;

Önlenemez israflar: israfı ortadan kaldırmanın maliyetinin israfın kendi maliyetinden fazla olduğu israf tipleri,

Önlenebilir israflar: israfı ortadan kaldırmanın maliyetinin israfın kendi maliyetinden az olduğu israf tipleri. Önlenemeyen israfların miktarı, firmanın teknolojik

seviyesine bağlıdır. Bir başka yaklaşıma göre ise, inşaat üretimindeki israflar sekiz grup altında toplanmaktadır. Bunlar;

1) gecikmeler,

2) kalite maliyetleri,

3) iş güvenliği sorunları,

4) yeniden yapmalar,

5) verimsiz işler,

6) gereksiz taşımalar,

7) uzun mesafeler,

8) yanlış üretim tekniği veya ekipman seçimi.

İnşaat üretim yönetimindeki israfları tanımlamanın bir başka yolu ise, malzeme ve süre israfları olarak gruplamaktır. Malzeme israflarının kaynakları kısaca, gereğinden fazla malzeme sipariş vermek, gereğinden fazla üretim yapmak, yanlış istifleme, yanlış taşıma, üretim hataları ve hırsızlık olarak gruplanabilir. Süre israflarının kaynakları ise, bekleme süreleri, iş akışındaki kesintiler, bilgi akışındaki değişiklikler, hatalı üretim nedeniyle yeniden yapmalar ve değişik uzmanlar arasındaki bilgi akışındaki kesintiler olarak gruplanabilir.

Malzeme ve ekipman maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranı yaklaşık olarak %50 – 60 mertebesinde bulunmaktadır. Malzeme maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranı, projeden projeye değişiklik gösterse dahi, konut inşaatlarında malzeme maliyetinin toplam inşaat maliyetine oranı %43 olarak hesaplanmıştır. Hollanda'da yapılan bir araştırmaya göre, satın alınan tüm malzemelerin %9'u inşaat üretiminde israf edilmektedir. Brezilya'daki inşaat sektöründe ise, satın alınan malzemelerin %20-30'u israf edilmektedir. Bunun yanı sıra, inşaatın devamı için gerekli olan malzemenin üretime gireceği anda şantiyede bulunmaması inşaat projelerinin gecikmesine sıklıkla neden olmaktadır.

Görüldüğü gibi, geleneksel inşaat üretiminde malzeme ve süre israfı yüksek oranlarda meydana gelmektedir. Oysa yalın inşaat yaklaşımının uygulanması bu israfları büyük oranda azaltmaktadır. Yalın inşaat yaklaşımında, tasarım aşamasında proje kapsamının ve tanımının çok açık bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yalın

inşaatta, tasarım aşaması ile yapım aşamasının eş zamanlı olarak yürütülmesi önerilmektedir. Böylece, geleneksel proje teslim sisteminde olduğu gibi farklı uzmanlar arasındaki bilgi akışındaki kesintiler yaşanmaz. Ayrıca bu yolla, inşa edilebilirlik arttırılabilir, inşaat sırasında beklenmeyen olaylar karşısında anında önlem alınabilir ve müşterinin istekleri de daha iyi bir şekilde gerçekleştirilebilir.

Yalın inşaatta tedarik aşamasında, tam zamanında teslimat, tedarikçilerle ve alt yüklenicilerle uzun vadeli ortaklıklar ve yakın ilişkiler kurulması gerekmektedir. Bu malzeme yönetim sisteminin performansının arttırılabilmesi için uygulanması önerilen yaklaşımlardan bir tanesi, inşaat malzemelerinin, şantiyeye küçük partiler halinde sıklıkla temin edilmesi ve bu yöntemle stokların azaltılmasıdır. Bu yaklaşımda dikkat edilmesi gereken en önemli unsur, malzemenin ihtiyaç duyulduğu anda şantiyede bulunmasını sağlarken stok seviyesini mümkün olduğunca azaltmaktır (Polat, 1999).

Yalın inşaat yaklaşımında şantiye alanı bir montaj hattı olarak algılanmaktadır. Bu bakış açısına göre, inşaat imalatları alt iş paketleri olarak yeniden yapılandırılır, modüler hale getirilen malzeme bileşenleri alt yüklenicilere ve tedarikçilere yaptırılarak, şantiyede gerçekleştirilen imalat sayısı mümkün olduğu kadar azaltılır.

Şantiyede de vasıflı işçiler çalıştırılır ve bu işçilere işlerini mükemmelleştirme konusunda fikirlerini paylaşma ve karşılaşılan sorunları çözme konusunda yetki verilir.

Yalın inşaat yaklaşımında dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi ise planlamadır. Geleneksel inşaat yaklaşımında, proje yönetiminin görevi bütçe ve iş programı açısından gerçekleşen ve gerçekleşmesi gereken arasındaki farkın ölçülmesidir. Eğer bu yaklaşım başarılı olsaydı, gerçekleşen ile gerçekleşmesi gereken arasındaki fark bu kadar büyük olmazdı. Ancak, yapılan araştırmalara göre bu farkın %6 – 27 arasında değiştiği gözlenmiştir. Bazı durumlarda, verimlilik düşük olsa bile proje bütçe ve iş programı açısından planların çerçevesi içerisinde kalabilir. Yalın inşaatta planlama aşamasında proje kontrolü, tamamlanan aktivitelerin orijinal planlara oranına odaklanmalıdır.

Glenn Ballard ve Gregory Howell, ‘The Last Planner’ planlama sistemini geliştirmiştir. The Last Planner planlama sistemi, planlamanın üç aşamasının yeniden değerlendirilmesi ile başarılabilir. Bu aşamalar; neler yapılmalı (üst düzey yöneticiler

tarafından belirlenir), neler yapılabilir (eldeki mevcut kaynaklar tarafından belirlenir), ve neler yapılacak (planlamacı tarafından haftalık planlara göre belirlenir) tır. Genellikle, üst düzey yönetim tarafından planlanan aktiviteler önceki aktiviteler gerçekleştirilmediği için tamamlanamaz. The Last Planner planlama sistemi, planların gerçekleşme oranlarını kontrol eder ve planların tamamlanma oranını aşağıdaki aşamalar yardımıyla arttırmayı hedeflemektedir.

Yedek iş planları oluşturmak: Geleneksel proje yönetim sisteminde kaynaklar iş programına göre temin edilir ve dağıtılır. Bir başka deyişle, inşaat üretimi iş programına göre itilerek yapılır. Ancak, The Last Planner sisteminde, planlamacı yedek iş planları oluşturur. Bu iş planları, işin gerçekleşmesi için gereken tüm kaynakların hazır olduğu ve tüm kısıtların ortadan kalktığı planlardır. Planlamacı, bu iş plan istiflerini hazırlamadan bir ya da iki hafta önce hazır et talimatları vererek kaynakların hazır olmasını veya kısıtların giderilmesini isteyebilir. Böylelikle, inşaat üretimi bir sonraki aktivite tarafından çekilir. The Last Planner sisteminde, herhangi bir iş ters gittiği zaman, ekipler ellerindeki iş planı yığınları arasından en iyi alternatifi seçerek kesintisiz iş akışını sağlayabilirler. Yedek iş planları, diğer iş akışlarına müdahale etmeden herhangi bir zamanda yapılabilirler.

Planların gerçekleşme oranlarının ölçülmesi: Planların gerçekleşme oranları, gerçekleştirilmiş planlanan aktivite sayısının toplam planlanan aktivite sayısına bölünmesi ile hesaplanır. Bu oran bire yaklaştıkça projenin başarısı o kadar artmış olur. Planlanan ve gerçekleşen aktivitelerin arasındaki farkın oluşmasına sebep olan kök sorunların analiz edilmesi gelecekteki planların iyileştirilmesini sağlar.

Gerçekleştirilen görevlerin iyileştirilmesi: Planların gerçekleşme oranlarının arttırılması için iki tip bilgiye ihtiyaç vardır. Bunlar; 1) her aktivitenin gerçekleşebilmesi için gerekli olan ön koşulların ve kaynakların belirlenmesi, ve 2) Planlanan ve gerçekleşen aktivitelerin arasındaki farkın oluşmasına sebep olan kök sorunların analiz edilmesi ve gelecekteki planların daha gerçekçi olması için ön koşulların belirlenmesi. The Last Planner sisteminin uygulanması proje süresini %20 - 55 oranında azaltmakta ve verimliliği %10 – 37 arasında arttırmaktadır (Polat, 1999).

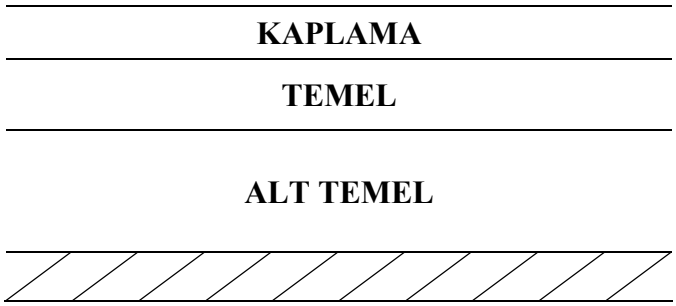
4. ASFALT YOL KAPLAMALARIN TEDARİK ZİNCİRİ

4.1 Asfalt Yol Kaplamaları Hakkında Genel Bilgiler

Karayolu, her türlü kara taşıtı ve yaya ulaşımını sağlayan, kamunun yararlanmasına açık olan bir arazi şerididir. Karayolunun trafik ile temasta bulunan kaplama yüzeyi birçok şekilde inşa edilebilir. Yayaların ve araçların güvenli seyrini sağlayan, çevre görüntüsünü bozmadan gürültü kirliliğini asgariye düşürmüş, üzerinde biriken suların çevreye zararı olmadan doğaya yeniden kazanımını sağlayan ve uygulama ve bakımındaki kolaylıklar nedeniyle asfalt yol kaplamaları en yaygın şekilde uygulanan modern yol kaplaması çeşitlerinin başında yer almaktadır. Tabakalar halinde inşa edilen asfalt yol kaplamalarının, bu özelliği sayesinde bakımları ve yenilenmeleri tabaka tabaka yapılmaya elverişlidir. Ayrıca tabakalı yapısından dolayı asfalt yol kaplamaları, uygulamada ekonomik çözümlemeler sunmaktadır.

En çok tercih edilen yol kaplama malzemesi olan asfaltın kimyasal yapısı esas olarak hidrokarbondur. Sıvı haldeki hidrokarbonlara ham petrol, gaz halindekilere doğalgaz, katı halindekilere ise bileşenlerine göre asfalt-parafin veya bitüm adı verilir. Ham petrolün damıtılmasından sonra elde edilen asfalt, bazı katkılar eklenerek inceltilir ve yol kaplamalarında kullanılmaya hazır hale getirilir (Url -4).

Ülkemizde yük taşımacılığının yüzde 91,38'i ve yolcu taşımacılığının yüzde 95,02'si karayolları aracılığı ile yapılmaktadır (tmmob oda raporu, 2008). Bu nedenle ülkemiz için karayolları, inşa edilmesinden bakımına kadar birçok konuda büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde en çok inşası yapılan karayolu tipi esnek yol üst yapılarıdır. Esnek yol üst yapı inşaatları tabakalar halinde yapılmaktadır. Bu tabakalar aşağıdaki Şekil 4.1'de görülen alt temel, temel ve kaplama tabakalarıdır (Çelik, 2007).



Şekil 4.1 : Yol üst yapı tabakaları.

Trafik yüklerine doğrudan maruz kalan kaplama tabakası, bu yükleri temel tabakasına aktarır. Alt temel ile kaplama arasında bulunan temel tabakası, yük dağıtımını ve düzgünlüğü sağlar. Diğer tabakalara nazaran daha ekonomik şekilde hazırlanan alt temel tabakası ise tüm yükleri zemine aktarır (Url -4)

Bitümlü sıcak karışımların kullanıldığı son tabaka olan kaplama tabakası binder ve aşınma olmak üzere iki farklı tabakadan oluşmaktadır. Aşınma tabakası üst yapının en üst yapısı, yani aşınmanın sathıdır. Binder tabakası ise satıh ile temel arasındaki ara tabakadır. Bitümlü sıcak karışımlar, bağlayıcı nitelikte olan bitüm, agrega ve fillerin (0.0075mm eleği geçen mineral toz) uygun miktarlarda karıştırılması ile elde edilir (Çelik, 2007).

4.2 Asfalt Yol Kaplamalarının Özellikleri

Asfalt kaplamalar, birçok avantajlı yönü ile geliştirilen teknik özellikleri . Günümüzde Amerika'da 3.63 milyon km. uzunluğundaki kaplamalı yolların %94'ü, Avrupa'nın en gelişmiş ülkelerinden biri olan Almanya'da ise 130.000 km'lik devlet yolunun tamamı, 12.000 km uzunluğundaki otoyolların %72'si asfalt kaplamalıdır. Ağır ve hafif trafikli yollarda soğuk ve sıcak olarak hazırlanan karışım olanakları ve çeşitli yüzey kaplama tipleri ile asfalt, tüm dünyada yol kaplamasında en yaygın olarak kullanılan kaplama malzemesidir (Url -2).

Asfalt betonunun sahip olması gereken özellikleri; stabilite, durabilite, fleksibilite, kayma mukavemeti, işlenebilirlik (workability) ve ekonomikliktir. Stabilite özelliği, taşıtların ve diğer trafik etmenlerinden dolayı ortaya çıkan dinamik ve statik yüklerin oluşturduğu kesme kuvvetine ve deformasyonlara kaplamanın dayanmasıdır. Asfalt çimentosunun penetrasyonu, stabiliteyi doğrudan etkiler. Düşük penetrasyonlu asfalt çimentosunun stabilitesi yüksektir.

Bu nedenle, iklim koşullarının ağır ve trafikyoğunluğunun fazla olduğu bölgelerde, stabilitenin yüksek olabilmesi için düşük penetrasyonlu asfalt çimentosu kullanılmalıdır.

Durabilite özelliği, asfalt betonunun trafik, sıcaklık değişimleri, su ve diğer maruz kaldığı dış etkenlere karşı mukavemetidir. Bir başka ifadeyle durabilite, asfalt kaplamanın aşınma, kabarma, soyulma ve oksidasyon gibi olumsuz etkilere karşı dayanmasıdır. Asfalt betonu stabil olmakla beraber durabil bir yapıya da sahip olmalıdır (Url -5).

Fleksibilite özelliği, kaplamanın temelde meydana gelen çökmelere çatlamadan intibak etmesi, esneklik kabiliyetidir. Kaplamanın fleksibilitesine penetrasyonu ve muhtevasında bulunan bitüm ve filler miktarı etki eder. Kaplamanın servis ömrünün uzun olması için, stabilitesinden ödün vermeden fleksibilitesinin istenen düzeyde olması önemlidir.

Kayma mukavemeti özelliği, kaplama yüzeyinin sürtünme mukavemetidir. Bu özellik, taşıtların kaplama üzerinde güvenli bir şekilde hareket etmesini ve durmasını sağlar. Kayma mukavemeti, karışımdaki agreganın aşınmaya olan dayanıklılığı, bitümlü bağlayıcı miktarı ve boşluk yüzdesine bağlıdır. Agreganın yumuşak seçilmesi, çabuk aşınmasına ve kaplamada pürüzsüz bir yüzey oluşturmasına sebep olduğu için kayma mukavemetini düşürür. Ayrıca bitümlü bağlayıcı miktarının fazla olması ve karışımın serildikten sonra sıkıştırılmasının fazla yapılması sonucu az boşluklu yapıda olması, sıcak havalarda bağlayıcının yüzeye çıkarak asfalt kusması olarak bilinen olayın gerçekleşmesine neden olur. Asfalt kusması, kaplama yüzeyinde kaygan bir sathın meydana gelmesine ve kayma mukavemetinin düşmesine sebep olur (Url -5).

Bitümlü sıcak karışımlar isimlerinden de anlaşılacağı gibi karıştırılarak elde edilir Bu karışım uygulama sahasına serilerek, serme işleminin ardından sıkıştırma işlemi yapılarak yol kaplaması elde edilir. Tüm bu karıştırma, serme ve sıkıştırma işlemleri esnasında uygulamada zorluklar yaşanmamalıdır.

Asfalt betonunun işlenebilirliği olarak tanımlanan bu özellik, agreganın gradasyonu, asfalt yüzdesi, agreganın maksimum dane büyüklüğü, şekli ve yüz yapısına bağlıdır. Köşeli kum daneleri ile kırmataşın kullanılması stabiliteyi arttıran, yuvarlak agreanın kullanılması ise işlenebilirliği arttıran özelliklerdir.

Bu nedenle stabilite ve işlenebilirlik özellikleri optimum düzeyde tutularak karışım hazırlanmalıdır (Url -5).

Asfalt kaplamalarının sahip olması gereken başka bir özelliği de ekonomikliktir. Kaplama karışımında bağlayıcı malzemesi olarak kullanılan ve maliyeti yüksek olan bitüm malzemesi uygun değerlerde seçilmelidir. Ayrıca serme ve sıkıştırma işlemlerinin yönetmelik ve şartnamelere uygun olarak yapılması kaplamanın servis ömrünü uzatarak maliyetleri düşürdüğü unutulmamalıdır.

Asfalt betonunun sahip olması gereken teknik özelliklerinin yanı sıra, en yaygın kaplama türü olarak kullanılmasının nedenleri ve üstün özellikleri hakkında bazı bilgiler vermekte de fayda vardır.

Asfaltın yol kaplamalarında tercih edilmesinin en önemli özelliklerinden biri hızlı ve kolay inşaat olanağı sağlamasıdır. Asfalt kaplamalar, beton kaplamalar gibi kür gerektirmediği için hızlı bir şekilde serilerek, sıkıştırma işleminden kısa bir süre sonra trafiğe açılmaktadır. Hızlı yapım tekniği sayesinde alt temel ve temel tabakaları dış etkilere fazla maruz kalmadan kısa sürede kapatılmakta, bu sayede taşıma gücünü kaybetmeden hizmet sunmaktadır. Hızlı yapım tekniğinden dolayı asfalt kaplamalar, şehir içi trafiği aksatmadan, gece uygulamaları ile bile servise açılabilmektedir (Url -2).

Esneklik özelliği sayesinde trafik yüklerini tabana yayarak yüksek dayanıma sahip olan asfalt yol kaplamaları, beton gibi rijit diğer kaplamalara nazaran daha ince tabakalar halinde uygulanabilmektedir. Bugün geliştirilen performans özellikleri ile yüksek trafikli yollarda bile 1-3 cm kalınlığında süper ince asfalt kaplamalar yüzey kaplaması olarak kullanılabilmektedir.

Geçirimsiz olma özelliğinden dolayı asfalt kaplamalarda suyun üstyapıya girişi engellenmekte, üstyapının dondan etkilenmesi ve yüzeyde suyun birikerek trafikte tehlike yaratması önlenmektedir. Asfalt kaplamaların elastik ve kalıcı deformasyonlara karşı direnci daha yüksek olduğu için uzun vadeli performansları daha yüksektir.

Farklı trafik ve iklim koşullarına göre geliştirilen asfalt kaplamalar, düşük gürültü seviyesi, yüksek kayma direnci, serbest drenajlı yapılarda olarak birçok ihtiyaca cevap verebilmektedir (Url -2).

Asfalt yol kaplamalarının en avantajlı özelliklerinden biri de az bakım gereksinimleridir. Tasarımı, üretimi ve uygulaması iyi yapılmış asfalt yollar, düzenli bakımları yapıldıkları sürece uzun yıllar kullanılabilmektedir. Asfalt yol kaplamalarında oluşan bozuk kısımlar lokal olarak onarılabildikleri için bakım maliyetleri düşüktür. Ayrıca bakım ve onarım çalışmaları kısa sürede tamamlanarak trafikteki aksaklıklara neden olmamaktadır. Beton yollara göre asfalt yol kaplamaları daha kısa zamanda, daha düşük maliyetlerde ve daha az işgücü gereksinimine ihtiyaç duyarak yapılmaktadır.

Beton yollarda kullanılan çimentonun aksine asfalt yollarda kullanılan bitüm, bağlayıcı özelliğini kaybetmeden yeniden kullanılabilme özelliğine sahiptir. Beton yollarda sadece agreganın geri dönüşümü sağlanırken, asfalt yol kaplamalarında hem bağlayıcı özelliği olan bitümün, hem de agreganın tekrar kullanımı sağlanabilir. Ayrıca asfalt yol kaplamalarında bağlayıcı olarak kullanılan bitüm, çimentonun aksine, petro-kimya ürünleri eldesi olan ham petrolün rafinasyonunda ortaya çıkan bir artık malzemesidir. Kısacası bitümün asfalt yol kaplamalarında kullanılması, artık bir malzemenin değerlendirilmesi ve petro-kimya sektöründeki rafinasyon işleminin maliyetinin düşmesini sağlar.

Asfalt yol kaplamalarının uygulama açısından başka bir avantajlı yönü de aşamalı bir şekilde inşa edilebilmeleridir. Aşamalı olarak inşaata uygunluğu sayesinde asfalt yol kaplamaları ihtiyaca göre ve zamanla geliştirilebilir. Özellikle ülkemizdeki bölgesel idarelerin elindeki maddi kaynakların sınırlı olduğu düşünülürse, asfalt yol kaplamaları uygulanabilirlik açısından vazgeçilmez bir yol kaplama çeşididir. Başlangıçta kaynak yetersizliği nedeni ile daha kısa ömürle tasarımları yapılan ve hizmet veren asfalt yol kaplamaları, daha sonra gereksinimlere bağlı olarak takviye edilebilmekte ve ömürleri uzatılabilmektedir (Url -2).

Kısacası, hızlı ve kolay inşaat olanağı sağlaması, esnek ve sağlam bir üst yapı oluşturması, bakım ve onarımlarındaki avantajları, konforlu ve güvenli yüzey özelliği, yeniden kullanılabilirliği, aşamalı inşaata uygunluğu ve yapım, bakım maliyetlerinin düşük olması gibi avantajlı özellikleri ile asfalt yol kaplamaları en çok tercih edilen kaplama çeşitlerinin başında yer almaktadır. Bu nedenle asfaltın üretim aşaması, üretim sonrasında asfaltın uygulanacağı alanda serilmesi ve serme işleminden sonra sıkıştırılması büyük önem taşımaktadır.

4.3 Asfalt Betonu Üretimi

Ülkemizde ve dünyada birçok ülkede yol kaplaması olarak kullanılan asfalt betonu, özel üretim tesisleri olan asfalt plentlerinde, belli gradasyondaki malzemeyi (agrega) istenilen sıcaklığa kadar (genelde 160 °C) ısıtıp bitüm ve filler ile karıştırarak elde edilir. Üretim aşamasında agreganın ısıtılmasındaki amaç kurutulmasını sağlamak, bitümün ısıtılmasındaki amaç ise işlenebilirliği arttırmaktır. Asfalt plentleri, gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı ve uygulanacak projede tasarlanmış olan karışım oranlarına göre sıcak karışımların hazırlanmasını kolaylaştıran büyük tesislerdir. Bu bölümde asfalt üretiminde kullanılan malzemeler, üretimin gerçekleştirildiği asfalt plentleri, asfalt plentlerinde otomasyon ve asfalt plentlerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilecektir.

4.3.1 Asfalt betonu üretiminde kullanılan malzemeler

Esnek yol üstyapısında kullanılan malzemeleri, agregalar, bitümlü bağlayıcılar ve projedeki tasarım ve uygulamadaki ihtiyaçlara göre kullanılan katkı malzemeleri olarak üç grupta incelemek mümkündür.

4.3.1.1 Agregalar

Yol inşaatlarında kullanılan ana malzeme olan agrega, üst yapının ağırlıkça ve hacimce önemli bir kısmını oluşturur ve yola etkiyen yüklerin oluşturduğu gerilmelerin karşılanmasında önemli bir rol oynar. Hem yüklerin karşılanmasında, hem de yol inşaatlarının içeriğinde büyük oranda yer almasından dolayı agregalar, yol mühendisleri için dikkat edilmesi gereken ve önem taşıyan bir malzemedir. Agregalar, yol inşaatlarındaki kullanım tiplerine göre doğal agregalar ve yapay agregalar olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

Doğal agregalar, oluşumları bakımından doğal kayalardan ve fiziksel yollar ile ayrışarak meydana gelirler. Doğal kayalar orijinlerine göre magmatik, tortul (sedimenter) ve metamorfik olarak üçe ayrılırlar. Doğal agregalar karayolu üstyapısında kaya türlerinin ya doğal etkilerle parçalanması ve sürüklenmesi sonucu ya da istenilen boyutlarda konkasörler yardımı ile kırılarak küçültülebilen kırmataş şeklinde kullanılır. Doğal agrega olarak yok üstyapısında kullanılan çakıl ve kuma ait bilgiler kısa şu şekildedir;

Çakıl : Doğal kayaların parçalanması sonucu ve akarsuların taşımasıyla depo edilen kaba malzemedir. Taşınması sırasındaki sürtünmeler sonucu dış yüzeyi pürüzlülüğünü kaybederek yuvarlak hale gelir. Yalnızca bir tür sert kayadan oluşabileceği gibi birçok cins ve sertlikte kayadan da oluşabilir. Çakılın önemli özelliği, kaya türü göz önüne alınmadan, düzgün satıhlı ve yuvarlakça irişi ufak parçalardan oluşmasıdır (Ilıcalı, 2001).

Kum : Kayaların parçalanmasından sonra, yinelenen aşınma ve birikme işlemlerinin sonucunda elde kalan kalıntılardır. Kuvars, aşınma olayına en dayanıklı mineral yapıya sahip olduğu için en çok rastlanan türdür. Kum tane boyutu 2 mm'den başlayarak toz inceliğine kadar gitmektedir. Kum tabakalarının birçoğu, çok ince taneli silt ve kil içerir (Ilıcalı, 2001).

Yapay agregalar, endüstriyel işlemler sonucu elde edilirler ve cüruf, klinker ve çimento olmak üzere üç ana grupta incelenirler.

Cüruf : Demir-çelik endüstrisinde atık madde olarak elde edilen bir malzeme olan cüruf, yol üstyapısının çeşitli tabakalarında kullanılır (Ilıcalı, 2001).

Klinker : Bir fırın artığı olan klinker, küllerin eriyerek toprak haline gelmesinden oluşur. Yapısı bakımından çok değişkenlik gösteren özelliğe sahip olan bu malzeme, bu nedenle şartnamelere uygun olarak hazırlanarak yol üstyapı inşaatlarında kullanılabilir (Ilıcalı, 2001).

Çimento : Üstyapı inşaatlarında, agreganın bileşiminde filler olarak kullanılır. Çimentonun filler olarak kullanılmasında bağlayıcı özellikte olmasının önemi yoktur. Granülometrik birleşimi, saf olması ve bitümle herhangi bir reaksiyona girmemesi gibi özelliklerinden dolayı filler olarak kullanılmaya elverişlidir (Ilıcalı, 2001).

Aşağıdaki Çizelge 4.1'de yol agregalarına ait gruplar yer almaktadır.

Çizelge 4.1 : Yol agrega grupları.

YOL AGREGALARI GUPLARI			
BAZALT GRUBU			
		Konglomera	To
Andezit	Mag. Nöt F	Grovak	To Si
Bazalt	Mag. Baz F	İnce Çakıl	To Si
Bazik Portfirit	Mag. Nöt M	Kumtaşı	To Si
Diyabaz	Mag. Baz M	Tüf	To
Dolerit	Mag. Baz M		
Epidiyorit	To B	**HORNFELS GRUBU**	
Hornblendsist	To B		
Lamprofir	Mag. Baz	Mermer hariç bütün	
Kuvartz-dolerit	Mag. Baz M	basınç sonucu	
Silipit	Mag. Baz F	Değişmiş kayalar	Met Ter
Teserit	Mag. Baz		
Teralit Mag Baz			
		KİREÇTAŞI GRUBU	
ÇAKMAKTAŞI GRUBU			
		Dolomit	To Kal
Silistaşı (cert)	To Si	Kireçtaşı	To Kal
Çakmaktaşı	To Si	Mermer	Met Ter
GABRO GRUBU		**PORFİR GRUBU**	
Diyorit	Mag. Or C	Aplit	
Grayn	Met. B	Dasit	Mag. As F
Gabro	Mag. Baz C	Felsit	Mag. As M
Norit	Mag. Baz C	Granofir	Mag. As M
Peridorit	Mag. Ü	Keratofir	Mag. Or F
Pikrit	Mag. Ü	Mikrogranit	Mag. As M
Serpantin		Porfir	Mag. Or M
		Kuvartz-porfirit	Mag. Or M
GRANİT GRUBU		Riyolit	Mag. As F
		Trakit	
Gnays	Met. B		
Granit	Mag. As C	**KUVARSİT GRUBU**	
Granodiyorit	Mag. As C		
Granülir	Met. B	Garister	
Pegmatit		Kuvarsitik kumtaşı	To Si
Kuvartz-diyorit	Mag. Or C	Yeniden kristalleşmiş	
Siyerit	Mag. Or C	Kuvarsit	Met. Ter
KUMTAŞI GRUBU		**ŞİST GRUBU**	
Aglomera	To	Filit	Met. B
Arkoz	To Si	Şist	Met. B
Bres	To	Kaynak ardovaz	Met. B

Mag = Magnetik	Baz = Bazik	M = Orta (daneli doku)
To = Tortul	U = Ultrabazik	F = İnce (daneli doku)
Met = Metamorfik	Kal = Kalkerli	Ter = Termik
As = Asit	Si = Silisli	B = Bölgesel
Or = Orta	C = İri (daneli)	

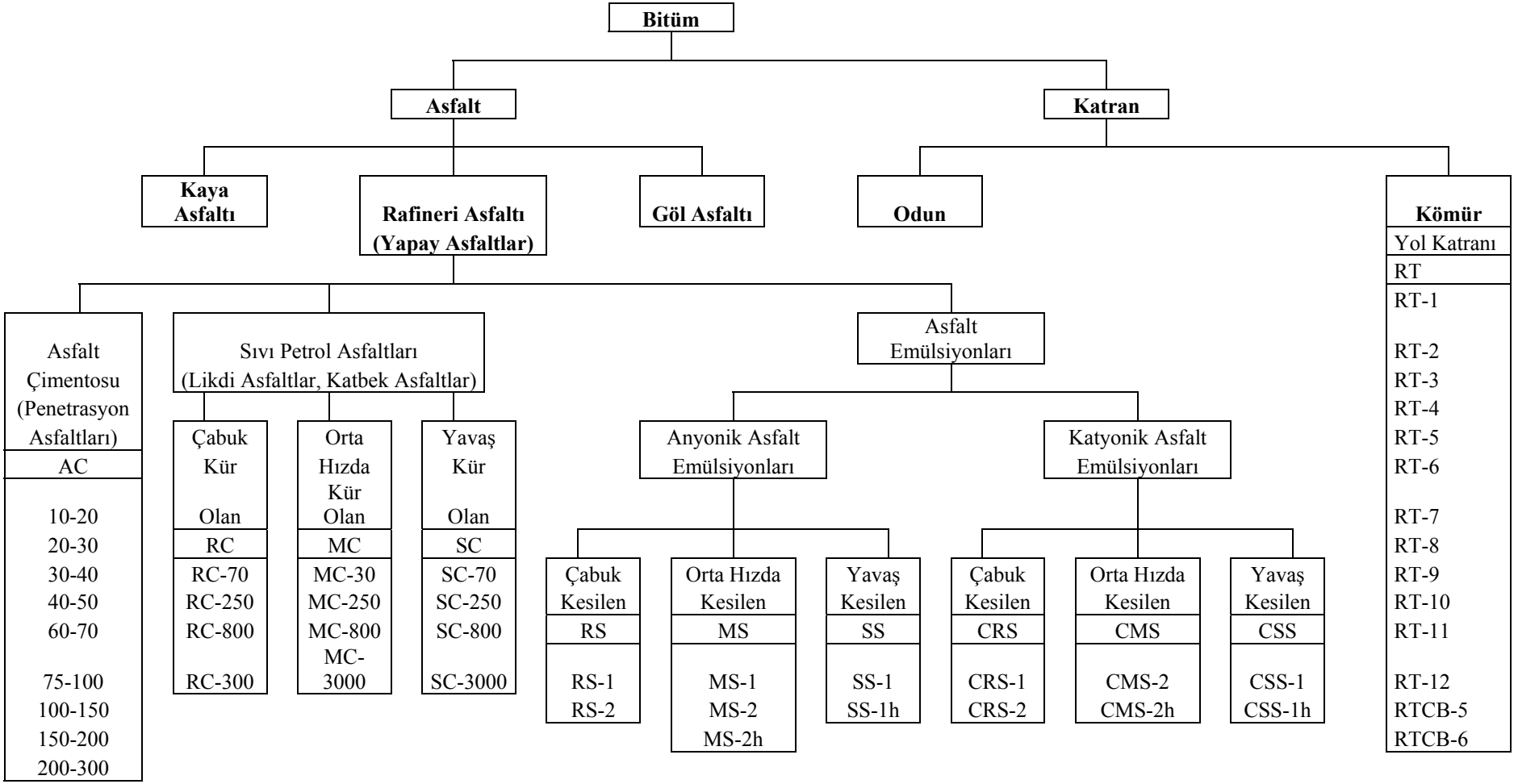
Agreganın yol üstyapılarında kullanılmasının önemli bir özelliği de pürüzlülüğü sayesinde oluşan kayma direncidir. Bir yol kaplamasının kaymaya karşı dayanıklılığı, artan trafik miktarı, taşıt hızı ve yüzey dokusu gibi birçok faktöre bağlıdır. Islak kaplama üzerinde kayma ve su üzerinde kızaklama, sorunun en tehlikeli tarafını oluşturur. Bunun yanı sıra göz kamaşması ve su sıçraması da otoyol kazalarına yol açmaktadır. Trafik yüklerinden dolayı yolların cilalanmasına ve düzleşmesine karşı dayanıklı agrega seçilmesi ve yüksek hızlarda araç lastiklerinin altından su drenajına izin verecek şekilde yüzey dokusunun durumunu muhafaza edecek sıralı yüzey değişimi kullanmak, kaymaya dayanıklı kaplama inşasının kilit noktasını oluşturur. Kaymaya dayanıklı yol kaplama inşaatında ve kayma dayanımının korunmasında önemli olan kaplamanın yüzey yapısıdır. Makro doku, dalgalılık ve birinci sıra düzensizlik ile aynı anlama gelmektedir. Mikro doku ise, pürüzlülük ve ikinci sıra düzensizlik ile aynı anlama gelmektedir. Makro doku, bağlayıcı ile birlikte kaba agreganın kullanılmasıyla elde edilir. Yine bu makro doku, araçların lastikleri ile yol kaplamalarının temas noktasındaki ara yüzeyinden suyun sızması için kanalların oluşmasını sağlar. Mikro doku, yalnız kaba agreganın yüzeyi ile ilgilidir ve agreganın dokusuna ve mineralojik yapısına bağlıdır. Her iki yapının da ıslak kaplama üzerindeki kaymayı ve su üzerinde kızaklanmayı önlemesi gerekir. Optimum mikro dokunun korunması, agrega parçacıklarının cilalanmasını ve düzlenmesini de engeller anlamına gelmektedir. Her ne kadar agrega parçacıklarının şekilleri, asfalt kaplamalarda kayma dayanımı için başlıca faktörmüş gibi gözükse de, birçok değişkenin bileşim ve yapı tarafından sağlanması yüzünden, şeklin öneminin daha az olduğu görüşü vardır (Johnson – Degraff, 1988)

Asfalt betonunun dayanımında büyük önem taşıyan agregaların depolanması ve asfalt plentlerinin agrega ile beslenmesine ilişkin bilgiler ileriki bölümlerde yer alacaktır.

4.3.1.2 Bitümlü bağlayıcılar

Bitüm, asfalt betonunun içeriğinde bağlayıcı amaçla kullanılan ve üst yapıya sağladığı esneklik sayesinde birçok avantaj kazandıran bir malzemedir. Aşağıdaki Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi bitümlü bağlayıcılar iki ana grup sınıflandırılırlar.

Çizelge 4.2 : Bitümlü bağlayıcı grupları.



BİTÜMLÜ MALZEMELERİN SINIFLANDIRILMASI

Asfalt, kuvvetli bağlayıcı özelliği bulunan ve katı, yarı katı ya da sıvı halde olabilen, hidrokarbonlu yapıya sahip bir malzemedir. Asfalt, göl ya da kayalardan doğal halde elde edilebildiği gibi, ham petrolün arıtılmasında da elde edilebilir. Yol üst yapılarında kullanılan en yaygın bağlayıcı tipi, ham petrolün rafine edilmesi sonucu elde edilen asfalt çimentolarıdır. AC ile gösterilen asfalt çimentoları, kıvamlılığı gösteren ve 10-300 arasında değişen penetrasyon derecelerine göre sınıflandırılır (Ilıcalı, 2001).

Asfalt çimentolarına çözücüler eklenerek inceltilmesi sonucunda Sıvı Petrol Asfaltları elde edilir. Sıvı petrol asfaltları üç gruba ayrılır. Asfalt çimentolarına benzin, nafta gibi uçucu özelliği yüksek çözücüler katılarak çabuk kür olan RC sıvı petrol asfaltları (Katbek Asfaltları) elde edilir. Eğer karışıma katılan çözücü gazyağı gibi orta uçucu özelliğe sahip ise orta kür olan MC sıvı petrol asfaltları, çözücü ağır yağlar ise yavaş kür olan SC sıvı petrol asfaltları elde edilir (Ilıcalı, 2001).

Asfalt çimentosundan elde edilen bir başka malzemede emülsiyonlardır. Emülsiyon, emülgatörler yardımıyla, asfalt çimentosunun su içerisinde kürecikler halinde askıda tutulması ile elde edilen bağlayıcı tipidir. Asfalt emülsiyonları agregayla karıştırıldığında ya da bir yolun sathına püskürtüldüğünde kesilir, yani asfalt kürecikleri sıvı ortamdan ayrılarak agrega üzerine yapışırlar. Bu asfalt emülsiyonları kesilme hızlarına göre,

1. Çabuk kesilen RS asfalt emülsiyonları

2. Orta hızda kesilen MS asfalt emülsiyonları

3. Yavaş kesilen SS asfalt emülsiyonları

olarak üçe ayrılırlar. Asfalt emülsiyonları genellikle sathi kaplamalarda, karışım kaplamalarda, harç kaplamalarda, yama ve onarım ilerinde ve penetrasyon makadam yol kaplamalarında kullanılmaktadır (Ilıcalı, 2001).

Katranlar, bitümlü bağlayıcıların bir diğer ana grubunu oluşturmaktadır. Katran, kömürün ve odunun kaplı bir sistem içerisinde damıtılmasından elde edilir. Katranın bu şekline ham katran denir ve genellikle katran bu şekli ile değil, arıtıldıktan sonra kullanılır. Yol kaplamalarında kullanılan katranların kömür kökenli olması tercih edilir.

Yol katranları RT sembolü ile gösterilir ve kıvamlarına göre RT-1, RT-2,…, RT-12 ve RTCB-5, RTCB-6 olarak 14 sınıfa ayrılır. Numaralar arttıkça, kıvamlılık artar (Ilıcalı, 2001).

4.3.1.3 Katkı malzemeleri

Katkı malzemelerinin kullanım yöntemleri genel olarak ikiye türlü yapılabilmektedir. Birinci yöntemde, katkı maddesi bitüme katılarak 'modifiye bitüm' elde edilir. İkinci yöntemde ise katkı maddesi asfalt plentinde doğrudan doğruya karışıma katılarak, 'modifiye karışım' elde edilir. Modifiye bitüm genel olarak asfalt çimentolarının özelliklerini iyileştirmek ve ısı hassasiyetlerini azaltmak amacıyla ve katkılarla elde edilen bitümlü bağlayıcıdır. Bitümün modifiye edilmesinde, bu işlem için genellikle ek ekipmanlar gerekmekte, hazırlanan modifiye bitümün depolanması, taşınması gibi sorunlar söz konusu olmaktadır. Karışım modifikasyonunda ise, katkı maddesi asfalt plentine karışıma katılabildiği için ek karışım ekipmanlarına ihtiyaç duyulmamakta, depolama, taşıma gibi sorunlarla karşılaşılmamaktadır, ancak bu durumda da karışımdan modifiye bitümü çekerek özelliklerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi uygun olmamaktadır. Bitüm katkı maddelerinde aranan özellikler şunlardır;

1. Kolay elde edilebilmelidirler

2. Asfalt karışım sıcaklığında özelliklerini kaybetmemelidir

3. Asfalta homojen olarak karışabilmelidirler.

4. Asfaltı çok fazla viskoz hale getirmeden, akışkanlığa karşı direnç sağlamalıdırlar

5. Düşük sıcaklıklarda asfaltın çok kırılgan ya da sert olmamasını sağlamalıdırlar

6. Maliyetleri ekonomik olmalıdır.

Katkı maddelerinin bitümle karıştırılmasından sonra ise şu özelliklere sahip olması istenir;

1. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında sahip oldukları özellikleri korumalıdırlar

2. Uygun ekipmanla işlenebilirlik özelliğine sahip olmalıdırlar

3. Depolama, uygulama ve hizmet sırasında fiziksel ve kimyasal olarak stabil olmalıdır

4. Normal uygulama sıcaklıklarında püskürtebilme ve agregayı sarabilme akışkanlığı sağlayabilmelidirler (Ilıcalı M, 2001).

Çizelge 4.3 : Bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılması.

Bitüm Katkı Maddelerinin Genel Sınıflandırılması			
Tip		**Özellikler**	**Modifiyerlerin Asfalt Çimentosunun Kıvamına Genel Bilişi**
1. Filler		• Mineral Filler : Taş tozu Kireç Portland Çimentosu Uçucu Kül • Karbon Siyahı • Sülfür	Sertleştirme
2. Extender		• Sülfür • Ligrin (Odun Özü)	Sertleştirme
3. Kauçuk a. Doğal Lateks (Kauçuk ağacı özsuyu) b. Yapay Lateks c. Blok Copolymer d. İşlenmiş Kauçuk	**POLİMERLER**	• Doğal Kauçuk • Strene butoiden veya SBR • Strene-butoiden-Strene veya SBS • Dönüştürülmüş Kauçuk	-
4. Plastik		• Polietilen • Ploipropilen • Bil-viri-lasetat, EVA • Polviril Klorid, PVC	Sertleştirme
5. Bileşim		• 3 ve 4'deki polimerlerin karışımı	-
6. Fiber		• Doğal : Asbets Taş yünü • Yapay : Polipropilen Polyester Fiberglas	Sertleştirme
7. Oksidan		• Marganze Tuzu	Sertleştirme
8. Antioksidan		• Kurşun Karışımları • Karbon • Kalsiyum Tuzu	Yumuşatma
9. Hidrokarbon		• Yeniden kullanma ve gençleştirme yağları • Sertleştirme ve doğal asfaltlar	Yumuşatma veya Sertleştirme
10. Soyulma Önleyici		• Aminler • Kireç	Yumuşatma

Çizelge 4.4 : Katkı maddelerinin etkileri.

Bitümlü Karışımlarda Kimyasal Katkıların Olumlu Etkileri

Kimyasal Katkıların Rolü

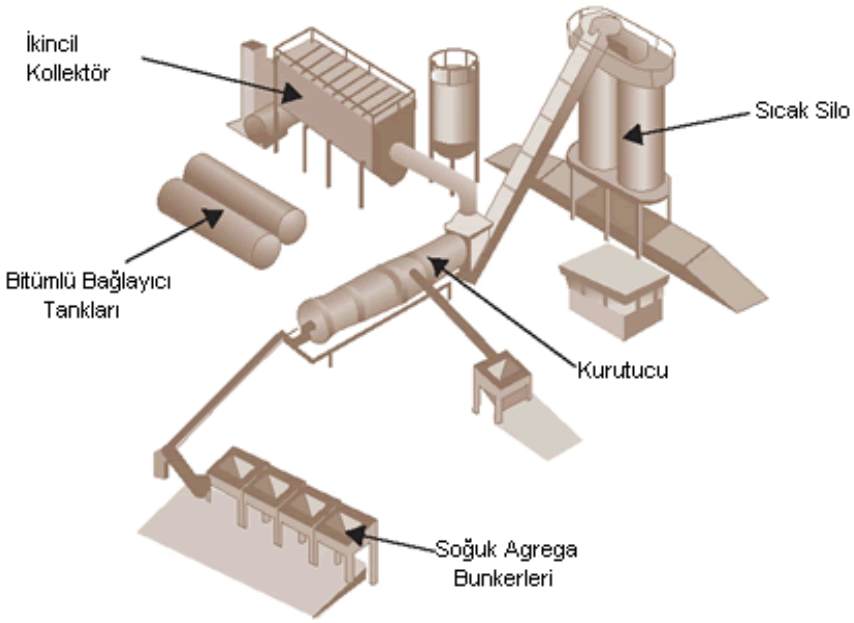
Kimyasal Katkılar	Yaşlanma Sertliğini Azaltma	Rutubet Zararı Hassasiyetini Azaltma	Agrega Bağlayıcı Değişikliği	İşlenebilirlik Gelişimi	Adezyon Gelişimi	Stabilitede Arama	Tekerlek İzi Direncinde Artma	Soyulmaya Karşı Özellikle-rinde Gelişme	Gevreklikte Artma
Hidrate Kil	√	√		√	√	√	√	√	√
Portlan Çimentosu				√	√	√	√		
Manganez Modifiyesi			√	√	√		√	√	√
Katyonik Yüzey Aktif Ajanları	√	√		√	√	√			
Sülfür				√		√	√		√
Organik Polimerler				√		√	√		

4.3.2 Asfalt plentleri ve üretim

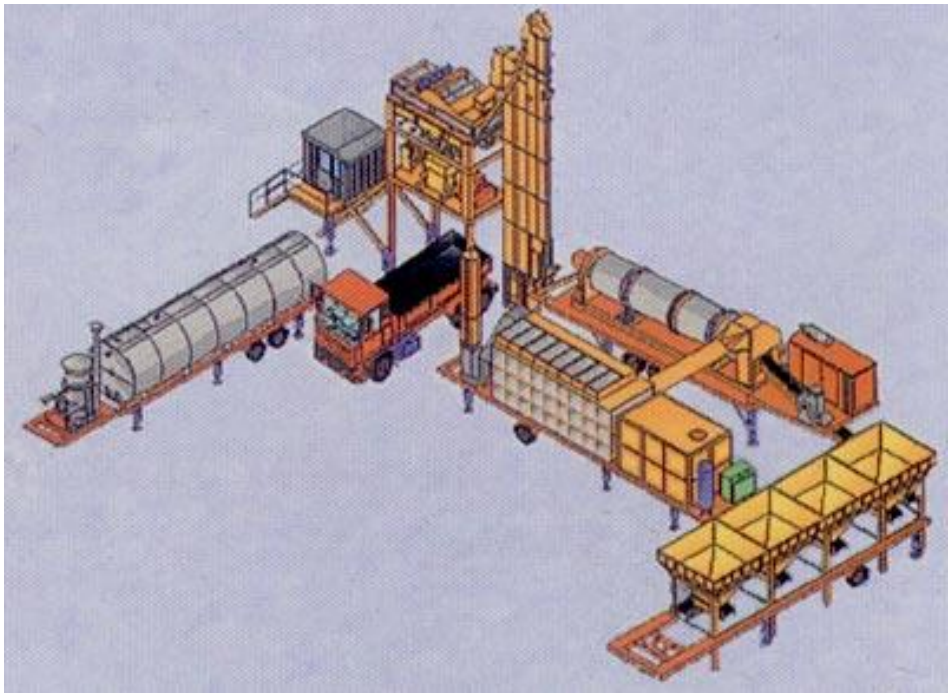
4.3.2.1 Asfalt plentlerinin çalışma prensibi

Asfalt plentleri, belli gradasyondaki malzemeyi (agrega) istenilen sıcaklığa kadar ısıtıp, bitümlü bağlayıcılar ve katkı malzemeleri ile karıştırarak, esnek yol üst yapı inşaatlarında kullanılan asfalt betonunu elde eden tesislerdir. Tüm asfalt plentleri benzer prensipte çalışmaktadır. Proses ilk olarak filtrelerin çalıştırılması ile başlar. Daha sonra brülör ateşlenir ve soğuk agrega bunkerlerinde bekleyen farklı tipteki agregalar taşıyıcı bantlar (konveyörler) vasıtasıyla ısıtma tamburuna aktarılır. Agregalar ısıtma tamburunda yaklaşık 165 °C sıcaklığa kadar ısıtılır ve bu esnada filtreler ısıtma sırasında ortaya çıkan filleri sisteme geri kazandırarak ortaya çıkan yanma gazlarını da mekanik olarak temizler ve atmosfere bacadan atılmasını sağlar. Isıtılan agrega elevatör yardımıyla yüksek verimli eleğe aktarılarak, elenen agrega elek altı izolasyonlu silolara alınır. Reçeteye göre hazırlanan agrega otomasyon sistemi marifetiyle, filler ve bitüm karıştırılmak üzere miksere alınır. Karışım sonucu 160 °C de asfalt kullanım için hazır hale gelir. Hazır asfalt izolasyonlu silolara alınır ve operatörün kumandası ile kamyonlara yüklenir (Url -6)

Asfalt plentleri, kapasitelerine, mobil veya sabit olma özelliklerine ve üretim şekillerine göre çeşitlendirilebilirler. Asfalt plentlerinin kapasiteleri ton/saat olarak ifade edilmektedir. Bu ifadeye göre, bir asfalt plentinin bir saat süre içerisinde ürettiği asfalt betonunun ağırlık olarak ton cinsinden değeri onun kapasitesini tanımlamaktadır. Asfalt plentleri büyük tesisler olmalarına rağmen, günümüz teknolojisi sayesinde sadece sabit üretim tesisleri olarak değil, ayrıca mobil üretim yapabilen tesisler haline de dönüşmüştür. Üstelik mobil üretim yapabilen asfalt plent tesisleri kısa sürede mobilizasyon süreçlerini tamamlayabilmekte ve üretim hacmi olarak sabit üretim tesislerinin kapasitelerine yakın, tatmin edici değerlere ulaşabilmektedir. Şekil 4.2'de sabit tip asfalt plentlerinin, Şekil 4.3' te mobil asfalt plentlerinin genel yapısı görülmektedir.



Şekil 4.2 : Sabit tip asfalt plenti.



Şekil 4.3 : Mobil tip asfalt plenti.

Mobil asfalt plentlerinin tasarlanmasındaki amaç, projelere dönük hizmet vererek, üretilen asfalt betonunun uygulama alanına nakliyesini optimum değerlere getirmek, hem nakliye maliyetlerini, hem de mobilizasyon ve demobilizasyon maliyetlerini düşürmektir. Ayrıca kurulum süreçlerinin bir haftayı geçmeyecek sürelerde yapılması sayesinde, üretim tesisleri kısa sürede hizmet verebilmektedir. Günümüz teknolojisi ile tasarlanan mobil asfalt plentlerinin üretim kapasiteleri 200 ton/saat

değerine kadar çıkmaktadır. Bu plentlerin diğer bir avantajlı yönü ise tesis kurulumundaki düşük maliyetleridir. Sabit tip plentlerin kurulumunda makine temellerinin yapılmasına gerek duyulmaktayken, mobil plentlerin kurulumu için sadece tesisin kurulacağı bölgeye grobeton dökülmesi ve düzgün bir zemin elde edilmesi yeterlidir. Ayrıca mobil plent tesislerinde kullanılan tesisat boru hatlarının prefabrik yapıda olması ve tekrarlı bir şekilde kullanılabilmesi de kurulum maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır. Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, mobil bir asfalt plentinin kurulum için nakliye aşaması altı tır ile sağlanarak, pratik bir şekilde yapılmaktadır (Url -7)



Şekil 4.4 : Benninghoven mobil tip asfalt plent mobilizasyonu.



Şekil 4.5 : Benninghoven mobil asfalt plenti.

Üretim şekillerine göre asfalt plentlerini temel olarak iki ana grupta değerlendirmek mümkündür. Bunlar "Sürekli Tip" ve "Ağırlıklı Tip" asfalt betonu üretim tesisleridir. Aralarındaki fark ise, agreganın karışıma katılırken beslenmesi ve karıştırma işlemlerinin gerçekleşme biçimleridir. Bu farklılıklar dışında kalan ve genel üretim aşamaları olan malzemenin stoklanması, agreganın kurutucuya kadar soğuk beslenmesi, kurutucuda ısıtılıp, kurutulması ve emisyon kontrolü işlemleri her iki tip asfalt plenti için benzerdir. Dolayısıyla üretim sürecinin açıklanmasında, ilk olarak benzer olan kısımlar hakkında bilgi verilecektir. Bir sonraki kısımda ise farklılıkları oluşturan aşamalar her iki tip için ayrı ayrı açıklanacaktır. Şekil 4.6' da ağırlıklı tip asfalt plenti ve Şekil 4.7'de sürekli tip asfalt plenti yer almaktadır.



Şekil 4.6 : Ağırlıklı (Batch) tip asfalt plenti (makfalt).



Şekil 4.7 : Sürekli (Continuous) tip asfalt plenti (makfalt).

4.3.2.2 Üretime giren malzemelerin depolanması ve beslenmesi

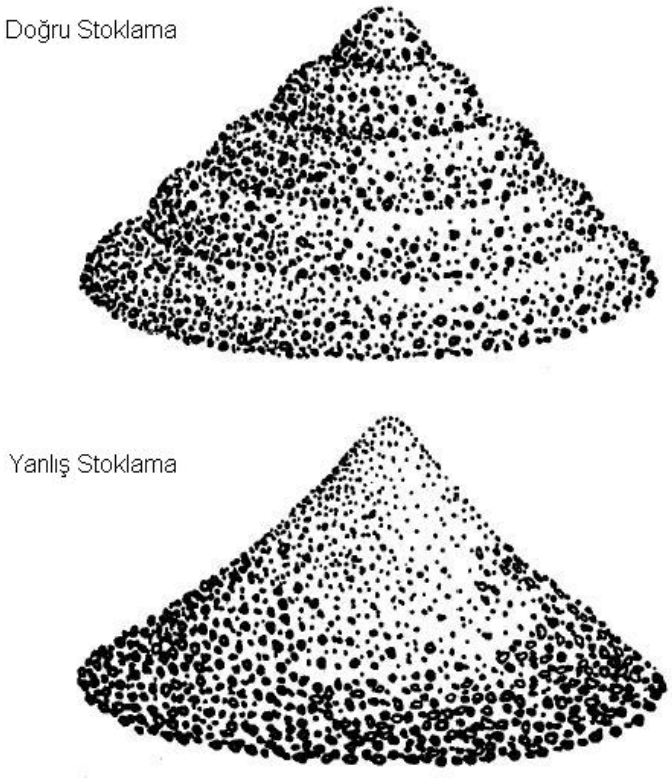
Bitümlü sıcak karışımların üretiminde kullanılan malzemelerin uygun bir şekilde depolanması ve asfalt plent ünitelerinin düzgün bir şekilde beslenmesi üretimin kalitesini doğrudan etkilemektedir. Bu bölümde asfalt betonunun ana malzemeleri olan agrega ve bitümlü bağlayıcıların depolanması ve sistemin bu malzemeler tarafından beslenmesi ele alınacaktır.

Agreganın depolanması ve beslenmesi

Bitümlü sıcak karışımların içeriğinde büyük miktarlarda bulunan ve karışımda birincil önceliğe sahip malzeme olan agregaların depolanması, karışım kalitesi için büyük önem taşımaktadır. Asfalt betonunun dayanımı, büyük ölçüde agreganın gradasyonuna bağlıdır. Ağırlıklı tip plentlerde, sıcak agrega karışıma girmeden önce yeniden elenmekte, bu işlem sayesinde gradasyondaki hatalar düzeltilebilmektedir. Fakat sürekli tip plentlerde tekrar bir elenme işlemi gerçekleştirilmediği için gradasyondaki hatalar düzeltilebilecek nitelikte değildirler. Bu nedenle karışıma girecek olan agrega, depo sahasında stoklanırken gradasyonda hatalara yol açacak nitelikte tutulmamalıdır. Farklı agrega tiplerinin birbirlerine karışmalarını engellemek için stok sahasını geniş bir alana yayarak ya da agrega kümeleri arasına ayırıcı perdeler kullanarak depolama yapılmalıdır. Ayırıcı perdelerin kullanıldığı

depo sahalarında, agrega stoklarının yükseklikleri perde yüksekliğini aşmamalı ve farklı tipteki agregaların karışmaları engellenmelidir.

Stok sahalarında gradasyonu etkileyen bir başka etmen iş makineleridir. Özellikle paletli iş makineleri agregaların kırılması ve ufalanmasına yol açmakta, bunun sonucunda gradasyonda bozulmalara neden olmaktadır. Karışımda kullanılan agreganın boyutlarının farklılığından dolayı segregasyon tehlikesi de bulunmaktadır. Segregasyonu engellemek için öncelikle kaba agreganın stoklanmasına özen gösterilmelidir. Nitekim kaba agrega, ince agregaya nazaran daha fazla segregasyona uğrama tehlikesine sahiptir. Agreganın stoklanması yüksek ve tam konik bir yığın şeklinde yapılmamalı, iri tanelerin üst kısımlardan yuvarlanarak alt kısımlarda birikmesi engellenmelidir. Şekil 4.8' de doğru ve yanlış stoklamalar gösterilmektedir (Asphalt Institute, 1998).



Şekil 4.8 : Stok sahasında doğru ve yanlış stoklama biçimleri.

Agregalar kurutuculardа ısıtılarak fazla nemlerinden arındırılırlar. Bu nedenle depo sahasında bekletilen agreganın nemlenmesini engellemek için düzgün bir drenaj yapılmalıdır. Unutulmamalıdır ki, agreganın kurutucuya girmeden önce nem miktarının düşük olması, kurutma işlemi için harcanan enerji ve enerji maliyetlerinin azalmasında önemli rol oynamaktadır. Şekil 4.9'da agrega stok sahası görülmektedir.



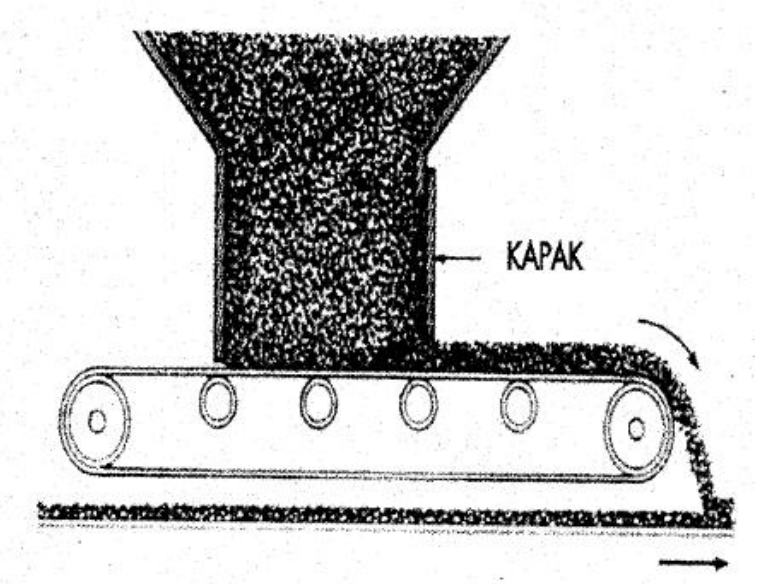
Şekil 4.9 : Agrega stok sahasından bir görünüş.

Bir asfalt plentinde üretim aşamasının ilk ünitesi soğuk agrega besleme sistemidir. Stok sahasındaki agrega bu üniteye iletilerek asfalt üretiminin ilk adımı başlar. Soğuk agrega sisteminin görevi, karışıma girecek olan agregayı, karışım reçetesine göre istenilen oranlarda alarak kurutucuya aktarmaktır. Bu ünite, agreganın tutulduğu hazneler olan soğuk agrega bunkerleri, bunker altı besleme sistemi ve agregayı besleme sisteminden kurutucuya aktaran kurutucu yükleme bandı olmak üzere üç gruptan oluşmaktadır. Soğuk agrega bunkerleri Şekil 4.10'da görüldüğü gibi genellikle 15 m³'lük hacime sahip dört ya da beş bunkerden oluşmaktadır. Üretimin aksamaması için bu bunkerlerin yeterli miktarda dolu olması gerekmektedir. Bunkerlerin giriş ağızlarının tıkanmaması için bu bölgelere ızgara yapılmalıdır. Ayrıca, bunker içindeki agregaların bi hazneden diğer hazneye akmamaları için aşırı dolum yapılmaması da unutulmaması gereken başka bir önemli konudur.

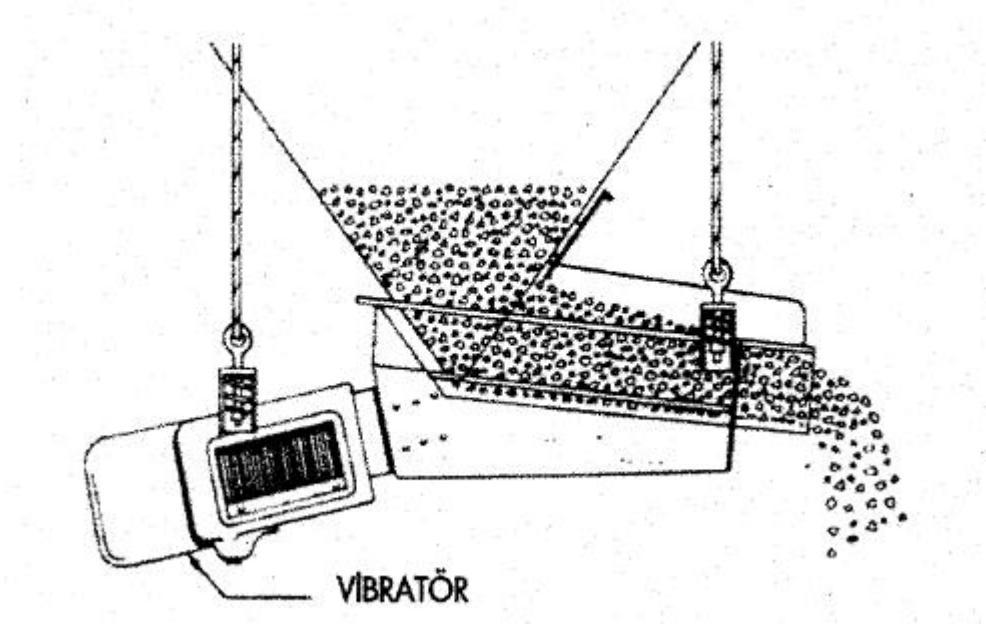


Şekil 4.10 : Soğuk agrega bunkerleri (Teknomak).

Soğuk agrega bunkerlerindeki agregalar, kurutucu yükleme bantlarına bunker altı besleme sistemi aracılığıyla iletilir. Bunker altı besleme sistemleri bunker altı kapakları, vargelli veya vibratörlü besleyiciler ve bunker altı toplama bantlarından oluşmaktadır. Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13' de vargelli ve vibratörlü besleyiciler yer almaktadır. Bu besleyiciler, bunker içindeki agregayı bunker altı toplama bantlarına iletirler. Daha sonra bunker altı toplama bantları aracılığıyla agregalar kurutucu yükleme bantlarına aktarılırlar.



Şekil 4.11 : Vargelli besleyici (Asfalt enstitüsü, el kitabı serisi no:4, 1989).



Şekil 4.12 : Vibratörlü besleyici 1 (Asfalt enstitüsü, el kitabı serisi no:4, 1989).



Şekil 4.13 : Vibratörlü besleyici 2 (Teknomak).

Kurutucu yükleme bandı, bunker altı toplama bandından gelen agregaları, kurutucuya (ısıtıcı tambura) aktaran, açılı bir şekilde olan konveyör sistemidir. Bunker altı toplama bantları ise yatay konveyör sistemleridir. Bu her iki bandın kapasiteleri plentin kapasitesi ile uyumlu olmak zorunda, bant genişlikleri, kalınlıkları ve hızları bu kapasiteye göre belirlenmelidir (F.Yonar, 2007). Şekil 4.14'te kurutucu yükleme bandı görülmektedir.



Şekil 4.14 : Kurutucu yükleme bandı.

Bitümün depolanması ve beslenmesi

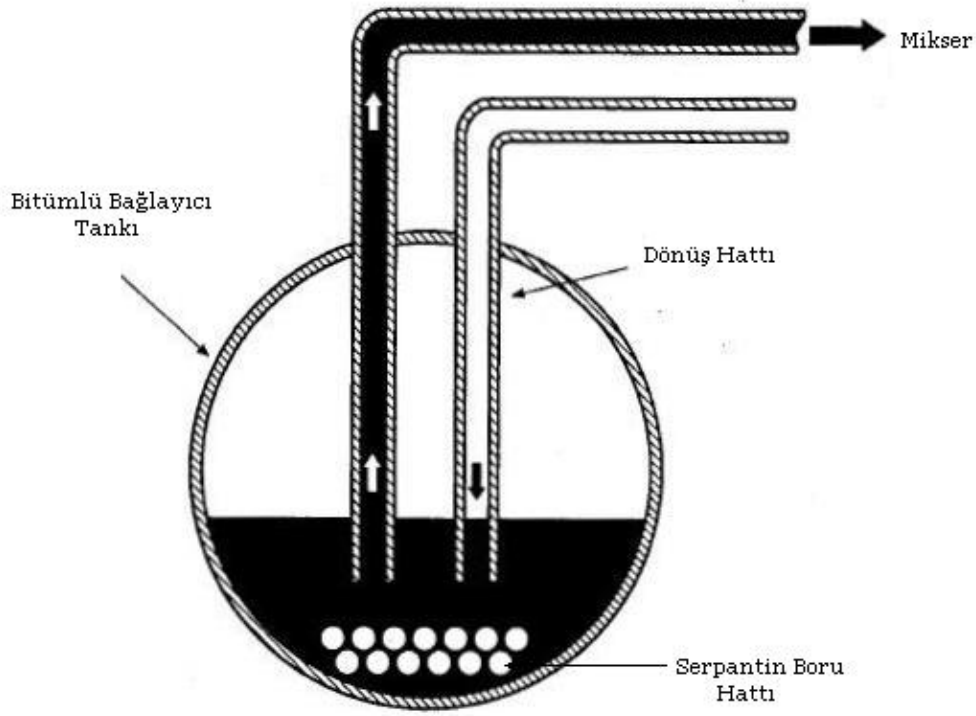
Asfalt üretim tesislerinin üretim şekilleri nasıl olursa olsun, üretimin sürekliliği için, asfalt betonunda bağlayıcı olarak kullanılan bitümün üretime girecek şekilde hazır olması gerekmektedir. Bu nedenle bitümlü bağlayıcının üretim tesisinde depolanması, üretimin durmaması açısından önem taşımaktadır. Asfalt plentlerinde bitüm, yatay ve ya dikey tanklarda depolanmaktadır. Genellikle tesislerde iki adet tank bulunmaktadır ve bu tanklardan biri karışıma katılan bitümlü bağlayıcının tutulduğu tank, diğeri ise depo amaçlı kullanılan tanktır. Aynı anda farklı karışım reçetelerinin üretilmesi, bitüm tipinin değişmesine neden olmakta, bu nedenle ayrı bir tanka ihtiyaç duyulmaktadır. Bitüm, sıcaklığı düşükken viskozitesi çok yüksek bir malzeme olduğu için iletim hattı boyunca rahat bir şekilde akabilmesi için sürekli sıcak tutulmalıdır. Isıtma işlemi ya kızgın yağlar kullanılarak ya da elektrikle yapılmaktadır. Devir daim esnasında oksitlenmeyi engellemek için, iletim hattının tanka geri dönen kısmı her zaman tank içindeki bağlayıcı seviyesinin altında olmalıdır. Şekil 4.15'te dikey, Şekil 4.16'da yatay bitüm tankları ve Şekil 4.17'de tanklara ait kesit görülmektedir (F.Yonar, 2007).



Şekil 4.15 : Düşey bitüm tankları.



Şekil 4.16 : Yatay bitüm tankları.



Şekil 4.17 : Bitüm tankı devir daim hatları (HMA).

Fillerin depolanması ve beslenmesi

Önceki bölümlerde, bitüm katkı maddelerinin genel sınıflandırılmasına ait tabloda yer alan filler, asfalt üretiminde kullanılan en yaygın katkı malzemesidir. Fillerin kullanılmasındaki amaç, iri agrega taneleri ile bağlayıcı bitümün arasındaki boşlukları doldurmak ve asfalt betonunun dayanımını arttırmaktır. Filler, nemlendiği zaman sertleşme özelliğine sahip bir malzemedir ve bu yapısı nedeni ile farklı stoklanması gerekmektedir (Asphalt Institute, 1998).

Asfalt betonu üretim tesislerinde filler, genellikle kapalı ve dikey olarak konumlandırılmış silolarda saklanmaktadır. Filler depolandığı silolardan pnömatik olarak hava basıncı ile ya da mekanik olarak elevatör ve helezonlar yardımı ile sisteme yönlendirilmektedir. Kurutucuda ısıtılan agregadan çıkan tozları sisteme geri kazandırmak ve atmosfere çıkan gazları ince taneciklerden arındırmak, fillerin beslenme ve stoklanma prosesinin içinde yer almaktadır. Ağırlıklı tip plentlerde, bitümlü karışımdaki filler ihtiyacı ilk olarak kurutucudan gelen hava toz tutma sisteminde filtrelenen fillerin helezonlar ve elevatör aracılığıyla hazneye aktarılması ile sağlanır. Eğer kurutucudan toplanan filler karışım için yeterli olmaz ise, filler

silosunda depolanmış ve hazır halde bulunan filler, yine helezonlar ve elevatör aracılığı ile tartım haznesindeki fillere eklenerek karışıma katılır (F.Yonar, 2007). Şekil 4.18'de bir asfalt plentine ait filler silosu görülmektedir.



Şekil 4.18 : Filler silosu (Teknomak).

4.3.2.3 Agreganın ısıtılması ve kurutulması

Asfalt betonu üretimine giren malzemeler kısmında açıklandığı gibi agregalar soğuk bunkerlerde depolandıktan sonra konveyör bant aracılığıyla kurutucuya (dryer) aktarılırlar. Isıtıcı tambur olarak ta bilinen kurutucunun görevi, agregayı karışım sıcaklığına kadar ısıtmak ve agregayı içindeki nemden arıtarak karışıma hazır hale getirmektir. Agreganın kurutucu içerisinde kaldığı bu süreç "tutulma zamanı" olarak tanımlanmaktadır.

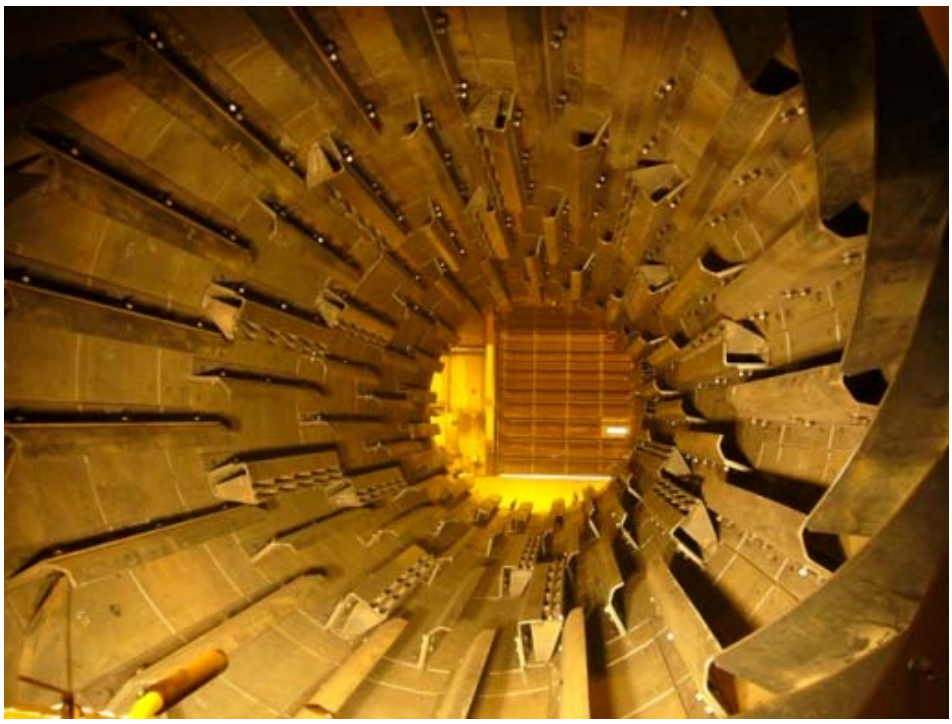
Kurutucu; çapı 1.50 ile 3.00 m arasında ve boyu 6.00 ile 12.00 m arasında değişen, dönen bir silindirdir. Kurutucunun içinde yanmayı sağlayacak havayı sağlayan bir üflemeli fan bulunmaktadır. Bu üflemeli fan içeriye gerekli hava akımını sağlarken, brülör yanma işlemini gerçekleştirir. Kurutucunun içinde ayrıca, yanmış gazları ve agregadan ortaya çıkan zerrecikleri toz tutma sistemine aktaran bir baca bulunmaktadır. Kurutucunun eğim açısı, rotasyon hızı, çapı, uzunluğu, aktarma bacalarının konumu agreganın kurutucu içerisindeki tutulma zamanını belirleyen

faktörlerdir. Şekil 4.19'da örnek bir kurutucu görülmektedir (Asphalt Institute, 1998).



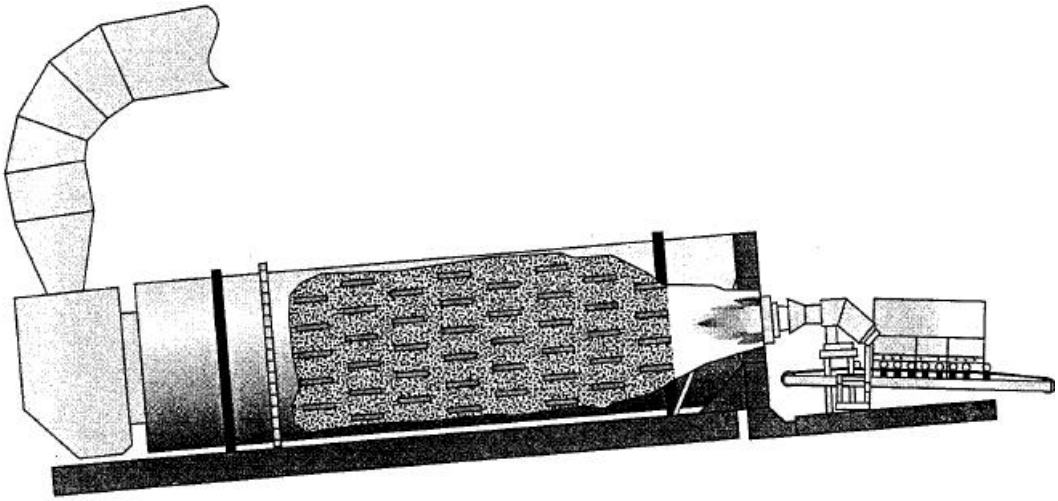
Şekil 4.19 : Kurutucu (Teknomak).

Kurutucu içerisinde bulunan agregalar, sadece kurutucu silindirin yaptığı rotasyon hareketi ile değil, ayrıca kurutucu içerisinde bulunan kanatçık ve kanal sistemi vasıtasıyla da karıştırılmaktadır. Şekil 4.20'de, kurutucu içerisindeki bu kanatçıklar ve kanallar sistemi yer almaktadır.



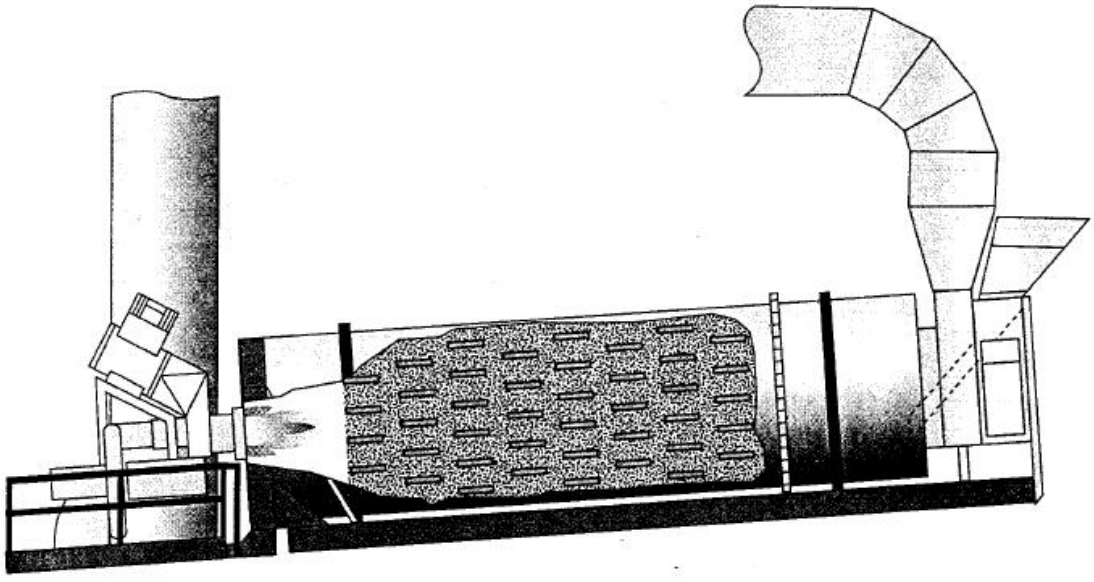
Şekil 4.20 : Kurutucu içerisindeki kanatçık ve kanallar.

Kurutucular, paralel akımlı ve karşıt akımlı olmak üzere iki tiptedirler. Agreganın akış yönü ile hava akımının yönü aynı olan kurutucular, adından da anlaşılacağı gibi paralel akımlı kurutuculardır. Şekil 4.21'de paralel akımlı kurutucu görülmektedir.



Şekil 4.21 : Paralel akımlı kurutucu (Asphalt Institute, 1998).

Agreganın akış yönü ile hava akımının farklı kısımlardan verildiği kurutucular ise karşıt akımlı kurutuculardır. Şekil 4.22'de karşıt akımlı kurutucu görülmektedir.



Şekil 4.22 : Karşıt akımlı kurutucu (Asphalt Institute, 1998).

Kurutma işlemi sırasında yüksek enerji gereksinimi duyulmaktadır. Bu enerji yakıt ile sağlanmakta ve üretim maliyetinin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu nedenle kurutucunun kapasitesini düşürmemesi için, karışıma girecek olan agreganın yüksek miktarda nem içermemesi gerekmektedir. Kurutucunun kapasitesi agreganın içerdiği nem miktarına göre (genelde %5) belirlenir. Agreganın nem oranı kurutucu

kapasitesini etkilediğinden dolayı, doğrudan karışıma girecek agrega miktarını da etkilemektedir. Sonuç olarak kurutma ve ısıtma işlemi, asfalt plentinin performansını etkileyen en önemli faktörlerin başında yer almaktadır.

4.3.2.4 Emisyon kontrol sistemi

Kurutucu içerisinde gerçekleşen işlemler sonucunda agregadan ortaya çıkan kontrolsüz filler hava akımı ile birlikte hareket eder. Emisyon kontrol sistemi, hava akımıyla birlikte hareket eden bu ince tanecikleri atmosfere bırakılmadan önce tutmakla görevlidir. Sıcak asfalt tesislerindeki emisyon kontrol sistemleri, birincil ve ikincil toz toplayıcılardan oluşmaktadır. Birincil toz toplayıcıların görevi, iri toz taneciklerini hava akımından arındırıp biriktirmektir. İkincil toz toplayıcıların görevi ise en ince tanecikleri filtre etmektir. Toz toplayıcıların emme ağızları, tesisin tipine göre kurutucunun ortasında ya da sonunda bulunur. Toz toplayıcılar kurutucudan girip, egzozdan çıkan havayı filtre eder (F.Yonar, 2007).

4.3.2.5 Bitümlü sıcak karışımın depolanması

Üretimin sürekliliği sırasında nakliye ve imalat aşamalarında karşılaşılabilecek duraklamalara karşın, üretim tesislerinde asfalt betonu için stok siloları veya depoları bulunmaktadır. Üretimden çıkan sıcak karışım konveyör sistemi ve ya elevatör yardımı ile bu silolarda depolanmaktadır. Depolanmış asfalt betonu, siloların altında bulunan kapaklar açılarak kamyonlara aktarılır. Karışımın sıcaklığını kaybetmemesi için stok silolarının çok iyi izole edilmiş olmaları gerekmektedir. İyi izole edilmiş stok silolarında karışım, herhangi bir ısı kaybı olmaksızın 24 saate kadar saklanabilmektedir. Stok silolarında karşılaşılan en büyük sorun segregasyondur. Özellikle depolar boş olduğunda doldurulmaya başlanan karışım yüksekten döküldüğü için iri ve ince taneler farklı yönlerde toplanmaktadır. Bu sorunu çözmek için siloların içinde tartım kovaları bulunmaktadır ve tartım kovaları belirli ağırlıkta asfalt betonuna ulaştığında otomatik olarak boşalmaktadır. Şekil 4.23'te stok siloları görünmektedir (F.Yonar, 2007).



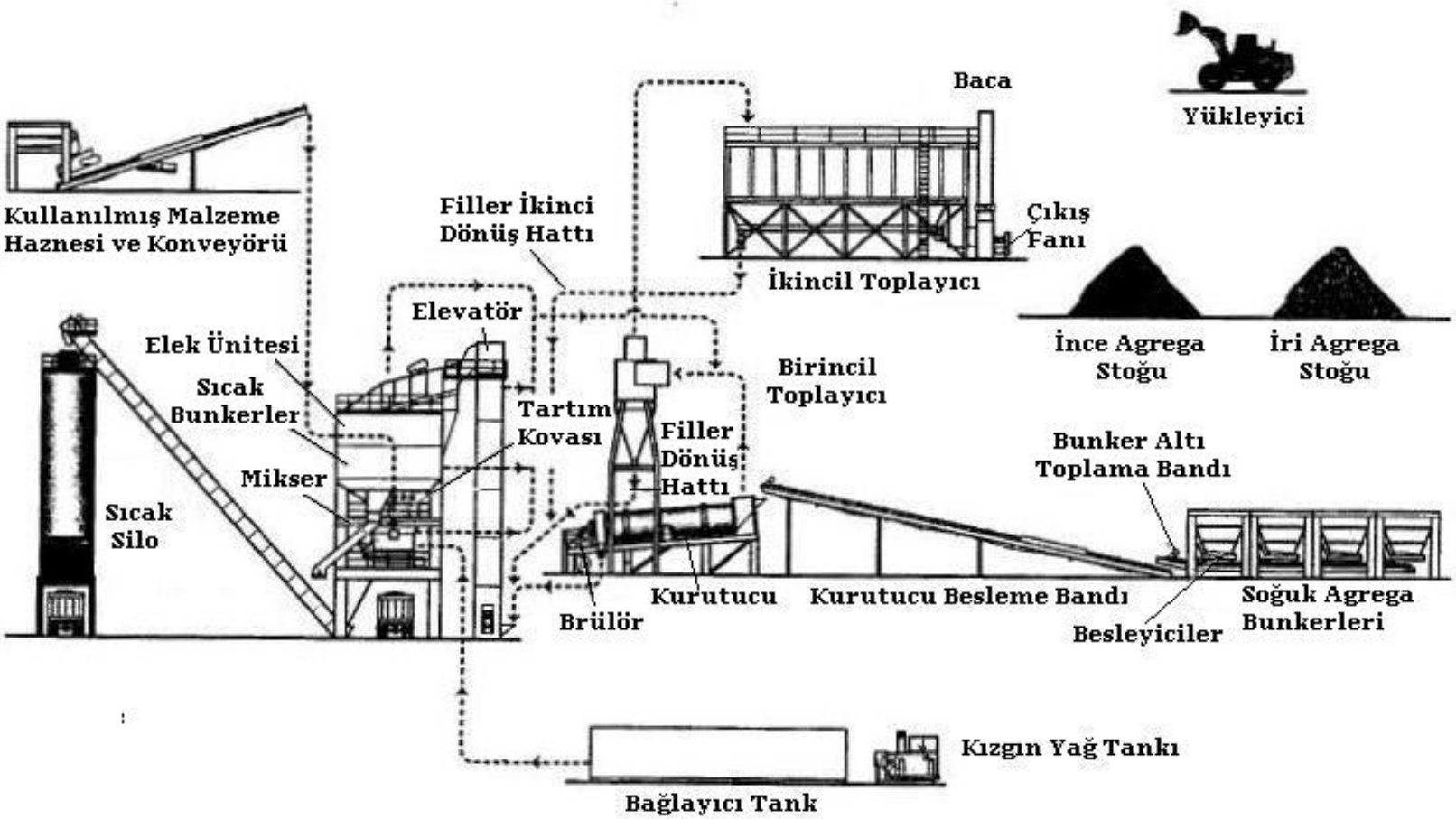
Şekil 4.23 : Sıcak asfalt karışımı stok silosu.

4.3.3 Ağırlıklı tip asfalt plenlteri

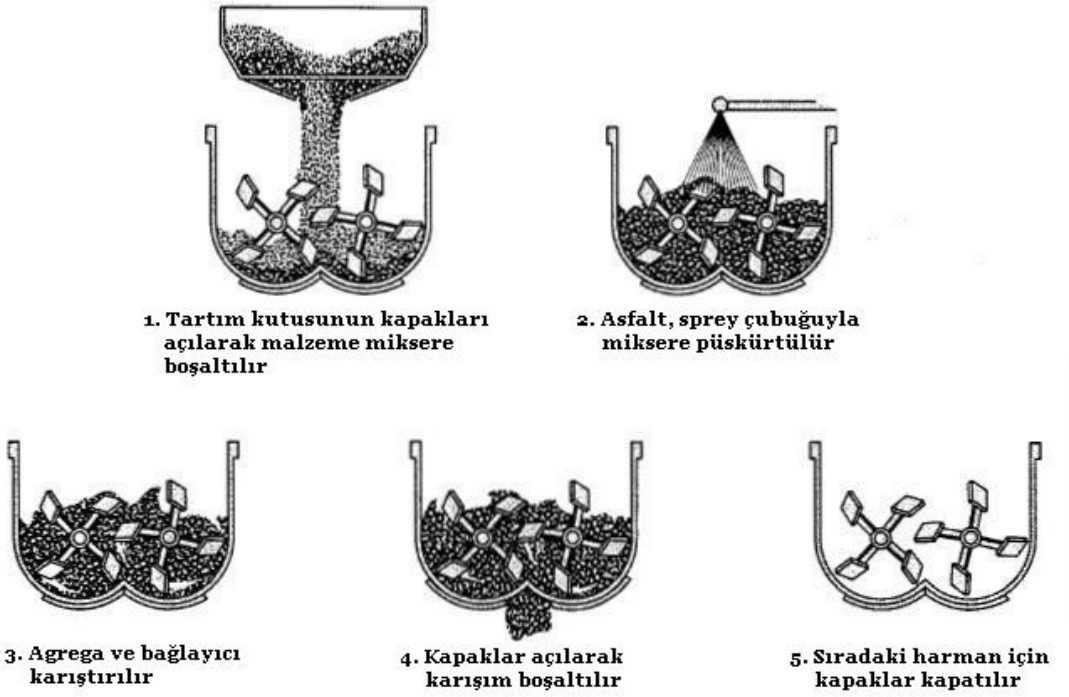
Ağırlıklı tip asfalt plentleri, her seferinde bir harman yapan plentlerdir. Yapılan harman miktarı, plent mikserinin kapasitesine bağlıdır ve günümüz teknolojik koşullarında 1.800 kg ile 7.200 kg arasında değişmektedir. Şekil 4.24'te ağırlıklı tip bir asfalt plentinin tüm prosesleri yer almaktadır. Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi, agreganın ısıtılması ve kurutulması, emisyon kontrol sistemi ve bitümlü sıcak karışımın depolanması, ağırlıklı tip ve sürekli tip asfalt plentlerinde aynı işlemler ile gerçekleşmektedir.

Ağırlıklı ve sürekli tip plentlerin işlemleri arasındaki farklılıklar, agreganın karışıma katılırken beslenmesi ve karıştırma işleminin gerçekleşme biçimleri. Ağırlıklı tip plentlerde, kurutucudan çıkan sıcak agregalar sıcak asansörler yardımıyla üretim kulesine taşınır. Üretim kulesi yukarıdan aşağıya doğru sırasıyla; eleme ünitesi, sıcak bunkerler ve mikser bölümlerinden oluşmaktadır. Eleme ünitesi, farklı boyutlardaki birçok titreşimli elekten oluşan ve agregayı boyutlarına göre ayıran bir sistemdir. Boyutlarına göre ayrılan agregalar daha sonra sıcak bunkerlere aktarılırlar. Sıcak bunkerler, iyi derecede izole edilmiş ve agregayı ısı kaybı olmaksızın muhafaza edebilen depolardır. Üretimin devamlılığının sürdürülebilmesi için, sıcak bunkerlerde yeterli miktarda agreganın bulunması gerekmektedir. Bu nedenle sıcak bunkerlerde, agreganın belirli bir seviyenin altına düşmesi ya da üstüne çıkması durumunda uyarı veren duyargalar mevcuttur. Bu duyargalar sayesinde sıcak bunkerlerde agreganın tükenmesi önceden engellenmekte ve üretimin devamlılığı sağlanmaktadır. Ayrıca bu duyargalar, bunkerlerin aşırı dolmasını ve bunkerler arası farklı gradasyondaki agregaların karışmasını önlemektedir. Sıcak bunkerlerde bulunan agregalar, karışıma katılmak için tartılmalıdır. Tartım işlemi, sıcak bunkerlerin hemen altında bulunan tartım kovalarında yapılır. Biriktirmeli olarak tartılan malzeme, bir harman için yeterli toplam kütleye ulaştığında, tartım kovası kapakları açılır ve agrega mikserlere boşaltılır. Tartım kovasından miksere boşaltılan agrega, uygun miktarda bitümlü bağlayıcının, kapalı ve izoleli kovalarda tartılıp, karışıma eklenmesinden sonra karıştırılmaya başlanır. Bitümün karışıma eklenmesi, sprey çubuğu aracılığıyla, püskürtme işlemi ile gerçekleştirilir.

Bunkerlerin kapağının açılmasından, mikserin kapağının açılmasına kadar geçen süreye karıştırma süresi denir. Karıştırma süresi, karışıma giren malzemelerin uniform bir şekilde dağılmasını sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Fakat, çok uzun süreli karıştırma işlemlerinde, bitümlü bağlayıcının hava ile aşırı temas etmesini ve yapısının bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle, kaliteli bir üretim gerçekleştirmek için karıştırma süresinin optimum değerinin belirlenmesi önemlidir. Aşağıdaki Şekil 4.25'te mikserde gerçekleştirilen karıştırma işleminin adımları, açıklamalarıyla beraber görülmektedir (Asphalt Institute, 1998).



Şekil 4.24 : Ağırlıklı (Batch) tip asfalt plenti prosesleri akış şeması.



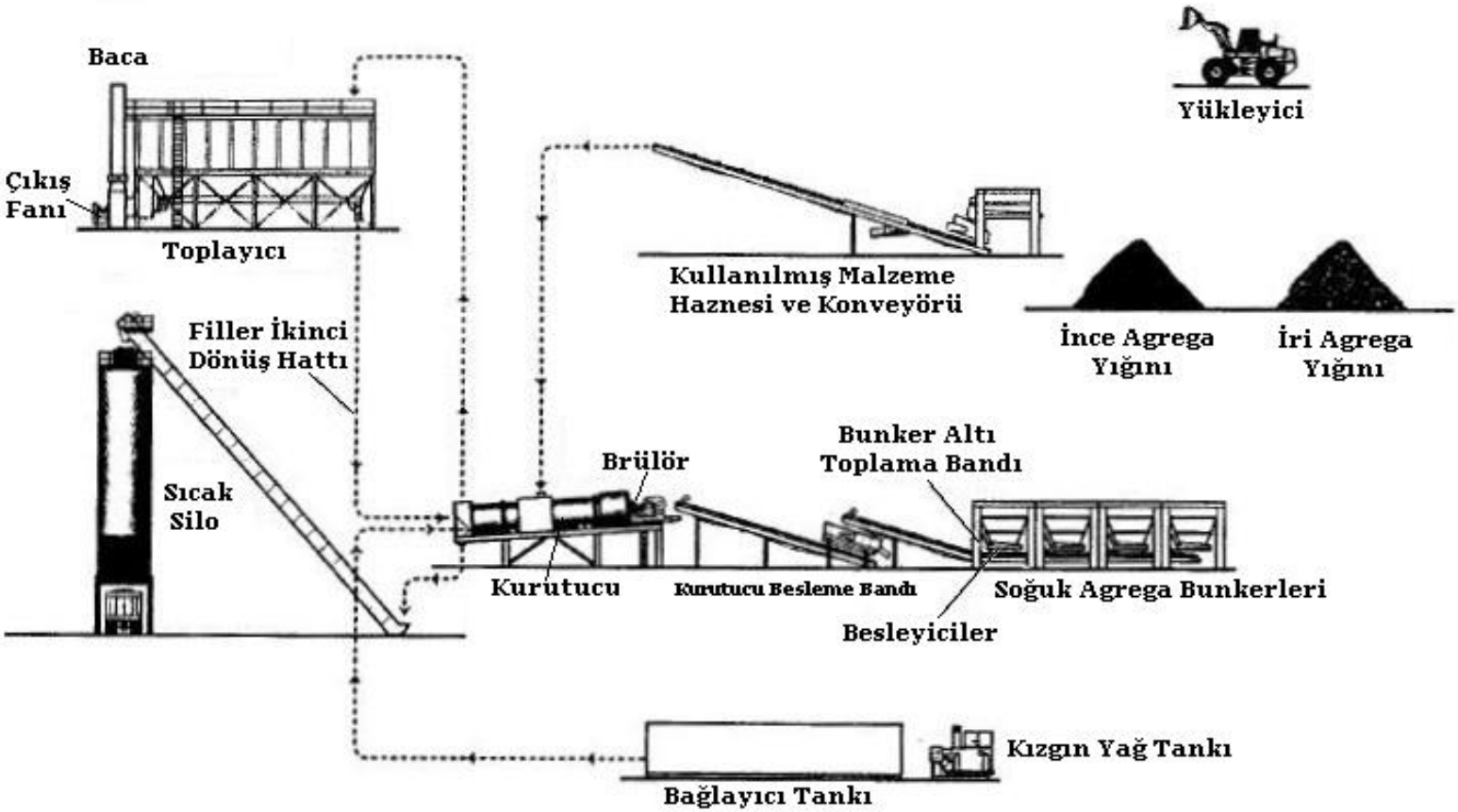
Şekil 4.25 : Agrega ve bağlayıcının mikserde karıştırılması.

4.3.4 Sürekli tip asfalt plentleri

Sürekli tip asfalt plentlerinde üretim şekli, ağırlıklı tip asfalt plentlerine göre daha basittir. Bu tip plentlerde karıştırma işlemi kurutucuda ya da ek bir döner mikserde gerçekleştirilmektedir. Sürekli tip üretim yapan plentlerdeki kurutucu, ağırlıklı tip plentlerin kurutucularına benzemektedir. Aralarındaki tek fark, sürekli tip plentlerde kurutucu içerisinde agreganın nemden arındırılmasından sonra karıştırma işleminin de yapılmasıdır. Sürekli tip plentlerde, agrega elekleri, sıcak bunkerler, tartım kovaları ve mikser şaftlı mikser yoktur.

Agrega gradasyonu soğuk besleme ile kontrol edilmektedir. Agreganın kırma–eleme tesisinden ya da soğuk bunkerlerden doğru gradasyonda gelmesi çok önemlidir, çünkü karışıma girecek malzeme miktarını denetleyecek başka ölçüm sistemi yoktur. Sürekli tip plenltere ait prosesler Şekil 4.26'da görülmektedir (Asphalt Institute, 1998).

Soğuk bunkerlerde depolanmış malzeme, kurutucu besleme bandı ile karışım işleminin de gerçekleştirildiği kurutucu/miksere aktarılır. Bu tip plentlerde, kurutucu besleme bandında kantar sistemi bulunmaktadır. Bu nedenle, kurutucu besleme bandı, tartılı besleyici bant sistemi olarak da bilinmektedir. Plentteki bu kantar, karışıma bağlayıcı bitümü pompalayan sistemle uyumlu olarak çalışmaktadır.



Şekil 4.26 : Sürekli (Continuous) tip asfalt plenti prosesleri akış şeması.

Kurutucu/mikserin içerisinde agrega ve bağlayıcı karıştırılırken, emisyon kontrol sistemi tarafından açığa çıkan toz ve filler tanecikleri toplanır. İstenilen karışım sağlandıktan sonra hazırlanmış olan asfalt betonu, kurutucu/mikserden sıcak silolara aktarılır ve uygulama için bu sıcak silolardan kamyon ve diğer taşıyıcı araçlara aktarılır. Sürekli tip plentlerde üretim, isminden de anlaşılacağı gibi kesintisiz bir şekilde olmalıdır. İstenilen kaliteye ulaşmak için bu tip plentlerde sistem, üretime giren malzemeler tarafından uniform bir şekilde beslenmelidir. Uniform olmayan malzemelerle besleme yapılması ya da plent rejimini bozacak duraklamalar, kaliteli asfalt betonu üretilmesinde büyük ölçüde engel teşkil etmektedir.

4.3.5 Asfalt plentlerinde otomasyon

Asfalt plentlerinde üretim aşamaları önemli ölçüde gözlem gerektiren bir yapıdadır. Günümüzde üretim aşamaları otomasyon sistemleri ile en iyi şekilde gözlemlenmektedir. Karışıma girecek agrega miktarı, kurutucu içerisindeki sıcaklık, bitümlü bağlayıcının sıcaklığı, emisyon sisteminin basıncı ve bu değerler gibi üretim için önem taşıyan birçok değer, bilgisayarlı otomasyon sistemleri ile takip edilmektedir. Otomasyon sistemleri genel olarak dört bölümden oluşmaktadır. Bu bölümler;

Otomasyonun yapıldığı bilgisayar ve masası

PLC (Programmable Logic Controller) ve kumanda piyano panosu

Motor kontrol ve güç panoları

Saha cihazları'dır.

Otomasyon sisteminin sağladığı avantajlar ise şunlardır;

Sistemdeki tüm ekipmanların arıza durumları, anında otomasyon sisteminden izlenebildiğinden arızaya zaman kaybetmeden müdahale söz konusudur.

Son kullanıcının istekleri de göz önünde bulundurularak oluşturulmuş senaryoya göre çalışan otomasyon sistemi, saha ekipmanlarına hatasız kumanda edeceğinden dolayı insan inisiyatifinde çalışan sistemlere oranla çok daha güvenli ve tehlikesiz olacaktır.

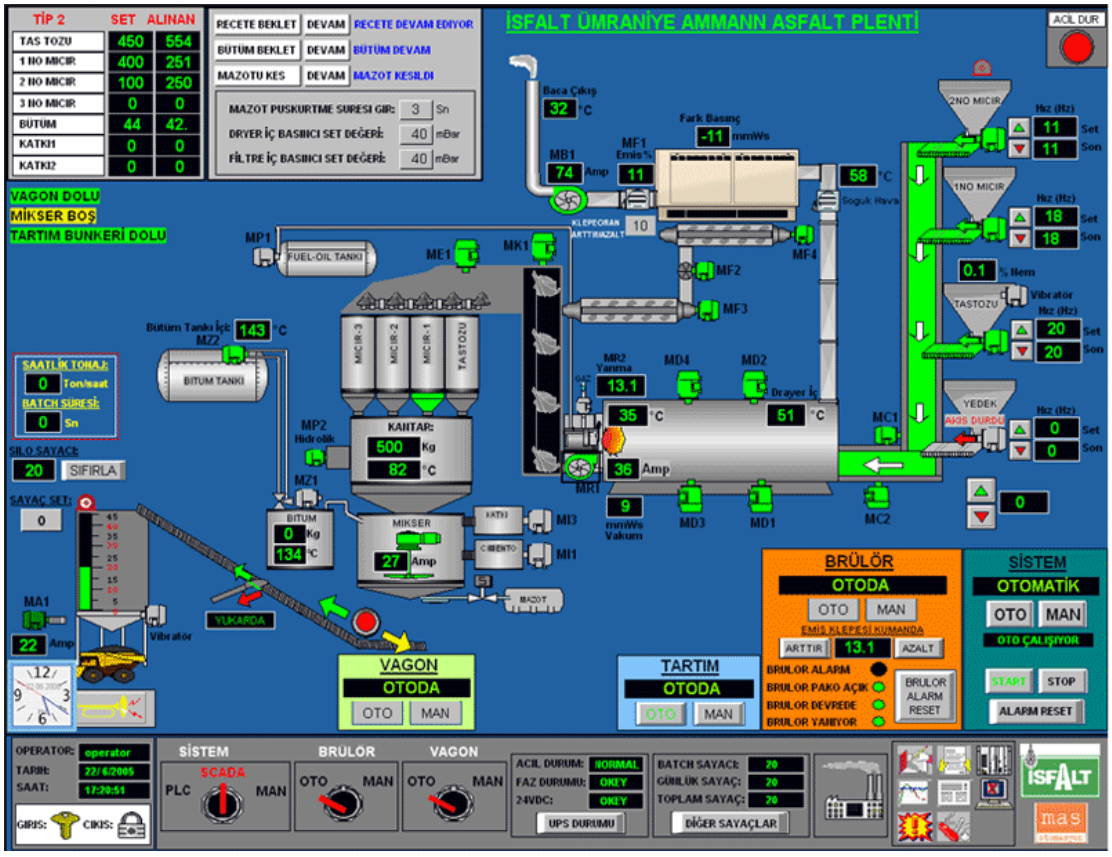
Otomasyon sistemleri, insan hatalarını ortadan kaldırdığı gibi çok az sayıda bir personelle de kontrol altında tutulabilir.

Sistemin çalışması modernize edilmiş olup sistemdeki ekipmanların ömrünü uzatır.

Sisteme ait parametrelerin anlık değerlerinin izlenebilmesinin yanında geçmişe dönük değerlere de ulaşmak mümkündür. Bunları rapor halinde alabilme imkânı da mevcuttur. Böylece tüm tesisin performansı hakkında bilgi sahibi olunur ve gerekli tedbirlerin zamanında alınmasına imkân verir.

Son teknoloji ile kurulan otomasyon sistemleri, yazılım ve donanım olarak son derece açık sistemlerdir. Sonradan genişleyebilme ve değiştirilebilme özelliklerine sahiptir. Hatta başka sistemler de otomasyon sistemine entegre edilebilir (Url -8).

Aşağıdaki Şekil 4.27'de İsfalt A.Ş. Ümraniye asfalt plentinde kullanılan otomasyon sistemine ait bir bilgi ekranı görülmektedir.



Şekil 4.27 : Asfalt plenti otomasyon sistemi bilgi ekranı (Mas Otomasyon).

4.3.6 Asfalt plent seçiminde dikkat edilmesi gereken hususlar

Önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, asfalt plentleri üretim şekillerine göre iki farklı tipte değerlendirilmektedir. Bu tipler, ağırlıklı (batch type) ve sürekli (drum type) olarak üretim yapan plentlerdir. Üretim metotları ve proses aşamaları önceki

bölümlerde açıklanmış olan bu plentlerin, bu bölümde seçiminin yapılmasında dikkat edilmesi gereken kriterler ele alınacaktır.

Ağırlıklı tip asfalt plentlerinde üretim döngüsü, her seferinde bir harman üretimin yapılmasıyla tamamlanır ve kapasiteleri 1 saat içerisinde yaptıkları toplam harman miktarının ton olarak ölçülmesiyle elde edilir. Bu kapasiteler 120 ton/saat değerlerinden başlayarak, 540 ton/saat değerine kadar çıkabilmektedir.

Ağırlıklı tip asfalt plentlerinin en önemli avantajlarının başında, makul stok oranları ile ihtiyaca yönelik üretimin rahatlıkla karşılanmasıdır. Kapsamında bulunan eleklerin boyutlarına göre sıcak karışımdaki agreganın gradasyonunu ayarlama özelliğine sahip olan ağırlıklı tip plentler, istenilen reçeteye göre elek boyutlarının değiştirilmesine de olanak sağlamaktadır.

Örneğin, 3/8 inçlik elek kullanarak bir kamyon için küçük bir karışım üretebilmekte, sonra 3/4 inçlik eleğe geçilerek ikinci kamyon için başka bir karışım hazırlanabilmekte ve 1/2 inçlik diğer bir elek kullanarak üçüncü kamyonun karışımı hazırlanabilmektedir. Ağırlıklı tip plentlerde üretim bir çok adımın gerçekleşmesi ile yapılmaktadır. Bu adımlar ağırlıklı tip asfalt plentlerine çok yönlü olma özelliğini kazandırmakla birlikte, aynı tip karışımı hazırlayan operasyonlar için bir zayıflık oluşturmaktadır.

Ağırlıklı tip asfalt plentlerinde üretim zamanının %30' u sıcak bunkerlerdeki agregaların tartılması ve boşaltılmasında harcanmaktadır. Bu nedenle sürekli aynı tip karışımın üretildiği ve karışım reçetesinde sıklıkla değişimin gerçekleşmediği üretimlerde, ağırlıklı tip asfalt plentlerinin kullanılması tercih edilmemektedir (Roads&Bridges, 1997).

Sürekli tip asfalt plentlerinde üretim, her seferinde bir harman şeklinde olarak değil, süreklidir. Sistem istenilen karışım reçetesine uygun olarak beslendiği sürece üretim devam eder. Agregaların kurutulduğu ısıtıcı tambur, içerdiği mikser sayesinde aynı zamanda karışımın gerçekleştiği yerdir. Sürekli tip asfalt üretim plentlerinin kapasiteleri 4 ton/saat değerinden, 800 ton/saat değerlerine kadar çıkmaktadır. Fakat yaygın olarak 150 ton/saat ve 400 ton/saat aralığında kapasiteye sahip asfalt plentleri tercih edilmektedir.

Ağırlıklı tip asfalt plentlerine göre sürekli tip asfalt plentlerinde üretim, birçok prosesin elemine edilmesinden dolayı daha basite indirgenmiş ve dolayısı ile daha

ekonomik bir hale gelmiştir. Bu tip plentlerin diğer bir avantajı ise üretimin sürekli olmasından kaynaklanan yüksek kapasiteleridir. Fakat farklı karışım reçetelerinin üretilmesi gerektiği durumlarda sürekli tip plentler tercih sebebi olmamaktadır. Çünkü, farklı tip karışımların oluşturulabilmesi için bu tip plentelerde fazla silolara, operasyon gücüne ve ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Genellikle büyük ve aynı tip üretimlerin yapılacağı durumlarda sürekli tip asfalt plenlteri seçilmektedir.

Kısacası, ilk yatırım maliyetleri yüksek olan asfalt plentlerinin seçimini yaparken, yatırımın uzun ömürlü olmasına, işletme giderlerinin ekonomik olmasına, kullanımının pratik olmasına, servis ve yedek parça temininin kolay olmasına dikkat edilmelidir. Ülkemiz koşulları göz önünde bulundurulduğunda, ağırlıklı tip asfalt plentlerinin ülkemiz koşullarına daha uygun olduğu görülmektedir (Roads&Bridges, 1997).

4.4 Asfalt Betonunun Uygulanması

Bitümlü karışım dizayn çalışmalarında, asfalt ve agrega üzerinde ocağın uygunluğu ile kullanılacak bitümün iklim koşullarına uygun tipi tespit edilir. Katı ve yarı katı asfaltların Türk standartlarında belirtilen ve karışım çalışmalarında gerekli olacak bütün deneyler yapılır. Karışım çalışmalarında kullanılan agrega (mıcır) taş ocağının etüdü Araştırma Dairesi Başkanlığınca yapıldıktan sonra blok taşların kırılıp belli elek gruplarına ayrılması ve kullanılacak kaba, orta ve ince agrega ile filler malzemelerinin fiziksel özellikleri tespit edilir. Arazi karışım formülü (mix-design) tayin çalışmaları ve karışımda kullanılacak agrega granülometrisi ve bitüm yüzdesi tespitinden sonra, Marshall metoduna göre çeşitli karışım çalışmaları yapılarak en uygun kriterler saptanır. Saptanan karışım kriterlerinin başında;

Stabilite,

Dansite,

Akma,

Boşluk nispeti,

Asfaltın işgal ettiği boşluk nispeti, gelmektedir (Url -9).

4.4.1 Asfalt betonu serilmeden önce yol güzergahının hazırlanması

Asfalt Plentlerinde hazırlanan sıcak bitümlü karışımların yola serilmesinden önce uygulama yapılacak bölgenin serme işlemi için hazırlanması gerekmektedir. Bu hazırlık için sırasıyla ince reglaj, süpürme, astar ve yapıştırma tabakası işlemleri yapılmalıdır.

İnce reglaj, projesindeki kot ve eğime göre yapılmış temel tabakasının üzerine asfalt kaplama serilmeden önce sathın düzeltilmesidir ve bunun için aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

Tamamlanmış granürler satıh tabakasında herhangi bir biçimde (yağmur, trafik v.s.) bozulmuş kesimler (çökme, ondülasyon, çukur v.s.) kabartılıp kotuna ve eğimine uygun olarak sıkıştırılmalıdır.

Satıhta çatlaklar bulunuyorsa geniş ve derin olarak kazılmalı, uygun bir malzemeyle doldurulup sıkıştırılmalıdır.

Satıhta görülen killi kesimler ve yabancı maddeler söküp atılmalı, projesine uygun olarak takviye edilip sıkıştırılmalıdır (Url -9).

Süpürme, astarlama yapılmadan önce satıhtaki toz, toprak ya da gevşek malzemeler temizlenmelidir. Bu amaçla araçların arkasına takılabilen mekanik süpürgelerle yol sathında temizleme yapılır. Bu işlem, öteki tabakalarda da yapıştırma tabakasının uygulanmasından önce yapılmalıdır.

Süpürme işlemi, mekanik süpürge yardımıyla karayollarında, yolun ekseninden banketlere doğru, otoyollarda sol şeritten bankete doğru yapılmalıdır. Mekanik süpürgenin tamburuna yol ekseniyle belirli bir açı verilerek şeritler halinde süpürme yapıldığında, süprüntü malzemesi dışarı doğru atılacaktır. Süpürme yapılacak satıhların rutubeti % 2 den fazla olmamalıdır. Aksi durumda yeterli temizlik elde edilemez. Ayrıca mekanik süpürgenin hızı 30 km/sa' den fazla olmamalıdır (Url -9).

Astar tabakası, temel tabakası üzerine belirli bir miktarda sıvı asfalt püskürtülerek uygulanan, bitümlü sıcak kaplamaların ilk uygulamasıdır. Astar tabakası aşağıda açıklanan fonksiyonları sağlar.

Temel tabakasına belirli bir miktar nüfus ederek delikleri tıkar. Böylece kapileriteyi önleyerek yeraltı sularının asfalt tabakasıyla temasını keser.

Satıhtaki serbest malzemeyi bağlayarak belirli bir mukavemet kazandırır.

Temel tabakasıyla kaplama tabakası arasındaki adezyonu sağlar.

Kaplama öncesi temel tabakasının bakım ve onarım gereksinimini azaltır (Url -9).

Granüler temel ve plent-miks temellerin serilmesinden kısa bir süre sonra asfalt betonu inşa edilecekse, astarlama tabakasının yapılmasına gerek duyulmamaktadır. Fakat temellerin uzun süre açıkta kalacağı ya da trafiğe açılacağı, kısacası asfalt betonunun inşa edilmesinin süreç alacağı ve temel üzerine gelecek asfalt kaplama miktarının toplam 10 cm' den az olacağı durumlarda astar tabakası uygulanır.

Astar tabakası uygulanmadan önce nem oranının uygun sınırlar içinde olmasına dikkat edilmelidir. Hava şartlarının uygun olmadığı (5º C' nin altında olduğu) ve satıhta aşırı nem bulunduğu durumlarda astar tabakası uygulanmamalıdır. Astar tabakasının yayılması distribütörler ile yapılarak, serilen yüzeylerde metrekareye 0,5 – 2,5 litre arasında malzeme atılması sağlanmalıdır. Aşağıdaki Çizelge 4.5'te ülkemiz karayollarında kullanılan astar malzemeleri ve uygulama sıcaklıkları yer almaktadır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Çizelge 4.5 : Astar malzemesinin püskürtülme sıcaklıkları.

Astar Malzemesi	Püskürtme Sıcaklıkları
MC - 30	30º C - 50º C
Bitüm Emülsiyon	20º C - 70º C

Yapıştırma tabakası, gerek asfalt tabakaları gerekse astar tabakası üzerine yapışması (adezyon) sağlamak amacıyla yapılan sıvı asfaltın püskürtme yoluyla uygulanmasıdır. Yapıştırma tabakası uygulanmadan önce yolun yüzeyi güzelce temizlenmelidir. Yapıştırıcı malzemeler hangi araçla serilirse serilsin, 0,15 – 0,50 litre/m2 olacak miktarda homojen bir şekilde uygulanan bölgeye dağıtılmalıdır. Yapıştırma tabakasının günlük uygulamasının, aynı gün içerisinde yapılacak olan asfalt betonunun alanı kadar olmalıdır. Aşağıdaki Çizelge 4.6'da ülkemiz karayollarında kullanılan yapıştırıcı malzemeleri ve uygulama sıcaklıkları yer almaktadır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Çizelge 4.6 : Yapıştırıcı malzemesinin püskürtülme sıcaklıkları.

Bitümlü Malzeme	Püskürtme Sıcaklıkları
RS1	20º C - 60º C
RS2	50º C - 85º C
CRS1	50º C - 85º C
CRS2	60º C - 85º C

4.4.2 Asfalt betonunun yola serilmesi

Sıcak bitümlü karışımlar plentlerde hazırlandıktan sonra kamyonlarla serim yerine getirilir. Serim yerinde ise istenilen kalınlıkta ve eğimde finişerler (sıcak bitümlü karışımların sericisi) yoluyla serim yapılır ve sıcak durumdayken sıkıştırılır. Şekil 4.28'de asfalt betonu serici finişer görülmektedir.



Şekil 4.28 : Asfalt finişeri (Voegele).

Sıcak bitümlü karışımlar plentten çıktıklarında yaklaşık 150° C' lik bir ısıya sahiptir. Serim yapılacak yere kadar taşınması sırasında ısılarını kaybederler. Bu ısı kayıplarının nedenleri şu şekilde açıklanabilir;

Süre: Taşıma süresi uzadıkça karışım çevreyle ısı alış verişi yapacağında ısı düşer.

Hava Koşulları: Hava ısısı düştükçe ısı kaybı da artar. Rüzgâr arttıkça karışımın ısı kaybı da artar. Rüzgârın etkisi hava ısısının etkisinden daha fazladır.

Kamyon Kapasitesi: Bitümlü karışımın miktarı arttıkça ısı kaybı azalır.

Kamyon Hızı: Kamyonun hızı arttıkça ısı kaybı da artar.

Karışımın Örtülmesi: Kamyondaki karışımın üzeri örtülürse ısı kaybı azalır (Url -9)

Plentten çıkan karışımı kamyonlara yüklemeden önce, karışımın kamyonların kasasına yapışmasını önlemek için, ince yağla yağlamak ya da deterjan solüsyonu

sürmek gerekir. Ancak uygulamada sık kullanılan bir yöntem olan mazotla kasanın ıslatılmasına asla izin verilmemelidir. Finişere taşınan karışımın serim sırasındaki ısısı 110 °C'den az olmamalıdır. Aksi durumda serim ve sıkıştırmada ortaya sorunlar çıkmaktadır. Bitümlü karışım yüklü kamyon geri geri finişere yaklaşarak tekerlekleri iticilere değdiğinde damperini kaldırarak bir miktar karışımı finişere boşaltır. İletici bantlar karışımı ön taraftan arka tarafa iletir. Arka tarafta bulunan spiraller yardımıyla segregasyona izin vermeden tabla boyunca karışım enine doğru yayılıp serilir. Finişer tarafından itilen kamyon boşalana kadar bu işlem sürdürülür.

İstenilen kalınlıkta ve eğimde serme işlemi yapabilmek için finişerlerde aşağıdaki özellikler bulunmaktadır.

Kalınlık ayarı, kaplamayı istenilen kalınlıkta (sıkıştırma nedeniyle olacak çökmelerde göz önüne alınarak) serebilmek için sıkıştırmadan önce malzeme verilecek kalınlığı ayarlayabilen bir sistem bulunur. Böylece istenilen kalınlıkta malzeme serilebilir.

Eğim ayarı, kaplamayı istenilen eğimde (istendiğinde her iki yöne) serebilmek için gerekli ayar tertibatı bulunur. Özellikle dever nedeniyle kurblardaki eğim sürekli olarak değiştiğinden, serim sırasında da bu eğimi verme zorunluluğu vardır.

Duyargalar, finişere bir kalınlık ayarı yapıldığında sürekli bu kalınlıkta malzeme serer. Serim yapılan temel tabakası aynı kottaysa sorun olmayacaktır. Ancak bu her zaman mümkün olmayacağından serim yapılan tabakanın istenilen kotta serim yapılması istenir. Son yıllarda geliştirilen hassas cihazlar sayesinde istenilen kotta serim yapılabilmesi mümkün olabilmektedir. Bu elektronik aletin kullanılabilmesi için yol boyunca çelik halatlar gerilir ve topograflar tarafından kodlandırılır. Duyarganın ayağı birinci şerit üzerinde yürür ve öteki şeritlerde bu şekilde yapılarak işlem sürdürülür.

Vibrasyon ve bıçaklar, finişerin itici merdaneleriyle kamyonun arka tekerleklerinden itilirken finişerin kazanına kamyondan dökülen karışım iletici bantlar yoluyla ayrı tünelden spirallere gelir. Spiraller yardımıyla yanlara doğru itilen karışım tabla yoluyla eşit kalınlıkta serilir. İletici bantlarla spiraller senkronize olarak finişerin hızıyla orantılı olarak çalışır. Serme sırasında tabla boyunca ayarlanabilen hızda aşağı ve yukarı olarak bıçaklar hareket ederek, yoğurma etkisiyle karışımı sıkıştırırlar. Ayrıca tablada bulunan vibrasyon sıkıştırmaya karşı direnç gösteren

taneleri harekete geçirerek sıkışmaya uygun en iyi konuma getirir, tablanın ağırlığı ve yoğurmanın etkisiyle sıkıştırma gerçekleşir. Son yıllarda geliştirilen finişerlerde serim sırasında sıkışmanın %80-95'i tamamlanabilmektedir. Başlangıç sıkışmasına etki eden hususlar şunlardır:

Vibrasyonun-frekansı(genlik)

Bıçakların-çalışma hızı

Malzeme tipi ve ısısı

Serme hızıdır.

Finişerlerde vibrasyon ve bıçak için en uygun hız, bıçaklar için 1200 dev/dk, vibratör için 2400 dev/dk olmakla birlikte serme kalınlığı ve hızı arttıkça ayarlama yapılmalıdır. Ancak vibratörün hızının bıçak hızının iki katı olması gerekir.

Malzeme kabalaştıkça sıkışma için daha çok vibrasyon gerekecektir. Malzemenin ısısı düştükçe sıkışmaya karşı direnç artacağından daha çok vibrasyon gerekir. Ayrıca, finişerlerle temel ve çimento stabilizasyonlu temel tabakaları serilmektedir. Bu durumda kalınlık daha çok artacağından sıkıştırma için vibrasyonun etkisi artırılmalıdır. Serme hızı arttıkça ön sıkışma azalacaktır.

Finişerle sıcak bitümlü karışımların serilmesinden sonra, ancak sıkıştırmadan önce bir takım yanlış ve/veya bozuk görünüşlü satıhlar elde edilebilir. Nedenleri bilindiği takdirde bu yanlışlar anında giderilebilir (Url -9).

4.4.3 Asfalt betonunun sıkıştırılması

Yol inşaatında üst yapı ve dolgu işlerinin her aşamasına sıkıştırma işlemi en önemli unsur olarak yer almaktadır. Bu nedenle sıkıştırma sırasında gereken özen gösterilmelidir. Asfalt karışımlarında sıkıştırmaya etki eden unsurlar şunlardır:

Asfalt çimentosunun viskozitesi

Karışımın ısısı

Sıkıştırma artarken karışımın yoğunluk ve stabilitesinin artma hızı

Serilen karışımın soğuma hızı

Sıkıştırma ekipmanının tipi, sayısı ve hızı

Sıkıştırılan tabakanın kalınlığı

Agreganın cinsi ve gradasyonu, filler miktarı

Karışımda asfalt yüzdesi

Karışımın boşluk oranı

Birçok unsurun etkisinden dolayı sıkıştırma işlemi dikkatli bir şekilde yapılmalıdır. Bu nedenle sıkıştırma işlemine başlamadan önce kesinlikle bir deneme kesiminden başlanmalı, karışımın, sıkıştırma ekipmanıyla geçiş sayısı-yoğunluk ilişkisi saptanmalıdır. İyi bir sıkıştırma için uygun bir sıkıştırma makinesinin seçimi ve operatörün yetenek ve dikkati çok önemlidir. İyi bir sıkıştırma için aşağıdaki hususların iyi bir kombinasyonu gerekir.

Optimum asfalt yüzdesi

Temas basıncı

Silindir çizgisel yük ya da lastik yükü

Yoğurma etkisi

Sıkıştırma direnci

Seerilen asfalt betonunun sıkıştırılması aşağıdaki makineler ile yapılmaktadır:

Demir bandajlı (tandem ya da 3- akslı)

Vibrasyonlu

Bu sıkıştırma makinelerini ayrı ayrı incelemek gerekir;

Demir Bandajlı Silindir: Asfalt kaplama uygulamalarında ilk kullanılan silindirler olup statik etkiyle sıkıştırma yaparlar. Tandem (2 akslı) ve 3- akslı tipleri olup, 4-6 ton gibi hafif, 6-8 ton gibi orta ağırlıkta ve 8-12 ya da daha fazla ağırlıkta tipleri vardır. Ayrıca tranşe üzeri asfalt kaplamalarında ya da kaldırımlarda kullanılmak üzere daha hafif ve elle çekilebilir sıkıştırma makineleri de vardır.

Toprak sıkıştırmada ön kısımda demir bandaj, arka kısımda bir çift lastik tekerlekli olan tipleri de kullanılmakla birlikte, asfalt kaplamalarında kullanılması uygun değildir. 3-akslı demir bandajlı silindirlerin etkileri ağırlıklarıyla, büyükleriyle saptanmayıp çizgisel yük değerleriyle büyüklüklerine göre sınıflandırılır. Çizgisel yük bir bandaja düşen yükün, bandaj genişliğine bölümüyle elde edilen kg /cm cinsinden bir değerdir (Url -9).

Vibrasyonlu Silindirler: Demir bandajlı silindirlere eklenen titreşim etkisiyle elde edilen bu silindirler son yıllarda hızla yaygınlaşmıştır. Tek ya da çift bandajlı vibrasyon etkisi olabilir.

Vibrasyonlu sıkıştırmaların en önemli yararları şunlardır;

Özellikle ek yerlerinde en iyi sıkıştırmayı sağlarlar.

Kalın tabakaların sıkıştırılmasında daha iyi sonuç verirler.

Soğuk ve rüzgârlı havalarda daha az geçişe gereksinim duydukları için daha elverişlidirler.

Vibrasyonlu sıkıştırmada demir bandajlılara göre daha homojen sıkışma elde edilir.

Demir bandajlılarda kenar şeritler orta şeritlere göre daha az sıkışırken vibrasyonlu silindir de daha az sıkıştırma elde edilir.

Manevra sırasında kesinlikle vibrasyon yapılmamalıdır.

Silindir izleri oluşturmamak için sıkıştırmalar vibrasyonsuz olmalıdır (Url -9). Aşağıdaki Şekli 4.29'da vibrasyonlu silindir görülmektedir.



Şekil 4.29 : Vibrasyonlu silindir (Dynapac).

Sıcak bitümlü karışımların her bir tabakasında silindiraj sırası aşağıda açıklandığı gibi olmalıdır;

İlk silindraj, hafif demir bandajlı silindirler kullanılarak yapılan ilk silindiraj, karışımın yola serilmesinden hemen sonra, beklemeksizin ve kaplama üzerinde bir

noktadan en az iki geçiş ile yapılmalıdır. İlk silindiraj sırasında karışımın ötelenmesine engel olunmalıdır. İlk silindiraj, gerektiği durumlarda lastik iç basıncı ayarlanabilen kendinden hareketli lastik tekerlekli silindirler (pnömatik silindirler) kullanılarak ta yapılabilir (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

İlk silindiraj finişerin arkasından, serimden sonra yapıldığından karışım ısısı yüksektir. Eğer karışımın ısısı çok fazlaysa bu durumda yapılacak ilk silindiraj kaplamada çoğu zaman düzeltilmesi olanaksız bozulmalara yol açar. Buna yüksek silindiraj ısısı denir. İyi bir silindir operatörü ilk silindirajda bozulmalara neden olmayacak en yüksek ısıda silindiraja başlamalıdır. İlk silindirajda demir bandajlı silindir kullanılacaksa yürütücü bandaj (Tahrik Tekeri) önde olmalıdır. Aksi durumda bandajın önünde yığılmalar oluşarak dalgalanmalara neden olur. İlk silindirajda ve yüksek silindiraj ısılarda bu hususa dikkat edilmelidir. İlk silindirajda malzemenin bandajlara yapışmasını önlemek için bandaj yeterince ıslak tutulmalıdır. Ancak gereğinden fazla su vermek kaplama için zararlı olacaktır. Bandaja püskürtülen suda köpürmeyen deterjan ya da suda eriyebilen yağlar katılırsa ıslatma suyu gereksinimi azalacağından yarar sağlayacaktır. Ancak bu amaçla yapışmayı minimuma indirmek için mazot kesinlikle kullanılmamalıdır (Url -9).

Ara silindraj, ilk silindirajdan sonra uygulanan ikinci, üçüncü, dördüncü v.s. sıkıştırmaların, son silindirajdan önceki tüm geçişlerini kapsar. Ara silindirajda pnömatik silindirlerin kullanılması yoğurma etkisi nedeniyle homojen bir sıkıştırma elde edildiğinden en ideali olmakla birlikte son yıllarda özellikle kalın tabakalarda vibrasyonlu silindirler kullanılmaktadır. Ara silindirajda dikkat edilecek en önemli husus; kılcal çatlaklar oluşturmayacak ya da önceki silindir izlerini giderecek biçimde sıkıştırma yapmaktır. Ara silindirajda pnömatik silindirlerin lastik iç basınçları, kaplama deformasyonuna izin vermeyecek kadar yüksek tutulmalıdır. Sıkışmanın ve karışım ısısının yüksek olduğu ilk geçişlerde, lastik iç basınçları arttırılarak, sıkıştırma sürdürülmelidir (TCK Teknik Şartnamesi, 2006). Aşağıdaki Şekil 4.30'da lastik tekerlekli (pnömatik) silindir görülmektedir.

Ara silindirajda vibrasyonlu silindirler kullanılacaksa ilk geçişlerde vibrasyon etkisi bozulmalara neden olmamalıdır. Ara sıkıştırmanın son geçiş veya geçişlerinde, vibrasyonsuz sıkıştırma yapılması silindir izleri oluşturmaması açısından gereklidir.



Şekil 4.30 : Pnömatik silindir (Dynapac).

Son ütüleme silindraj, sıkıştırmanın son aşaması olup ve tüm silindir izleri ve kılcal çatlaklar giderildiğinden ütüleme olarak da adlandırılır. Kaplamada sıkışmalar tamamlandığı ve karışım yeterince soğuduğu için ağır demir bandajlı silindirler kullanılmalıdır. Ancak ağır ve lastik iç basıncı fazla pnömatik silindirler de kullanılabilir. Silindirler herhangi bir nedenle kaplamada herhangi bir bozulma meydana getirmişse bu kısımlar tırmıkla gevşetilip düzeltilip yeniden sıkıştırılmalıdır. Sıkıştırılan kaplama ortam sıcaklığında soğuyana kadar kesinlikle üzerinde herhangi bir ağır iş makinesi, v.s. bekletilmemelidir. Sıkıştırılan kaplama, kür süresi olan 4 saat içinde trafiğe açılmamalıdır (Url -9). Aşağıdaki Çizelge 4.7'de binder ve aşınma tabakaları için sıkışma ve yüzey kalınlık özellikleri yer almaktadır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Çizelge 4.7 : Sıkışma ve yüzey kalınlık özellikleri (TCK tablo 407-13)

Özellikler	Binder Tabakası	Aşınma Tabakası
Sıkışma, işyeri karışım yoğunluğunun %' si		
- tek değer olarak	96	97
- ortalama değer olarak	98	98
Sıkışmış tabakanın hava boşluğu, ortalama % maksimum	7	6
Sıkışmış tabakanın kalınlık (h) toleransları		
- tek değer olarak	± 0,1 h	± 0,1 h
- ortalama değer olarak	h - h+0,1 h	h - h+0,1 h

4.5 Asfaltın Yeniden Değerlendirilmesi

Avrupa' daki birçok ülkede ve Amerika' da sıkça kullanılan geri dönüşüm uygulamalarından biri olan asfalt geri dönüşümü ne yazık ki ülkemizde şu an için yaygın olarak kullanılmamaktadır. Petrol ürünlerinin fiyatlarındaki büyük artış, kaliteli agrega temininin güçleşmesi sonucunda asfaltın yeniden değerlendirilmesine olan ilgi oldukça artmıştır. Bu uygulamanın en önemli avantajlarından biri de, yeni kaplamalarda özellikle şehir içi yollarda büyük problem olan kot artmalarını engellemesidir. Geri dönüşüm işlemleri satıhtaki mevcut kaplamanın kazınıp, santrale götürüldükten sonra yeniden işlemden geçirilip tekrar kaplama malzemesi haline dönüştürülmesiyle veya aynı sıcak veya soğuk karışım asfalttaki gibi özel ekipmanlar kullanmak suretiyle, yerinde kaplamayı kazıma, gençleştirme ve yeniden kaplamanın serilmesi şeklinde gerçekleşir.

Eski kaplamaların ıslah edilmesinde iki ana yöntem kullanılır. Yaygın yöntem, kaplamanın kesici dişli buldozer ekipmanı ile veya kepçe ile kırılması ve asfalt santraline taşınarak 38 mm vea daha küçük boyutlara sahip granül malzeme haline dönüştürülmesidir. Bununla birlikte yerinde öğütme metodu daha üstün bulunur. Eski kaplama uygun derinlikte kazınarak istenen boyuta düşürülür. Kazıma derinliği, verilmesi gereken enine eğime göre değişiklik gösterir, böylece teker izi ve diğer kaplama hasarlarına karşı önlem alınmış olunur (Atkms & Harold, 1997).

Genellikle asfalt geri dönüşüm santrallerinde % 70 oranında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılarak üretim yapılır. Yani agrega hızlı bir şekilde ısıtıldıktan sonra, geri dönüştürülmüş malzeme yeni malzemeye yan yana bir oranda eklenerek sıcak gazlarla tekrar ısıtılır. Farklı bir tankta yeni asfalt eklemek suretiyle karışım tamamlanır. Sonuçta elde edilen karışım asfalt çimentosunun kalite açısından orijinaline yakın olmalıdır. Yaklaşık % 4 oranında yeni asfalta ihtiyaç vardır. Buda yeni malzeme açısından % 4-7 arasında tasarruf anlamına gelmektedir. Yeni asfalt, AC 10 (pen 85-100) yerine AC 5 (pen 120-150) gibi, eskisine nazaran daha yumuşaktır. Yerinde asfalt geri dönüşüm uygulaması; yerinde sıcak karışım, yerinde soğuk karışım olmak üzere ikiye ayrılır, fakat uygulaması çok küçük farlar dışında benzerlik gösterir. Sıcak karışımda eski asfaltta yumuşatma yapılırken soğuk karışımda eski asfaltta doğrudan yumuşatma yapılmaz. Yerinde sıcak karışımda sırasıyla şu işlemler yapılır;

Eski kaplama enfraruj ısıtma yöntemi ile ısıtılır.

Isıtma işleminden sonra 25-50 mm arasında değişen derinliklerde kazıma yapılır.

Malzeme miksere yerleştirilerek yeniden gençleştirici maddeler (asfalt emülsiyonu, hafif yağ v.b.) eklenir, karışım istenen kıvama eriştikten sonra serme ve sıkıştırma işlemleri yapılır. Yeni malzemeye istenirse işlenmemiş malzemede eklenebilir.

Yerinde geri dönüştürülmüş kaplama daha sonra istenirse yeni bir sürtünme tabakası ile kaplanarak emülsiyondan sonra küre batırılır. Bu yöntemle üretilen kaplamalar oldukça ekonomiktir ve bu yöntem yansıma çatlaklarına karşı dirençli bir rehabilitasyon yöntemidir. Yöntemin uygulanması esnasında trafik kesintisi çok az sürer ve sıkıştırma işleminden 1 saat sonra yol trafiğe açılabilir. Bununla birlikte bu yöntem hafif trafik hacimli yollar için önerilir. Yerinde geri dönüşüm metodu, karışım dizayn metotları kadar yaygın değildir, bununla birlikte kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır (Gürer ve diğerleri, 2004).

5. ARAŞTIRMA YÖNTEMİ

Tezin bu bölümünde araştırma yönteminin aşamalarına yer verilmiştir. Araştırma yöntemi için izlenilen yollar üç ana başlık altında toplanarak aşağıda yer alan, ön çalışma, temel çalışma ve son çalışma kısımlarında detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

5.1 Ön Çalışma

Ön çalışma, tezin konusu olan asfalt yol inşaatının tedarik zincirinin simülasyon tabanlı modellenmesini oluşturabilmek için genel bilgileri edinmek amacıyla yapılmıştır. Bu nedenle, öncelikle asfalt malzemesi hakkında literatür araştırması yapılarak bu malzemenin tam zamanında üretim felsefesine olan uygunluğu irdelenmiştir. Sonraki bölümlerde, asfalt betonunun karmaşık yapıda olan üretim aşamaları tam zamanında üretim felsefesine dayanarak araştırılmıştır. Yapılan incelemelere ait sonuçlara, hem literatür hem de üretici firmaların tecrübelerine dayanarak ulaşılmıştır. Ön çalışma, bu araştırmanın kavramsal altyapısını oluşturmak ve metodolojisini geliştirmek amacı bakımından önem taşımaktadır.

5.2 Temel Çalışma

Temel çalışma, asfalt yol inşaatının tedarik zincirinin simülasyon tabanlı modelinin geliştirilmesi için gerçekleştirilen çalışmalardan oluşmaktadır. Bu amaçla, ön çalışma bölümünde teorik olarak kavramsal altyapısı oluşturulan asfalt yol inşaatının tedarik zincirinde yer alan her kaynağa ait kapasite, süreç vb. özellikteki bilgiler incelenmiştir. Kaynaklara ait bu bilgiler, gerçekçi saha verilerine ve araştırma yapılan firmaların geçmiş tecrübe ve birikimlerine dayanarak temin edilmiştir.

Elde edilen gerçekçi veriler ışığında, vaka çalışmasında tasarlanan yol inşaatı için üç farklı üretim planı oluşturulmuştur. Oluşturulan üretim planlarının öncesindeki 12 günü oluşturan süreçte yer alan aktiviteler, ihalenin kazanılması ve üretime geçilmesi arasındaki süreci oluşturan ve dış etkenlere bağlı olan bürokratik süreci oluşturan

aktivitelerdir. Bu nedenle bu süreçler her üretim planı için aynı olan ve sıkıştırılamayan aktivitelerdir.

Oluşturulan üretim planlarında bir günlük mesai toplamda 10 saat olarak kabule edilmiştir. Bu 10 saatin, 9 saati asfalt betonu üretimi, sahaya nakliyesi ve serme-sıkıştırma ekiplerinin uygulama bölümünü oluştururken, kalan son 1 saatlik zaman dilimi ise kontrol ekibi (laborant) tarafından imalatı yapılan yol tabakalarına ait numunelerin alınması ve test edilip, onaylatılmasını oluşturmaktadır. Bu kabuller;

Ek A' da yer alan üretim planı – 1'de 4.000 mt uzunluğundaki yol inşaatı, 6 gün alt temel, 6 gün plent-miks, 6 gün binder ve 4 gün aşınma çalışmaları yapılarak tamamlanmıştır. Eldeki kaynakların verimli bir şekilde kullanılabilmesi için Ek A'da yer alan iş programında da görüldüğü gibi 14. ve 22. günde alt temel ve binder tabakası, 16., 20.ve 25. günde aşınma ve alt temel tabakası imalatları aynı günde yapılmıştır. Bu üretim planına ait elde edilen tüm sonuçlar ve değerlendirmeler tezin son bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında yer almaktadır.

Çizelge 5.1 : Üretim Planı – 1 Süreçleri

	9 Saatlik Mesai		1 Saat Kontrol
Aktivite	Başlanıç Zamanı (Dak.)	Bitiş Zamanı (Dak.)	
Alt Temel	0	540	600
Plent-miks	600	1.140	1.200
Binder	1.200	1.740	1.800
Alt Temel	1.200	1.740	1.800
Plent-miks	1.800	2.340	2.400
Binder	2.400	2.940	3.000
Aşınma	3.000	3.540	3.600
Alt Temel	3.000	3.540	3.600
Plent-miks	3.600	4.140	4.200
Binder	4.200	4.740	4.800
Aşınma	4.800	5.340	5.400
Alt Temel	4.800	5.340	5.400
Plent-miks	5.400	5.940	6.000
Binder	6.000	6.540	6.600
Alt Temel	6.000	6.540	6.600
Plent-miks	6.600	7.140	7.200
Binder	7.200	7.740	7.800
Aşınma	7.800	8.340	8.400
Alt Temel	7.800	8.340	8.400
Plent-miks	8.400	8.940	9.000
Binder	9.000	9.540	9.600
Aşınma	9.600	10.140	**10.200**

Ek A' da yer alan üretim planı – 2'de 4.000 mt uzunluğundaki yol inşaatı her gün farklı bir tabaka imalatı yapılacak şekilde planlanarak, 6 gün alt temel, 6 gün plent-miks, 6 gün binder ve 4 gün aşınma çalışmaları yapılarak tamamlanmıştır. Üretim planı – 1'de aynı gün içerisinde farklı imalatların yapılarak iş programının sıkıştırılması üretim planı – 2' de uygulanmamıştır. Ek A'da yer alan iş programında da görüldüğü gibi aktiviteler sıkıştırılmadan herbiri bir önceki aktivitenin bitişinden sonra başlamıştır (finish to start ilişkisi). Bu üretim planına ait elde edilen tüm sonuçlar ve değerlendirmeler tezin son bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında yer almaktadır.

Çizelge 5.2 : Üretim Planı – 2 Süreçleri

	9 Saatlik Mesai		1 Saat Kontrol
Aktivite	Başlanıç Zamanı (Dak.)	Bitiş Zamanı (Dak.)	
Alt Temel	0	540	600
Alt Temel	600	1.140	1.200
Alt Temel	1.200	1.740	1.800
Alt Temel	1.800	2.340	2.400
Alt Temel	2.400	2.940	3.000
Alt Temel	3.000	3.540	3.600
Plent-miks	3.600	4.140	4.200
Plent-miks	4.200	4.740	4.800
Plent-miks	4.800	5.340	5.400
Plent-miks	5.400	5.940	6.000
Plent-miks	6.000	6.540	6.600
Plent-miks	6.600	7.140	7.200
Binder	7.200	7.740	7.800
Binder	7.800	8.340	8.400
Binder	8.400	8.940	9.000
Binder	9.000	9.540	9.600
Binder	9.600	10.140	10.200
Binder	10.200	10.740	10.800
Aşınma	10.800	11.340	11.400
Aşınma	11.400	11.940	12.000
Aşınma	12.000	12.540	12.600
Aşınma	12.600	13.140	**13.200**

Ek A'da yer alan üretim planı – 3'de 4.000 mt uzunluğundaki yol inşaatı kaynak sınırlaması olmaksızın tasarlanmıştır. Ek A'da yer alan iş programında da görüldüğü gibi bu üretim planı sıkıştırılarak en kısa süreli hale getirilmiştir. Bu üretim planına ait elde edilen tüm sonuçlar ve değerlendirmeler tezin son bölümü olan sonuç ve öneriler kısmında yer almaktadır.

Çizelge 5.3 : Üretim Planı – 3 Süreçleri

	9 Saatlik Mesai		1 Saat Kontrol
Aktivite	Başlanıç Zamanı (Dak.)	Bitiş Zamanı (Dak.)	
Alt Temel	0	540	600
Alt Temel	600	1.140	1.200
Alt Temel	1.200	1.740	1.800
Alt Temel	1.800	2.340	2.400
Alt Temel	2.400	2.940	3.000
Alt Temel	3.000	3.540	3.600
Plent-miks	600	1.140	1.200
Plent-miks	1.200	1.740	1.800
Plent-miks	1.800	2.340	2.400
Plent-miks	2.400	2.940	3.000
Plent-miks	3.000	3.540	3.600
Plent-miks	3.600	4.140	4.200
Binder	1.200	1.740	1.800
Binder	1.800	2.340	2.400
Binder	2.400	2.940	3.000
Binder	3.000	3.540	3.600
Binder	3.600	4.140	4.200
Binder	4.200	4.740	4.800
Aşınma	3.000	3.540	3.600
Aşınma	3.600	4.140	4.200
Aşınma	4.200	4.740	4.800
Aşınma	4.800	5.340	**5.400**

5.3 Son Çalışma

Simülasyon geliştirilen veya yeniden düzenlenen sürecin proses işlemlerini tamamlamada ve deneme çalışmalarını yürütmede ve süreçlerin hata zamanlarını tahmin etmek için yapılan deneysel çalışmadır .Yeni sürecin değişikliklere gösterdiği olası reaksiyonlar da anlaşılabilir (Law and Kelton 2000).

Bu çalışma için Extend + BPR (Business Process Re-engineering) simülasyon model yazılımı seçilmiştir. Bu program, önceki çalışmalarında Abdulhadi (1997), Al-Sudairi (2000), Polat ve Arditi (2005), Polat ve diğ. (2006), ve Polat ve diğ. (2007) tarafından başarıyla kullanıldığı için tercih edilmiştir.

Asfalt yol inşaatı tedarik zincirinin simülasyon tabanlı modelinin kurgusu, bilgisayar ortamında Extend + BPR (Business Process Re-engineering) yazılımı ile gerçekçi veriler kullanılarak tamamlandıktan sonra, oluşturulan farklı üretim planları ve iş programları modele uygulanmıştır. Asfalt yol inşaatı tedarik zincirinin simülasyon

tabanlı modelinin yararlılığını ispatlayabilmek amacıyla farklı tip iş programlarının uygulanması sonucunda kaynaklara ait kullanım oranları ve süreçler elde edilmiştir. Tüm bu sonuçlar ve değerlendirmeler tezin son bölümünde detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

6. VAKA ÇALIŞMASI

Önceki bölümlerde açıklandığı gibi asfalt betonu, üretim ve uygulama süreçleri bakımından iyi bir planlamaya ve tedarik zincirine sahip olması gereken, yaygın kullanıma sahip bir inşaat malzemesidir. Ayrıca asfalt betonu, üretildikten sonra uzun süreli bir şekilde depolanamadığı için, inşaat imalatları arasında tam zamanında üretime en iyi şekilde örnek olabilecek bir malzemedir. Bu nedenle asfalt betonunun üretim sürecinden, serilmesi ve sıkıştırılması sürecine kadar geçen her süreç dikkatlice incelenmeli, ihtiyaç duyulan imalat miktarlarına göre kaynak tedarikleri çok iyi bir şekilde organize edilmelidir.

Tezin bu bölümünde, son yıllarda asfalt betonu üretimi ve uygulamasına yönelik bir çok projeyi tamamlamış, asfalt yol müteahhitliği yapan bir firmanın yapısı incelenmiştir. Vaka çalışmasına ait yapılan tüm araştırmalar, incelemede bulunulan firmanın proje müdürü ile beraber hazırlanmış, asfalt plenti, agrega üretim tesisi ve sahadaki serme ve sıkıştırma ekiplerine ait gerçekçi veriler temin edilmiştir. Edinilen saha verilerine göre örnek bir çevre yolu projesi için Ek A'da yer alan üretim ve uygulama planları hazırlanmış ve bilgisayar ortamında planlaması yapılan proje için gerçekçi veriler kullanılarak model oluşturulmuştur. Yapılan modelleme sonucunda üretim süreçlerine ve kullanılan kaynaklara ait raporlar alınarak çeşitli sonuçlara ulaşılmıştır. Sıradaki bölümlerde vaka çalışmasına ait tüm süreçler ve açıklamalar adım adım yer almaktadır. Vaka çalışması için incelemede bulunulan firma, bundan sonraki bölümlerde firma olarak tanımlanacaktır.

6.1 Vaka Çalışması Yapılan Firmanın Tanıtımı

Dünyalar Hafriyat Nakliyat San. Tic. Ltd. Şti. 1992 yılında Sakarya'da kuruldu. Kuruluşunun ilk yıllarında kum ocağı işletmeciliği yapan şirketin taşocağı işletmeciliği ile hizmet yelpazesi de genişlemeye başladı.

2000 yılında kurulan Dünyalar Asfalt Yol Yapımı Taahhüt Madencilik Tic. San. Ltd. Şti. ile birlikte günümüzde her türlü taş, mıcır, kum ve çakıl ihtiyacını karşılayabilecek, hafriyat ve nakliyesini, asfalt üretimi, yol yapım ve bakımı, altyapı

çalışmalarını yapabilecek gelişmiş makine parkı ve tecrübeli çalışma kadrosunu oluşturmuş güçlü bir şirket haline geldi. Kuruluşundan bu yana geçen bu zaman içinde Dünyalar gerek kamu sektörü gerekse özel sektörde bir çok projeyi başarılı bir şekilde tamamladı. Şirkete ait üretim tesisleri;

Taşkısığı Agrega Üretim Tesisleri: Taş ve mıcır üretim tesisi, Adapazarı, İzmit, Düzce, İstanbul ve ilçelerine hizmet vermekte olan tesisin kapasitesi 550 ton/saat'tir. Modern yöntemlerle çevreye zarar vermeden inşaat sektöründe kullanılan kaliteli agreganın hammaddesi elde edilen tesiste, her türlü şartnameye uygun her ebatta kırılmış malzeme üretilmektedir. Son yıllarda Ereğli Demir Çelik Fabrikasının ihtiyacı olan kireç taşı ihtiyacının 30% da bu tesiste üretilmektedir. 0-7mm, 7-12mm, 12-19 mm, 19-24mm, 22-38mm, 0-38mm, 38-75mm ve 75-150mm By-pass ebatlarında malzeme üretilmektedir. Adres: Taşkısığı Mah. / Adapazarı

İkizce Agrega Üretim Tesisleri: Taş ve mıcır üretim tesisi, Adapazarı, İzmit, Düzce, İstanbul ve ilçelerine hizmet vermekte olan tesisin kapasitesi 550 ton/saat'tir. Modern yöntemlerle çevreye zarar vermeden inşaat sektöründe kullanılan kaliteli agreganın hammaddesi elde edilen tesiste, her türlü şartnameye uygun her ebatta kırılmış malzeme üretilmektedir. 0-7mm, 7-12mm, 12-19mm, 19-24mm, 22-38mm, 0-38mm, 38-75mm ve 75-150mm By-pass ebatlarında malzeme üretilmektedir. Adres: İkizce Mah. / Adapazarı

Osmaneli Kum Çakıl Üretim Tesisleri: Kum ve çakıl eleme tesisi, Bilecik, Kütahya, Eskişehir, Yalova, Bursa, Adapazarı, İzmit, İstanbul ve İlçelerine hizmet vermekte olan tesisin kapasitesi 400m3/saat'tir. Ayrıca Devlet Demir Yolları ile taşımacılık yapılmaktadır. 0-3mm, 0-7mm, 7-15mm, 15-22mm, 22-40mm, tüvanen ve dolgu malzemesi üretilmektedir. Adres: Osmaneli / Bilecik

Adapazarı Asfalt Üretim Tesisleri: 2001 Yılında Tarihi Sakarya Kemer Köprüsü yanındaki 45.000 m2 lik arazi üzerine kurulan bu tesiste sıcak, soğuk ve renkli asfalt üretimi yapılmaktadır. Asfalt şantiyesinin kapasitesi 200 ton/saat'tir (Marini Map200E 220L). Bütün üretim aşamaları bilgisayar destekli yapılmaktadır. Sakarya, Kocaeli, Düzce ve Bolu Bölgelerinde hizmet vermek amacındadır. Adres: Eski Sakarya Köprüsü yanı / Adapazarı.

Makina Parkı: Firmanın makina parkı çok geniş olduğu için bu bölümde bütün makinaların listesine yer verilmeyerek, sadece yapılan vaka çalışmasında kullanılan makinalar firmanın parkından seçilerek aşağıdaki Çizelge 6.1'de listelenmiştir.

Çizelge 6.1 : Firmanın makine parkı

Kodu	Markası	Modeli	Yılı	Özelliği
AP	Marini	200 T/HR	2001	Asfalt Plenti
MP	Okur Makina	650 T/HR	2008	Mekanik Stabilizasyon Plenti
FN	Vogele	600TV-9M	2005	Asfalt Finişeri
GR	Volvo	990 G	2006	Greyder
LD	CAT	966 H	2006	Loader
LD	CAT	980 G	2001	Loader
PS	HAMM	GRW 18	2006	Pnömatik Silindiri
DS	HAMM	HD 110	2006	Demir Bandajlı Silindiri
TS	CAT	CS 583 E	2006	Toprak Silindiri
KM	Mercedes	2521 K	1997-200	17 Adet Kamyon
AR	Dodge	AS 900	1992	Arazöz

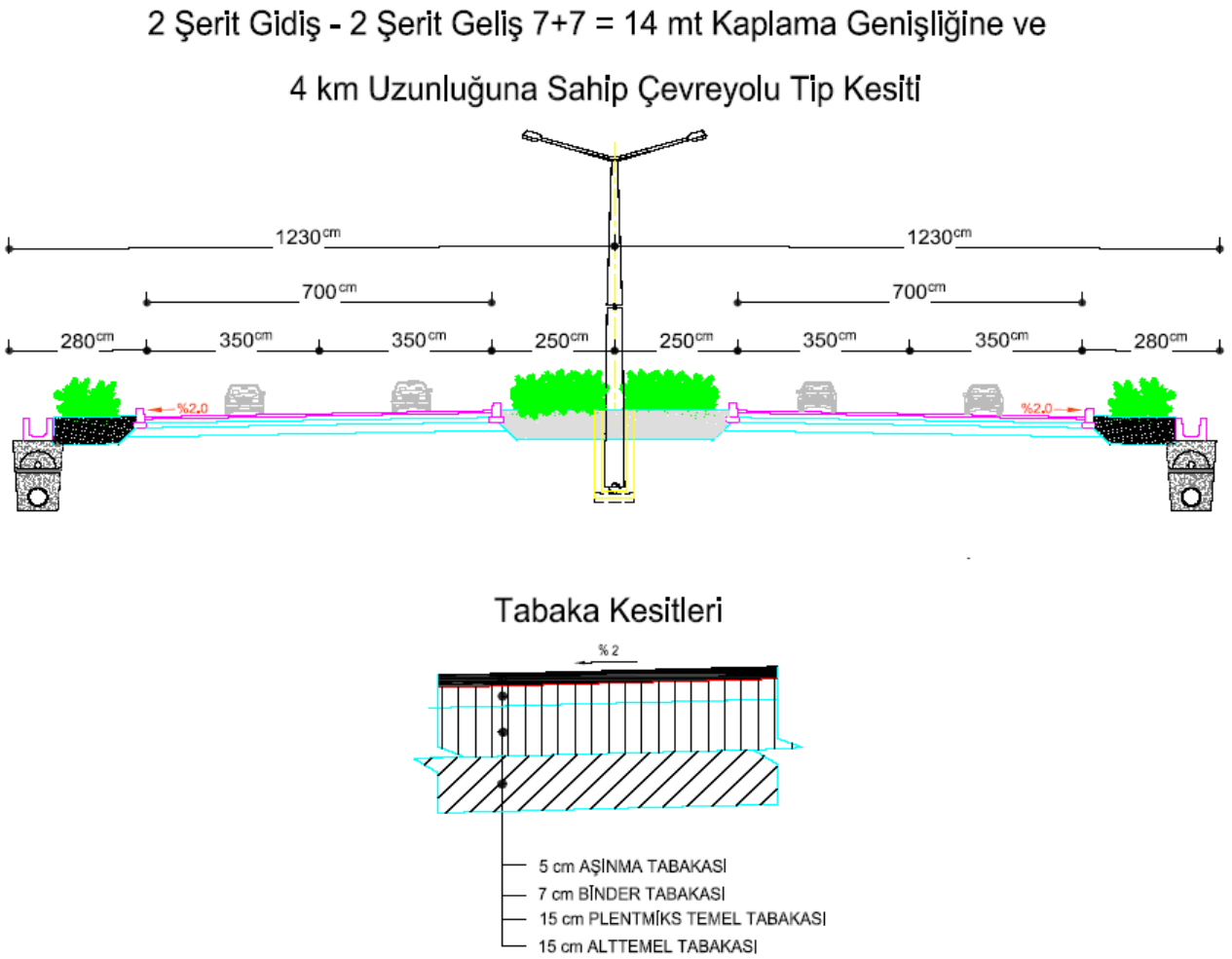
Firmanın son 3 yıllık cirosu aşağıdaki Çizelge 6.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 6.2 : Firmanın son üç yıllık cirosu.

Yıllar	Toplam Ciro	Hazirandaki TEFE	Güncelleme Katsayısı	Güncellenmiş Toplam Ciro (YTL)	Güncellenmiş Toplam Ciro (USD)
2007	38.648.135,33	140,53	1,0596	40.938.075,21	34.384.407,20
2006	23.038.320,00	136,58	1,0902	25.116.458,11	21.095.630,87
2005	12.385.622,00	8.677,15	1,2327	15.268.181,06	12.823.938,40
		Son 3 Yıl Güncellenmiş Ciro Toplamı		81.322.714,38	68.303.976,47
Kullanılan Üfe'nin ait olduğu ay (Şubat 2008) 148,9 T.C.M.B (Ocak 2008) Dolar Kuru : 1,1906 3 Yıllık Ortalama Güncel Ciro : $22.767.992,16					

6.2 Bir Çevre Yolu Projesinin Vaka Çalışması

Yapılan vaka çalışmasında, 2 şerit gidiş ve 2 şerit geliş, 7m + 7m = 14m asfalt kaplama genişliğine ve 4 km uzunluğa sahip bir çevre yolu projesi için, ihalenin kazanılması aşamasından, imalatların tamamlanmasına kadar farklı üretim planları oluşturulumuştur. Oluşturulan üretim planlarına göre alt temel, plent-miks, binder ve aşınma tabakalarına ait imalatlar, kaynaklar ve süreleri bilgisayar ortamında modellenerek, sonuçları incelenmiştir. Şekil 6.1'de vaka çalışması için modellenen çevre yoluna ait tip en kesiti, alt temel, plent-miks temel, binder ve aşınma tabaka kesitleri görülmektedir.



Şekil 6.1 : Modellenen çevre yoluna ait tip en kesit ve tabaka kesitleri.

Modellenen bu çevre yolunda tabakalara ait metrajlar aşağıdaki çizelge 6.3'te hesaplanmıştır.

Çizelge 6.3 : Modellenen çevre yoluna ait metraj tablosu.

Açıklama	Tabaka Kalınlığı (m)	Yol Uzunluğu (m)	Kaplama Genişliği (m)	Yoğunluğu (Ton/m3)	Miktar (Ton)
Alt Temel	0,15	4000,00	14,00	1,80	15.120,00
Plent-miks	0,15	4000,00	14,00	2,10	17.640,00
Binder Tabakası	0,07	4000,00	14,00	2,40	9.408,00
Aşınma Tabakası	0,05	4000,00	14,00	2,40	6.720,00

6.2.1 İhalenin kazanılması ve imalatlara başlanılması arasındaki süreç

Yol müteahhitliği yapan firmalar, genellikle yerel idarelerin veya Karayolları Genel Müdürlüğü'nün açtığı kamu ihalelerine girmektedirler. Bu nedenle vaka çalışması için düşünülen üretim planındaki ihalenin kazanılması ve imalatların başlaması arasındaki süreç, kamu ihalelerindeki şartlar göz önünde bulundurularak hazırlanmıştır. İhalenin kazanılmasından (ihale alındı tebliğ yazısının firmaya gelmesinden) sonraki 10 gün içerisinde, ihaleyi kazanan firma ve ilgili idare arasında sözleşme yapılmaktadır. Firmanın geçmiş tecrübelerine göre sözleşmenin yapılması için geçen bu süre en az 3 gün, ortalama olarak 5 gün sürmektedir. Bu süreç, idare tarafından istenen borcu yoktur v.b. belgelerin alınmasına bağlı olan bürokratik işlemleri içeren bir süreçtir.

Sözleşmenin imzalanmasından sonra idare tarafından müteahhide yer teslimi yapılır. Kanunen yer teslimi süreci 5 günü geçemez. İlgili idareye bağlı olmakla birlikte, sözleşmenin yapılmasından sonra ortalama olarak 3 gün içerisinde müteahhide yer teslimi yapılmaktadır.

Sözleşmenin yapılmasının ardından yer teslimi yapılana kadar geçen süreçte teknik personel tarafından ihtiyaç duyulacak malzeme metrajlarının hesabı yapılır. Aynı zamanda ambar görevlisi tarafından stokların kontrol edilmesi ve merkez ofise raporlanması yapılmaktadır. Tüm bu araştırmalar sonucunda ihtiyaç duyulacak noksan malzemeler için ilgili tedarikçilerden teklifler istenir. Asfalt betonu üretiminde kullanılan en temel iki malzeme olan agrega ve bitüm malzemelerinin temini şu şekilde yapılmaktadır;

Agreganın temini: Cinslerine göre eksik olan agregalar firmanın işletmesi altında bulunan agrega üretim tesisilerinden temin edilmektedir. Eğer ihtiyaç duyulan agrega cinsi firmanın kendi agrega üretim tesislerinde yoksa, dış piyasadan temin edilmektedir. Bu nedenle sezon başında agrega üreticileriyle görüşülüp sözleşme yapılır ve fiyatlar belirlenir. Firmanın işlettiği agrega üretim tesisleri ve asfalt plenti arasındaki mesafeler kısa olduğu için asfalt plentindeki agrega stokları minimum miktarda tutulmaktadır. Bunun nedeni, stok sahasındaki malzemenin bekleme süresini kısaltarak, rutubetlenmesini önlemektir.

Üretime girecek agreganın rutubetli olması, agregaların kurutucu içerisindeki ısıtma zamanını uzatacak ve enerji giderlerini arttıracaktır. Bunu önlemek amacıyla üretime giren agregalar, taze agrega diye tabir edilen, taşocağından gelerek bekletilmeden günlük olarak üretime sokulan agregalardır.

Bitümün Temini: Asfalt betonunda bağlayıcı olarak görev yapan bitümün temini Tüpraş' tan yapılmaktadır. Tüpraş bu konuda tekeldir ve sabit fiyat listesi vardır. Tüpraş' ın hesabına alınacak bitüm malzemesinin tutarı yatırılır ve para hesaba geçtikten sonra malzeme Tüpraş' tan alınabilir. Bunun için paranın yatırılmasından sonra nakliyeci ile görüşülür. Bitümün nakliyesi tankerler ile yapılır. Nakliyeci firma ile sürekli çalışılmaktadır. Tüpraş tesisleri İzmit' te olduğu için, Adapazarı' nda olan firma aynı gün içerisinde bitüm teminini sağlayabilmektedir. Bu nedenle bu süreç genelde 1 gündür. Bitümün temininin kolay olmasından dolayı bitüm stoğu olabildiğince az tutulmaktadır. Bunun nedeni stokta bulunan bitümün ısıtılması için harcanan enerji maliyetlerinin yüksek olmasıdır. Oysaki tüpraştan gelen taze bitüm sıcak olduğu için ayrıca ısıtılma ihtiyacı duyulmamakta, bu da işletme maliyetlerini düşürmektedir.

Asfalt üretim tesisinde malzeme hazırlıkları yapılırken, yol ekibi tarafından yapılacak olan yol inşaatının güzergahı incelenerek, keşif yapılır. Altyapısı zayıf olan yerlerin tespit edilmesi ve yolun projeye göre kotlarının verilmesi işlemleri gerçekleştirilir. Bu keşif işlemi genellikle 1-2 gün sürer. Altyapı ve reglaj çalışmaları yapılır. Reglaj için genelde şu kaynaklar kullanılır;

1 greyder
1 toprak silindir
1 kepçe
1 kamyon
1 topoğraf
2 şenör

} Normal Şartlarda bu ekip (modellenen 4 şeritli yol için) günde 2 km reglaj yapabilmektedir.

Bu işlemden sonra kontrol firma yetkilisi ile Ek B'de örneği bulunan Toprak İşleri Onay Formu doldurulur ve onay alındıktan sonra temizlenen bölge için alt temel çalışması başlar. Onay formlarının doldurulması zamansal açıdan önemli bir süreç oluşturmaz fakat bürokratik açıdan önemlidir. Bu bölümden sonraki yol inşaatının aşamaları olan, alt temel tabakası, plent-miks tabakası, binder tabakası ve aşınma tabakası imalatlarının açıklanması aşağıdaki kısımlarda ayrı ayrı ele alınmıştır.

6.2.2 Alt temel tabakasının yapılması

Alttemel, ince reglajı tamamlanmış, dolgu veya yarmadan oluşan üstyapı tabanı üzerine, projesinde belirtilen plan, profil ve enkesitlere uygun olarak serilip sıkıştırılan tabakadır. Alttemel tabakasında kullanılacak malzemeler; kum, çakıl, teras çakılı, ayrışmış, bozuşmuş kaya, curuf, kırmataş ve benzeri malzemelerdir (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Vaka çalışması için hazırlanan üretim planlarına göre, alt temel tabakası imalatı toplam olarak 6 gün sürmektedir. İmalatın 6 döngüye ayrılmasının nedeni, greyderin günlük malzeme serme kapasitesinin 2.900-3.200 ton/gün olmasından dolayıdır. Çizelge 6.3'de yapılmış olan malzeme hesabına göre, vaka çalışması için modellenen çevreyolu için yaklaşık olarak 15.120 ton alttemel malzemesi kullanılacaktır. Böylece, 6 günde toplam 15.120 ton alt temel tabakası imalatı tamamlanacaktır. Alt temel tabakası imalatında kullanılan kaynaklar aşağıdaki Çizelge 6.4'te yer almaktadır.

Aşağıdaki Şekil 6.2'de alt temel tabaka imalatının akış şeması görülmektedir. Akış şemasındaki her aktivitenin üzerinde bulunan küçük kutularda, o aktivitenin gerçekleşmesi için kullanılan kaynakların adedi ve kaynakların kısa kodları yer almaktadır.

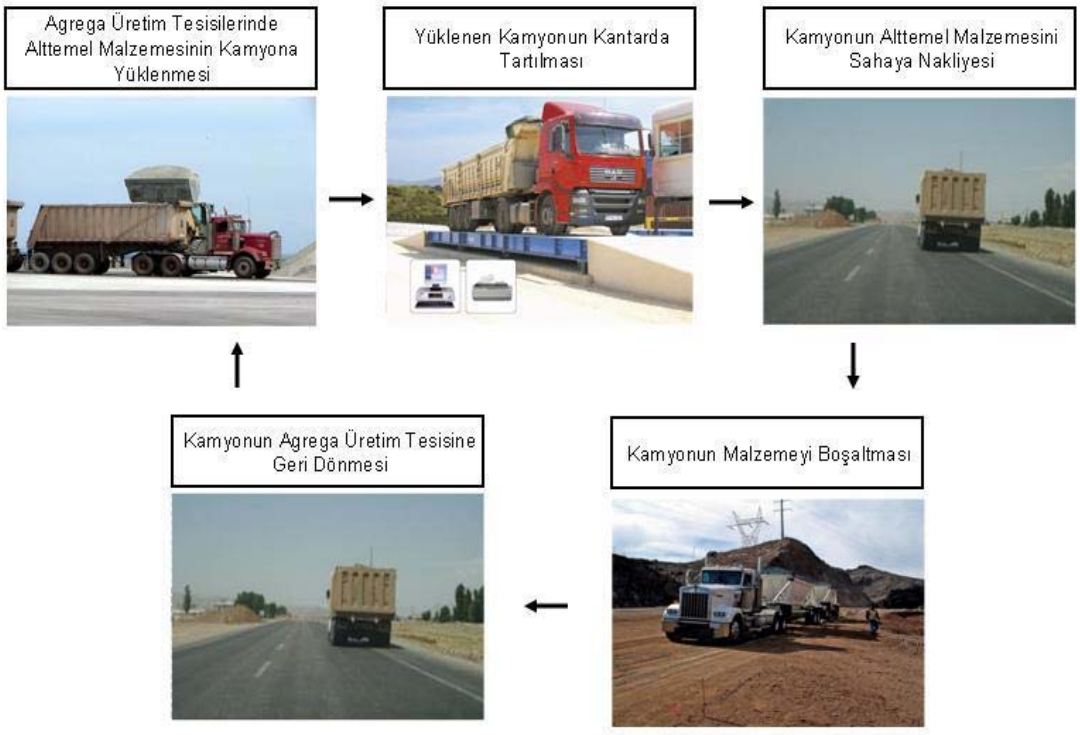
Çizelge 6.4 : Alt temel tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi.

Kaynak	Adet	Kodu
Kamyon	10	KM
Loader	1	LD
Greyder	1	GR
Arazöz	1	AR
Toprak Silindir	1	TS
Hophopçu	1	HH
Topoğraf	1	TP
Şenör	2	ŞN
Laborant	1	LB
Kantar	1	KN



Şekil 6.2 : Alt temel tabakası imalatı akış şeması.

Alt temel tabakası imalatı, ince reglajı tamamlanmış yol güzergahı üzerine ölçüm ekibi (1 topoğraf ve 2 şenör) tarafından alt temel kotlarının verilmesi ile başlar. Kotların verilmesinden sonra malzemeler, firmanın tanıtımının yapıldığı bölümde açıklanan agrega üretim tesislerinden temin edilmektedir. Aşağıdaki Şekil 6.3'te alttemel malzemesi için malzeme temini döngüsü yer almaktadır.



Şekil 6.3 : Alt temel tabakası malzeme temini döngüsü.

Modellenen vaka çalışmasında alt temel tabakası imalatı için agrega üretim tesislerinde 1 adet loaderin yükleme yaptığı ve 10 adet kamyonun günde 10 sefer yaptığı kabul edilmiştir. Yüklenen kamyonlar tesisten çıkmadan önce kantara girerek tartılmaktadır ve tartılan kamyonlar yol inşaatı sahasına giderek hophopçunun yönlendirmesi ile malzemeleri gerekli bölgelere boşaltmaktadır.

Aşağıdaki Çizelge 6.5'te alt temel malzeme temininde kullanılan 1 kamyonun 1 seferi tamamlamak için geçirdiği süreler yer almaktadır;

Çizelge 6.5 : Alt temel malzeme temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri.

Süre	Yükleme (Dak.)	Tartılma (Dak.)	Nakliye (Dak.)	Boşaltma (Dak.)	Tesise Dönüş (Dak.)	1 Sefer İçin Toplam Süre (Dak.)
Min.	4	2	18	5	17	46
Maks.	5	3	20	7	19	54
Olası	4,5	2,5	19	6	18	50

1 döngü için kullanılan 10 adet kamyonun günde 10 sefer yaptığı kabulüne göre aşağıdaki Çizelge 6.6'da agrega üretim tesisinden sahaya nakledilen alt temel malzeme miktarının 1 gün için hesabı görülmektedir;

Çizelge 6.6 : 1günde imalatı yapılan alt temel tabakası miktarı.

Kamyon Adedi	Kamyon Sefer/Gün	Kapasite (Ton/Kamyon)	Gelen Malzeme (Ton/Gün)
10	10	24-26	2500

Yapılan 1 günlük imalat hesabına göre alt temel tabakası, modellenen yol için hacmen yaklaşık olarak 2.500 / 1,80 = 1.390 m3 serilmektedir. Modellenen yolun genişliği 14 m ve alt temel tabaka kalınlığı 0,15 m olduğu göz önünde bulundurulduğunda, bu yol için günde yaklaşık olarak 1.390 / (14 x 0,15) = 675 m alt temel tabakası serilmektedir. Üretim planlarına göre 6 döngüde tamamlanan 4.000 m uzunluğundaki yola ait alt temel tabakası imalatı, bu hesaba göre yaklaşık olarak 6 x 675 = 4.000 m değerini sağlamaktadır.

Yol inşaatının yapıldığı sahaya getirilen alt temel malzemeleri greyder vasıtası ile serilmektedir. Sahadan alınan verilere göre greyderin günlük malzeme serme kapasitesi 2.900 ton – 3.200 ton arasındadır. Greyderin çalışması Şekil 6.4'te görülmektedir.



Şekil 6.4 : Greyderin malzeme sermesi.

Greyder malzemeleri sererken arazöz ile serilen malzemeler nemlendirilmektedir. Bunun nedeni, nemlendirilen malzemenin optimum su muhtevasına ulaşarak daha iyi sıkışma sağlamasıdır. Saha verilerine göre, arazöz her saatte 8-12 dakikalık bir tur sulama işlemi yaparak nemlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Arazözün çalışma

süreleri, havanın çok sıcak olduğu zamanlarda artmakta, havanın serin olduğu zamanlarda ise azalmaktadır.

Sıkıştırma işlemi, statik çizgisel yükü 30 kg/cm den büyük olan, kendi yürür düz bandajlı sıkıştırıcılarla yapılarak, kullanılan malzeme ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği, işin başlangıcında yapılacak bir deneme kesiminde belirlenmektedir. Sıkıştırma işlemi yolun eksenine paralel olarak yapılmaktadır ve düşük kotlu kenardan başlayarak eksene doğru kaymaktadır. Her geçişte bir önceki geçişte sıkıştırılan kısma, silindir genişliğinin en az % 10' u kadar bindirme yapılmaktadır.

Sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra tamamlanan imalatların kontrol işlemleri yapılır. Bu işlemlerden biri serilmiş olan alt temel tabakası kotlarının ölçüm ekibi tarafından kontrol edilmesidir. Diğer bir kontrol işlemi de sıkışma oranının ölçülmesidir. Sıkışma oranı, laborant tarafından sahadan alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında Modifiye Proctor deneyi yapılması ile belirlenir. Araştırma yönetminde de açıklandığı gibi toplam günlük 10 saat mesainin son 1 saati bu kontrol çalışması için ayrılmıştır. Bu nedenle modelin kurgusunda laborantın çalışma süresi 45-75 dakika arasında olmaktadır. Yapılan deney sonucuna göre minimum sıkışma oranının alt temel imalatı için % 95 değerinden daha düşük olmaması gerekmektedir. Modelin kurgusunda sıkışma oranının % 95 değerinin altında çıkması olasılığı % 1 olarak kabul edilmiştir. Bu % 1'lik değer, uygulamada karşılaşılan istatistiklere ve literatürdeki makalelerin kabul ettiği değerdir (Marwen H.M.,2006). Deney sonuçlarına göre EK B'de yer alan Üst Yapı Onay Formu doldurularak, onay alınmasından sonra bir üst tabaka olan plent-miks temel imalatına geçilir.

6.2.3 Plent-miks temel tabakasının yapılması

Plent-miks temel tabakası, kırılmış çakıl, kırılmış cüruf, kırma taş ve ince malzeme kullanılarak, belirlenen gradasyon limitleri içerisinde sürekli gradasyon verecek şekilde kaba ve ince olmak üzere en az üç ayrı tane boyutu grubunun uygun oranda su ile birlikte karıştırılmasıyla hazırlanır. Plent-miks temele karışımına ait örnek teknik dizayn raporu EK C'da yer almaktadır. Hazırlanan plent-miks malzemesi, yapımı ve düzeltmeleri tamamlanmış, gerekli eğim verilmiş alt temel tabakası üzerine, projesinde belirlenen plan, profil ve en kesitlere uygun olarak bir ya da birden fazla tabakalar halinde serilir ve sıkıştırılır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006)

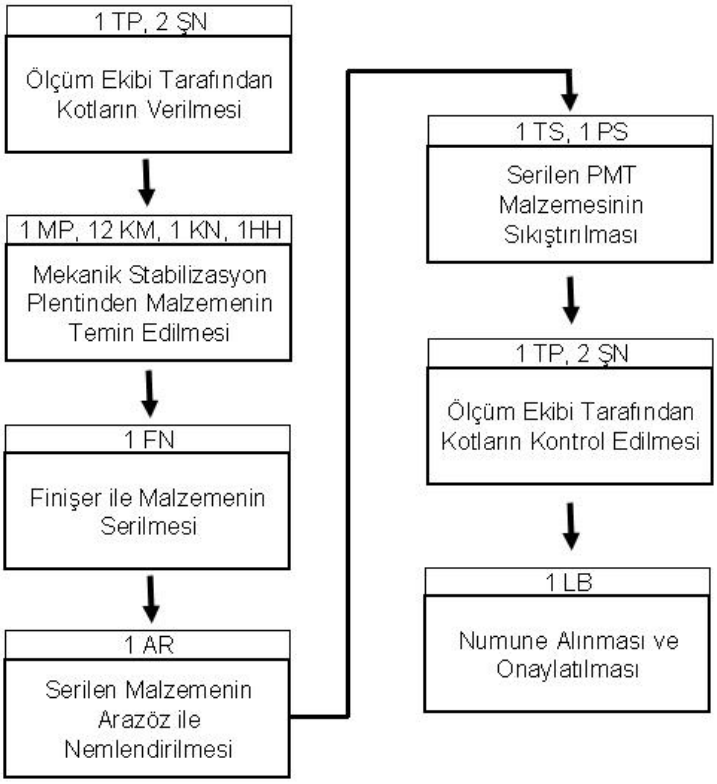
Vaka çalışması için hazırlanan üretim planlarına göre, plent-miks temel tabakası imalatı toplam olarak 6 gün sürmektedir. İmalatın 6 döngüye ayrılmasının nedeni, plent-miks tabakasının, imalatı biten alt temel tabakası üzerine uygulanacak olmasıdır. Çizelge 6.3'de yapılmış olan malzeme hesabına göre, vaka çalışması için modellenen çevreyolu için yaklaşık olarak 17.640 ton plent-miks malzemesi kullanılacaktır. Böylece, 6 günde toplam 17.640 ton plent-miks temel tabakası imalatı tamamlanacaktır. Plent-miks temel tabakası imalatında kullanılan kaynaklar aşağıdaki Çizelge 6.7'de yer almaktadır.

Çizelge 6.7 : Plent-miks temel tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi.

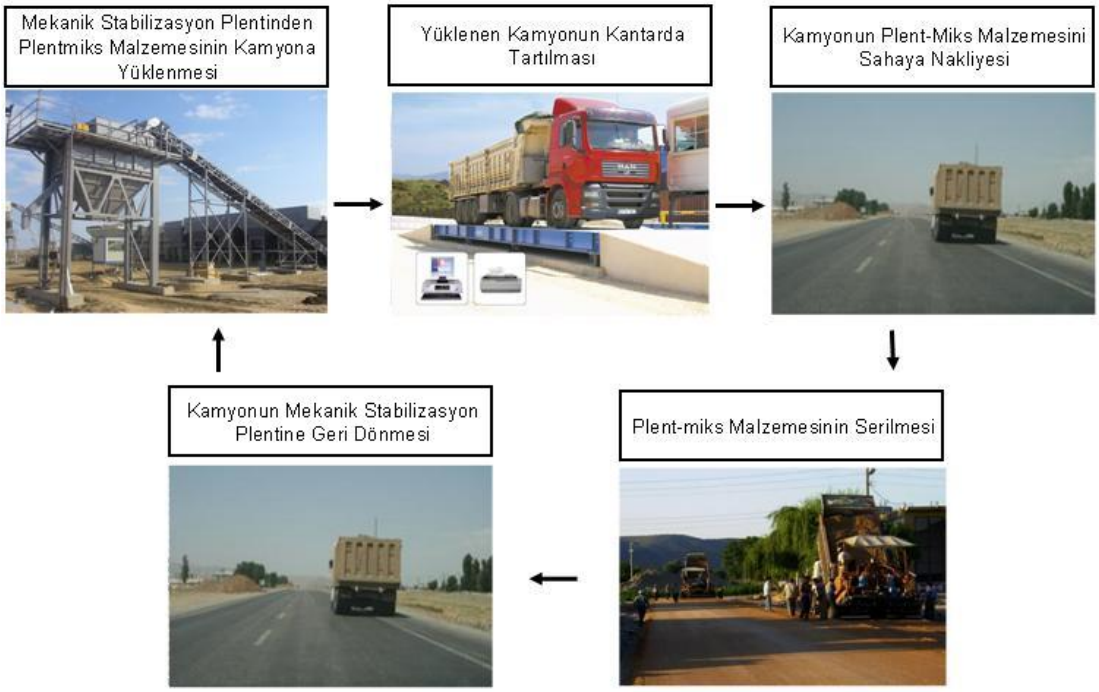
Kaynak	Adet	Kodu
Mekanik Stab. Plenti	1	MP
Kamyon	12	KM
Finişer	1	FN
Arazöz	1	AR
Toprak Silindir	1	TS
Pnömatik Silindir	1	PS
Hophopçu	1	HH
Topoğraf	1	TP
Şenör	2	ŞN
Laborant	1	LB
Kantar	1	KN

Aşağıdaki Şekil 6.5'te plent-miks temel tabakası imalatının akış şeması görülmektedir. Akış şemasındaki her aktivitenin üzerinde bulunan küçük kutularda, o aktivitenin gerçekleşmesi için kullanılan kaynakların adedi ve kaynakların kısa kodları yer almaktadır.

Plent-miks temel tabakası imalatı, alt temel tabakası tamamlanmış yol güzergahı üzerine ölçüm ekibi (1 topoğraf ve 2 şenör) tarafından plent-miks temel kotlarının verilmesi ile başlar. Kotların verilmesinden sonra plent-miks malzemesi, firmanın tanıtımının yapıldığı bölümde açıklanan agrega üretim tesislerinde kurulu olan mekanik stabilizasyon plentinden temin edilmektedir. Mekanik stabilizayon plenti, agregalar ile suyun karıştırıldığı, asfalt plentine göre çok daha basit yapıya sahip olan bir plenttir. Firmanın kullandığı mekanik stabilizasyon plentinin kapasitesi 650 ton/saat' tir. Aşağıdaki Şekil 6.6'da plent-miks malzemesi için malzeme temini döngüsü yer almaktadır.



Şekil 6.5 : Plent-miks temel tabakası imalatı akış şeması.



Şekil 6.6 : Plent-miks temel tabakası malzeme temini döngüsü.

Modellenen vaka çalışmasında plent-miks temel tabakası imalatı için 12 adet kamyonun günde 10 sefer mekanik stabilizasyon plentinden malzeme çektiği kabul edilmiştir. Yüklenen kamyonlar tesisten çıkmadan önce kantara girerek tartılmaktadır ve tartılan kamyonlar yol inşaatı sahasına giderek hophopçunun yönlendirmesi ile finişere yanaşmaktadır. Daha sonra kamyon damperini kaldırarak malzemeleri yavaşça finişerin haznesine boşaltmakta ve kamyon ile finişer beraber ilerleyerek plent-miks malzemesi serilmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 6.8'de plent-miks temel malzeme temininde kullanılan 1 kamyonun 1 seferi tamamlamak için geçirdiği süreler yer almaktadır;

Çizelge 6.8 : Plent-miks temel malzeme temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri.

Süre	Yükleme (Dak.)	Tartılma (Dak.)	Nakliye (Dak.)	Serme Boşaltma (Dak.)	Tesise Dönüş (Dak.)	1 Sefer İçin Toplam Süre (Dak.)
Min.	2	2	17	3	15	39
Maks.	3	3	19	4	17	46
Olası	2,5	2,5	18	3,5	16	42,5

1 döngü için kullanılan 12 adet kamyonun günde 10 sefer yaptığı kabulüne göre aşağıdaki Çizelge 6.9'da mekanik stabilizasyon plentinden sahaya nakledilen plent-miks temel malzeme miktarının 1 gün için hesabı görülmektedir;

Çizelge 6.9 : 1günde imalatı yapılan plent-miks temel tabakası miktarı.

Kamyon Adedi	Kamyon Sefer/Gün	Kapasite (Ton/Kamyon)	Gelen Malzeme (Ton/Gün)
12	10	24-26	3000

Yapılan 1 günlük imalat hesabına göre plent-miks temel tabakası, modellenen yol için hacmen yaklaşık olarak 3.000 / 2,10 = 1.430 m3 serilmektedir. Modellenen yolun genişliği 14 m ve plent-miks temel tabaka kalınlığı 0,15 m olduğu göz önünde bulundurulduğunda, günde yaklaşık olarak yolun 1.430 / (14 x 0,15) = 675 m uzunluğundaki plent-miks temel tabakası serilmektedir. Üretim planına göre 6 döngüde tamamlanan 4.000 m uzunluğundaki yola ait plent-miks temel tabakası imalatı, bu hesaba göre yaklaşık olarak 6 x 675 = 4.050 m değerini sağlamaktadır.

Yol inşaatının yapıldığı sahaya getirilen plent-miks malzemesi finişer vasıtası ile serilmektedir. Bir seferde serilip, sıkıştırılan tabakanın sıkışmış kalınlığı 20 cm' den

fazla olmayacaktır. Serim sırasında segregasyona meydan verilmeyecek, malzeme yolun plan, profil ve en kesitlerine uygun olarak serilip sıkıştıralacaktır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Finişer malzemeleri sererken arazöz ile serilen malzemeler nemlendirilmektedir. Bunun nedeni, nemlendirilen malzemenin optimum su muhtevasına ulaşarak daha iyi sıkışma sağlamasıdır. Saha verilerine göre, alt temel imalatında her saatte bir kere çalışan arazöz, plent-miks temel imalatında her iki saatte 8-12 dakikalık bir tur sulama işlemi yaparak nemlendirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bunun nedeni, plent-miks malzemesinin, alt temel malzemesine göre daha nemli bir malzeme olmasıdır.

Sıkıştırma işlemi, statik çizgisel yükü 30 kg/cm den büyük olan, kendi yürür düz bandajlı sıkıştırıcılarla ve lastik başına düşen yükü en az 3.500 kg olan lastik tekerlekli sıkıştırıcılarla yapılacaktır. Kullanılan malzeme ve serilen tabaka kalınlığına uygun sıkıştırma tekniği, işin başlangıcında yapılacak bir deneme kesiminde belirlenmektedir. Sıkıştırma işlemi yolun eksenine paralel olarak yapılmaktadır ve düşük kotlu kenardan başlayarak eksene doğru kaymaktadır. Her geçişte bir önceki geçişte sıkıştırılan kısma, silindir genişliğinin en az % 10' u kadar bindirme yapılmaktadır.

Sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra tamamlanan imalatların kontrol işlemleri yapılır. Bu işlemlerden biri serilmiş olan plent-miks temel tabakası kotlarının ölçüm ekibi tarafından kontrol edilmesidir. Diğer bir kontrol işlemi de sıkışma oranının ölçülmesidir. Sıkışma oranı, laborant tarafından sahadan alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında Modifiye Proctor deneyi yapılması ile belirlenir. Araştırma yönetminde de açıklandığı gibi toplam günlük 10 saat mesainin son 1 saati bu kontrol çalışması için ayrılmıştır. Bu nedenle modelin kurgusunda laborantın çalışma süresi 45-75 dakika arasında olmaktadır. Yapılan deney sonucuna göre minimum sıkışma oranının plent-miks temel için % 97 değerinden daha düşük olmaması gerekmektedir. Modelin kurgusunda sıkışma oranının % 97 değerinin altında çıkması olasılığı % 1 olarak kabul edilmiştir. Bu % 1'lik değer, uygulamada karşılaşılan istatistiklere ve literatürdeki makalelerin kabul ettiği değerdir (Marwen H.M.,2006). Deney sonuçlarına göre EK B'de yer alan Üst Yapı Onay Formu doldurularak, onay alınmasından sonra bir üst tabaka olan binder tabakası imalatına geçilir.

6.2.4 Asfalt betonu binder tabakası yapılması

Binder tabakası, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belli gradasyon limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak yeterli temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak ve projesinde belirtilen plan, profil ve en kesitlere uygun olarak yapılır (TCK Şartnamesi, 2006).

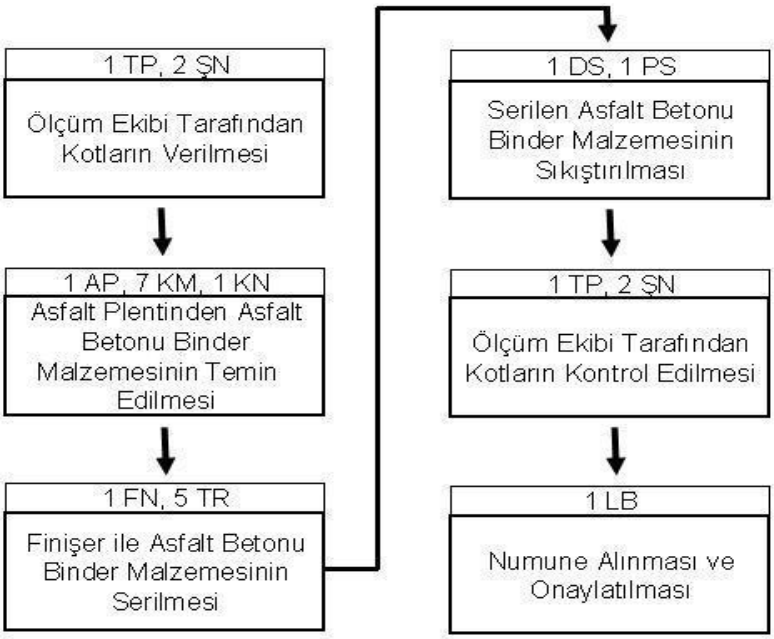
Modellenen çevre yolu asfalt betonu binder tabakası için örnek alınan işyeri karışım formülü EK C'de yer almaktadır.

Vaka çalışması için hazırlanan üretim planlarına göre, binder tabakası imalatı toplam olarak 6 gün sürmektedir. İmalatın 6 döngüye ayrılmasının nedeni, binder tabakasının, imalatı biten plent-miks temel tabakası üzerine uygulanacak olması ve asfalt plentinin kapasitesidir. Çizelge 6.3'te yapılmış olan malzeme hesabına göre, vaka çalışması için modellenen çevreyolu için yaklaşık olarak 9.408 ton asfalt betonu binder malzemesi kullanılacaktır. Böylece, 6 günde toplam 9.408 ton binder tabakası imalatı tamamlanacaktır. Binder tabakası imalatında kullanılan kaynaklar aşağıdaki Çizelge 6.10'da yer almaktadır.

Çizelge 6.10 : Asfalt betonu binder tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi.

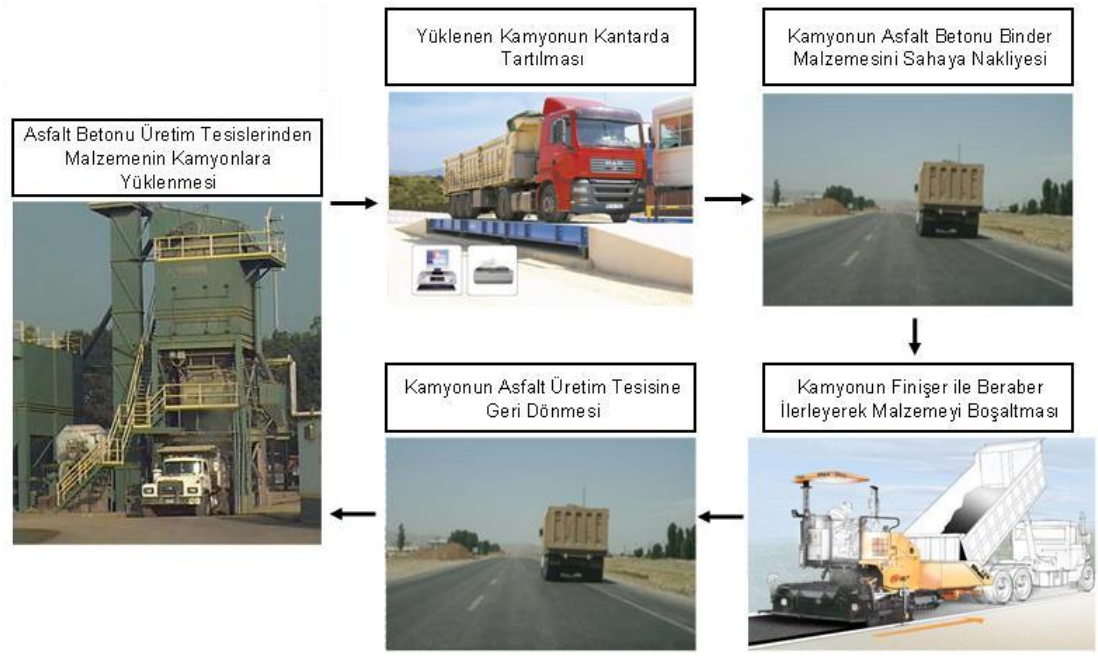
Kaynak	Adet	Kodu
Asfalt Plenti	1	AP
Kamyon	7	KM
Finişer	1	FN
Demir Bandajlı Silindir	1	DS
Pnömatik Silindir	1	PS
Tırmıkçı	5	TR
Topoğraf	1	TP
Şenör	2	ŞN
Laborant	1	LB
Kantar	1	KN

Aşağıdaki Şekil 6.7'de binder tabakası imalatının akış şeması görülmektedir. Akış şemasındaki her aktivitenin üzerinde bulunan küçük kutularda, o aktivitenin gerçekleşmesi için kullanılan kaynakların adedi ve kaynakların kısa kodları yer almaktadır.



Şekil 6.7 : Asfalt betonu binder tabakası imalatı akış şeması.

Binder tabakası imalatı, plent-miks temel tabakası tamamlanmış yol güzergahı üzerine ölçüm ekibi (1 topoğraf ve 2 şenör) tarafından binder tabakası kotlarının verilmesi ile başlar. Kotların verilmesinden sonra asfalt betonu binder malzemesi, firmanın tanıtımının yapıldığı bölümde açıklanan asfalt üretim tesislerinde kurulu olan asfalt plentinden temin edilmektedir. Firmanın kullandığı asfalt plentinin asfalt betonu üretim kapasitesi 200 ton/saat' tir. Aşağıdaki Şekil 6.8'de asfalt betonu binder malzemesi için malzeme temini döngüsü yer almaktadır.



Şekil 6.8 : Asfalt betonu binder tabakası malzeme temini döngüsü.

Modellenen vaka çalışmasında binder tabakası imalatı için 7 adet kamyonun günde 9 sefer asfalt üretim tesisinden malzeme çektiği kabul edilmiştir. Yüklenen kamyonlar tesisten çıkmadan önce kantara girerek tartılmaktadır ve tartılan kamyonlar yol inşaatı sahasına giderek finişere yanaşmaktadır. Daha sonra kamyon damperini kaldırarak malzemeleri yavaşça finişerin haznesine boşaltmakta ve kamyon ile finişer beraber ilerleyerek asfalt betonu binder malzemesi serilmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 6.11'de asfalt betonu binder malzemesi temininde kullanılan 1 kamyonun 1 seferi tamamlamak için geçirdiği süreler yer almaktadır;

Çizelge 6.11 : Asfalt betonu binder temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri.

Süre	Yükleme (Dak.)	Tartılma (Dak.)	Nakliye (Dak.)	Serme Boşaltma (Dak.)	Tesise Dönüş (Dak.)	1 Sefer İçin Toplam Süre (Dak.)
Min.	6	2	17	4	15	44
Maks.	8	3	19	6	17	53
Olası	7	2,5	18	5	16	48,5

1 döngü için kullanılan 7 adet kamyonun günde 9 sefer yaptığı kabulüne göre aşağıdaki Çizelge 6.12'de asfalt plentinden sahaya nakledilen asfalt betonu binder malzemesi miktarının 1 gün için hesabı görülmektedir;

Çizelge 6.12 : 1günde imalatı yapılan asfalt betonu binder tabakası miktarı.

Kamyon Adedi	Kamyon Sefer/Gün	Kapasite (Ton/Kamyon)	Gelen Malzeme (Ton/Gün)
7	9	24-26	1.575

Yapılan bu hesaba göre 1.575 ton asfalt betonu binder malzemesi serilebilmektedir. Asfalt plentinin üretim kapasitesi 200 ton/saat olduğuna göre, asfalt plentinin binder tabakası imalatı sırasında 1.575 / 200 = 8 saat çalışması gerekmektedir.

Yapılan 1 günlük imalat hesabına göre binder tabakası, modellenen yol için hacmen yaklaşık olarak 1.575 / 2,40 = 656 m3 serilmektedir. Modellenen yolun genişliği 14 m ve binder tabakası kalınlığı 0,07 m olduğu göz önünde bulundurulduğunda, günde yaklaşık olarak yolun 656 / (14 x 0,07) = 670 m uzunluğundaki binder tabakası serilebilmektedir. Üretim planına göre 6 döngüde tamamlanan 4.000 m uzunluğundaki yola ait binder tabakası imalatı, bu hesaba göre yaklaşık olarak 6 x 670 = 4.020 m değerini sağlamaktadır.

Serilmiş olan plent-miks temel tabakası üzerine asfalt betonu tabakası belirli bir süre sonra uygulanacak ise (plent-miks temelin trafiğe açılması gibi), finişer ile asfalt betonu binder tabakası serilmeye başlamadan önce plent-miks temel tabakası üzerine MC-30 bitümlü astar malzemesi uygulanır. MC-30 bitümlü astar malzemesinin serilme işlemi distribütörle, 30 °C – 50 °C püskürtme sıcaklığında yapılır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006). Fakat vaka çalışması için oluşturulan üretim planına göre, plent-miks temel tabakası imalatından hemen bir sonraki gün asfalt betonu binder tabakası serilmesi düşünüldüğü için bitümlü astar malzemesi uygulaması yapılmayacaktır.

Yol inşaatının yapıldığı sahaya getirilen asfalt betonu binder malzemesi finişer vasıtası ile serilmektedir. Bir seferde serilip, sıkıştırılan tabakanın kalınlığı, karışım içindeki en büyük tane boyutunun 1,5 katından az, 3 katından fazla olmayacaktır. Serim sırasında segregasyona meydan verilmeyecek, malzeme yolun plan, profil ve eb kesitlerine uygun olarak serme işlemi yapılacaktır. Bu işlem mümkün olduğu kadar sürekli olacak ve serim sırasında sericinin hızı sabit tutulacaktır. Yeterli sayıda tecrübeli kürekçi, tırmıkçı vb. Personel, finişeri takip ederek kaplama yüzeyinde istenilen özelliklerin temininde yardımcı olacaktır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006). Aşağıdaki Şekil 6.9'da asfalt betonunu serilmesi görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi asfalt betonu taşıyan kamyon finişer ile beraber ilerlerken malzemeyi boşaltmakta ve serme işlemi gerçekleşmektedir.



Şekil 6.9 : Asfalt betonu serilmesi.

Sıkıştırma işlemi, asfalt betonunun uygulaması bölümünde detaylı şekilde açıklandığı gibi, ilk silindiraj, ara silindiraj ve son silindiraj aşamaları ile yapılacaktır.

Sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra tamamlanan imalatların kontrol işlemleri yapılır. Bu işlemlerden biri serilmiş binder tabakası kotlarının ölçüm ekibi tarafından kontrol edilmesidir. Diğer bir kontrol işlemi de sıkışma oranının ölçülmesidir. Sıkışma oranı, laborant tarafından sahadan alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında ölçülmesi ile belirlenir. Araştırma yönetminde de açıklandığı gibi toplam günlük 10 saat mesainin son 1 saati bu kontrol çalışması için ayrılmıştır. Bu nedenle modelin kurgusunda laborantın çalışma süresi 45-75 dakika arasında olmaktadır. Yapılan deneyler sonucuna göre minimum sıkışma oranının, asfalt betonu binder tabakası için ortalama değer olarak % 98 değerinden daha düşük olmaması gerekmektedir. Modelin kurgusunda sıkışma oranının % 98 değerinin altında çıkması olasılığı % 1 olarak kabul edilmiştir. Bu % 1'lik değer, uygulamada karşılaşılan istatistiklere ve literatürdeki makalelerin kabul ettiği değerdir (Marwen H.M.,2006). Deney sonuçlarına göre EK B'de yer alan Üst Yapı Onay Formu doldurularak, onay alınmasından sonra bir üst tabaka olan aşınma tabakası imalatına geçilir.

6.2.5 Asfalt betonu aşınma tabakası yapılması

Aşınma tabakası, kırılmış ve elenmiş kaba agrega, ince agrega ve mineral fillerin belli gradasyon limitleri arasında işyeri karışım formülü esaslarına uygun olarak bitümlü bağlayıcı ile bir plentte karıştırılarak yeterli temeller veya diğer bitümlü kaplamalar ile beton kaplamalar üzerine bir veya birden fazla tabakalar halinde sıcak olarak ve projesinde belirtilen plan, profil ve en kesitlere uygun olarak yapılır (TCK Teknik Şartnamesi, 2006).

Modellenen çevre yolu asfalt betonu aşınma tabakası için örnek alınan işyeri karışım formülü EK C'de yer almaktadır.

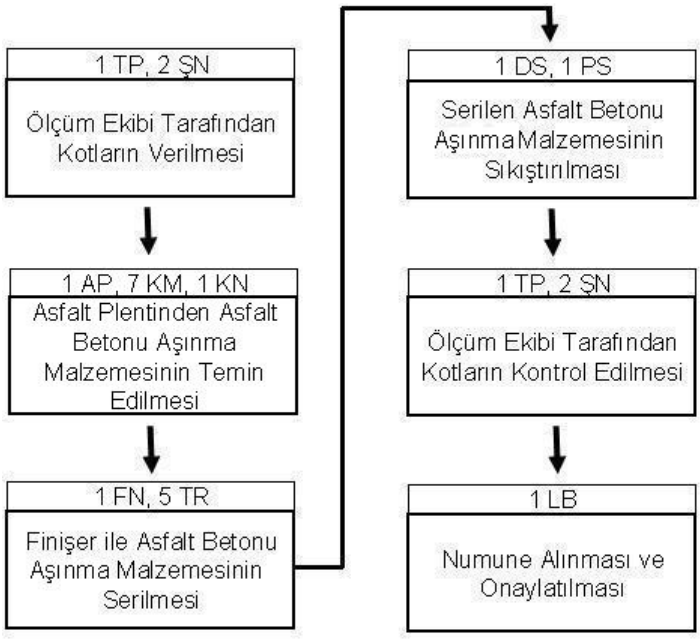
Vaka çalışması için hazırlanan üretim planlarına göre, aşınma tabakası imalatı toplam olarak 4 gün sürmektedir. İmalatın 4 döngüye ayrılmasının nedeni, aşınma tabakasının, imalatı biten binder tabakası üzerine uygulanacak olması ve asfalt plentinin kapasitesidir. Çizelge 6.3'te yapılmış olan malzeme hesabına göre, vaka çalışması için modellenen çevreyolu için yaklaşık olarak 6.720 ton asfalt betonu

aşınma malzemesi kullanılacaktır. Böylece, 4 günde toplam 6.720 ton aşınma tabakası imalatı tamamlanacaktır. Aşınma tabakası imalatında kullanılan kaynaklar aşağıdaki Çizelge 6.13'te yer almaktadır.

Çizelge 6.13 : Asfalt betonu aşınma tabakası imalatında kullanılan kaynak listesi

Kaynak	Adet	Kodu
Asfalt Plenti	1	AP
Kamyon	7	KM
Finişer	1	FN
Demir Bandajlı Silindir	1	DS
Pnömatik Silindir	1	PS
Tırmıkçı	5	TR
Topoğraf	1	TP
Şenör	2	ŞN
Laborant	1	LB
Kantar	1	KN

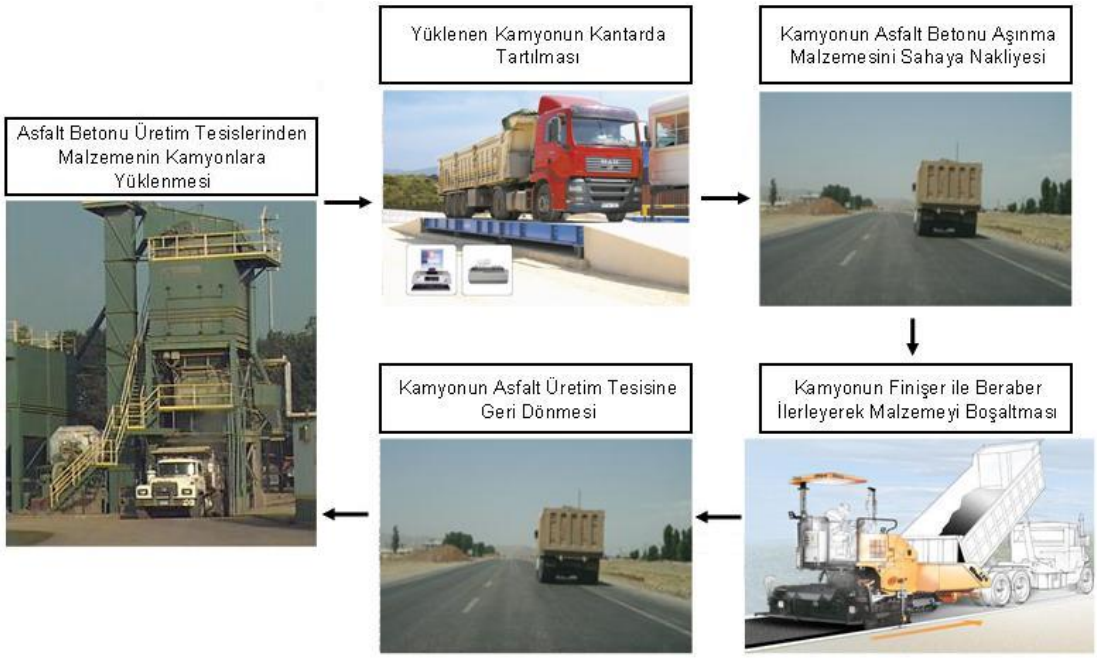
Aşağıdaki Şekil 6.10'da aşınma tabakası imalatının akış şeması görülmektedir. Akış şemasındaki her aktivitenin üzerinde bulunan küçük kutularda, o aktivitenin gerçekleşmesi için kullanılan kaynakların adedi ve kaynakların kısa kodları yer almaktadır.



Şekil 6.10 : Asfalt betonu aşınma tabakası imalatı akış şeması.

Aşınma tabakası imalatı, binder tabakası tamamlanmış yol güzergahı üzerine ölçüm ekibi (1 topoğraf ve 2 şenör) tarafından aşınma tabakası kotlarının verilmesi ile başlar. Kotların verilmesinden sonra yapıştırıcı malzemesi serilir. Asfalt betonu

aşınma malzemesi, firmanın tanıtımının yapıldığı bölümde açıklanan asfalt üretim tesislerinde kurulu olan asfalt plentinden temin edilmektedir. Firmanın kullandığı asfalt plentinin asfalt betonu üretim kapasitesi 200 ton/saat' tir. Aşağıdaki Şekil 6.11'de asfalt betonu aşınma malzemesi için malzeme temini döngüsü yer almaktadır.



Şekil 6.11 : Asfalt betonu aşınma tabakası malzeme temini döngüsü.

Modellenen vaka çalışmasında aşınma tabakası imalatı için 7 adet kamyonun günde 10 sefer asfalt üretim tesisinden malzeme çektiği kabul edilmiştir. Yüklenen kamyonlar tesisten çıkmadan önce kantara girerek tartılmaktadır ve tartılan kamyonlar yol inşaatı sahasına giderek finişere yanaşmaktadır. Daha sonra kamyon damperini kaldırarak malzemeleri yavaşça finişerin haznesine boşaltmakta ve kamyon ile finişer beraber ilerleyerek asfalt betonu binder malzemesi serilmektedir.

Aşağıdaki Çizelge 6.14'te asfalt betonu aşınma malzemesi temininde kullanılan 1 kamyonun 1 seferi tamamlamak için geçirdiği süreler yer almaktadır;

Çizelge 6.14 : Asfalt betonu aşınma temini, 1 kamyonun 1 sefer için süreleri.

Süre	Yükleme (Dak.)	Tartılma (Dak.)	Nakliye (Dak.)	Serme Boşaltma (Dak.)	Tesise Dönüş (Dak.)	1 Sefer İçin Toplam Süre (Dak.)
Min.	6	2	17	4	15	44
Maks.	8	3	19	6	17	53
Olası	7	2,5	18	5	16	48,5

1 döngü için kullanılan 7 adet kamyonun günde 10 sefer yaptığı kabulüne göre aşağıdaki Çizelge 6.15'te asfalt plentinden sahaya nakledilen asfalt betonu aşınma malzemesi miktarının 1 gün için hesabı görülmektedir;

Çizelge 6.15 : 1günde imalatı yapılan asfalt betonu binder tabakası miktarı.

Kamyon Adedi	Kamyon Sefer/Gün	Kapasite (Ton/Kamyon)	Gelen Malzeme (Ton/Gün)
7	10	24-26	1.750

Yapılan bu hesaba göre 1.680 ton asfalt betonu aşınma malzemesi serilebilmektedir. Asfalt plentinin üretim kapasitesi 200 ton/saat olduğuna göre, asfalt plentinin binder tabakası imalatı sırasında 1.750 / 200 = 9 saat çalışması gerekmektedir.

Yapılan 1 günlük imalat hesabına göre aşınma tabakası, modellenen yol için hacmen yaklaşık olarak 1.750 / 2,40 = 730 m3 serilmektedir. Modellenen yolun genişliği 14 m ve binder tabakası kalınlığı 0,05 m olduğu göz önünde bulundurulduğunda, günde yaklaşık olarak yolun 730 / (14 x 0,05) = 1.040 m uzunluğundaki binder tabakası serilebilmektedir. Üretim planına göre 4 döngüde tamamlanan 4.000 m uzunluğundaki yola ait binder tabakası imalatı, bu hesaba göre yaklaşık olarak 4 x 1.040 = 4.166 m değerini sağlamaktadır.

Asfalt betonu aşınma tabakası serilmesi ve sıkıştırılması süreçleri, binder tabakasının serilmesi ve sıkıştırılması süreçleri ile aynı özellikte olduğu için, bir önceki kısımda binder tabakası için yapılan serme ve sıkıştırma süreçleri tekrar bu kısımda açıklanmamıştır.

Sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra tamamlanan imalatların kontrol işlemleri yapılır. Bu işlemlerden biri serilmiş aşınma tabakası kotlarının ölçüm ekibi tarafından kontrol edilmesidir. Diğer bir kontrol işlemi de sıkışma oranının ölçülmesidir. Sıkışma oranı, laborant tarafından sahadan alınan karot numunelerinin laboratuvar ortamında ölçülmesi ile belirlenir. Araştırma yönetminde de açıklandığı gibi toplam günlük 10 saat mesainin son 1 saati bu kontrol çalışması için ayrılmıştır. Bu nedenle modelin kurgusunda laborantın çalışma süresi 45-75 dakika arasında olmaktadır. Yapılan deneyler sonucuna göre minimum sıkışma oranının, asfalt betonu aşınma tabakası için ortalama değer olarak % 98 değerinden daha düşük olmaması gerekmektedir. Modelin kurgusunda sıkışma oranının % 98 değerinin altında çıkması olasılığı % 1 olarak kabul edilmiştir. Bu % 1'lik değer, uygulamada

karşılaşılan istatistiklere ve literatürdeki makalelerin kabul ettiği değerdir (Marwen H.M.,2006). Deney sonuçlarına göre EK B'de yer alan Üst Yapı Onay Formu doldurularak yapılan imalatın geçerliliği için onay alınmaktadır.

Üç farklı iş programı için hazırlanan simülasyon modellerinin çalıştırılması sonucunda her iş programına ait malzeme değişim grafikleri elde edilmiştir.

Üretim planı – 1 , üretim planı – 2 ve üretim planı – 3 için modelin çalıştırılması sonucu elde edilen malzeme değişim grafikleri EK D bölümünde yer almaktadır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın amacı, asfalt yol inşaatının tedarik zincirinin simülasyon tabanlı modellenmesinin yapılarak, farklı üretim planlarının modele uygulanması ve model sonuçlarının değerlendirerek karşılaştırılmasıdır. Önceki bölümlerde açıklanan farklı üretim planlarının modele uygulanması sonucu aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

Üretim Planı – 1

Ek A'da iş programı bulunan üretim planı – 1 , araştırma yönteminde yer alan Çizelge 5.1'de ki süreçler ile modelin çalışıtırılması sonucunda kaynaklara ait aşağıdaki kullanım oranları elde edilmiştir.

Çizelge 7.1 : Üretim Planı 1'e ait kaynak kullanım oranları (proje süresince)

	ÜRETİM PLANI - 1	
KAYNAK	ADEDİ	K.O.
Hophopçu	3	31%
Greyder	1	24%
Toprak Silindir	1	50%
Arazöz	1	7%
Kamyon (Alt Temel)	10	29%
Loader	1	26%
Kamyon (PMT)	12	26%
Kamyon (Binder)	7	25%
Kamyon (Aşınma)	7	19%
Finişer	1	56%
Pnömatik Silindir	1	68%
Demir Bandajlı Silindir	1	42%
Tırmıkçı	5	32%
Kantar (Alt Temel)	1	32%
Kantar (PMT)		
Kantar (Aşınma)	1	16%
Kantar (Binder)		
Laborant	1	13%
Mekanik Stab. Plenti	1	8%
Asfalt Plenti (Binder)	1	45%
Asfalt Plenti (Aşınma)		
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**10.195 Dak.**	

Modelleme sonucu elde edilen kaynak kullanım oranları tüm proje boyunca hesaplanan değerlerdir. Modelde yer alan kaynakların proje süresince çalışmadığı günleri çıkararak, çalıştığı günler üzerinden verim hesabı yapılırsa, aşağıdaki kaynak kullanım oranı düzeltme işleminin uygulandığı çizelge sonuçlarına ulaşılır. Bu çizelgede yer alan kullanım oranları, kaynakların çalıştığı günler üzerinden hesaplanan oranlardır;

Çizelge 7.2 : Üretim Planı 1'e ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince)

	ÜRETİM PLANI - 1			
KAYNAK	ADEDİ	K.O.	DÜZELTME KATSAYISI	DÜZELTİLMİŞ K.O.
Hophopçu	3	31%	10.200/10.200	31%
Greyder	1	24%	10.200/3.600	68%
Toprak Silindir	1	50%	10.200/7.200	71%
Arazöz	1	7%	10.200/7.200	10%
Kamyon (Alt Temel)	10	29%	10.200/3.600	82%
Loader	1	26%	10.200/3.600	74%
Kamyon (PMT)	12	26%	10.200/3.600	74%
Kamyon (Binder)	7	25%	10.200/3.600	71%
Kamyon (Aşınma)	7	19%	10.200/2.400	81%
Finişer	1	56%	10.200/9.600	60%
Pnömatik Silindir	1	68%	10.200/9.600	72%
Demir Bandajlı Silindir	1	42%	10.200/6.000	71%
Tırmıkçı	5	32%	10.200/6.000	54%
Kantar (Alt Temel)	1	32%	10.200/7.200	45%
Kantar (PMT)				
Kantar (Aşınma)	1	16%	10.200/6.000	27%
Kantar (Binder)				
Laborant	1	13%	10.200/10.200	13%
Mekanik Stab. Plenti	1	8%	10.200/3.600	23%
Asfalt Plenti (Binder)	1	45%	10.200/6.000	77%
Asfalt Plenti (Aşınma)				
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**10.195 Dak.**			

Üretim Planı – 2

Ek A'da iş programı bulunan üretim planı – 2 , araştırma yönteminde yer alan Çizelge 5.2'de ki süreçler ile modelin çalışıtırılması sonucunda kaynaklara ait aşağıdaki kullanım oranları elde edilmiştir.

Çizelge 7.3 : Üretim Planı 2'ye ait kaynak kullanım oranları (proje süresince)

	ÜRETİM PLANI - 2	
KAYNAK	ADEDİ	K.O.
Hophopçu	2	35%
Greyder	1	19%
Toprak Silindir	1	39%
Arazöz	1	5%
Kamyon (Alt Temel)	10	23%
Loader	1	20%
Kamyon (PMT)	12	20%
Kamyon (Binder)	7	20%
Kamyon (Aşınma)	7	15%
Finişer	1	44%
Pnömatik Silindir	1	53%
Demir Bandajlı Silindir	1	33%
Tırmıkçı	5	25%
Kantar (Alt Temel)	1	25%
Kantar (PMT)		
Kantar (Aşınma)	1	12%
Kantar (Binder)		
Laborant	1	10%
Mekanik Stab. Plenti	1	14%
Asfalt Plenti (Binder)	1	35%
Asfalt Plenti (Aşınma)		
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**13.201 Dak.**	

Modelleme sonucu elde edilen kullanım oranları tüm proje boyunca hesaplanan değerlerdir. Modelde yer alan kaynakların proje süresince çalışmadığı günleri

çıkararak, çalıştığı günler üzerinden kullanım oranı hesabı yapılırsa, aşağıdaki oran düzeltme işleminin uygulandığı çizelge sonuçlarına ulaşılır. Bu çizelgede yer alan kullanım oranları, kaynakların çalıştığı günler üzerinden hesaplanan verimlerdir;

Çizelge 7.4 : Üretim Planı 2'ye ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince)

	ÜRETİM PLANI - 2			
KAYNAK	ADEDİ	K.O.	DÜZELTME KATSAYISI	DÜZELTİLMİŞ K.O.
Hophopçu	2	35%	13.200/13.200	35%
Greyder	1	19%	13.200/3.600	70%
Toprak Silindir	1	39%	13.200/7.200	71%
Arazöz	1	5%	13.200/7.200	9%
Kamyon (Alt Temel)	10	23%	13.200/3.600	84%
Loader	1	20%	13.200/3.600	73%
Kamyon (PMT)	12	20%	13.200/3.600	73%
Kamyon (Binder)	7	20%	13.200/3.600	73%
Kamyon (Aşınma)	7	15%	13.200/2.400	83%
Finişer	1	44%	13.200/9.600	61%
Pnömatik Silindir	1	53%	13.200/9.600	73%
Demir Bandajlı Silindir	1	33%	13.200/6.000	73%
Tırmıkçı	5	25%	13.200/6.000	55%
Kantar (Alt Temel)	1	25%	13.200/7.200	46%
Kantar (PMT)				
Kantar (Aşınma)	1	12%	13.200/6.000	26%
Kantar (Binder)				
Laborant	1	10%	13.200/13.200	10%
Mekanik Stab. Plenti	1	14%	13.200/3.600	51%
Asfalt Plenti (Binder)	1	35%	13.200/6.000	77%
Asfalt Plenti (Aşınma)				
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**13.201 Dak.**			

Üretim Planı – 3

Ek A'da iş programı bulunan üretim planı – 3 , araştırma yönteminde yer alan Çizelge 5.3'de ki süreçler ile modelin çalışıtırılması sonucunda kaynaklara ait aşağıdaki kullanım oranları elde edilmiştir.

Çizelge 7.5 : Üretim Planı 3'e ait kaynak kullanım oranları (proje süresince)

	ÜRETİM PLANI - 3	
KAYNAK	ADEDİ	K.O.
Hophopçu	4	43%
Greyder	1	45%
Toprak Silindir	2	47%
Arazöz	2	7%
Kamyon (Alt Temel)	10	55%
Loader	1	49%
Kamyon (PMT)	12	47%
Kamyon (Binder)	7	48%
Kamyon (Aşınma)	7	35%
Finişer	3	35%
Pnömatik Silindir	3	43%
Demir Bandajlı Silindir	2	40%
Tırmıkçı	10	30%
Kantar (Alt Temel)	1	27%
Kantar (PMT)	1	32%
Kantar (Aşınma)	1	13%
Kantar (Binder)	1	17%
Laborant	4	6%
Mekanik Stab. Plenti	1	33%
Asfalt Plenti (Binder)	1	48%
Asfalt Plenti (Aşınma)	1	36%
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**5.407 Dak.**	

Modelleme sonucu elde edilen kullanım oranları tüm proje boyunca hesaplanan değerlerdir. Modelde yer alan kaynakların proje süresince çalışmadığı günleri çıkararak, çalıştığı günler üzerinden kullanım oranı hesabı yapılırsa, aşağıdaki verim

düzeltme işleminin uygulandığı çizelge sonuçlarına ulaşılır. Bu çizelgede yer alan kullanım oranları, kaynakların çalıştığı günler üzerinden hesaplanan oranlardır;

Çizelge 7.6 : Üretim Planı 3'e ait kaynak kullanım oranları (çalışma süresince)

	ÜRETİM PLANI - 3			
KAYNAK	ADEDİ	K.O.	DÜZELTME KATSAYISI	DÜZELTİLMİŞ K.O.
Hophopçu	4	43%	5.400/5.400	43%
Greyder	1	45%	5.400/3.600	68%
Toprak Silindir	2	47%	5.400/4.200	60%
Arazöz	2	7%	5.400/4.200	9%
Kamyon (Alt Temel)	10	55%	5.400/3.600	83%
Loader	1	49%	5.400/3.600	74%
Kamyon (PMT)	12	47%	5.400/3.600	71%
Kamyon (Binder)	7	48%	5.400/3.600	72%
Kamyon (Aşınma)	7	35%	5.400/3.600	53%
Finişer	3	35%	5.400/4.800	39%
Pnömatik Silindir	3	43%	5.400/4.800	48%
Demir Bandajlı Silindir	2	40%	5.400/4.200	51%
Tırmıkçı	10	30%	5.400/4.200	39%
Kantar (Alt Temel)	1	27%	5.400/3.600	41%
Kantar (PMT)	1	32%	5.400/3.600	48%
Kantar (Aşınma)	1	13%	5.400/2.400	29%
Kantar (Binder)	1	17%	5.400/3.600	26%
Laborant	4	6%	5.400/5.400	6%
Mekanik Stab. Plenti	1	33%	5.400/3.600	50%
Asfalt Plenti (Binder)	1	48%	5.400/3.600	72%
Asfalt Plenti (Aşınma)	1	36%	5.400/2.400	81%
TOPLAM PROJE SÜRESİ	**5.407 Dak.**			

3 farklı üretim planı için, sözkonusu proje süresince, kaynak kullanım oranlarının ortalaması yönünden bir fark var mıdır sorusuna cevap verebilmek için "Bağımsız Örneklemler İçin T testi" (Independent Sample T Test) yapılmalıdır.

Bağımsız örneklemler için T testi, Birbirinden bağımsız iki grubun bağımlı bir değişkene göre ortalamalarının karşılaştırılarak ortalamalar arasındaki farkın belirli bir anlamlılık düzeyinde (0,05; 0,01 gibi) anlamlı olup olmadığını test etmek için kullanılır (Url -10).

Tek örneklem için T testi, tek örneklemin belirli bir değişkene ilişkin ölçülen ortalaması ile aynı değişkene ilişkin verilen ortalama arasındaki farkın anlamlılığını test etmek amacı ile kullanılır (Url -10).

İlişkili ölçümler için T testi, aynı yada eşleştirilmiş örneklem üzerinde gerçekleştirilen ilişkili iki ölçüme ait ortalamayı karşılaştırmak amacı ile kullanılır.

Bağımsız örneklemler için tek-faktörlü varyans analizi, tek bir bağımsız değişkene ilişkin iki veya daha fazla grubun bağımlı bir değişkene göre ortalamalarının karşılaştırılması amacı ile kullanılır.

Bağımsız örneklemler için iki-faktörlü varyans analizi, bağımsız iki değişkenin bağımlı değişken üzerindeki ortak etkisini test etmek için kullanılır.

İlişkili ölçümler için tek-faktörlü varyans analizi, aynı örneklem üzerinde gerçekleştirilen ilişkili iki ve daha fazla ölçüme ait ortalamaların karşılaştırılması amacı ile kullanılır (Url -10).

İlişkili ölçümler için iki-faktörlü varyans analizi, bağımsız değişkenin ilişkili iki ölçüm üzerindeki etkisini test etmek amacı ile kullanılır.

Söz konusu 3 farklı üretim planı için T testinin yapılaiblmesi için verilerin "Normal Dağılım" gösterip göstermediği araştırılmalıdır. Normalite testi olarak One-Sample-Kolmogorov-Smirnov testi yapılmalıdır.

Kolmogorov-Smirnov (k-s) Testi rasgele elde edilmiş örnek bir verinin belirli bir dağılıma (uniform, normal veya poison) uyup uymadığını test etmek amacıyla kullanılır. Prensip olarak (k-s) testi örnek verinin kümülatif dağılım fonksiyonunun öne sürülen kümülatif dağılım fonksiyonuyla karşılaştırılması esasına dayanır. Bu test yardımıyla bir örneklemden toplanan verilerin normal dağılım sergileyip sergilemediğini incelemek mümkündür (URL-11).

Normalite Testi Sonuçları:

Çizelge 7.7 : Kolmogorov-Smirnov normalite testi sonuçları

		Senaryo 1	Senaryo 2	Senaryo 3
N		21	21	21
Normal Parameters(a,b)	Mean	,3057	,2471	,3505
	Std. Deviation	,15857	,12252	,14161
Most Extreme Differences	Absolute	,178	,157	,141
	Positive	,178	,157	,115
	Negative	-,069	-,085	-,141
Kolmogorov-Smirnov Z		,818	,721	,648
Asymp. Sig. (2-tailed)		,516	,676	,795

a Test distribution is Normal.

b Calculated from data.

Senaryo 1 için:

Ho: Normal Dağılıyor

Hı: Normal Dağılmıyor

GD: %95

TD: KSZ= 0,818

AD: p=0,516

Sonuç: p>0,05 Ho KABUL

Yorum: Veriler NORMAL

Senaryo 2 için:

Ho: Normal Dağılıyor

Hı: Normal Dağılmıyor

GD: %95

TD: KSZ= 0,721

AD: p=0,676

Sonuç: p>0,05 Ho KABUL

Yorum: Veriler NORMAL

Senaryo 3 için:

Ho: Normal Dağılıyor

Hı: Normal Dağılmıyor

GD: %95

TD: KSZ= 0,648

AD: p=0,795

Sonuç: p>0,05 Ho KABUL

Yorum: Veriler NORMAL

Normalite testi sonuçlarına göre veriler normal dağılıyor. Veriler Normal Dağılıma Uyduğuna göre Bağımsız Örneklemler için T Testi Yapılabilir:

Ortalamalar

Senaryo 1 için Kullanım Oranlarının Ortalaması= %30,57

Senaryo 2 için Kullanım Oranlarının Ortalaması= %24,71

Senaryo 3 için Kullanım Oranlarının Ortalaması= %35,05

Varyansların Eşitliği İçin Levene Testi

Senaryo 1 ve Senaryo 2 için:

Ho: Varyanslar Eşittir

Hı: Varyanslar Eşit Değildir

GD: %95

TD: F=0,830

AD: p=0,368

Sonuç: p>0,05 Ho HABUL

Yorum: Varyanslar EŞİTTİR

Senaryo 1 ve Senaryo 3 için:

Ho: Varyanslar Eşittir

Hı: Varyanslar Eşit Değildir

GD: %95

TD: F=0,156

AD: p=0,695

Sonuç: p>0,05 Ho HABUL

Yorum: Varyanslar EŞİTTİR

Senaryo 2 ve Senaryo 3 için:

Ho: Varyanslar Eşittir

Hı: Varyanslar Eşit Değildir

GD: %95

TD: F=0,283

AD: p=0,598

Sonuç: p>0,05 Ho HABUL

Yorum: Varyanslar EŞİTTİR

Ortalamaların Eşitliği Testi (Bağımsız Örneklemler İçin T Testi)

Senaryo 1 ve Senaryo 2 için:

Ho: Ortalamalar Eşittir

Hı: Ortalamalar Eşit Değildir

GD: %95

SD: 40

TD: T=1,339

AD: P=0,188

Sonuç: p>0,05 Ho KABUL

Yorum: Senaryo 1 ve Senaryo 2 için kaynak kullanım oranları arasında fark yoktur.

Senaryo 1 ve Senaryo 3 için:

Ho: Ortalamalar Eşittir

Hı: Ortalamalar Eşit Değildir

GD: %95

SD: 40

TD: T= -0,965

AD: P=0,340

Sonuç: p>0,05 Ho KABUL

Yorum: Senaryo 1 ve Senaryo 3 için kaynak kullanım oranları arasında fark yoktur.

Senaryo 2 ve Senaryo 3 için:

Ho: Ortalamalar Eşittir

Hı: Ortalamalar Eşit Değildir

GD: %95

SD: 40

TD: T= -2,529

AD: P=0,015

Sonuç: $p<0,05$ H_1 KABUL

Yorum: Senaryo 2 ve Senaryo 3 için kaynak kullanım oranları arasında fark vardır.

Alsfalt yol inşaatının tedarik zincirinin simülasyon tabanlı modellenmesinin sonuçları üç farklı iş programına göre yapılan istatistiksel testler sonucunda incelendiğinde, Senaryo 1 ve Senaryo 2, ve Senaryo 1 ve Senaryo 3 için kaynak kullanım oranları arasında fark yoktur. Senaryo 2 ve Senaryo 3 için kaynak kullanım oranları arasında ise istatistiksel olarak fark vardır.

Kullanılan kaynak sayısının, toplam proje süresine olan etkisi, projenin o anki durumuna göre değerlendirilmelidir. Proje süresinin azaltılabilmesi için gereken kaynak arttırımının getireceği ek maliyetler, proje süresinin azalmasından dolayı sağlanacak yararlar ile karşılaştırılmalı ve gereken kararlar proje içerisindeki şartlar (konjonktür) göz önünde bulundurularak verilmelidir. Bu amaçla, üretim planlarının maliyetler açısından basit bir şekilde karşılaştırılması yapılmış ve aşağıdaki çizelgeler elde edilir. Bu çizelgelerdeki maliyet hesabını yapabilmek için, projede kullanılan kaynakların piyasadaki satış fiyatları toplanmıştır. Daha sonra firmanın kiraladığı makina ve satın aldığı malzemeler için bu fiyatlar kullanılmış, ve firma yetkilileri ile yapılan görüşmeler sonucunda, firmanın elinde buludurduğu makinalar için piyasa satış fiyatlarının %20, kendi üretimini yaptığı malzemeler için ise piyasa satış fiyatlarının %30 düşük değerlerinin maliyetleri oluşturduğu sonucuna varılmıştır. Tablolarda yer alan birim fiyat kısmında AxG şeklinde tariflenen değer AdamxGün, MxG şeklinde tariflenen değer MakinaxGün ibaresi olup, ödenecek yevmiye ve ya ekipman kirası hesabı için tanımlanmıştır. Ekipman kira bedelleri içerisine operatör yevmiyeleri de dahil edilmiştir.

Üretim planı 1 için maliyet hesabını yaparken kullanılan kaynakların tedarik durumlarına bakılmalıdır. Üretim planı 1'de kullanılan tüm kaynaklar, firmanın elinde bulundurduğu makina parkından ve üretim tesislerinden temin edilmektedir.

Bu nedenle malzeme birim fiyatları, piyasa satış fiyatlarından %30 daha düşük ve makina birim fiyatları da piyasa kira bedellerinden %20 daha düşük olacak şekilde hesaplanmıştır. Çizelge 7.8'de üretim planı 1 için hesaplanan maliyetler görülmektedir.

Üretim planı 2 için maliyet hesabını yaparken kullanılan kaynakların tedarik durumlarına bakılmalıdır. Üretim planı 2'de de kullanılan tüm kaynaklar, firmanın elinde bulundurduğu makina parkından ve üretim tesislerinden temin edilmektedir. Bu nedenle malzeme birim fiyatları piyasa satış fiyatlarından %30 daha düşük ve makina birim fiyatları da piyasa kira bedellerinden %20 daha düşük olacak şekilde hesaplanmıştır. Çizelge 7.9'da üretim planı 2 için hesaplanan maliyetler görülmektedir.

Çizelge 7.8 : Üretim planı 1 için maliyet hesabı

ÜRETİM PLANI - 1					
KAYNAK	Birim Fiyatlar		Kullanılan Miktar		**TUTAR**
	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	
Alt Temel	10,50 TL/Ton	15,00 TL/Ton	15.120,00 Ton	0,00 Ton	158.760 TL
Plent-Miks	14,00 TL/Ton	20,00 TL/Ton	17.640,00 Ton	0,00 Ton	246.960 TL
Binder	59,50 TL/Ton	85,00 TL/Ton	9.408,00 Ton	0,00 Ton	559.776 TL
Aşınma	63,00 TL/Ton	90,00 TL/Ton	6.720,00 Ton	0,00 Ton	423.360 TL
Hophopçu	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	51,00 AxG	0,00 AxG	1.530 TL
Greyder	400,00 TL/MxG	500,00 TL/MxG	6,00 MxG	0,00 MxG	2.400 TL
Toprak Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	12,00 MxG	0,00 MxG	1.920 TL
Arazöz	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	12,00 MxG	0,00 MxG	2.400 TL
Kamyon (AT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	60,00 MxG	0,00 MxG	15.840 TL
Loader	320,00 TL/MxG	400,00 TL/MxG	6,00 MxG	0,00 MxG	1.920 TL
Kamyon (PMT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	72,00 MxG	0,00 MxG	19.008 TL
Kamyon (Binder)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	42,00 MxG	0,00 MxG	11.088 TL
Kamyon (Aşınma)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	28,00 MxG	0,00 MxG	7.392 TL
Finişer	664,00 TL/MxG	830,00 TL/MxG	16,00 MxG	0,00 MxG	10.624 TL
Pnömatik Silindir	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	16,00 MxG	0,00 MxG	3.200 TL
Demir B. Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	10,00 MxG	0,00 MxG	1.600 TL
Tırmıkçı	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	85,00 AxG	0,00 AxG	2.550 TL
Laborant	50,00 TL/AxG	50,00 TL/AxG	17,00 AxG	0,00 AxG	850 TL
TOPLAM TUTAR					**1.471.178 TL**

Çizelge 7.9 : Üretim planı 2 için maliyet hesabı

ÜRETİM PLANI - 2					
KAYNAK	Birim Fiyatlar		Kullanılan Miktar		**TUTAR**
	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	
Alt Temel	10,50 TL/Ton	15,00 TL/Ton	15.120 Ton	0,00 Ton	158.760 TL
Plent-Miks	14,00 TL/Ton	20,00 TL/Ton	17.640 Ton	0,00 Ton	246.960 TL
Binder	59,50 TL/Ton	85,00 TL/Ton	9.408 Ton	0,00 Ton	559.776 TL
Aşınma	63,00 TL/Ton	90,00 TL/Ton	6.720 Ton	0,00 Ton	423.360 TL
Hophopçu	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	44 AxG	0,00 AxG	1.320 TL
Greyder	400,00 TL/MxG	500,00 TL/MxG	6 MxG	0,00 MxG	2.400 TL
Toprak Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	12 MxG	0,00 MxG	1.920 TL
Arazöz	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	12 MxG	0,00 MxG	2.400 TL
Kamyon (AT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	60 MxG	0,00 MxG	15.840 TL
Loader	320,00 TL/MxG	400,00 TL/MxG	6 MxG	0,00 MxG	1.920 TL
Kamyon (PMT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	72 MxG	0,00 MxG	19.008 TL
Kamyon (Binder)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	42 MxG	0,00 MxG	11.088 TL
Kamyon (Aşınma)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	28 MxG	0,00 MxG	7.392 TL
Finişer	664,00 TL/MxG	830,00 TL/MxG	16 MxG	0,00 MxG	10.624 TL
Pnömatik Silindir	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	16 MxG	0,00 MxG	3.200 TL
Demir B. Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	10 MxG	0,00 MxG	1.600 TL
Tırmıkçı	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	110 AxG	0,00 AxG	3.300 TL
Laborant	50,00 TL/AxG	50,00 TL/AxG	22 AxG	0,00 AxG	1.100 TL
TOPLAM TUTAR					**1.471.968 TL**

Üretim planı 3 için maliyet hesabını yaparken kullanılan kaynakların tedarik durumlarına bakılmalıdır. Üretim planı 3'de kullanılan kaynakların bir kısmı firmanın elinde bulundurduğu makina parkından ve üretim tesislerinden temin edilmekte, bir kısmı ise piyasadan kiralanmakta ve ya satın alınmaktadır. Bu nedenle, firmanın kendi kaynaklarına ait miktarlar firma kaynaklarına ait malzeme birim fiyatları ile, piyasadan temin edilen kaynak miktarları ise piyasa malzeme birim fiyatları ile çarpılarak hesap yapılmıştır. Çizelge 7.10'da üretim planı 3 için hesaplanan maliyetler görülmektedir.

Çizelge 7.10 : Üretim planı 3 için maliyet hesabı

ÜRETİM PLANI - 3					
KAYNAK	Birim Fiyatlar		Kullanılan Miktar		**TUTAR**
	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	Firma Kaynakları	Dış Piyasa	
Alt Temel	10,50 TL/Ton	15,00 TL/Ton	15.120 Ton	0,00 Ton	158.760 TL
Plent-Miks	14,00 TL/Ton	20,00 TL/Ton	17.640 Ton	0,00 Ton	246.960 TL
Binder	59,50 TL/Ton	85,00 TL/Ton	4.704 Ton	4.704 Ton	679.728 TL
Aşınma	63,00 TL/Ton	90,00 TL/Ton	3.360 Ton	3.360 Ton	514.080 TL
Hophopçu	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	36 AxG	0,00 AxG	1.080 TL
Greyder	400,00 TL/MxG	500,00 TL/MxG	6 MxG	0,00 MxG	2.400 TL
Toprak Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	6 MxG	6,00 MxG	2.160 TL
Arazöz	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	6 MxG	6,00 MxG	2.700 TL
Kamyon (AT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	30 MxG	30,00 MxG	17.820 TL
Loader	320,00 TL/MxG	400,00 TL/MxG	6 MxG	0,00 MxG	1.920 TL
Kamyon (PMT)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	36 MxG	36,00 MxG	21.384 TL
Kamyon (Binder)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	21 MxG	21,00 MxG	12.474 TL
Kamyon (Aşınma)	264,00 TL/MxG	330,00 TL/MxG	14 MxG	14,00 MxG	8.316 TL
Finişer	664,00 TL/MxG	830,00 TL/MxG	8 MxG	8,00 MxG	11.952 TL
Pnömatik Silindir	200,00 TL/MxG	250,00 TL/MxG	8 MxG	8,00 MxG	3.600 TL
Demir B. Silindir	160,00 TL/MxG	200,00 TL/MxG	7 MxG	3,00 MxG	1.720 TL
Tırmıkçı	30,00 TL/AxG	30,00 TL/AxG	90 AxG	0,00 AxG	2.700 TL
Laborant	50,00 TL/AxG	50,00 TL/AxG	36 AxG	0,00 AxG	1.800 TL
TOPLAM TUTAR					**1.691.554 TL**

Yapılan maliyet çalışmasında en kısa sürede tamamlanan iş programının süresini projenin tamamlanma süresi olarak kabul eder ve bu süreyi aşan diğer iş programları için günlük % 0,5 gecikme cezası uygulanırsa, yeni maliyetler şu şekilde oluşur;

Çizelge 7.11 : Gecikme cezaları eklenerek oluşan maliyetler.

	Gecikme (Gün)	**Doğrudan Maliyet**	**Ceza**	**Toplam**
Üretim Planı - 1	8	1.471.178 TL	58.847 TL	1.530.025 TL
Üretim Planı - 2	13	1.471.968 TL	95.678 TL	1.567.646 TL
Üretim Planı - 3	0	1.691.554 TL	0	1.691.554 TL

Sonuç olarak bu çalışmada, asfalt yol inşaatı tedarik zinciri ve bu zincire ait kaynaklar, süreç ve kullanım oranları farklı iş programlarına göre simülasyon tabanlı

modelleme yapılarak karşılaştırılmıştır. Üç farklı iş programına göre yapılan karşılaştırmalar aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Çizelge 7.12 : Üç farklı iş programının karşılaştırmalı sonuçları.

	Proje Süresi (Dakika)	**Proje Süresi (Gün)**	**Kullanım Oranı**	**Maliyet**
Üretim Planı - 1	10.195	17	30,57%	1.530.025 TL
Üretim Planı - 2	13.201	22	24,71%	1.567.646 TL
Üretim Planı - 3	5.407	9	35,05%	1.691.554 TL

Üç farklı iş programı için yapılan karşılaştırmalar sonucunda, depolanamayan bir malzeme olan asfalt betonunun üretimi, serilmesi ve sıkıştırılması kapsamındaki tüm tedarik zinciri tam zamanında üretim çerçevesinde incelenmiştir. Gereksiz beklemelerin en aza indirildiği ve yalın üretim felsefesi ile iş programının iyi bir şekilde organize edilip, kaynakların verimli bir şekilde kullanıldığı üretim planı 1, diğer üretim planlarına göre en düşük maliyette tamamlanmaktadır. Yapılan çalışmada, üretim planı 3'ün uygulanması durumunda proje zamanında tamamlanarak ceza ödenmemesine rağmen, firmanın elindeki kaynaklar dışında bir çok kaynağı piyasadan temin etmesi sonucunda proje maliyetinin arttığı ve en yüksek değere ulaştığı görülmüştür. Fakat, projenin erken tamamlanması sonucunda firmalar için boş kapasite oluşması ve yeni işler alma fırsatının ortaya çıkması gibi avantajlı durumların da oluştuğu göz ardı edilmemelidir. Simülasyon modellemeden elde edilen sonuçlar göstermiştir ki, herşeyi ile aynı tipte olan projelerde bile üretim planlarındaki farklılıklar, proje süresini, kaynakların tedarik durumunu ve dolayısıyla maliyetleri büyük ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle, bir projeye başlamadan önce üretim planları çok iyi şekilde belirlenerek, tam zamanında üretim felsefesi ve yalın üretim mantığıyla çözümlenmeli, kaynak kullanım oranları maksimize edilmeli ve proje zamanında tamamlanarak öngörülen maliyet sınırları içerisinde bitirilmelidir.

KAYNAKLAR

Abdulhadi, N. H., 1997. Simulation as a tool for re-engineering construction processes. *Doktora Tezi,* University of Colorado at Boulder, ABD.

Asfalt El Kitabı, 1989

Al-Sudairi, A., 2000. Evaluation of construction processes: traditional practices versus lean principles. *Doktora Tezi*, University of Colorado at Boulder, ABD.

Asphalt Institute, Manual Series No:22

Atkins, Harold, N., 1997. Upper Saddle River, New Jersey, Columbus, Ohio, *Highway Materilas, Soils and Concretes,* Third Edition.

Ballard, G., 2000a. Leam Project Delivery System.

C. Gürer, H. Akbulut & G. **Kürklü**, 2004. *İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi*, Afyon, Turkey.

Çelik O., 2007 Asfalt Günleri, *106'ıncı eğitim semineri asfalt günleri,* Konya, Türkiye.

Formoso, C. T., Isatto, E. L., and Hirota, E. H., 1999. Method for Waste Control in the Building Industry. Proceedings IGLC-7, University of California, Berkeley, CA, USA.

Ilıcalı M., 2001, İSFALT *Asfalt ve Uygulamaları*, İstanbul, Türkiye.

İSDER., 2006. İstif Makinaları Distribütörleri ve İmalatçıları Derneği, Asfalt Endüstri Raporu.

Koskela, L., 1992. Application of the New Production Philosophy to Construction. CIFE Technical Report #72, Stanford University, CA, USA.

Law, A. M., and Kelton, W. D., 2000. Simulation Modeling and Analysis, McGraw-Hill, Boston, 3rd Edition, 760 pages.

Marwa M, H., 2006. Application of discrete-event simulation to study the paving operation of asphalt concrete, Bardley University, Poria, Illinois, USA.

Polat, G., 1999. Yuklenici Insaat Firmalarinda Teklif Hazirlama ve Maliyet Yonetimi Sureclerinin Degerlendirilmesi. In Turkish, title in English:

Polat, G., Arditi, D. 2005. The JIT Materials Management in Developing Countries. Construction Management and Economics, 23, September, 697-712.

Polat, G., Arditi, D., Ballard, G., Mungen, U. 2006. Economics of On-site vs. Off-site Fabrication of Rebar. Construction Management and Economics, 24 (11), 1185-1198.

Polat, G., Arditi, D., Mungen, U. 2007. Simulation-Based Decision Support System for Economical Supply Chain Management of Rebar. ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 133 (1), 29-39.

Robert B, De Graff, 1988. Principles of Engineering Geology. New York.

Roads & Bridges, 1997.September.

TCK, Karayolu Teknik Şartnamesi, 2006.

Womack, J., 1999. Manufacturing Has Moved to Lean - It's Time Construction Does Too. Proceedings 10th Winter Conference in Archistruction, Neenan, Denver, Colorado, USA.

Yonar F., 2007.*Asfalt Plentlerinin Üretim Aşamaları ve Performansları Bakımından Değerlendirilmesi*. İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Url-1< http://www.asmud.org.tr/ >, alındığı tarih 20.05.2008.

Url-2 <*http://www.isfalt.com/Tarihce.html* >, alındığı tarih 15.06.2008.

Url-3 <*http://www.kgm.gov.tr* >, alındığı tarih 22.06.2008.

Url-4 <*http://www.simgegroup.com* >, alındığı tarih 30.07.2008.

Url-5 <*http://www.ektuginsaat.com.tr/nedir.html*>, alındığı tarih 10.08.2008.

Url-6 <*http://www.umittr.com/asfalt*>, alındığı tarih 10.08.2008.

Url-7 <*http://www.benninghoven.com*>, alındığı tarih 14.08.2008.

Url-8 <*http://www.masotomasyon.com.tr* >, alındığı tarih 11.09.2008.

Url-9 <*http://www.kalitekontrol.org* >, alındığı tarih 20.09.2008.

Url-10<*http://www.empiar.com* >, alındığı tarih 30.01.2009.

Url-11<*http://www.istatistikanaliz.com* >, alındığı tarih 30.01.2009.

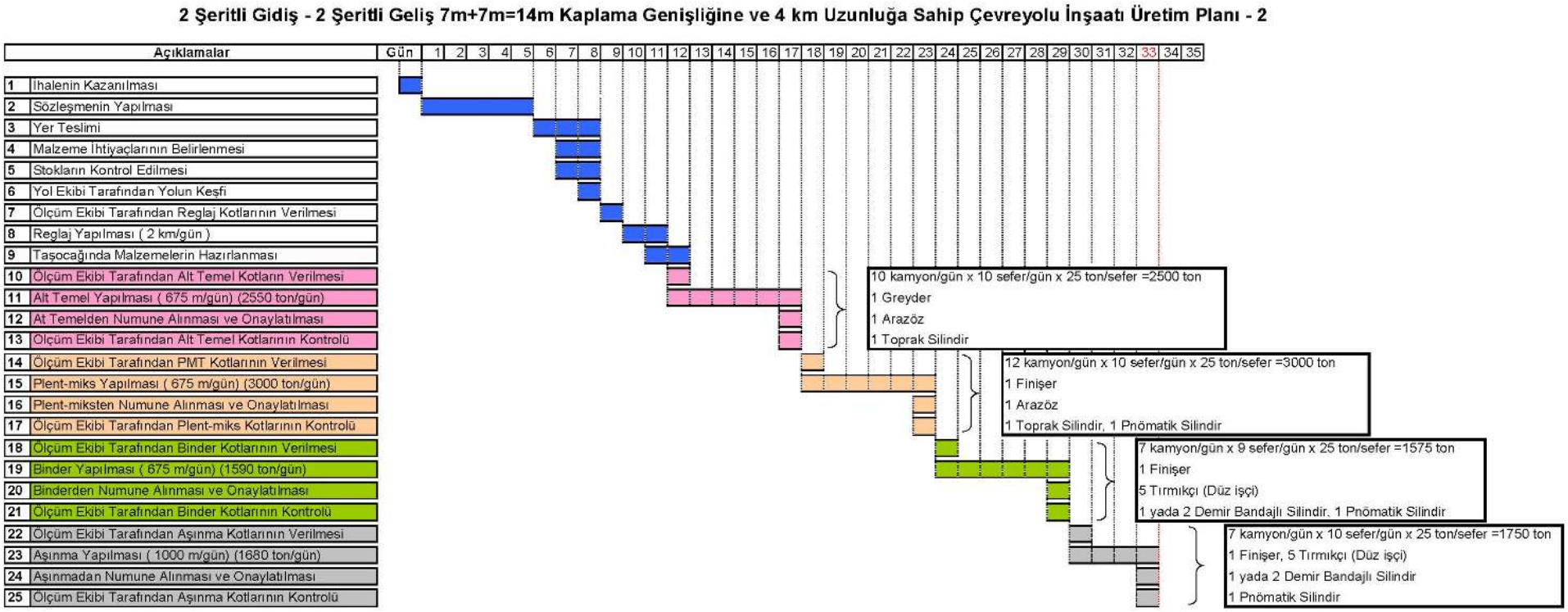
EKLER

EK A : Üretim Planları
EK B : Onay Formları
EK C : Dizayn Raporları
EK D : Siimülasyon Modelinin Raporları
EK E : Simülasyon Modelinin Extend + BPR Kurugusu

EK A



Şekil A.1 : Üretim planı 1



Şekil A.2 : Üretim planı 2



Şekil A.3 : Üretim planı 3

EK B

ADAPAZARI BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
FEN İŞLERİ DAİRE BAŞKANLIĞI

TOPRAK İŞLERİ ONAY FORMU

KESİT NO: SAYFA NO:

☐	Sökme ve Temizlik	☐	Yol Dolgusu
☐	Bitkisel Toprak Kazısı	☐	Seçme Malz. İle Taban Yapımı
☐	Her Türlü Toprak Kazısı	☐	Terasman Teslimi ve Reglaj
☐	Taş Dolgu	☐	Bitkisel Toprak Serilmesi

YER (KM)

Reguesti Veren: İsim İmza Reguesti Teslim Alan: İsim İmza

Saat: Tarih:…/…../2006 Saat: Tarih: …../……/2006

TOPRAK İŞLERİ İÇİN YAPILAN HAZIRLIKLAR ŞARTNAME VE PROJELERE

	Arazi Ölçüm Grubu	Saha Mühendisi	Kalite Kontrol Müh.
UYGUNDUR	☐	☐	☐
UYGUN DEĞİLDİR	☐	☐	☐

Adı Soyadı:

Görevi:

İmza:

İMALAT SAFHASINDAKİ GÖZLEMLER:

MÜTEAHHİT	MÜŞAVİR PROJE MÜDÜRÜ

Şekil B.1 : Toprak işleri onay formu

ADAPAZARI BÜYÜKŞEHİR BELEDİYESİ
FEN İŞLERİ DAİRE BAŞKANLIĞI

ÜST YAPI İŞLERİ ONAY FORMU

KM:.....-.....arası ☐ sağ/sol☐ Şerit:.....

☐	Alt Temel Tabakası	☐	Astar Yapılması
☐	PMT Tabakası	☐	Yapıştırıcı Yapılması
☐	Binder Tabakası	☐	BSK Kazılması
☐	Aşınma Tabakası	☐	

YER (KM)

Reguesti Veren: İsim İmza Reguesti Teslim Alan: İsim İmza

Saat: Tarih:..../...../2006 Saat: Tarih: ...../...../2006

ÜST YAPI İŞLERİ İÇİN YAPILAN HAZIRLIKLAR ŞARTNAME VE PROJELERE

UYGUNDUR	☐	☐	☐
UYGUN DEĞİLDİR	☐	☐	☐
	Arazi Ölçüm Grubu	Saha Mühendisi	Kalite Kontrol Müh.

Adı Soyadı:

Görevi:

İmza:

İMALAT SAFHASINDAKİ GÖZLEMLER:

MÜTEAHHİT	MÜŞAVİR PROJE MÜDÜRÜ

Şekil B.2 : Üst yapı işleri onay formu

EK C

T.C.
BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI
Karayolları Genel Müdürlüğü
1.Bölge Müdürlüğü
34841 - Küçükyalı/İSTANBUL

SAYI : B091TCK1010400/
KONU : PMT Dizaynı 666-27380

15... Ağustos 2002

DÜNYALAR HAFRİYAT NAKLİYAT Tic.San.Ltd.Şti.
Ankara Cad. No. 145
ADAPAZARI

İlgi : 19 Temmuz 2002 tarihli dilekçeniz.

Adapazarı Büyükşehir Belediyesi'ne ait Altyapı ve Kentsel Yeniden Yapılandırma Projesi (Terra 1) AD 4 işi kapsamında Y.F.Ş. Kısım 67'ye uygun olarak Plent-Miks Temel (PMT) tabakası yapımında kullanılmak üzere Dünyalar Taş Ocağı'ndan tarafınızca temin edilen agrega numuneleri ve elek analizi ortalamaları İlgi dilekçeniz ekinde laboratuvarlarımıza teslim edilmiştir. Söz konusu agrega grupları kullanılarak yapılan Plent-Miks Temel Dizaynı yazımız ekinde gönderilmektedir.

Plent–Miks Temel (PMT) tabakasında su içeriği 4.9 (±0.5) değerinden sapmayacak ve titreşimli tokmakla elde edilen maksimum kuru birim ağırlığın (2.260 t/m³) en az % 97'sine (2.240 t/m³) erişilecektir.

Bilgilerini rica ederim.

Ünal ANAKÖK
Araştırma Başmühendisi

EKLER :
1- Toprak Deneyleri Raporu (2 ad.)
2- Agrega Fiziksel Özellikler Raporu (4 ad.)

...YOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
1.Bölge Müdürlüğü / İSTANBUL

Tarih: 14.08.2002

TOPRAK DENEYLERİ RAPORU

İŞVEREN VE İŞİN ADI:			DÜNYALAR Haf.Nak.Tic.San.Ltd.Şti. (Adapazarı Büyükşehir Belediyesi'ne Ait Altyapı ve Kentsel Yeniden Yapılandırma Projesi)					Rapor No:	
Numunenin	Lab No:		1969						
	Arazi No:		1						
	Alındığı Yer	Km.							
		Derinlik (m)							
	Cinsi		PLENT-MİKS TEMEL				Karışım Gradasyonu	Tolerans Limitleri	PMT Tip-II
DANE BOYUTU DAĞILIMI – ELEK ANALİZİ (%GEÇEN)	75 mm	(3")	1 - 3/4	3/4 - 1/2	1/2 - No.4	No.4 - 0			
	50 mm	(2")							
	37,5 mm	(1 ½")							
	25 mm	(1")	100	100			100	100	100
	19 mm	(¾")	30.3	97.8	100		89	81 – 97	80 – 100
	9,5 mm	(3/8")	0	2.0	81.6		66	58 – 74	50 – 82
	4,75 mm	(No.4)		0	10.9	100	52	44 – 60	35 – 65
	2 mm	(No.10)			2.4	62	31	26 – 36	23 – 50
	425 µm	(No.40)			1.5	27.1	14	12 – 19	12 – 30
	75 µm	(No.200)			0	14	7	8 – 15	2 – 12
DANE BOYUTU DAĞILIMI – HİDROMETRE ANALİZİ	% Çakıl		15%	15%	20%	50%			
	% İri Kum								
	% İnce Kum								
	% Silt								
	% Kil Topakları								
	% Kolloid Kil								
	75 mm Üzeri Kalan								
Atterberg Limitleri	Likit Limit, %		N.P.						≤ 25
	Plastisite İndeksi, %		0						≤ 6
Doğal Su İçeriği (W_n), %									
Organik madde, %									
Zemin Sınıfı	AASHTO		A-1-a/0						
	BZS(Bir.Zem.Sınıfı)								
Yassılık İndeksi (BS 812)			25.28						≤ 35
Aşınma (Los Angeles), %			B: 25.9						≤ 40
Sağlamlık (Na_2SO_4), %			1.81						≤ 15
Maksimum Kuru Birim Ağırlık, t/m³	Standart								
	Modifiye		2.260						
	Vibrasyonlu		2.310	Min. % 97'sine sıkıştırılarak 2.240'a erişilecektir.					
Optimum Su içeriği, %	Standart								
	Modifiye		5.8						
	Vibrasyonlu		4.9	4.9 ± 0.5 optimum su içeriği kullanılacaktır.					
Arazi Kuru Birim Ağırlığı, t/m³									
Sıkışma Yüzdesi (Dpr), %									
CBR	Kuru Birim Ağ.								
	Su İçeriği								
	Yaş, %		146						≥ 120
	Kuru, %								
Şişme (sürsaj=.....kg), %			0.00						
Şartnameye Uygunluk (.....)									

Deneyi Yapan: *Hüseyin YILDIRIM* *Lab. Teknisyeni* — İmza:

Laboratuvar Müh.: *Mehmet TOKGÖZ* *Jeoloji Müh.* — İmza:

Form Stok No:7583701

KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
1.Bölge Müdürlüğü

KARIŞIK (TUVENAN) AGREGA FİZİKSEL ÖZELLİKLER RAPORU

Laboratuvar No:	107	Numune No:	½"-No.4,No.4-0	Rapor Tarihi:	14.8.2002
Num. Alındığı Yer:	Şantiye Sahası			Num. Alan:	Müteahhitlik
Proje:	Dünyalar Ltd. Şti (Adapazarı B.Şehir Bel. ait A.yapı ve Kentsel Yapılandırma Pr.)			Num.alış Tarihi:	06.8.2002

KABA AGREGA ELEK ANALİZİ			DİĞER FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLER		
Elek Açıklığı (inç)	(mm)	Numune % Geçen	Şart. Limiti % Geçen	YAPILAN DENEY ADI	AGREGA CİNSİ: KABA	İNCE
1 1/2	32.0			ÖZGÜL AĞIRLIK VE SU EMME DENEYİ	½" – No.4	No.4 - 0
1 *	25.4			Hacim Özgül Ağırlığı-Kuru-(kg/m³)	**2.729**	**2.673**
3/4	19.1			Hacim Özgül Ağırlığı-Doygun Yüzey Kuru -(kg/m³)	**2.741**	**2.688**
--	16.1			Zahiri Özgül Ağırlık (kg/m³)	**2.760**	**2.714**
1/2*	12.7			24 Saatlik su emme % si	**0.41**	**0.55**
3/8	9.52			AŞINMA (Los Angeles) DENEYİ		
--	8.0			Tane Dağılımına Göre Aşınma Sınıfı		
No.4	4.76			Devir Adedi		
--	4.0			Aşınma % si		
İNCE AGREGA ELEK ANALİZİ				Şartname / Standart Aşınma %si Limiti		
3/8	9.52			Na2SO4 SAĞLAMLIK DENEYİ		
--	8.0			(Deney Tekrar Sayısı:5)		
No.4	4.76			Ortalama Kayıp %		
--	4.0			Şartname / Standart Limiti %		
No.8	2.38			Hafif Madde Oranı % (d<2.0 kg/m³)		
+	2.0			BİRİM AĞIRLIK VE BOŞLUKLAR		
No.16	1.19					
--	1.0			Gevşek Birim Ağırlık (kg / m³)		
No.30	0.59			Sıkışık B. A. (Şiş □ Vib. □)		
--	0.5			Kil Topakları %		
No.40	0.425			No.200 veya 0.063 mm ELEKTEN GEÇEN İNCE MALZEME (%)		
No.50	0.297					
--	0.250			Numunede %		
No.100	0.149			Şartname Standart Limiti %		
+	0.125			ORGANİK MADDE (Standart renk skalasına göre)		
No.200*	0.075					
+	0.063			Numuneden elde edilen renk		
İncelik Modülü				İNCE AGREGANIN HARÇ YAPMA KABİLİYETİ		
Çakıl %si:				28 Günlük basınç dayanımı	Numune Kumun	Standart Kumun
Alkali Agrega Genleşme % si				Çimento cinsi		
				Basınç Dayanımı Oranı (fc numune / fcst. Kum)		

Deney Standartına Göre (Günlük) KUM: ÇAKIL:

AÇIKLAMA:

A. ÇAM
Araş. Tek.

F. ÖDÜK
Zem. Mek. Müh.

Not: Amerikan Eleklerinde*, Alman Eleklerinde + işaretli elekler

Form Stok No: 7583807

T.C.
BAYINDIRLIK VE İSKAN BAKANLIĞI
Karayolları Genel Müdürlüğü 4.Bölge Müdürlüğü
ANKARA

23.11.2006

SAYI: B.09.1.TCK.1.04.04.00/ 292.01-34394
KONU : Binder ve Aşınma Dizaynı

TEMAT TEK.EKONOMİK VE MALİ ARAŞ.TİC.A.Ş.
Simon Bolivar Cad.Sedat Simavi Sok.20/5-6 06680 Çankaya - ANKARA

İ L G İ : 29.08.2006 tarih ve TEM-AD-ŞAN-015 sayılı yazınız.

İlgi yazınızla tarafınızdan teslim edilen agrega numunelerine yapılan A.B.Binder ve A.B..Aşınma Dizaynı yazımız ekindedir.

Bilgilerini rica ederim.

Adem GÖKÇE
Bölge Müdür a.
Bölge Müdür Yardımcısı

EKİ: 2 Takım Dizayn Raporu.

KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
4. BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ
ARAŞTIRMA BAŞMÜHENDİSLİĞİ

R A P O R

Bu raporun	Tarihi	Sayfa Sayısı	Ek Sayısı
	09/10/2006	3	3

Yazanın Adı ve Soyadı : Levent ALKAN
Gönderildiği Yerler : Teknik Ekonomik ve Mali Araştırmalar Tic. A.Ş.
Konusu : A.B.Binder Tabakası Diz.

TÜRKİYE ALT YAPI VE KENTSEL YENİDEN YAPILANDIRMA PROJESİ (TERRA-1) KAPSAMINDA ADAPAZARI BAĞLANTI YOLLARI YENİDEN YAPILMASI İŞİ İÇİN TAŞKISIK TAŞOCAĞINDAN ÜRETİLEN MALZEMELERLE HAZIRLANAN A.B. BİNDER TABAKASI DİZAYNI.

A) Taşkısık Taşocağından üretilen; numuneleri müteahhit firma tarafından getirilen malzemelerle Marshall metoduna göre A.B.Binder Tabakası Dizaynı yapılmıştır.

Dizayn'da:

1)	1 "	–	3/4"	arası Kırmataş
2)	3/4"	–	1/2 "	arası "
3)	1/2"	–	3/8 "	arası "
4)	3/8"	–	0	arası "

olmak üzere dört çeşit malzeme kullanılmıştır.

B) Dizayn' a esas olan elek analizleri aşağıdadır :

ELEK BOYU	1 " – 3/4" ARASI KIRMATAŞ % GEÇEN	3/4" – 1/2" ARASI KIRMATAŞ % GEÇEN	1/2" – 3/ 8" ARASI KIRMATAŞ % GEÇEN	3/8" – 0 ARASI KIRMATAŞ % GEÇEN
1 1/2"	100,0			
1"	100,0			
3/4"	57,2	100,0		
1/2"	1,1	44,8	100,0	
3/8"	0,0	5,8	95,2	100,0
No.4	0,0	0,4	8,3	97,1
No.10	0,0	0,0	1,4	65,6
No.40	0,0	0,0	0,0	29,8
No.80	0,0	0,0	0,0	19,4
No.200	0,0	0,0	0,0	12,2

C) Yukarıda granülometrik bileşimi verilen malzemeler ağırlıkça ;

1"		3/4"	arası Kırmataş	= % 25
3/4"		1/2"	arası "	= % 13
1/2"		3/8"	arası "	= % 20
3/8"		0	Arası kırmataş	=% 42

Oranlarında karıştırıldığında meydana gelen karışımın granülometresi "Karayolları Teknik Şartnamesi Kısım 407.- A.B.Binder Tabakası sınırları içerisine girmektedir.

D) Aşağıda karışımın gradasyonu, şartname sınırları ve tolerans sınırları gösterilmiştir.

ELEK BOYU	DÜZELTİLMİŞ KARIŞIM GRADASYONU	A.B.BİNDER TAB. ŞARTNAME SINIRLARI % GEÇEN	TOLERANS SINIRLARI % GEÇEN
11/2"	100,0	100 – 100	100 – 100
1"	100,0	100 – 100	100 – 100
3/4"	89,3	80 – 100	85,3 – 93,3
1/2"	68,1	58 – 80	64,1 – 72,1
3/8"	61,8	48 – 70	57,8 – 65,8
No.4	42,5	30 – 52	38,5 – 46,5
No.10	27,8	20 – 40	24,8 – 30,8
No.40	12,5	8 – 22	9,5 – 15,5
No.80	8,1	5 – 14	5,1 – 11,1
No.200	5,1	2 – 7	3,1 – 7,1

Bu karışımda (ağırlıkça);

Kaba agrega = **% 57,5**
İnce agega = % 37,4
Mineral Filler = % 5,1

oranlarında bulunmaktadır.

E) Karışımda bulunan malzemelerin özgül ağırlıkları ve diğer deney sonuçları aşağıdadır :

Kaba agrega hacim özgül ağırlığı = 2,694
İnce agrega hacim özgül ağırlığı = 2,696
Mineral Filler zahiri özgül ağırlığı = 2,722

Kaba agrega zahiri özgül ağırlığı	= 2,712
İnce agrega zahiri özgül ağırlığı	= 2,716
Asfalt çimentosunun özgül ağırlığı	= 1,034
Asfalt karışım efektif özgül ağırlığı	= 2,705
Asfalt çimentosunun penetrasyonu	= 66
Agrega su absorbsiyonu	= % 0,7
Don Zayiyatı Yüzdesi	= % 0,5
L. Angeles Aşınma Yüzdesi	= % 25,4
Kırılmışlık Yüzdesi	= % 100
Yassılık İndeksi Yüzdesi	=% 11.0
Plastik İndeksi Yüzdesi	= % 0,0 (N.P.)
Organik Madde Miktarı Yüzdesi	= Yok.

A.C.50-70 Pen.Bit.İle Soyulma Muk.Yüzdesi =40-45

A.C 50-70 Pen.Bit %0.5 Dop ilavesi ile soyulma Mukavemeti = 90-95 dir.

F) Madde D' de verilen karışımın gradasyonu esas alınarak Marshall (75 Darbeli) metoduna göre yapılan A.B.Binder Dizaynı' ında Optimum Bitüm % 4,25 olarak bulunmuştur. (100g kuru mıcıra 4,25g A.C. 50-70 penetrasyonlu bitüm ilave edilecektir.

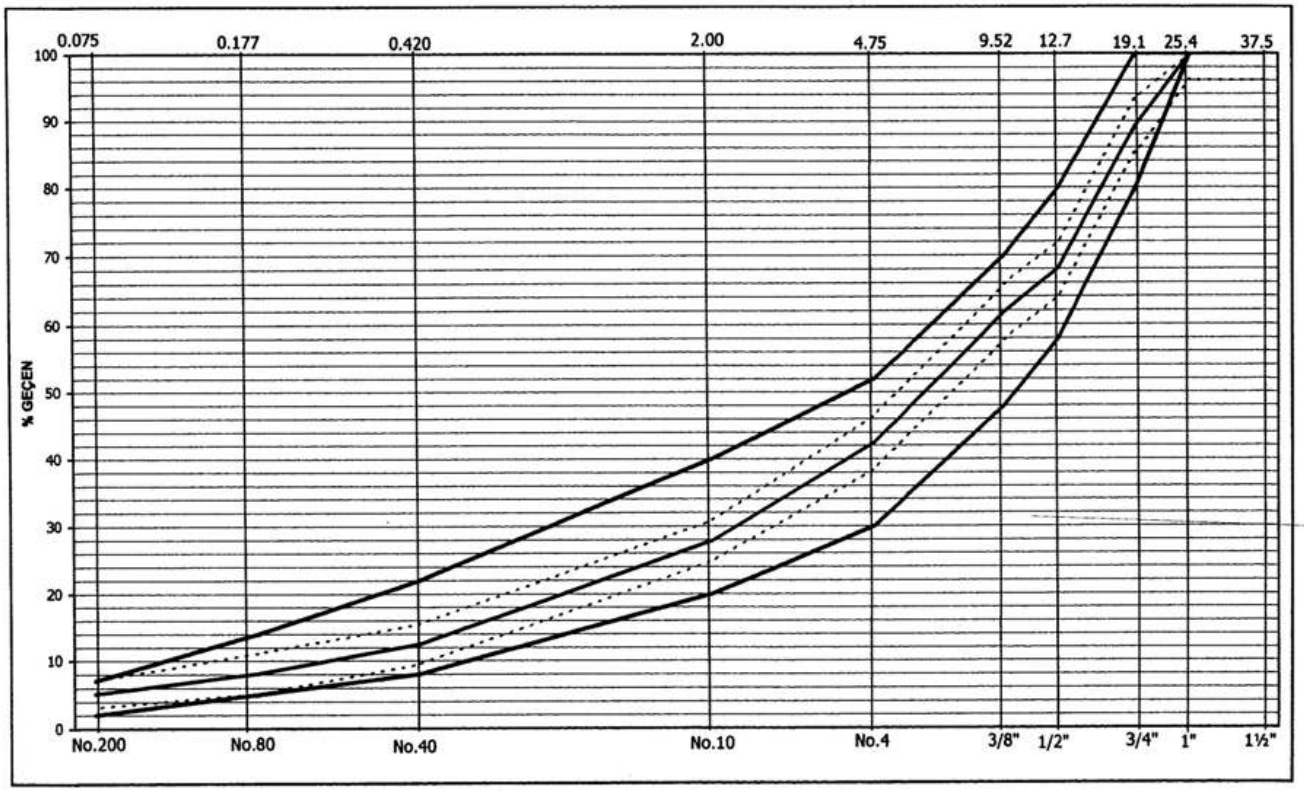
G) Bulunan Optimum Bitüm yüzdesinde karışımın diğer özellikleri aşağıdadır :

Stabilite	= 1290 kg
Pratik Yoğunluk	= 2,428 ton/m^3
Boşluk	= % 4,6
Asfalt Dolu Boşluk	= % 68,0
VMA	= % 13,65
Akma	= 3,30 mm

Levent ALKAN
Zem.Mek. Müh.

Özhan ABAKAY
Araştırma Başmüh

TEMAT TİC.AŞ.ADAPAZARI BAĞLANTI YOLLARI (TAŞKISIK T.O.)BİNDER DİZ. TARİH



MARSHALL DİZAYNI FORMU

TEMAT TİC.AŞ.ADAPAZARI BAĞLANTI YOLLARI (TAŞKISIK T.O.)BİNDER DİZ.

Bitüm Penetrasyonu= 66
Bitüm Özgül Ağırlığı,G_b= 1,034
Agrega Bitüm Absorps, P_{ba}= 0,13
Agrega Effektif Özg. Ağırlığı,G_{ef}= 2,705
Agrega Hacim Özg. Ağırlığı,G_{sb}= 2,696
Agrega Zahiri Özg. Ağırlığı,G_{sa}= 2,714
Karışımdaki Mıcır miktarı= 1 160 g
Darbe Sayısı= 75

Kaba Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı,$G_{k\text{-}h}$ 2,694
Kaba Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı,$G_{k\text{-}z}$ 2,712
İnce Agreganın Hacim Özgül Ağırlığı,$G_{i\text{-}h}$ 2,696
İnce Agreganın Zahiri Özgül Ağırlığı,$G_{i\text{-}z}$ 2,716
Fillerin Zahiri Özgül Ağırlığı,$G_{f\text{-}z}$ 2,722
Effektif Özgül Ağırlık(deneyle),$G_{ef\text{-}deney}$= 2,705
Effektif Özgül Ağırlık(hesapla),$G_{ef\text{-}hesap}$= 2,705

Agrega Hacim %'si, V_a =86,10
Bitüm Hacim %'si,V_b =9,57
Hava Hacim %'si,V_h =4,33

V=B-C
D_p=A/V D_t=(100+W_a)/(100/G_{ef}+W_a/G_b)
V_h=(D_t-D_p)×100/D_t
G_{sb}=100/(%K/$G_{k\text{-}h}$+%İ/$G_{i\text{-}h}$+%F/$G_{f\text{-}z}$)
G_{sa}=100/(%K/$G_{k\text{-}z}$+%İ/$G_{i\text{-}z}$+%F/$G_{f\text{-}z}$)
VMA=100-(D_p×(100-W_a/(1+W_a/100))/G_{sb})
V_f=(VMA-V_h)×100/VMA
P_b=100×G_b×(G_{ef}-G_{sb})/(G_{ef}×G_{sb})

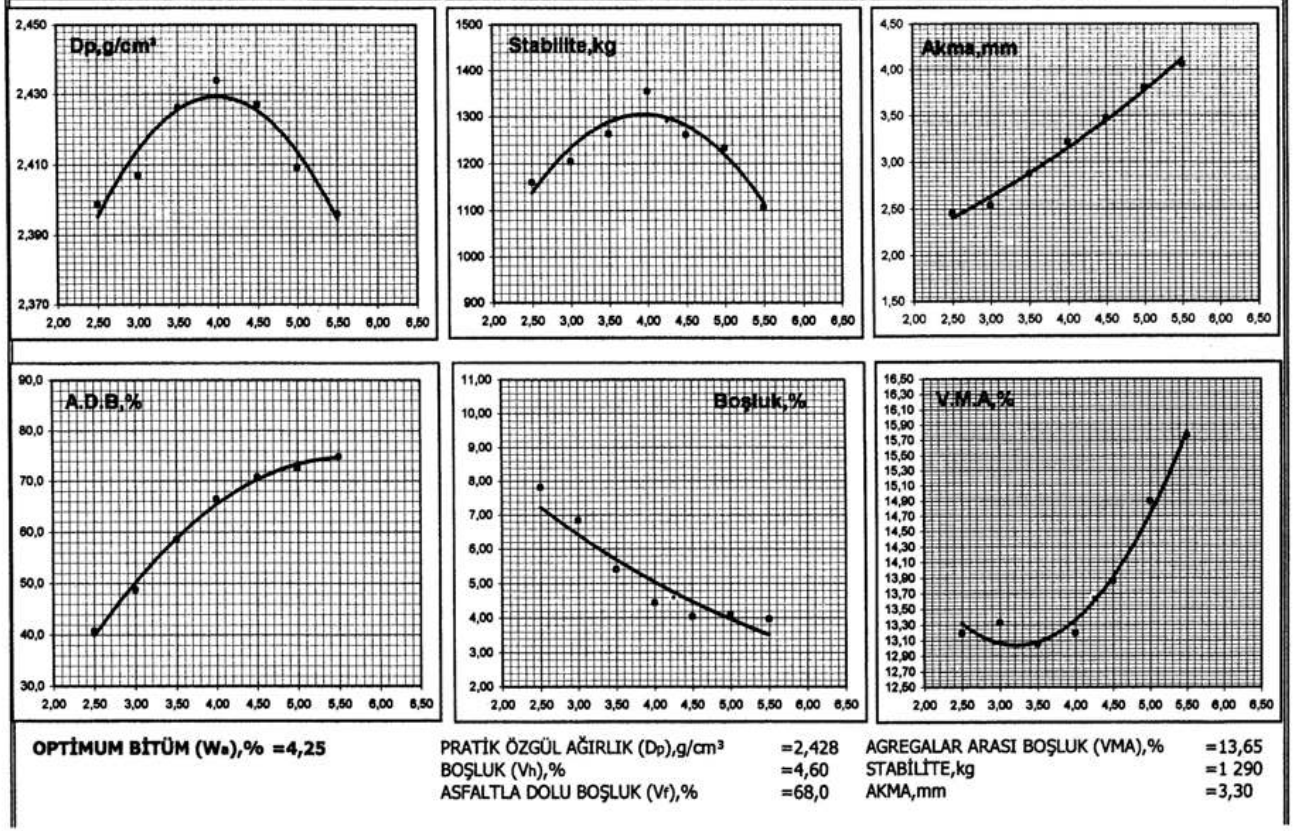
No	BİTÜM		Sıcaklık	YÜKSEKLİKLER,mm				Havada Ağırlık,g	Sudaki Ağırlık,g	Doy.Yüz Ağırlık,g	Hacim cm³	Hacim Özg.Ağırl	Maks.Teo. Özgül Ağ.	% Boşluk	%	Asf.Dol Boşluk	Akma	Stabilite	Düzltme Faktörü	Düzeltm Stabilite
	W_a,%	g	°C	1	2	3	ortlm	A	B	C	V	D_p	D_t	V_h	V.M.A	V_f	mm	kg		kg
1	**2,50**	29,0	150	63,9	63,8	63,2	63,6	1190,6	702,2	1197,2	495,0	2,405					2,54	1 110	0,996	1 105
2	2,50	29,0	150	63,1	63,1	63,3	63,2	1183,1	700,6	1194,4	493,8	2,396					2,28	1 185	1,007	1 194
3	2,50	29,0	150	62,9	63,0	62,8	62,9	1184,6	700,3	1194,8	494,5	2,396					2,54	1 165	1,014	1 182
												2,399	2,603	**7,82**	**13,20**	**40,7**	**2,45**			**1 160**
4	**3,00**	34,8	150	62,7	62,5	62,6	62,6	1194,9	704,7	1200,3	495,6	2,411					2,28	1 170	1,022	1 196
5	3,00	34,8	150	63,1	63,3	63,4	63,3	1191,1	704,2	1199,3	495,1	2,406					2,54	1 205	1,005	1 211
6	3,00	34,8	150	63,6	63,5	63,1	63,4	1190,7	703,2	1198,5	495,3	2,404					2,79	1 205	1,002	1 207
												2,407	2,583	**6,83**	**13,33**	**48,7**	**2,54**			**1 205**
7	**3,50**	40,6	155	62,5	62,9	63,1	62,8	1198,6	707,0	1200,3	493,3	2,430					2,79	1 270	1,016	1 290
8	3,50	40,6	155	62,5	61,9	62,8	62,4	1198,4	706,9	1200,2	493,3	2,429					2,79	1 225	1,028	1 259
9	3,50	40,6	155	62,5	61,8	62,8	62,4	1196,9	706,4	1201,1	494,7	2,419					3,05	1 205	1,029	1 240
												2,426	2,565	**5,41**	**13,06**	**58,6**	**2,88**			**1 263**
10	**4,00**	46,4	155	61,7	61,5	61,2	61,5	1202,4	712,1	1205,1	493,0	2,439					3,05	1 270	1,054	1 339
11	4,00	46,4	155	61,8	61,9	62,2	62,0	1193,3	708,8	1200,5	491,7	2,427					3,30	1 320	1,040	1 373
12	4,00	46,4	155	62,2	62,6	62,8	62,5	1207,4	713,0	1208,7	495,7	2,436					3,30	1 320	1,024	1 352
												2,434	2,547	**4,43**	**13,20**	**66,4**	**3,22**			**1 354**
13	**4,50**	52,2	153	61,9	62,1	62,8	62,3	1211,3	714,9	1213,9	499,0	2,427					3,30	1 205	1,031	1 243
14	4,50	52,2	153	62,5	62,4	62,5	62,5	1201,3	716,9	1211,4	494,5	2,429					3,56	1 225	1,026	1 257
15	4,50	52,2	153	61,8	61,7	61,6	61,7	1210,2	711,8	1211,0	499,2	2,424					3,56	1 225	1,047	1 283
												2,427	2,529	**4,04**	**13,86**	**70,9**	**3,47**			**1 261**
16	**5,00**	58,0	153	61,8	62,0	62,7	62,2	1213,3	711,4	1213,7	502,3	2,415					3,56	1 170	1,034	1 210
17	5,00	58,0	153	61,8	61,9	61,8	61,8	1190,3	696,7	1191,0	494,3	2,408					3,81	1 205	1,044	1 258
18	5,00	58,0	153	61,9	62,2	62,4	62,2	1209,8	706,8	1210,1	503,3	2,404					4,06	1 190	1,034	1 231
												2,409	2,512	**4,09**	**14,90**	**72,6**	**3,81**			**1 233**
19	**5,50**	63,8	150	62,0	61,5	62,2	61,9	1211,2	706,7	1211,3	504,6	2,400					4,06	1 070	1,042	1 115
20	5,50	63,8	150	61,9	62,5	62,4	62,3	1209,1	706,0	1210,4	504,4	2,397					4,32	1 070	1,031	1 104
21	5,50	63,8	150	61,6	61,6	61,9	61,7	1203,2	700,2	1203,5	503,3	2,391					3,81	1 055	1,047	1 105
												2,396	2,495	**3,96**	**15,77**	**74,9**	**4,06**			**1 108**
	4,25		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Grafikten)									2,428		4,60	13,7	68,0	3,30	Fill/Blt	Stb/Akm	1 290
	4,25		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla $G_{ef\text{-}hesap}$)									2,428	2,538	4,33	13,6	68,2	3,30	1,21	391	1 290
	4,25		OPTİMUM BİTÜM SONUÇLARI (Hesapla $G_{ef\text{-}deney}$)									2,428	2,538	4,33	13,6	68,2	3,30			1 290
			BİNDER DİZAYN KRİTERLERİ											(4-6)	min13	(60-75)	(2-4)	max 1.4		min 750

ELEK AÇIKLIĞI	% GEÇEN
38,1	100,0
25,4	100,0
19,1	89,3
12,5	68,1
9,52	61,8
4,75	42,5
2,00	27,8
0,42	12,5
0,177	8,1
0,075	5,1

İri %'si =57,5
İnce %'si =37,4
Filler %'si =5,1

MARSHALL DİZAYN GRAFİKLERİ

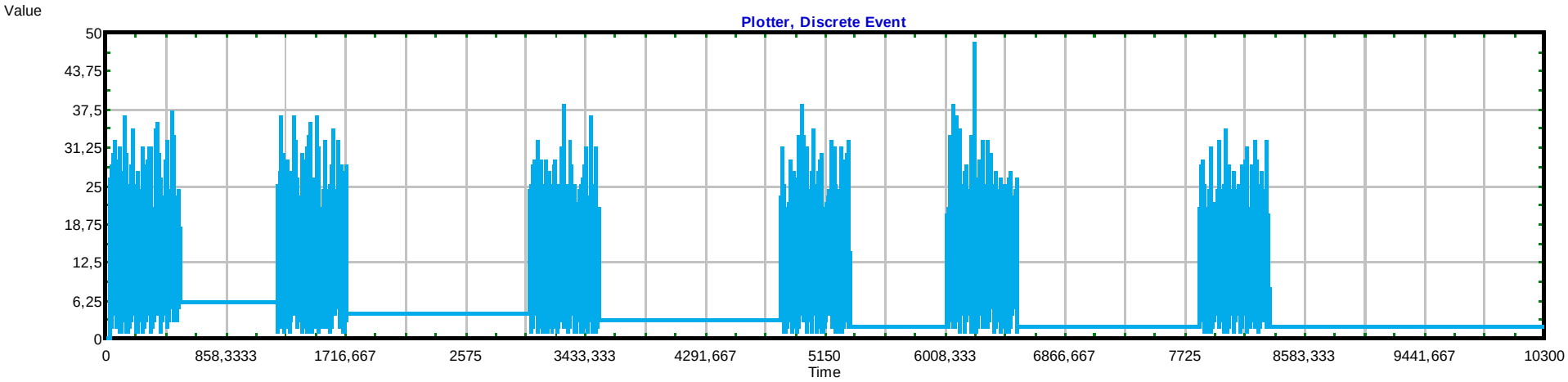
TEMAT TİC.AŞ.ADAPAZARI BAĞLANTI YOLLARI (TAŞKISIK T.O.)BİNDER DİZ.



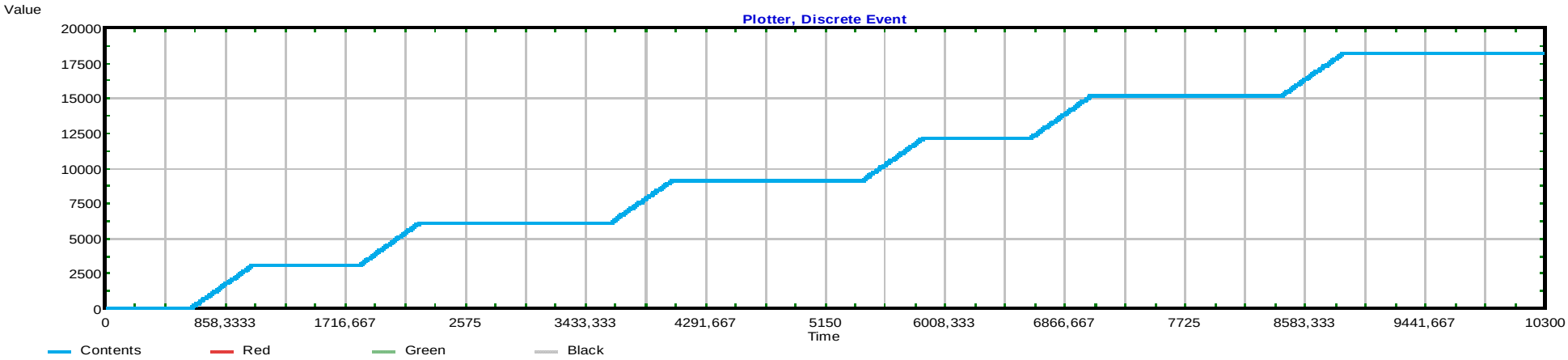
OPTİMUM BİTÜM (Wₒ),% =4,25

PRATİK ÖZGÜL AĞIRLIK (Dp),g/cm³	=2,428	AGREGALAR ARASI BOŞLUK (VMA),%	=13,65
BOŞLUK (Vh),%	=4,60	STABİLİTE,kg	=1 290
ASFALTLA DOLU BOŞLUK (Vf),%	=68,0	AKMA,mm	=3,30

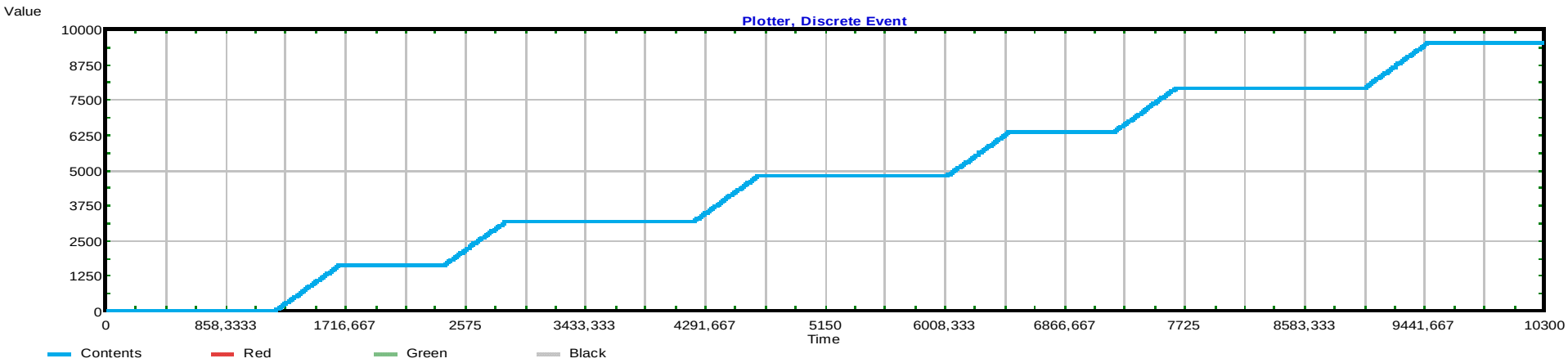
EK D



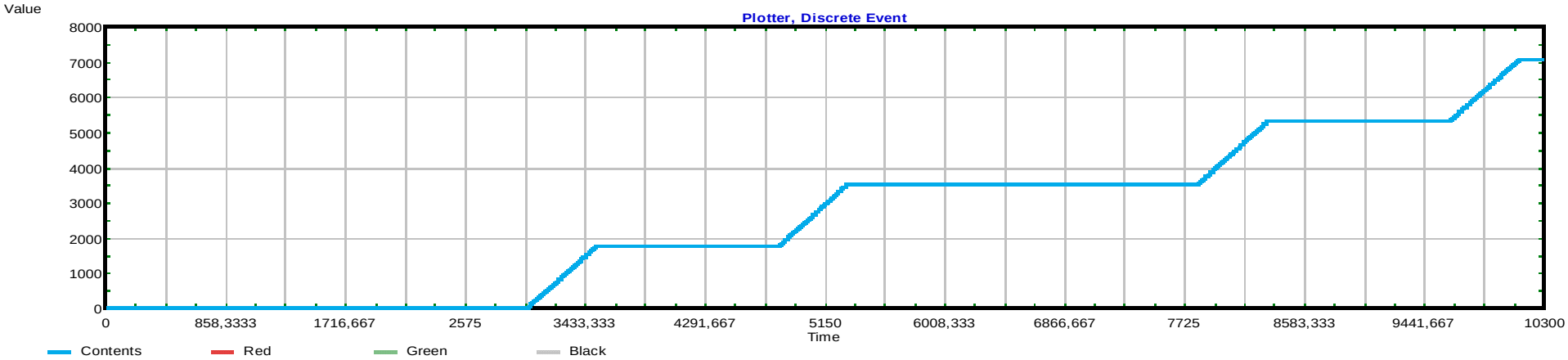
Şekil D.1 : AT malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



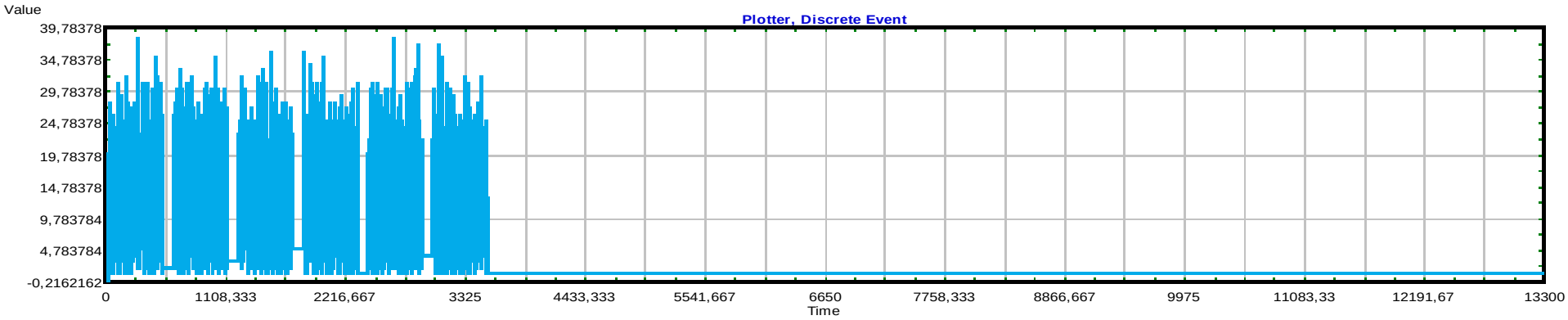
Şekil D.2 : PMT malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



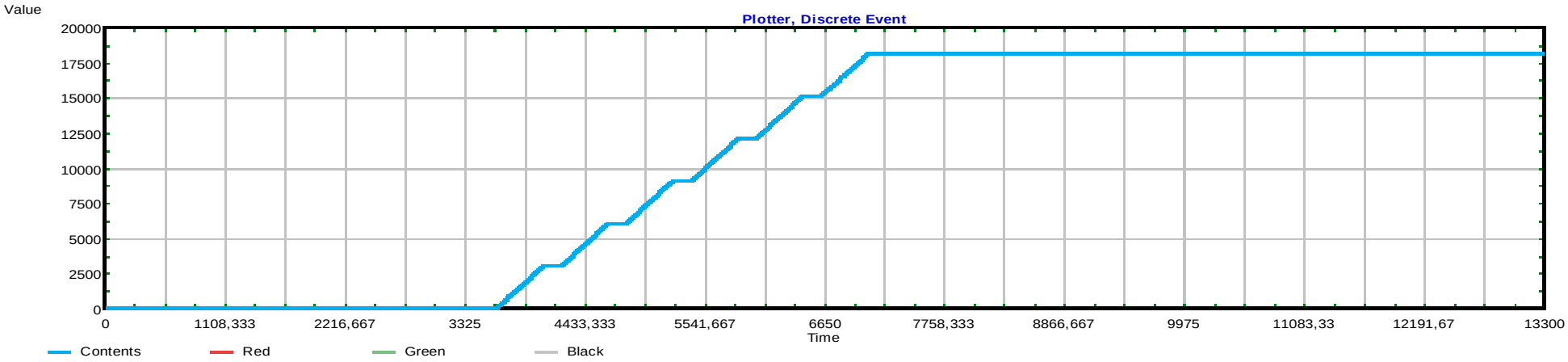
Şekil D.3 : Binder malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



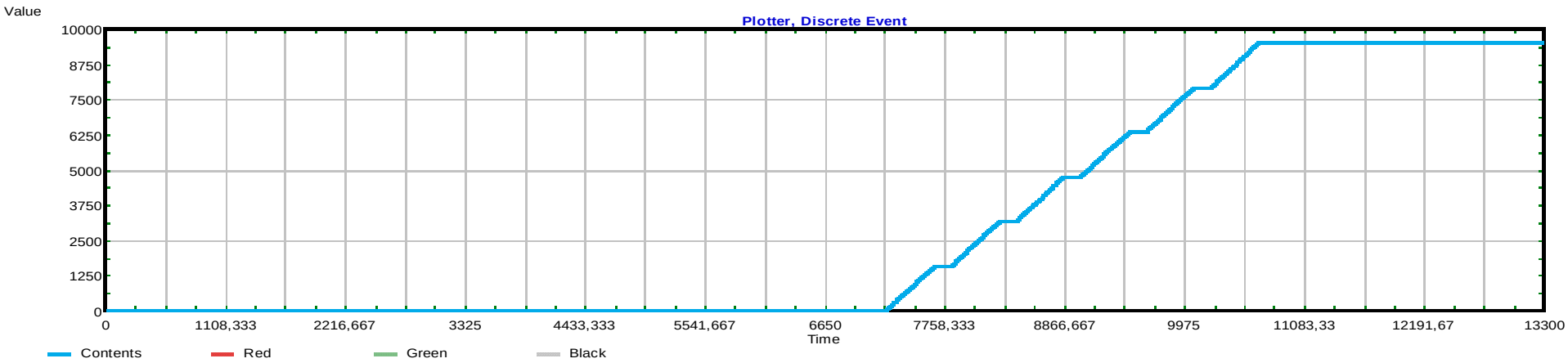
Şekil D.4 : Aşınma malzemesinin ÜP1 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



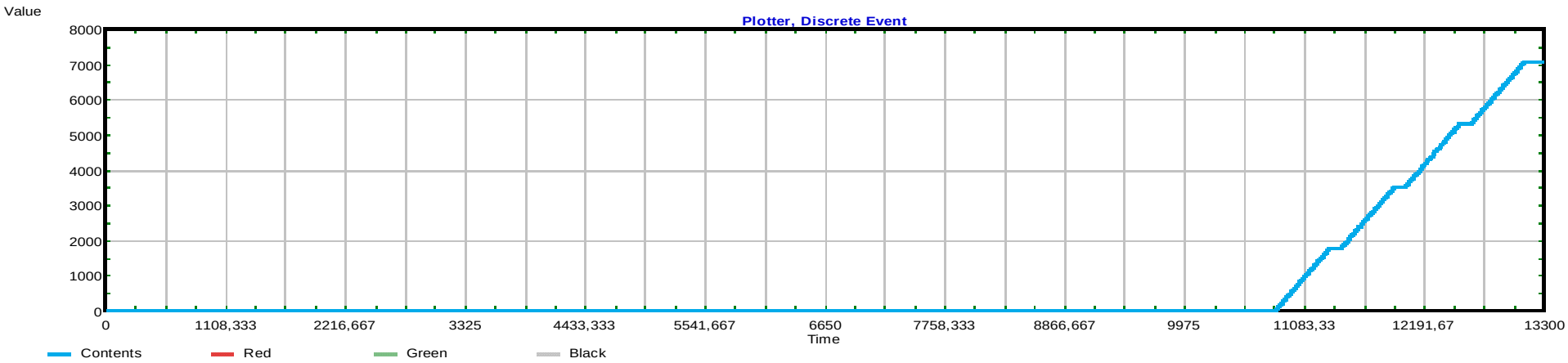
Şekil D.5 : AT malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



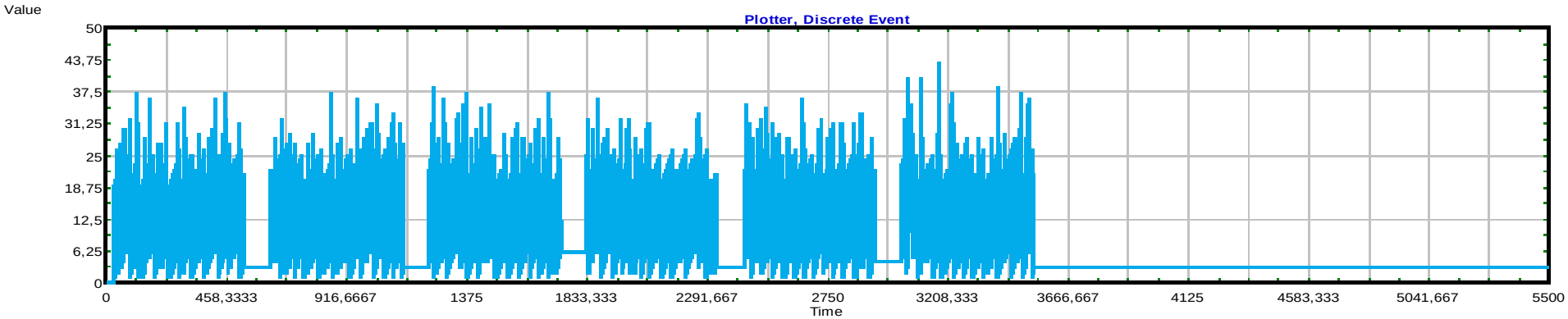
Şekil D.6 : PMT malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



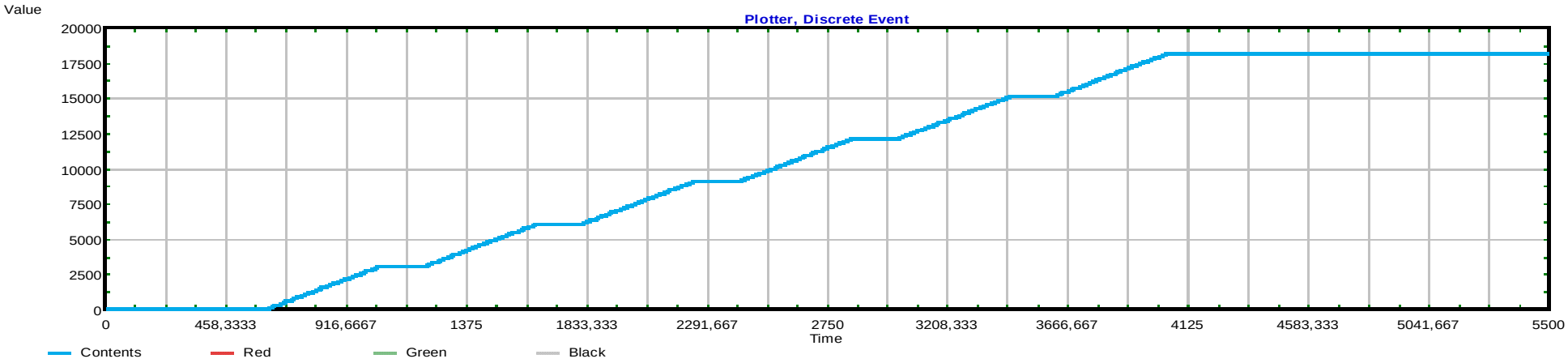
Şekil D.7 : Binder malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



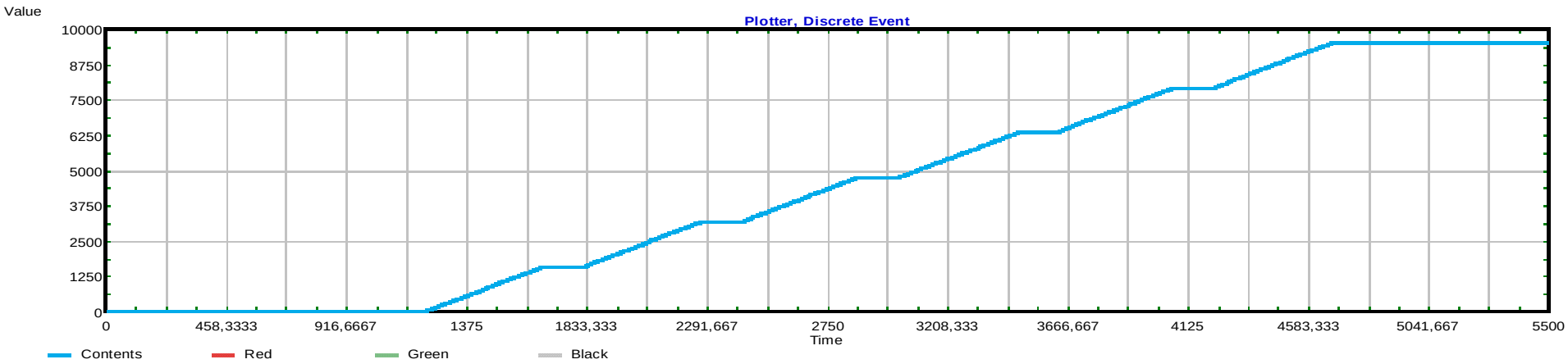
Şekil D.8 : Aşınma malzemesinin ÜP2 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



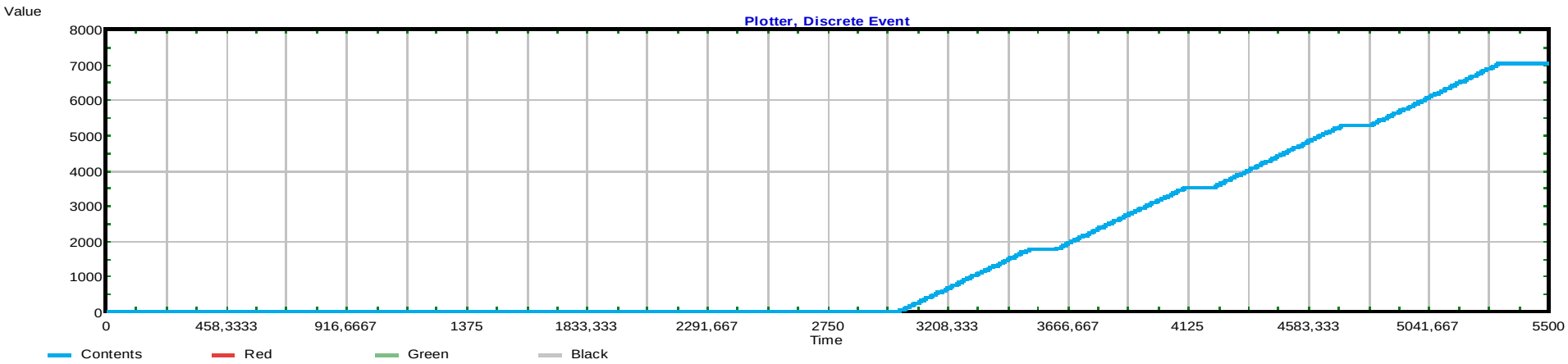
Şekil D.9 : AT malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)



Şekil D.10 : PMT malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)

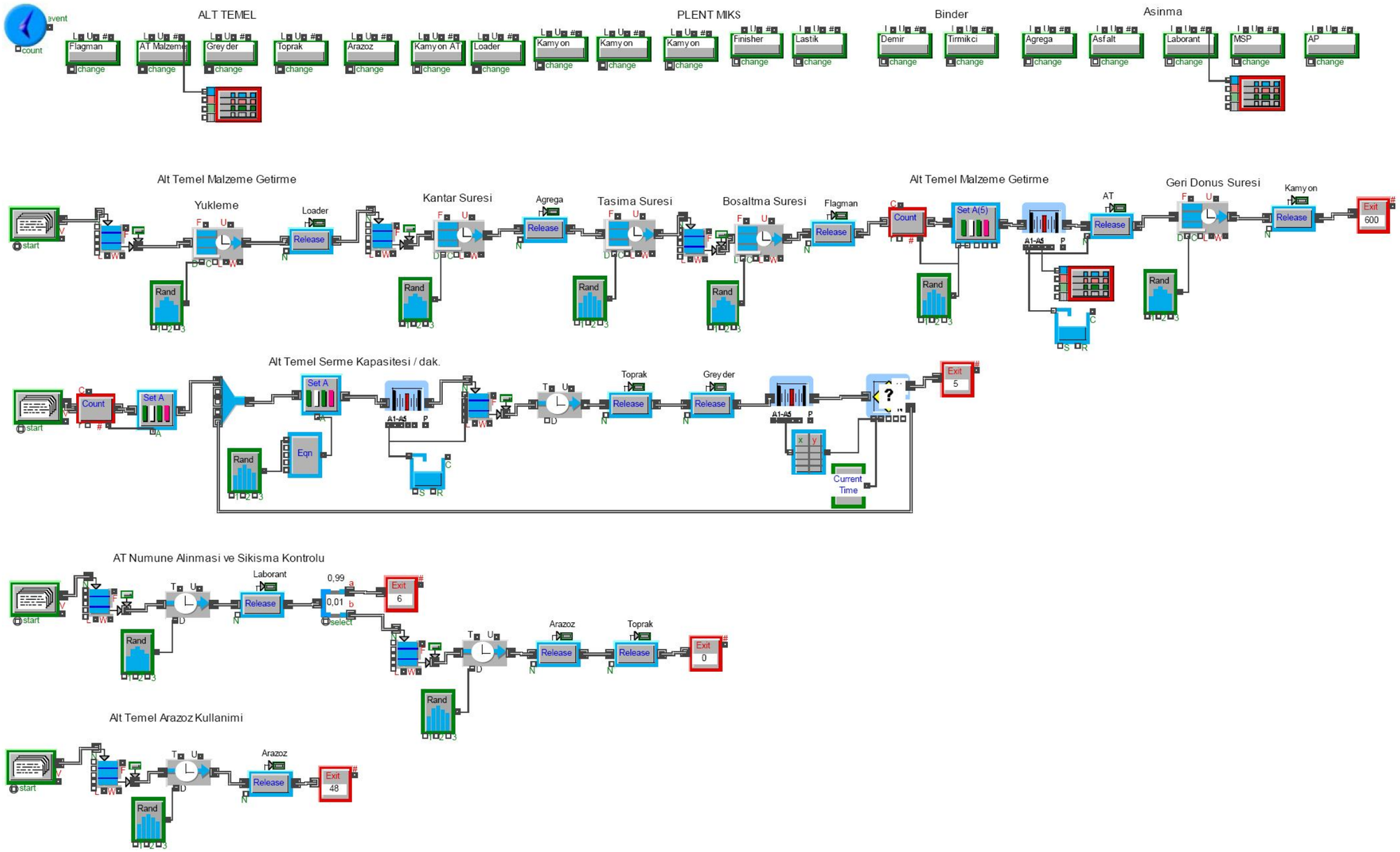


Şekil D.11 : Binder malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)

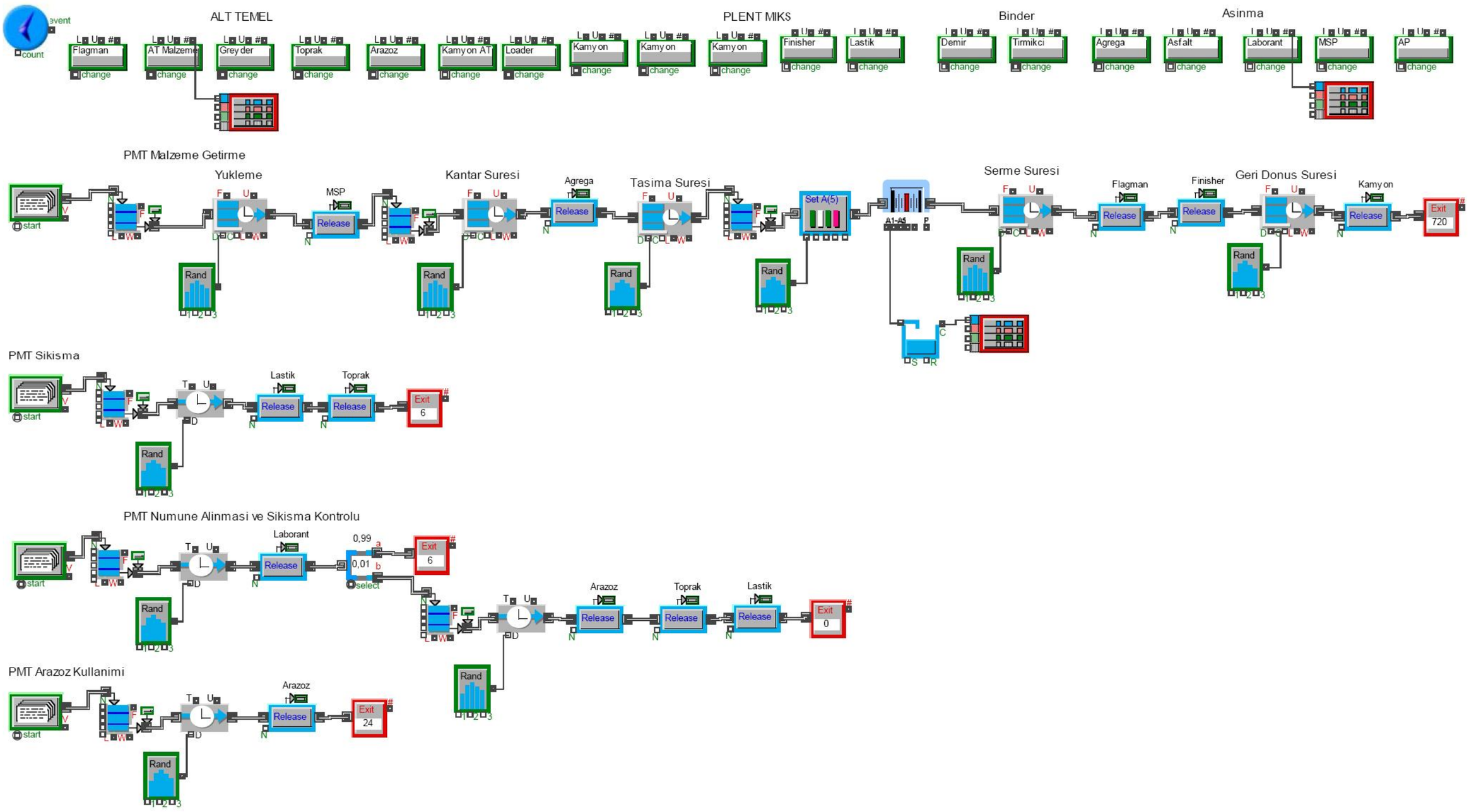


Şekil D.12 : Aşınma malzemesinin ÜP3 için saha değişim grafiği (ton/dakika)

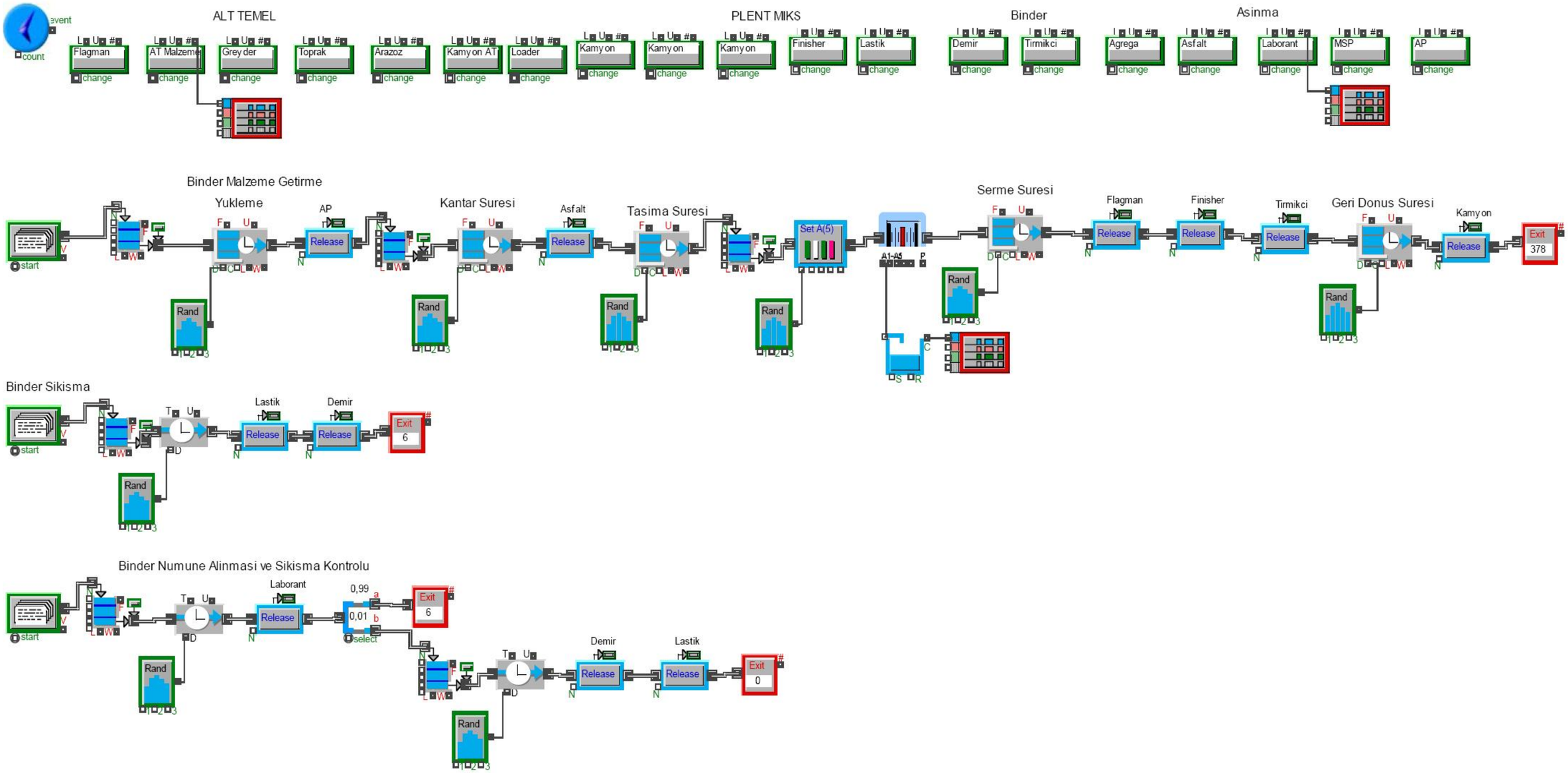
EK E



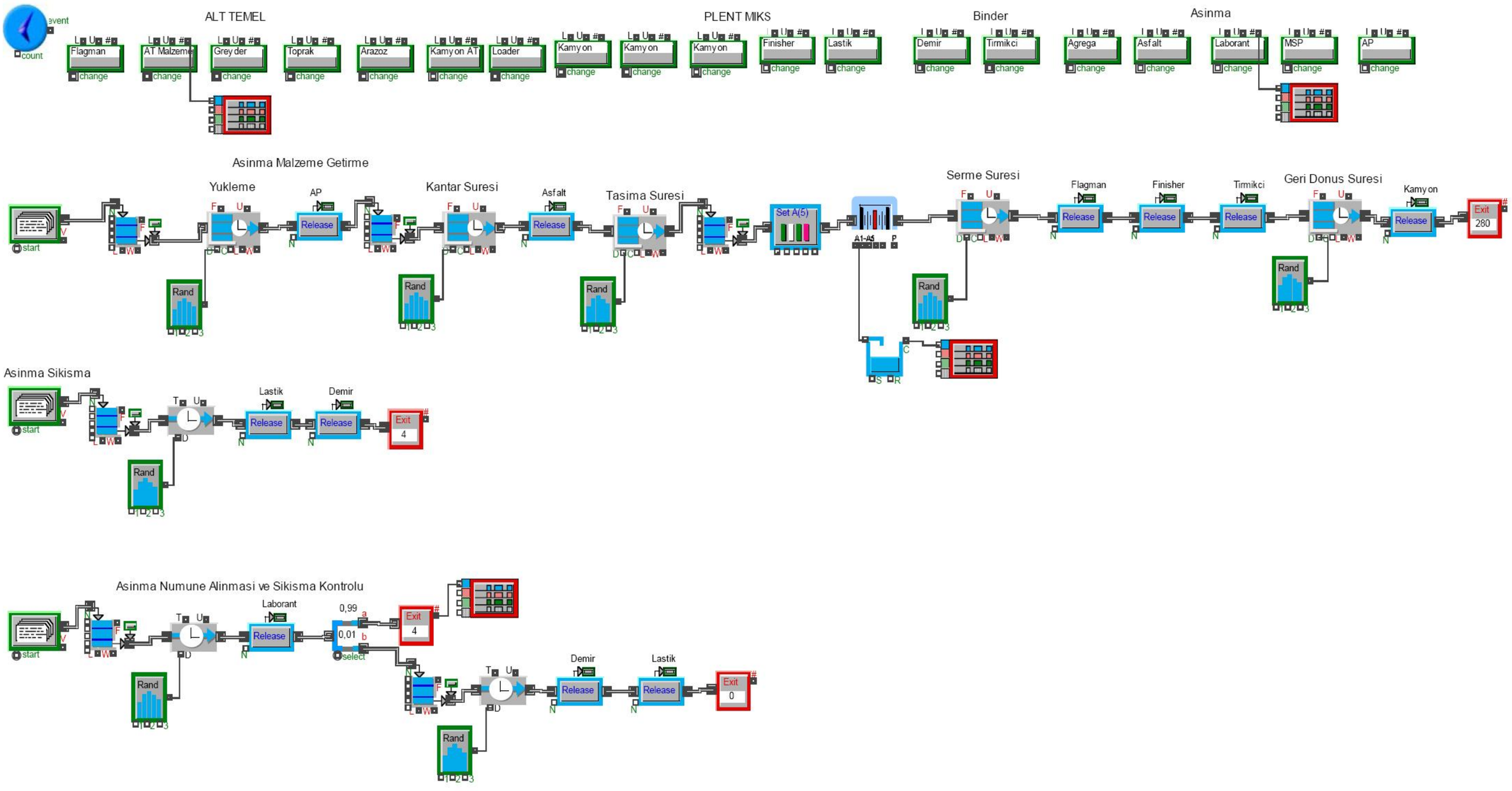
Şekil E.1 : Alt temel imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu



Şekil E.2 : Plent-miks imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu



Şekil E.3 : Binder imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu



Şekil E.4 : Aşınma imalatı Extend + BPR simülasyon kurgusu

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad **: Yalçın BÜYÜKSARAÇOĞLU**

Doğum Yeri ve Tarihi **: Adapazarı 05.09.1983**

Lisans Üniversite **: İTÜ İnşaat Müh.**