

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU ÜSTYAPI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE KALİTE FONKSİYON
YAYILIMI YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Dilay YILDIRIM

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Ulaştırma

Manisa 2012

CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KARAYOLU ÜSTYAPI PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİNDE KALİTE FONKSİYON
YAYILIMI YAKLAŞIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisi Dilay YILDIRIM

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 26.12.2011

Tezin Savunulduğu Tarih : 04.01.2012

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Adem EREN

Diğer Jüri Üyeleri : Yrd. Doç. Dr. Özlem UZUN ARAZ

Yrd. Doç. Dr. Gültekin SINIR

Manisa 2012

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SEMBOL LİSTESİ	V
ŞEKİL LİSTESİ	VI
ÇİZELGE LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
TEŞEKKÜR	XI
ÖZET	XII
ABSTRACT	XIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
2. KARAYOLLARI	3
2.1. Karayolu Tanımı	3
2.2. Üstyapı Tanımı	4
3. ESNEK ÜSTYAPILAR	5
3.1. Esnek Üstyapılarda Kullanılan Yol Malzemeleri	5
3.1.1. Agregası	5
3.1.2. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar	6
3.2. Esnek Üstyapı Tipleri	7
3.2.1. Kaplamasız Esnek Üstyapılar	7
3.2.2. Sathi Kaplamalı Esnek Üstyapılar	7
3.2.3. Bitümlü Karışım Kaplamalı Esnek Üstyapılar	8
3.3. Esnek Üstyapı İmalatı	9
3.3.1. Karışımın Hazırlanması ve Kaplama Sahasına Taşınması	9
3.3.2. Karışımın Serimi ve Yapılan Serimin Kontrolü	10
3.3.3. Serilen Karışımın Sıkıştırılması	11
3.4. Esnek Üstyapılarda Gerilme Durumu	11
3.5. Esnek Üstyapılarda Görülen Kusurlar	14
3.5.1. Deformasyonlar	14
3.5.1.1. Tekerlek İzleri	14
3.5.1.2. Üniform Olmayan Yüzey Bozuklukları	15
3.5.1.3. Bölgesel Oturmalar	16
3.5.1.4. Ondülasyonlar	16
3.5.1.5. Kabarmalar	17
3.5.1.6. Lastik Deseni	17

3.5.2. Ayrışmalar	17
3.5.2.1. Çukurlar	18
3.5.2.2. Sökülmeler	18
3.5.2.3. Kaygan Yüzeyler	19
3.5.3. Çatlamalar	19
3.5.3.1. Yorulma ve Stabilite Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlaklar)	19
3.5.3.2. Kenar Çatlakları	19
3.5.3.3. Derz Çatlakları	20
3.5.3.4. Kayma Çatlakları	20
3.5.3.5. Büzülme Çatlakları	20
3.5.3.6. Enine Çatlaklar	21
3.5.3.7. Yansıma Çatlakları	21
3.5.4. Düşük Isı Çatlakları	22
4. RİJİT ÜSTYAPILAR	24
4.1. Rijit Üstyapılarda Kullanılan Yol Malzemeleri	24
4.1.1. Beton Agregası	24
4.1.2. Çimento ve Çimento Bağlayıcılar	25
4.2. Rijit Üstyapı Tipleri	26
4.2.1. Derzli Donatısız Rijit Üstyapı	26
4.2.2. Derzli Donatılı Rijit Üstyapı	27
4.2.3. Sürekli Donatılı Rijit Üstyapı	27
4.3. Rijit Üstyapı İmalatı	28
4.3.1. Beton Dökümüne Hazırlık	28
4.3.2. Beton Dökümü	31
4.4. Rijit Üstyapılarda Gerilme Durumu	32
4.5. Rijit Üstyapılarda Görülen Kusurlar	34
4.5.1. Çatlaklar	34
4.5.1.1. Büzülme Çatlakları	34
4.5.1.2. Erken Oluşan Çatlaklar	35
4.5.1.3. Büzülmeye Bağlı Olmayan Çatlaklar	36
4.5.2. Yüzeysel Kusurlar	36
4.5.2.1. Kayma Direncinde Azalmalar	37
4.5.2.2. Talaşlanmalar	37
4.5.2.3. Soyulmalar	38
4.5.2.4. Yassı Harç Oluşumu	38
4.5.2.5. Kabarcıklar	39
4.5.3. Çukurlar	39

4.5.4. Diğer Kusurlar	40
4.5.4.1. Burulmalar	40
4.5.4.2. Su Birikintileri ve Yetersiz Yüzey Drenajı	40
4.5.4.3. Renk Farklılıkları	41
4.5.4.4. Oturmalar	41
4.5.4.5. Köşe Kırıkları	41
4.5.4.6. Derz Kusurları	42
5. ESNEK VE RİJİT ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI	43
6. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ	47
6.1. Giriş	47
6.2. Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Fonksiyon Yayılımı	47
7. KALİTE FONKSİYON YAYILIMI	49
7.1. Giriş	49
7.2. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Tanımı	49
7.3. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Tarihçesi	50
7.4. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Faydaları	52
7.5. Kalite Fonksiyon Yayılımı'na Duyulan İhtiyaç	54
7.6. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Uygulama Alanları	56
7.7. Kalite Fonksiyon Yayılımı Uygulama Süreci	56
7.7.1. Kalite Evi	58
7.7.2. Veri Analizi	60
8. YOL MÜHENDİSLİĞİ PARAMETRELERİNİN TASARIMI: BİR KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YAKLAŞIMI	63
8.1. Giriş	63
8.2. Yol Mühendisliği Parametrelerinin Tasarımı İçin Kalite Evi'nin Oluşturulması	63
8.2.1. Müşteri İstekleri	63
8.2.1.1. Müşteri İstekleri Bölümünün Bileşenleri	65
8.2.2. Teknik Gereksinimler	70
8.2.2.1. Teknik Gereksinimler Bölümünün Bileşenleri	71
8.2.3. Müşteri İsteklerinin Önemi	77
8.2.4. Planlama Matrisi	77
8.2.5. İlişki Matrisi	78
8.2.6. Teknik İlişki Matrisi	81
8.2.7. Öncelikli Teknik Hedefler	81
9. SONUÇ ve ÖNERİLER	84
KAYNAKLAR	90

EKLER

95

ÖZGEÇMİŞ

98

SEMBOL LİSTESİ

km	: Kilometre
mm	: Milimetre
%	: Yüzde
#	: Elek numarası
ton	: Ton
d	: İki tekerlek arası mesafe
s	: Üstyapı kalınlığı
σ_z	: Düşey gerilme
σ_t	: Yatay gerilme
σ_{t1}	: Aşırı çekme gerilmesi
σ_{z2}	: Aşırı basınç gerilmesi
cm	: Santimetre
w/c	: Water/cement (Su/çimento)
dB	: Desibel
km/sa	: Kilometre/saat
μ_o	: Yuvarlanma direnci katsayısı
Kg/kg	: Kilogram/kilogram
Σ	: Sigma, Toplam
Π	: Pi, Çarpım
I	: Müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişki değeri
ÖD	: Önem Derecesi
A	: Birinci seçenek
B	: İkinci seçenek
C	: Üçüncü seçenek
HK	: Hedef kalite
İO	: İyileştirme oranı
MA	: Mutlak ağırlık
BA	: Bağlı ağırlık
MÖ	: Mutlak önem
GÖ	: Göreli önem
m	: Müşteri istekleri sayısı
n	: Teknik gereksinimlerin sayısı
s	: Seçenek sayısı
i, j	: Satır numarası, sütun numarası

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa No
Şekil 2.1.	En Yaygın Ulaşım Türü: Karayolu Ulaşımı (Ulaşım Gazetesi)	3
Şekil 3.1.	Sathi Kaplama Enkesiti	8
Şekil 3.2.	Bitümlü Sıcak Karışım Kaplama Enkesiti (Tunç, 2007)	9
Şekil 3.3.	Bir Asfalt Plenti	10
Şekil 3.4.	Finişerin Oturtulması	10
Şekil 3.5.	Kamyonların Finişere Boşaltılması ve Serim	10
Şekil 3.6.	Segregasyon Tırmıklanması	10
Şekil 3.7.	Karışımın Sıkıştırılma İşlemi	11
Şekil 3.8.	Silindiraj	11
Şekil 3.9.	Sıkışmanın Kontrolü	11
Şekil 3.10.	Karot Alımı	11
Şekil 3.11.	Esnek Kaplamada Düşey Gerilme Dağılışı (Umar ve Açar, 1985)	12
Şekil 3.12.	Zaman-Hizmet Düzeyi İlişkisi (Tunç, 2004)	12
Şekil 3.13.	Üç Tabakalı Bir Esnek Üstyapıda Yük Eksenine Etrafında Oluşan Düşey ve Yatay Gerilmeler (Umar ve Açar, 1985)	13
Şekil 3.14.	Kaplama Tabakasında Aşırı Çekme Gerilmeleri Etkisinde Meydana Gelen Bozulmalar (Umar ve Açar, 1985)	13
Şekil 3.15.	Zayıf Alt Tabakalarda Tekerlek İzi Oluşumu (Hanlı, 2009)	14
Şekil 3.16.	Zayıf Asfalt Tabakasında Tekerlek İzi Oluşumu (Hanlı, 2009)	14
Şekil 3.17.	Tekerlek İzi ve Oluklanma Oluşumu (California Department of Transportation, 2001)	15
Şekil 3.18.	Hafif Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)	16
Şekil 3.19.	Orta Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)	16
Şekil 3.20.	Yüksek Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)	16
Şekil 3.21.	Hafif Şiddette Ondülasyon (KGM, 2000)	17
Şekil 3.22.	Orta Şiddette Ondülasyon (KGM, 2000)	17
Şekil 3.23.	Yüksek Şiddette Ondülasyon (KGM, 2000)	17
Şekil 3.24.	Hafif Şiddette Çukurlar (KGM, 2000)	18
Şekil 3.25.	Orta Şiddette Çukurlar (KGM, 2000)	18
Şekil 3.26.	Yüksek Şiddette Çukurlar (KGM, 2000)	18
Şekil 3.27.	Timsah Sırtı Çatlak (KGM, 2000)	19
Şekil 3.28.	Hafif Şiddette Kenar Çatlağı (KGM, 2000)	20
Şekil 3.29.	Orta Şiddette Kenar Çatlağı (KGM, 2000)	20
Şekil 3.30.	Yüksek Şiddette Kenar Çatlağı (KGM, 2000)	20

Şekil 3.31.	Enine Çatlaklar (California Department of Transportation, 2001)	21
Şekil 3.32.	Yansıma Çatlakları (Terzi, 2004)	21
Şekil 4.1.	Rijit Üstyapı Enkesiti (Tunç, 2007)	24
Şekil 4.2.	Rijit Üstyapı Donatıları (Yeğınobalı, 2009)	28
Şekil 4.3.	Sabit Kalıp Kesiti (Tunç, 2007)	30
Şekil 4.4.	Kayar Kalıp Beton Serme Makinesi (Tunç, 2007)	30
Şekil 4.5.	Rijit Üstyapılarda Derzler	30
Şekil 4.6.	Beton Dökümünden Sonra Derzlerin Kesimi (Yeğınobalı, 2009)	31
Şekil 4.7.	Beton Dökümü Sonrasında Kür İşlemi	32
Şekil 4.8.	Beton Plaklarda Defleksiyon (Tunç, 2004)	33
Şekil 4.9.	Isı Farkları Nedeni ile Beton Plakta Oluşan Şekil Değıştirme (Tunç, 2004)	33
Şekil 4.10.	Büzölme Çatlakları (Transportation Information Center, 2002)	35
Şekil 4.11.	Erken Oluşan Çatlaklar-Plastik büzölme Çatlakları (Transportation Information Center, 2002)	35
Şekil 4.12.	Büzölmeye Bağlı Olmayan Çatlaklar (Transportation Information Center, 2002)	36
Şekil 4.13.	Aşınma ve Cilalanma Sonucunda Kayma Direncinde Azalma (Transportation Information Center, 2002)	37
Şekil 4.14.	Yol Yüzeyinde Meydana Gelen Soyulmalar (Transportation Information Center, 2002)	38
Şekil 4.15.	Kabarcıklar	39
Şekil 4.16.	Yol Yüzeyindeki Su Birikintileri (Transportation Information Center, 2002)	40
Şekil 4.17.	Köşe Kırıkları (Transportation Information Center, 2002)	41
Şekil 4.18.	Tipik Derz Detayları (Tunç, 2007)	42
Şekil 4.19.	Boyuna Derz Çatlağı (Transportation Information Center, 2002)	42
Şekil 4.20.	Enine Derz Çatlağı (Transportation Information Center, 2002)	42
Şekil 6.1.	KFY'nin TKY ile birlikte kullanımı (Kavrakoğlu, 1992)	48
Şekil 7.1.	Toyota'da KFY Uygulamasından Önceki ve Sonraki Dönemde Üretim Öncesi ve Üretime Başlama Maliyetleri (Hauser and Clausing 1988)	53
Şekil 7.2.	Matrislerin Matrisi (Matrisler Dizisi) (Hales et al, 1990)	56
Şekil 7.3.	Kalite Evi	59
Şekil 8.1.	Makro Pürüzlülük ve Gürültü İlişkisi (Yeğınobalı, 2009)	66
Şekil 8.2.	Kaplamalarda Fren Mesafeleri (Yeğınobalı, 2009)	67
Şekil 8.3.	Beton ve Asfalt Kaplama Türünde Gece Görüşü (Yeğınobalı, 2009)	74
Şekil 8.4.	Kaplama Türlerinde Yük Dağılımı (Smith et al, 2001)	75

Şekil 8.5.	Verilerin ve Sonuç Değerlerinin Elde Edildiği Kalite Evi (9-3-1-Boş)	82
Şekil 8.6.	Verilerin ve Sonuç Değerlerinin Elde Edildiği Kalite Evi (90-50-20-Boş)	83

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa No
Çizelge 3.1.	Yıllara Göre Devlet ve İl Yolları Uzunluğu (Km) (KGM)	7
Çizelge 3.2.	Esnek Üstyapılardaki Yüzey Bozuklukları ve Oluşma Nedenleri (KGM, 2000)	23
Çizelge 4.1.	Beton Agregasının Sınıflandırılması (Umar ve Açar, 1985)	25
Çizelge 7.1.	C2 Matrisi	57
Çizelge 7.2.	Planlama Matrisi Analizi	61
Çizelge 8.1.	Müşteri İstekleri	65
Çizelge 8.2.	Lastik Yıpranmasının Hız ve Kaplama Cinsi ile Değişimi* (Yayla, 2006)	67
Çizelge 8.3.	Çeşitli Kaplama Tiplerine Göre Yuvarlanma Direnci Katsayısı (Yayla, 2006)	72
Çizelge 8.4.	Yol Kaplamalarına Ait Sürtünme Katsayısı Değerleri (Yayla, 2006)	72
Çizelge 8.5.	Anket Katılımcı Sayıları	77
Çizelge 8.6.	Üç Kaplama Türünün Müşteri Gereksinimlerine Göre Değerlendirilmesi ve Hedef Kalite	78
Çizelge 8.7.	İlişki Derecesine Karşılık Gelen Puan Değerleri	78
Çizelge 8.8.	İlişki Derecesine Karşılık Gelen Yeni Puan Değerleri	79
Çizelge 8.9.	Müşteri İstekleri ile İlişkilendirilen Teknik Gereksinimler	79
Çizelge 8.10.	İlişki Dereceleri	81
Çizelge 9.1.	Teknik Gereksinimlerin Mutlak ve Görelî Önem Sıralaması (9-3-1-Boş Puan Değerlerine Göre)	84
Çizelge 9.2.	Teknik Gereksinimlerin Mutlak ve Görelî Önem Sıralaması (90-50-20-Boş Puan Değerlerine Göre)	85
Çizelge 9.3.	Teknik Gereksinimlerin Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kıyaslanması	86
Çizelge 9.4.	Teknik Gereksinimlerin Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kıyaslanması (Devam)	88

KISALTMALAR LİSTESİ

AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
Ar-Ge	: Araştırma-Geliştirme
ASI	: American Supplier Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
CBR	: California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)
GOAL/QPC	: Growth Opportunity Alliance of Greater Lawrence/Quality, Productivity, and Competitiveness
JSQC	: Japanese Society for Quality Control
KFA	: Kalite Fonksiyon Açılımı
KFY	: Kalite Fonksiyon Yayılımı
KGM	: Karayolları Genel Müdürlüğü
KİK	: Kalite İşlev Konuşlandırılması
PI	: Plastisite İndeksi
TKY	: Toplam Kalite Yönetimi
QFD	: Quality Function Deployment

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince ve tez çalışmamda her anlamda yardımlarını, bilimsel katkı ve tecrübelerini esirgemeyerek, bana yol gösteren Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Adem EREN'e, değerli bilgi birikimini benim ile paylaşan, sorularımı cevaplandıran Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Özlem UZUN ARAZ'a, destek ve teşviklerinden dolayı Sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Gültekin SINIR'a ve tüm öğrenim hayatım boyunca her zaman yanımda olan, bana olan güvenlerini hissettirerek başarılı olmamda büyük payı olan ve benden hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen aileme bugünlere gelmemde bana verdikleri emekten dolayı en içten teşekkürlerimi sunarım.

Dilay YILDIRIM
İnşaat Mühendisi
Manisa, 2012

ÖZET

Geçmişte ve birçok alternatif ulaştırma sisteminin sürekli geliştirilmekte olduğu günümüzde hala en yaygın ve en çok tercih edilen ulaşım türü karayolu ulaşımıdır. Karayolu ulaşımını geliştirmenin yolu da üstyapı performansını artırarak, karayolu kullanıcılarına emniyetli, konforlu ve ekonomik bir yolculuk sunmaktan geçmektedir.

Elde edilmek istenen performans ve kullanıcı memnuniyetine ulaşmadaki emniyet, konfor ve ekonomi parametrelerini sağlamak için birçok faktör göz önünde bulundurulmalıdır. Bu faktörler farklı kaplama türlerine göre farklılık gösterirler. Bu durum ayrıca bir karayolu projelendirmesinde hangi kaplama türünün seçileceği ve tasarım için ihtiyaç duyulan gerekliliklerinin ne derece önemli olduğu, hangisinin önce gelmesi gerektiğini de etkilemektedir. Bunun için bilinçli kararlar verilerek, doğru uygulamalar yapılmalıdır.

Bu tez çalışması ile ortaya koyulmak istenen karayolu mühendisliği parametrelerinin Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemi aracılığı ile değerlendirilmesidir. Bunu yapmak için öncelikle Kalite Evinin de bir bölümü olan müşteri istekleri belirlenmiştir. Sırası ile daha sonra bu isteklerin hangi teknik gereksinimlerle sağlanabileceği, birbirleriyle ilişki dereceleri, teknik gereksinimlerin kendi aralarındaki ilişki durumları, müşteri isteklerinin önem dereceleri gibi değerler belirlenmiştir. Bu değerleri belirlemede müşteri olarak isimlendirilen paydaşlar; akademisyenler, inşaat mühendisleri, kamu kuruluşlarında ve özel sektörde ulaştırma alanında çalışanlar ile görüşülerek anketler yapılmıştır. Ayrıca bu katılımcıların birer karayolu kullanıcısı olduğu göz önünde bulundurulmuştur.

Kalite Evinden elde edilen değerlere göre teknik gereksinimlerin önem sırası ortaya çıkmıştır. Bu sonuçlara göre de teknik gereksinimleri en çok karşılayan kaplama türünün hangisi olduğu kıyaslaması yapılmıştır. Yapılan kıyaslamada esnek ve rijit üstyapılar dikkate alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Karayolu üstyapı performansı, Esnek üstyapı, Rijit üstyapı, Kıyaslama, Kalite fonksiyon yayılımı, KFY, QFD

ABSTRACT

In the past and today, many alternative transportation systems are constantly being developed and the most common and preferred transportation type is highway transportation yet. Way to improve highway transportation is to increase pavement performance and to offer safer, comfortable and economic travelling to highway users.

For providing safety, economy and comfort parameters to reach desired performance and user pleasure, many factors must be considered. These factors vary according to different types of pavement. This case also influences choosing type of pavement in a highway project and importance level of needed requirements for design and which preferential type is. Hence decisions should be conscious and right applications should be performed.

In this thesis, highway engineering parameters are reviewed via Quality Function Deployment method. To do this, firstly customer demands, House of Quality, is specified. Respectively these demands providing technical measures, relationships of technical measures and importance of customer demands are determined. To scale and point these parameters, a questionnaire was made in consultation with the stakeholders called customers; academicians, civil engineers transportation stuff at private and public sector all are highway users as well.

With regard to the obtained values the order of importance of technical measures are emerged. According to these results, a comparison is made to get which pavement type, flexible or rigid is the most suitable.

Key Words: *Highway pavement performance, Flexible pavement, Rigid pavement, Comparison, Quality function deployment, QFD, KFY*

1. GİRİŞ

Günümüzde hızla gelişen teknoloji ile birlikte karayolu mühendisliğinde de birçok gelişmeler meydana gelmiştir. Tüm çalışmalar en iyi ve en kusursuz üretime ulaşmak için gerçekleştirilmektedir. Karayolu mühendisliği parametrelerinin tasarımında ise üstyapı performansını ön plana çıkarmaktadır.

Karayolu üstyapı performansı, emniyet ve sürücü konforu özelliklerine göre tayin edilmektedir. Şüphesiz ki bir sürücü için en iyi karayolu; emniyet, konfor ve ekonominin en üst düzeyde olduğu karayolu olacaktır. Bu aşamada da karayolu kullanan kişinin konfor ve memnuniyeti öncelikli duruma gelmektedir.

Bu çalışma kapsamında karayolu üstyapı performansının kullanıcıların istek ve düşünceleri doğrultusunda nasıl artırılabilceği belirlenmiştir. Bunun için kalite yöntemlerinden biri olan 'Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY)' tekniği uygulanmıştır.

Kalite Fonksiyon Yayılımı tekniği, tasarım kalitesini ürün ya da hizmet henüz tasarım aşamasındayken güvence altına alan ve tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu tekniğin merkezinde olan müşteri ya da kullanıcı istekleri ve memnuniyetleri dikkate alınarak tasarım hedeflerine, uygulama sırasında kullanılacak başlıca kalite güvence noktalarına dönüştürülür.

Bunun sonucunda hem kullanıcılar açısından hem de teknik açıdan istenilen en üst düzeyde tasarım gerçekleştirilmiş olur. KFY tekniğinin uygulanması sonucunda ürün ya da hizmette yapılması gerekli olan değişiklikler büyük ölçüde azaltılmış olur. Ayrıca KFY uygulamalarında üretim öncesi ve başlangıç aşamalarındaki maliyetlerde de düşüş gözlenmiştir. Böylece KFY tekniği sayesinde her açıdan olumlu kazanımlar elde edilmiş olur.

1.1. Amaç ve Kapsam

Geçmişten günümüze ulaştırma her zaman insan yaşantısında önemli bir yere sahip olmuştur. Günlük hayatın vazgeçilmez bir parçası olduğu gibi, hayatımızı doğrudan ya da dolaylı olarak etkileyen bir hizmettir. Bu nedenlerden dolayı ulaştırma hizmetlerinin güvenli, hızlı, konforlu ve ekonomik olması gerekmektedir (Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2000).

Böylesine büyük öneme sahip olmasından dolayı her ulaşım türü için istenen kaliteyi yakalamak adına iyileştirme çalışmaları yapılmaktadır. Hazırlanan bu tez çalışması kapsamında bu konu karayolları açısından ele alınmıştır.

Karayolları esnek ve rijit üstyapılar olmak üzere imal edilmektedirler. Ülkemizde karayollarına baktığımızda yaklaşık 60.000 km uzunlukta olan ağın 50.000 km kadarı sathi kaplama, kalanı ise diğer tür kaplamalı olarak imal edilmiştir. Son yıllarda meydana gelen gelişmeler ile birlikte dünya standartlarına uyum sağlama ve ileri teknolojilere ortam yaratma gerekliliklerinden dolayı rijit üstyapı olan beton yol uygulamalarına geçme gerekliliği gündeme gelmektedir.

Esnek ve rijit üstyapılardan sathi, asfalt betonu ve beton kaplamaların Kalite Fonksiyon Yayılımı aracılığı ile değerlendirmesi amaçlanmıştır ayrıca çalışmanın yapılma nedeni, beklenen ve istenen bir kaplama türünü ortaya koymak ve bunun sonucunda hangi tasarım parametrelerinin en önemlileri olduğunu saptamaktır. Bunun için KFY yöntemi kapsamında, müşteri istek hedeflerinin oluşturulması ve bu istekleri karşılayacak teknik gereksinimlerin belirlenmesini sağlayacak olan kalite evi adı verilen matris yapısı oluşturulur.

Çalışmanın sonunda kalite evinde, üç kaplama türü de belirlenen isteklere göre değerlendirilecek ve mutlak ağırlıklar elde edilecektir. Buna göre teknik gereksinimlerinin önem sırası ve müşteri isteklerine göre en uygun kaplama türü belirlenebilmiş olacaktır.

2. KARAYOLLARI

2.1. Karayolu Tanımı

Karayolu; tüm kara taşıtları ve yayan ulaşımı için güvenlik parametresi de göz önünde bulundurularak belli standartlara göre yapılmış ve işaretlenmiş kamu yararlanmasına açık arazi şeridi, yol, otoyol, köprüler ve benzeri yapı alanlarıdır (Yayla, 2006).

Bir ülkenin ulaşım ağının yeterli seviyede ve uygun standartlara sahip olması o ülkenin gelişmişliğinin bir göstergesidir. Gelişmiş ülkelere kıyasla ülkemizdeki ulaşım ağı yetersiz olmasının yanı sıra, buna karşın ağır taşıt trafiği giderek artmaktadır.



Şekil 2.1. En Yaygın Ulaşım Türü: Karayolu Ulaşımı (Ulaşım Gazetesi)

Ağır yüklü taşıtlar, yol üstyapısının bozulmasında çok etkili bir rol oynamaktadır (Kozak, 2011). Bu durumlar göz önünde bulundurulduğunda karayolu üstyapısının önemi daha da artmaktadır.

Karayolları ulaştırma yapılarından beklenenler

- Konforlu
- Hızlı
- Emniyetli
- Elverişli (talepleri karşılama, düşük maliyet vb.) olmalarıdır.

Buna bağlı olarak da bir üstyapı tasarımı için de yukarıda belirtilen beklentiler göz önünde bulundurulmalıdır. Üstyapı inşası bu beklentilerin yerine getirilmesi ile gerçekleştirilir.

2.2. Üstyapı Tanımı

Üstyapı kaplamaları trafik yükleri ve çevre etkilerine karşı dayanımlı olan, etkiyen trafik yüklerini taban zeminin taşıyabileceği değere indirgeyen, kaplama, temel ve alt temel tabakalarından meydana gelen bir yol yapısıdır.

Temel olarak üstyapı kaplamaları rijit ve esnek olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Bu iki kaplama türü dışında bir de zamanla bozulmuş beton kaplama üzerine bitümlü karışım tabakası takviye yapılarak ya da tam tersine bozulmuş esnek kaplama üzerine beton kaplama yapımı ile elde edilen kompozit kaplama türü mevcuttur (Tunç, 2007).

Bu çalışma kapsamında temel iki tür üzerinde durulmuştur. Bunlardan; rijit kaplamalar, yüksek ve ağır trafik hacmine sahip yollarda granüler alt temel tabakası üzerine yapılan beton plaklardan meydana gelirken, esnek kaplamalar ise, çok tabakalı yapıdan oluşur, alt tabakalar dren kabiliyeti yüksek granüler malzeme ile üst tabakalar da yüksek stabilite ve sürüş konforu elde etmek için bitümlü karışımlar ile imal edilmektedir (Tunç, 2007).

3. ESNEK ÜSTYAPILAR

Ensek üstyapılar, gerekli sürüş konforu ve emniyete, taşıt etkisi ile meydana gelen gerilmelere karşı yeterli stabiliteye sahip olacak şekilde tasarlanan, çok tabakalı bir yapıdır.

Esnek üstyapıların performans ve stabilitesi;

- Sürüş emniyeti açısından yeterli kayma direncine sahip
- Trafik yüklerinden meydana gelen gerilmelerden dolayı oluşan kalıcı deformasyonlara karşı yeterli dirence sahip
- Sürüş konforunu sağlamak için pürüzsüz ve düzgün yüzeylere sahip
- Trafik, iklim ve çevre şartlarının aşındırma etkilerine karşı yeterince durabil
- Kaplama üzerindeki yüzeysel suların temele ve zemine nüfuz etmeyecek şekilde geçirimsiz olması gibi etkenlere bağlıdır.

3.1. Esnek Üstyapılarda Kullanılan Yol Malzemeleri

Esnek üstyapılarda agrega ve bitümlü bağlayıcılar olmak üzere iki ana malzeme bulunmaktadır. Bu malzemelerin şartnamelere uygun oranlarda bir araya gelmesi ile karışım elde edilir.

3.1.1. Agregası

Boyutu 100 mm.ye kadar olan sert taştan kırılarak elde edilen, tane büyüklüğü tanımlanabilen kaya parçacıklarına agrega denilmektedir (Avcı, 2009). Asfalt ve beton karışımların temel malzemesi olan ve yol üstyapısı stabilitesini sağlayan agregalar, karışımda da fazla miktarda bulunması dolayısı ile büyük öneme sahiptir. Bağlayıcısız temel ve alt temel tabakalarının tümü, bitümlü sıcak karışımların ağırlıkça yaklaşık %90-95'i ve hacimce %80-85'i agregalardan oluşmaktadır. (Tunç, 2007).

Bitümlü karışımlarda kullanılan agregalar şartnamelere uygun bir biçimde belirlenmelidir. Karışımlarda kullanılan agregaların sağlaması gereken bazı temel özelliklerinin yanında, üstyapı tasarımına göre değişen farklı özelliklere de sahip olmaları beklenir. Bu farklı özellikler boyutlarına göre üç gruba ayrılan agregalar ile sağlanmaktadır. Bu üç grup tanımlanacak olursa;

- İri (kaba) agrega 4[#] (4,76 mm) elek üzerinde kalan
- İnce agrega 4[#] (4,76 mm) - 200[#] (0,074 mm) arası
- Mineral filler 200[#] (0,074 mm) den geçen

Esnek kaplamada bitümlü karışımdaki iri agrega yüzdesi %40-50'lere kadar artırıldığında, agregalar karışımın akma direncine önemli ölçüde katkı sağlamaktadır. Asfalt betonu kaplama tipinde %55 civarı iri agrega içeren , %25 oranında iri agrega içeren karışımlardan daha az

deformasyona uğradığı gözlemlenmiştir. İnce agregalar da karışımdaki iri agregaların arasını doldurarak yoğun bir karışım elde edilmesini sağlar. Mineral filler, karışımda düşük yüzdeye sahip olmasına rağmen, karışım özelliklerinin düzenlenmesinde büyük öneme sahiptir (Umar ve Ağar, 1985).

Agregaların boyutlarından sonra şekilleri de dikkate alınacak olursa, yassı, uzun ve düz agregalar değil köşeli olanlar karışımda kullanılmak üzere tercih edilmelidir. Bunlara ilave olarak, agrega danelerinin işlenebilirliğini azaltan pürüzlülüğe sahip olması içsel sürtünme açısı, kayma mukavemeti, stabilite ve bitüm ile adezyonu artırmaktadır. Porozite açısından incelendiğinde ise, daneler ne çok poroz ne de poroz olmayan yapıda olmalıdır. Yeterli poroziteye sahip olan daneler bitümün emilimine olanak sağlayarak, agrega ile bağlayıcı arasında kuvvetli adezyon meydana getirerek stabilitenin artmasına ve soyulma etkisinin azalmasına katkı sağlar (Tunç, 2007).

3.1.2. Bitüm ve Bitümlü Bağlayıcılar

Adından da yola çıkılırsa bir yol yapımında kullanılan bitümlü bağlayıcıların temel maddesi bitümdür. Bitüm; ham petrolden elde edilen ve petrolün katı halindeki maddedir. American Society for Testing and Materials (ASTM)'ye göre bitüm tanımı şu şekilde yapılmıştır: "Doğal veya pirojen orijinli hidrokarbonların veya bunların her ikisinin bir araya gelmiş şeklinin, çoğunlukla metal olmayan bileşenleri ile birlikte ve gaz, sıvı, yarı katı ya da katı halde bulunan ve karbon sülfürde tamamen eriyen karışımlarına bitüm denir."

Hidrokarbonlu bağlayıcılar da asfaltlar ve katranlar olmak üzere iki temel gruba ayrılabilirler. Esnek yol kaplamalarında sahip oldukları fiziksel özellikler nedeni ile asfalt ve katranlar oldukça sık kullanılırlar. Hidrokarbonlu bu bağlayıcıların iki temel özelliği çok önemlidir. Bunlar; kohezyon ve adezyondur. Kohezyon; çatlama ve ayrılma olmadan geçirimsiz ve plastik filmler oluşturarak şekil değiştirme özelliği iken, adezyon; bu bağlayıcıların agregaya yapışma özelliğidir (Umar ve Ağar, 1985).

Bitümlü karışımların kohezyonu bitüm malzemesi ile sağlanırken, karışımın içsel sürtünme direnci ve stabilitesi karışım içindeki agrega ile sağlanmaktadır. Bitümlü karışımlar ağırlıkça en fazla %5-7, hacimce ise %13-15 gibi az oranlarda kullanılsa bile (Tunç, 2007), ki bunun nedeni bitümlü karışımların agrega malzemesine göre oldukça maliyetli olmasıdır, esnek kaplamalar için çok önemli bir malzemedir. Bu önemi; düzgün ve oldukça geçirimsiz yol yüzeyi, sürüş konforu, kohezyon ile stabilite artışı, agrega danelerini bağlayarak trafik yükleri etkisi altında dağılmasını önlemeyi sağlayarak ve sürtünme kaynaklı tekerlek gürültüsünü, tekerlek aşınmasını azaltarak kazanmıştır.

3.2. Esnek Üstyapı Tipleri

Esnek üstyapılar düşük standartlı ve yüksek standartlı kaplamalar olmak üzere iki türlü imal edilirler. Düşük standartlı kaplama ile yüzeysel ve koruyucu tabakalar, yüksek standartlı kaplamalar ile de bitümlü sıcak karışımlar kastedilmektedir. Düşük standartlı kaplamalar, tercih edildiği düşük trafik hacmine sahip (genellikle günlük ağıt taşıt trafiğinin 500'den az ya da 8,2 ton standart dingil yükünün yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olduğu) yollarda yeterli performans sağlayabilir ve ekonomiktir. Bunun yanında yüksek standartlı yollarda ve otoyollarda bitümlü sıcak karışimli tabakalar uygulanmalıdır (Tunç, 2007).

Ülkemizde karayollarının tamamı esnek üstyapı tipinde imal edilmiştir. İstatistiklere göre esnek üstyapı türünün büyük bir kısmını sathi kaplamalar oluşturmakta, sathi kaplamaları asfalt betonu kaplamalar takip etmektedir (Çizelge 3.1.).

Çizelge 3.1. Yıllara Göre Devlet ve İl Yolları Uzunluğu (Km)

(KGM - 31.12.2011 tarihi itibari ile)

	Asfalt Betonu	Sathi Kaplama	Parke	Stabilize	Toprak	Geçit Vermez	Toplam Uzunluk
Otoyol	1841	-	-	-	-	-	-
Devlet Yolu	8758	22146	75	162	47	207	31395
İl Yolu	1439	26783	137	1152	735	1144	31390

3.2.1. Kaplamasız Esnek Üstyapılar

Ülkemizde düşük önem derecesi ve trafik hacmine sahip yollarda alt temel tabakası uygulanması sonrasında aşınma tabakası oluşturulmadan kullanıma açılan yollar mevcuttur. Son yıllarda kaplamasız yollar, iyileştirme çalışmaları kapsamında kaplanmış olsa da hala 2010 yılı Karayolları Genel Müdürlüğü istatistiklerine göre yaklaşık olarak 3000 km üzerinde kaplanmamış esnek üstyapılı yol bulunmaktadır.

Bu üstyapı türünde granüler tabaka su etkisinden korunamadığı için sular doğal zemine ulaşmaktadır. Bunun sonucunda da üzerine etki eden trafik yükleri ile yol yüzeyinde bozulmalar çok çabuk gerçekleşmekte ve kaplamalı üstyapı türlerine göre servis ömrü oldukça az olmaktadır.

3.2.2. Sathi Kaplamalı Esnek Üstyapılar

Düşük standartlara sahip olan bir kaplama türü olan sathi kaplamalar, proje süresince toplam standart dingil yükü (8,2 ton) 100.000 ile 2 milyon arasında olmalıdır. Karayolları Genel

Müdürlüğü yol yapım ve proje uygulamalarında, toplam standart dingil yükü sayısının 100.000-500.000 arasında olması durumunda; tek kat, 500.000-2.000.000 arasında olması durumunda ise; çift kat sathi kaplama yapılmaktadır. Fakat standart dingil yükünün 2 milyonu geçtiği bazı yollarda da proje ömrü kısaltılarak sathi kaplama uygulaması yapılabilmektedir.

Karayolları Genel Müdürlüğü istatistiklerine göre ülkemiz yollarının yaklaşık 50.000 km'si ile büyük çoğunluğunu sathi kaplamalar oluşturmaktadır.

Sathi kaplama, diğer kaplama türleri ile kıyaslandığında yüksek sürtünme katsayısına sahiptir. Yüksek sürtünme katsayısı değeri sayesinde frenleme mesafelerinde iyileşme sağlamaktadır ve bu nedenle yüksek eğimli yollarda tercih sebebi olabilir. Ancak bunun yanında sürtünme katsayısının yüksek olması ile taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması artar ve sürüş konforunun düşük olduğu, tekerlek gürültüsü ve titreşiminin olduğu bir sürüşe neden olur. Ayrıca aşınma tabakasının düşük drenaj özelliğine sahip olmasından dolayı yüzeyde su birikmesi, emniyetli sürüş ve üstyapı durabilitesi açısından tehlikeli bir durum oluşturmaktadır. Şekil 3.1.'de bir sathi kaplama enkesiti görülmektedir.



Şekil 3.1. Sathi Kaplama Enkesiti

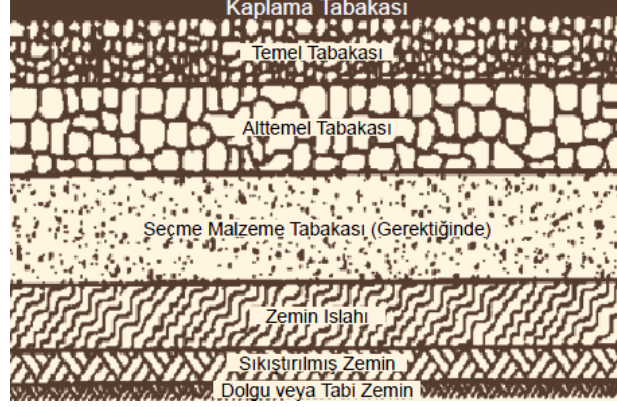
3.2.3. Bitümlü Karışım Kaplamalı Esnek Üstyapılar

Yüksek standartlı karayolları, otoyollar, ağır trafikli yollarda ve havaalanlarında uygulanacak esnek üstyapılar için tercih edilmektedir. Bitümlü sıcak karışımlar, asfalt bağlayıcı ile agreganın asfalt plentlerinde sıcak olarak karıştırılıp yine sıcak olarak serilmesi ya da sıvı asfaltlar (katbek ve emülsiyon) ile soğuk olarak karıştırılarak yolda sıkıştırılmasına göre iki farklı şekilde imal edilirler (Tatlı, 2004).

Yüksek standartlı yollarda esnek üstyapıların üst tabakalarında kullanılan bitümlü sıcak karışımların kullanımı ülkemizde de yaygın olup, gün geçtikçe artmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar, agrega ve asfalt bağlayıcının uygun sıcaklığa getirilerek asfalt plentlerinde şartnameler ile belirlenen uygu oranlarda karıştırılması ile elde edilirler. Bu tip kaplamalar yüksek sürüş konforuna sahiptir. Şekil 3.2.'de bitümlü sıcak karışımdan imal edilmiş bir kaplama enkesiti görülmektedir.

Soğuk bitümlü karışımlara bakılacak olursa, ülkemizde kullanımı pek yaygın değildir. Yalnızca havanın soğuk olduğu dönemlerde yapılması mecburi onarım işlerinde, asfalt plentinin olmadığı

durumlarda ve az miktarda bitümlü karışıma ihtiyaç duyulduğu zamanlarda kullanılmaktadır. Bu tip karışımlar hem düşük stabiliteye sahip olduğundan hem de daha maliyetli olduğundan tercih edilmezler.



Şekil 3.2. Bitümlü Sıcak Karışım Kaplama Enkesiti (Tunç, 2007)

3.3. Esnek Üstyapı İmalatı

Esnek üstyapı imalatı genel olarak üç aşamada gerçekleştirilir.

Bu aşamalar;

- Malzemenin hazırlanması ve imalat sahasına taşınması
- Malzemenin sericilere (finişerlere) boşaltılması, serimi ve serimin kontrolü
- Serilmiş malzemenin sıkıştırılması olarak sıralanabilir.

3.3.1. Karışımın Hazırlanması ve Kaplama Sahasına Taşınması

Bitümlü karışımların elde edilebilmesi için öncelikle uygun özelliklere sahip agregaların temin edilmesi gerekmektedir. Bu agregalara elek analizleri yapılarak, uyulması istenen gradasyona göre oranları tespit edilir. Ayrıca kaplamada kullanılacak agrega, bitüm ve karışımlar ile ilgili yapılması gereken deneyler yapılarak, malzemeler test edilir. İstenen özellikler sağlanıyorsa, şartnamelere uygun bir şekilde hesaplanan bitüm yüzdesi asfalt plantlerine aktarılarak karışımın hızlı bir şekilde oluşturulması sağlanır (Şekil 3.3.). Oluşturulan karışım kamyonlara boşaltılarak serimin yapılacağı sahaya taşınır.



Şekil 3.3. Bir Asfalt Plenti

3.3.2. Karışımın Serimi ve Yapılan Serimin Kontrolü

Serim işleminden önce yapılması gereken bir takım işlemler vardır. Bunlar sırası ile ince reglaj, süpürme, astar ve yapıştırma tabakaları yapımı işlemlerinden oluşmaktadır. İnce reglaj; temel tabakası yüzeyinin proje değerlerine uygun bir şekilde serimden önce düzeltilmesidir. Süpürme; astar ve yapıştırma tabakaları yapımından önce yapılır. Bu işlemle yüzeyde toz, kum ve toprak gibi malzemeler uzaklaştırılır. Böylece astar ve yapıştırma tabakalarının yapışkan özelliğinin ortadan kalması engellenmiş olur. Astar ve yapıştırma tabakaları yapımı, sıvı asfaltın temel tabakası üzerine püskürtülmesi ile gerçekleştirilir. Bu işlem sayesinde temel tabakası ile kaplamanın birbirine yapışması sağlanarak, tabakalar arasındaki kayma direnci artırılmış olur. Bu aşamaların tamamlanması ile serim işlemine geçilmektedir.

Serim işleminin yapılacağı sahaya gelen malzemenin finişerin kazanına boşaltılması ile serim işlemi başlatılır (Şekil 3.5.). Kamyon finişerin ilerlemesi ile hareket ederek malzeme yavaş bir şekilde boşaltılır. İlk işlem finişerin temizlenmesidir. Serim işleminden sonra oluşan segregasyonlara müdahale edilerek düzeltilir böylece yüzey düzgünlüğü de sağlanmış olur. Segregasyon Şekil 3.6.'daki gibi tırmıklama ile giderilebilir.



Şekil 3.4. Finişerin Oturtulması



Şekil 3.5. Kamyonların Finişere Boşaltılması ve Serim



Şekil 3.6. Segregasyon Tırmıklanması

3.3.3. Serilen Karışımın Sıkıştırılması

Bitümlü karışımlar sıcak olduğunda daha iyi sıkıştırılabildiğinden serim işlemini takiben vakit kaybedilmeden sıkıştırılmaya başlanmalıdır. Esnek kaplamalarda karışımın sıkıştırılması üstyapı performans ve stabilitesi üzerinde oldukça etkilidir. Sıkıştırma işlemine başlamadan önce, ilk olarak silindir bandaj ile lastikler yağlanmalıdır. Sıkıştırılma işlemi lastikli silindir ve onu takiben bandajlı silindirlerle yapılmaktadır. Aletle sıkışma takip edilerek silindiraja yön verilir.



Şekil 3.7. Karışımın Sıkıştırılma İşlemi



Şekil 3.8. Silindiraj

Serim ve sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra karot alınarak serim kalınlığı ve sıkışma oranı kontrol edilir (Şekil 3.9. ve Şekil 3.10.).



Şekil 3.9. Sıkışmanın Kontrolü

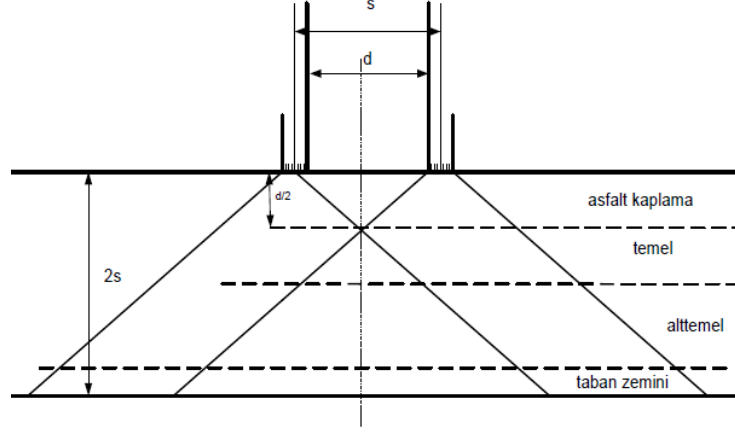


Şekil 3.10. Karot Alımı

3.4. Esnek Üstyapılarda Gerilme Durumu

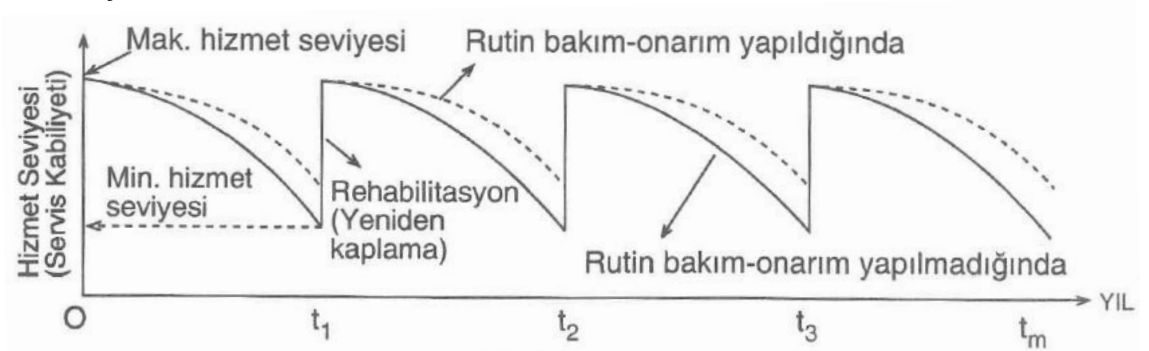
Esnek üstyapı, alt temel, temel ve kaplama tabakalarını bünyesinde barındıran tabakalı bir yapıdır. Yol yüzeyinden taban zeminine doğru inildikçe tabakaların mekanik özellikleri ve kalitesi azalmaktadır. Trafik ve iklim koşullarının olumsuz etkilerine direkt maruz kalan kaplama tabakası çoğunlukla bitümlü karışımdan imal edilir. Kaplama tabakasının altında bulunan temel tabakasından belirli granülometriye sahip agregalar kullanılır. Temel tabakasının taşıyan alt temel tabakası ise temele göre daha kalitesiz malzemeden meydana gelir ve dane boyutu artar. Bu tabakalı yapının amacı, üzerine etki eden yükleri tek başına taşıyamayacak olan taban zeminine, tabakalı yapı sayesinde etkiyen yükü azaltmak, taşıyabileceği değerlere indirgemektir. Tabakalardaki farklı mekanik özelliklere sahip bu malzemelerin yük taşıma ve

dağıtımları da farklı olacaktır. Şekil 3.11.'de esnek kaplamalardaki düşey gerilme dağılışı gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Esnek Kaplamada Düşey Gerilme Dağılışı (Umar ve Ağar, 1985)

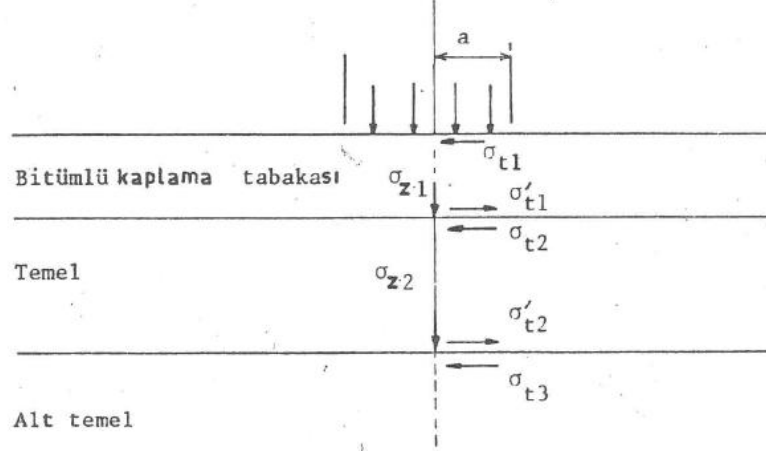
Esnek kaplamalarda trafik ve çevre etkilerinden dolayı kaplamada oluşan gerilmelerin analizi son derece karmaşıktır. Trafik ve çevre etkilerinden dolayı kaplamanın zaman içindeki davranışında meydana gelen değişim veya hizmet yeteneğindeki azalma miktarı yol testlerinden elde edilen sonuçlara dayandırılarak ampirik yöntemler geliştirilmiştir. Tekrar eden trafik yükleri altında zamanla kaplamada bozulmalar oluşması ile sürüş konforu ve emniyetinde azalma görülmektedir (Tunç, 2004). Hizmet düzeyi ile zaman ilişkisi Şekil 3.12. ile grafik olarak belirtilmiştir.



Şekil 3.12. Zaman-Hizmet Düzeyi İlişkisi (Tunç, 2004)

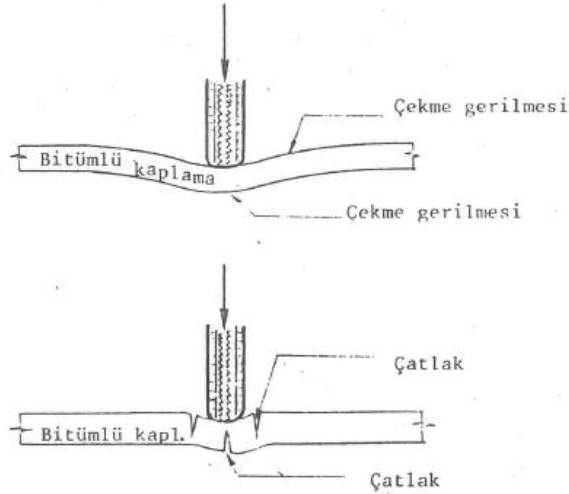
Esnek kaplamalar teknik kural ve şartnamelere uygun yapıldığı takdirde, yolu kullanan taşıtlara sürüş konforu ve emniyeti açısından taşıtlara en üst seviyede hizmet verebilecektir. Zamanla kaplamada meydana gelen bozulmalar nedeni ile hizmet seviyesinde azalmalar meydana gelir ve kaplama kullanılmaz duruma gelir. Kabul edilebilir en düşük hizmet seviyesinde bozulmuş kaplamada rehabilitasyon (yenide aşınma tabakası yapılması ya da geri kazanım ile kaplama takviyesi) yapılarak tekrar en üst hizmet seviyesine çıkartılır (Tunç, 2004).

Kaplamada tekerleklerin ileri doğru hareketleri esnasında tekerleklerin emme etkisi ile agregayı kaplamadan söküüp ayırmak isteyen çekme gerilmeleri oluşur. Yatay yükler genelde taşıtların hız kazandığı, fren yaptığı ve yön değiştirdiği kısımlarda kaplama tabakasının alt tabakalardan ayrılmasına neden olabilirler (Umar ve Ağar, 1985).



Şekil 3.13. Üç Tabakalı Bir Esnek Üstyapıda Yük Eksenini Etrafında Oluşan Düşey ve Yatay Gerilmeler (Umar ve Ağar, 1985)

Bir üstyapının bozulması veya kaplama tabakası ile temel tabakasının arakesitindeki aşırı çekme (σ_{t1}) ya da temeldeki aşırı basınç (σ_{z2}) sebebi ile meydana gelir (Şekil 3.13.). Üstyapı tabakalarının boyutlandırılmasında çekme ve basınç gerilmelerinin kritik olanları dikkate alınır. Çekme gerilmelerinin aşırı değerlerde olması arakesitlerde çatlak oluşumuna neden olur. Bu çatlak oluşumları ve çekme gerilmesi etkisinde oluşan bozulmalar Şekil 3.14.'te görülmektedir.



Şekil 3.14. Kaplama Tabakasında Aşırı Çekme Gerilmeleri Etkisinde Meydana Gelen Bozulmalar (Umar ve Ağar, 1985)

3.5. Esnek Üstyapılarda Görülen Kusurlar

Esnek kaplamaların trafiğe açılması sonrasında meydana gelen kusurlar genel olarak, trafik etkisi, çevre ve iklim etkisi, malzeme hatalarının etkisi, yapım ve tasarım hatalarının etkisi gibi nedenlere bağlıdır.

Bu kusurlar;

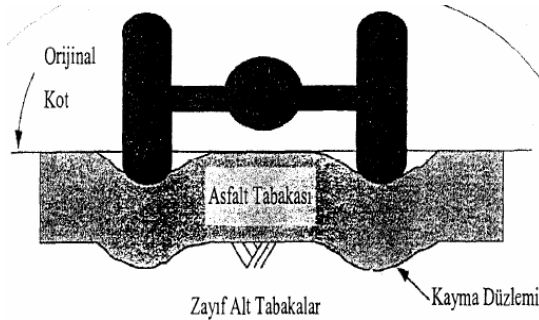
- Deformasyonlar
- Ayrışmalar
- Çatlamlar olmak üzere üç ana grupta incelenebilir.

3.5.1. Deformasyonlar

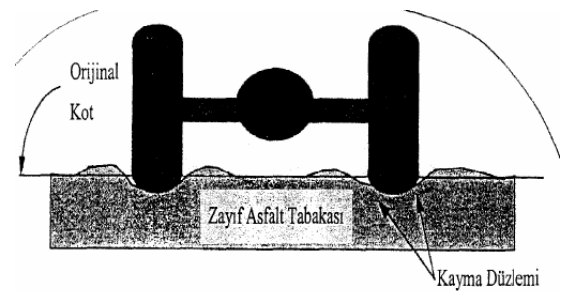
Deformasyon esnek üstyapı imalatında belli bir zaman sonra görülen yapısal bozukluklar olarak tanımlanabilir. Bunlar kalıcı deformasyonlar (şekil değiştirmeler) şeklindedir ve yol boyunca ya da belirli kısımlarında görülebilirler. Sürüş konforu ve emniyeti açısından sakıncalı olan deformasyonlar hizmet seviyesini de düşüreceğinden bölgesel tamir ya da takviye tabakası ile giderilmelidir.

3.5.1.1. Tekerlek İzleri

Tekerlek izleri kalıcı deformasyonun en çok görülen türlerindedir. Bu oluşumun aşınma, trafik yükleri ve nem hasarı gibi birçok nedeni olsa da temelde iki ana neden öne çıkmaktadır. Bunlar zayıf alt tabakalar (Şekil 3.15.) ya da zayıf asfalt tabakasından (Şekil 3.16.) kaynaklanırlar. Çok fazla tekerrür eden trafik yükleri altında mukavemeti daha yüksek olan kaplama malzemeleri tekerlek izi oluşumunu azaltmasına rağmen bu malzeme probleminden ziyade yapısal bir sorun olarak değerlendirilir.



Şekil 3.15. Zayıf Alt Tabakalarda Tekerlek İzi Oluşumu (Hanlı, 2009)



Şekil 3.16. Zayıf Asfalt Tabakasında Tekerlek İzi Oluşumu (Hanlı, 2009)

Tekerlek izi oluşumu özellikle yüksek hızla seyreden taşıtlar için çok büyük tehlike oluştururken, tüm hızdaki taşıtlar için de sürüş konforunu olumsuz yönde etkiler. Ayrıca tekerlek izleri ile meydana gelen olukların içine biriken yağmur suları sürüş emniyeti azaltır ve soğuk havalarda donarak tehlike oluşturduğu gibi agregaların soyulmasına ve stabilite bozukluklarına yol açar (Şekil 3.17.).



Şekil 3.17. Tekerlek İzi ve Oluklanma Oluşumu (California Department of Transportation, 2001)

Tekerlek izi oluşumunun nedenleri ise; (Tunç, 2007)

- Ağır trafik yükü ve çok fazla tekerrür sayısı
- Ağır taşıtların yavaş hızla seyretmeleri
- Yetersiz temel tabakası kalınlığı
- Yetersiz zemin mukavemeti
- Yüksek penetrasyonlu asfalt
- Aşırı asfalt ve filler yüzdesi
- Hava sıcaklığının yüksek oluşu
- Yuvarlak şekle sahip agrega malzemesi
- Yetersiz sıkıştırma olarak sıralanabilir.

3.5.1.2. Üniform Olmayan Yüzey Bozuklukları

Bu deformasyon tipi genellikle zemin ve temel tabakalarındaki oturmalarından kaynaklansa da,

- Yetersiz zemin mukavemeti
- Yetersiz temel tabakası stabilitesi ya da boşluklu gradasyon
- Yetersiz drenaj
- Yüksek su seviyesi ve don derinliğinin fazla olması
- Yetersiz kaplama kalınlığı
- Zeminden temel tabakalarına kil yükselmesinin olumsuz etkisi
- Banketlerde yanıl desteğin az olması (Tunç, 2007)

Bu tip kusurların bölgesel olmaması, yolun tamamı ya da büyük bir bölümünde meydana gelmesinden dolayı tamir ile giderilmeleri oldukça zordur.

3.5.1.3. Bölgesel Oturmalar

Kaplamada düşey yönlü deplasmanın meydana geldiği deformasyonlardır. Oluşma nedenleri;

- Taban, alt temel ve temel tabakalarında yetersiz sıkışmadan dolayı oluşan yer değiştirmeler
- Üstyapı tabanının taşıma gücünün yetersiz olması
- Sanat yapılarının yaklaşım bölgelerinde yetersiz sıkışma ve drenaj nedeni ile oluşan göçmeler
- Kaplamanın bankete yakın kesimlerinde, menfezlerde, eksende, çatlak kesimlerde, rögar kenarlarında ve yetersiz drenaja sahip yamalarda gözlenen tekerrür eden don-kabarma durumu
- Dolgu şevindeki hatalı imalat
- Uygunsuz bakım teknikleri olarak sıralanabilir (Hanlı, 2009).

Bu bölgesel oturmalar, Şekil 3.18., 3.19. ve 3.20.'de olduğu gibi hafif, orta ve yüksek şiddetli olmak üzere üç farklı tipte görülebilir.



Şekil 3.18. Hafif Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)



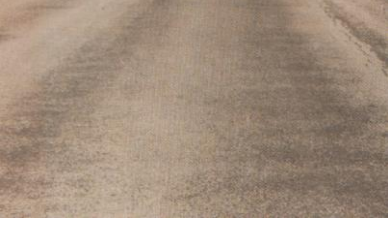
Şekil 3.19. Orta Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)



Şekil 3.20. Yüksek Şiddette Bölgesel Oturma (KGM, 2000)

3.5.1.4. Ondülasyonlar

Bu deformasyonlar stabilite yetersizliğinden kaynaklanan bozulmalardır. Alt tabakalardan bağımsızdır ve asfalt tabakalarda meydana gelir. Bu oluşumu önlemek amacı ile yüksek stabiliteli karışımlar kullanılmalıdır. Yaya geçişleri, otobüs durakları, kavşaklar, aşırı eğimli ve benzeri bölgelerde oldukça sık görülmektedir.



Şekil 3.21. Hafif Şiddette
Ondülasyon (KGM, 2000)



Şekil 3.22. Orta Şiddette
Ondülasyon (KGM, 2000)



Şekil 3.23. Yüksek Şiddette
Ondülasyon (KGM, 2000)

Ondülasyon nedenleri;

- Düşük stabiliteye sahip karışımlar
- Aşınma tabakası kalınlığının yetersizliği
- Aşırı asfalt
- Yüksek penetrasyona sahip asfalt
- Binder tabakasının eksik oluşu
- Zayıf yapıştırma tabakası
- Dik kesimlerde ağır taşıtların duruş ve kalkış hareketleri
- Kavşaklarda, otobüs duraklarında ve benzeri kesimlerde frenleme ve kalkış hareketleridir.

3.5.1.5. Kabarmalar

Tabanda ya da üstyapıda meydana gelen şişme sonucu oluşan yerel deformasyonlardır. Bu bozulma türünün ana nedeni don etkisidir. Kabarmaların önlenmesi için projelendirme esnasında don etkisi de dikkate alınmalı, şişme potansiyeline sahip tabanlarda, inşa öncesi drenaj, stabilizasyon gibi önlemler alınmalıdır (Umar ve Açar, 1985).

3.5.1.6. Lastik Deseni

Lastik deseni deformasyon tipi özellikleri ağır taşıt lastik deseninin kaplama yüzeyinde iz bırakması sonucunda görülür. Bu deformasyon tipi yapısal değil yüzeyseldir. Sürüş konforunu azaltacak yüzeyler oluşmasına neden olur ve yuvarlanma direncini de yükselttiği için taşıt işletme giderlerinin artmasına yol açar.

3.5.2. Ayrışmalar

Aşınma tabakasında trafik yükleri veya iklim etkisi ile meydana gelen ayrışmaların sonucunda parçalanma ve kopmaların görülmesi ile oluşmaktadır.

3.5.2.1. Çukurlar

Kalitesiz yapım, mevsimsel hava koşulları ve aşırı dingil yükü gibi nedenlere bağlı olarak derinliği 5-10 cm arasında veya daha fazla, çapı 10-30 cm aralığında veya daha büyük olan oyuklardır. Sürüş konforunu düşüren bu bozulmalar sürüş güvenliği açısından da tehlike yaratmaktadırlar (Hanlı, 2009). Çukurlar boyutlarına göre de hafif, orta ve yüksek şiddetli olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Şekil 3.24., 3.25. ve 3.26.'da sırası ile gösterilmektedir.



Şekil 3.24. Hafif Şiddette
Çukurlar (KGM, 2000)



Şekil 3.25. Orta Şiddette
Çukurlar (KGM, 2000)



Şekil 3.26. Yüksek Şiddette
Çukurlar (KGM, 2000)

Çukurların oluşum nedenleri (Doğan, 2006);

- Soyulma, segregasyon, çatlaklar ve bunlar gibi olan diğer bozulmaların etkileri
- Hatalı yapım teknikleri ve düşük kalite kontrolü
- Kaplamada düşük kalitede agrega kullanımı
- Üstyapı kalınlıklarının yetersiz düzeyde oluşu olarak sıralanabilir.

3.5.2.2. Sökülmeler

Aşınma tabakasının parça ya da tabakalar halinde soyulması şeklinde meydana gelen bu kusur tipi, agrega danelerinin yukarıdan aşağıya doğru kopması ile meydana gelir. Öncelikle ince malzemeler koparak küçük çukurlar oluşur daha sonra ise büyük tanelerin kopması ile tabakalar halinde sökülmeler gerçekleşir.

Sökülmelerin oluşma nedenlerine bakılacak olursa, bunlar;

- Üniform olmayan ve zayıf sıkıştırma
- Soğuk ve nemli hava koşullarında imalat
- Kirli ve segre olmuş agrega
- Yetersiz bitüm miktarı
- Karışım sırasında asfaltın çok fazla ısıtılması
- Çok ince aşınma tabakası yapılması
- Yaşlanma nedeni ile asfaltta görülen sertleşme

- Uygun olmayan yapım tekniği ve buna bağılı olarak ekipman kullanımı olarak sıralanabilir.

3.5.2.3. Kaygan Yüzeyler

Sürüş emniyetini olumsuz yönde etkileyen bu kusur tipi, agrega soyulması, cilalanması ve asfaltın terlemesi ile meydana gelir. Soyulma, cilalanma ve terlemeyi engellemek için gereken testler yapılmalı ve şartname ile belirlenmiş olan kıstaslara uyulmalıdır.

3.5.3. Çatlamalar

Çatlamalar kaplama yüzeyinde trafik, iklim ve çevre etkisi ile farklı şekillerde oluşan kusur tipidir. Genel olarak;

- Stabilite çatlakları
- Yorulma çatlakları
- Yansıma çatlakları olarak sınıflandırılırlar.

3.5.3.1. Yorulma ve Stabilite Çatlakları (Timsah Sırtı Çatlaklar)

Yorulma çatlama, asfalt kaplamalara uygulanan yükler nedeni ile çatlak oluşmasına sebep olacak şekilde kaplamanın gerilme dayanımının aşılması sonucu meydana gelir (Şekil 3.27.). Yorulma çatlağı oluşumunun ilk belirtisi, trafik yönünde aralıklı olarak, boyuna tekerlek izi çatlaklarının oluşmasıdır. Yorulma çatlama, ilk çatlakların birleşerek daha fazla çatlağın oluşumuna sebep olması ile tedricen artan bir bozulma türüdür (Hanlı, 2009).



Şekil 3.27. Timsah Sırtı Çatlak (KGM, 2000)

3.5.3.2. Kenar Çatlakları

Kaplamalarda kenardan yaklaşık 30-50 cm içeride ve yol eksenine paralel derin ve geniş çatlak türleridir. Genel olarak banketlerin yeterli düzeyde destek sağlamadığı kısımlarda görülürler. Yetersiz drenaj, don, üstyapı ve banket arasında büyük nem farkı bulunması gibi nedenlerden

dolayı kenar çatlakları oluşabilmektedir. Şekil 3.28., 3.29. ve 3.30.'da farklı şiddetlerdeki kenar çatlakları görülmektedir.



Şekil 3.28. Hafif Şiddette
Kenar Çatlağı (KGM, 2000)



Şekil 3.29. Orta Şiddette
Kenar Çatlağı (KGM, 2000)



Şekil 3.30. Yüksek Şiddette
Kenar Çatlağı (KGM, 2000)

3.5.3.3. Derz Çatlakları

Farklı iki şerit arasında meydana gelen çatlak türüdür. Yapım hatasından kaynaklı olarak gelişebilirler. İkinci şerit dökümü sırasında yeterli bindirmenin yapılmaması zaman içinde iki şerit arasında ayrılmaya sebep olur. Meydana gelen çatlak geçirimsizliği arttırdığı gibi ayrışmalara da neden olur (Umar ve Açar, 1985).

3.5.3.4. Kayma Çatlakları

Bu çatlak türü, tekerleklerin kaplamada yaptıkları yatay kuvvetlerin etkisi ile tabakalar arası kayma sonucu oluşurlar. Bu oluşumun nedenleri, iki tabaka arası bağın yetersiz oluşu, yapıştırma tabakası olmayışı, yapıştırıcının fazla miktarda kullanılması, yapıştırıcı sonrasında bekleme nedeni ile tozlanması veya ıslanması olarak söylenebilir. Kaplamalarda görülen ötelenmeler, yatay eğimlerde ve kavşaklarda taşıt hareketi doğrultusunda, rampa aşağı kesimlerde taşıt hareketi doğrultusunda, rampa yukarı kesimlerde taşıt hareketinin aksi doğrultusunda ve küçük yarıçaplı kurplarda merkeze aksi yönde oluşmaktadır (Tunç, 2007). Bu çatlak tipinin kalın tabakalarda olma olasılığı daha azdır.

3.5.3.5. Büzülme Çatlakları

Büzülme çatlaklarının oluşumu bitümlü tabakalarda, temelde ya da taban zemininde oluşan hacim değişimlerinden kaynaklanmaktadır. Timsah sırtı çatlaklar şeklinde ortaya çıkarlar fakat ayırt edici özelliği; büyük bloklar halinde oluşması ve önceden oluşmuş çatlaklara dik açılı bir şekilde oluşmasıdır. Düşük penetrasyonlu ve yüksek asfalt içeriğine sahip ince agrega oranı yüksek olan bitümlü sıcak karışımlar genel olarak daha çok hacim değiştirme eğilimine sahip olduklarından bu çatlak tipi daha sık görülmektedir.

3.5.3.6. Enine Çatlaklar

Enine çatlak oluşumunun nedenleri; yetersiz üstyapı kalınlığı ve drenaj, bunlara ek olarak sericinin uzun süren duraklamalarla çalışması ve ani sıcaklık düşmelerinin kaplamada oluşturduğu gerilmeler olarak sayılabilir. Bu çatlak tipi yol eksenine dik olarak oluşur (Şekil 3.31.), diğer çatlak tiplerine göre daha az görülürler.



Şekil 3.31. Enine Çatlaklar (California Department of Transportation, 2001)

3.5.3.7. Yansıma Çatlakları

Esnek kaplama bozulmuş bir kaplama üzerine takviye tabakası olarak ya da çimento stabilizasyonlu temel tabakası çatlamış ise ya da bozulmuş bir rijit kaplama üzerine inşa edilmiş ise, zaman içerisinde asfalt kaplama üzerinde yansıma çatlakları meydana gelmektedir (Şekil 3.32.). Alt tabakadaki çatlaklar üst tabakanın alt yüzeyinin çatlamasına ve yine bu çatlakların zamanla yaklaşık olarak 45 derece eğim ile kaplama kalınlığında ilerleyerek yüzeye ulaşırlar (Tunç, 2007). Bu çatlaklar önceden oluşmuş çatlaklar olduğundan enine, boyuna, köşegen veya blok şeklinde görülebilirler. Takviye tabakası kalınlığı ne kadar az ise yansıma çatlakları oluşumu da o kadar gerçekleşir. Bu çatlak türünün oluşumunun önüne geçebilmek için, mevcut kaplamadaki derz ve çatlakların, takviye tabakası yapımından önce özenli bir şekilde onarılması ve takviye tabakası kalınlığının en az 10 cm kalınlığında yapılması tavsiye edilmektedir.



Şekil 3.32. Yansıma Çatlakları (Terzi, 2004)

3.5.4. Düşük Isı Çatlakları

Düşük ısı çatlaklarının oluşumu soğuk havalarda asfaltta meydana gelen büzülme ile gerçekleşir. Bu çatlak türünde trafik yükleri etkili değildir, onun yerine mevsim özellikleri etkili olmaktadır. Düşük ısı çatlakları oluşum yerine göre asfalt kaplama yüzeyinde ve tüm kaplama kalınlığında olmak üzere iki gruptur.

Düşük ısı çatlaklarının meydana gelmesinin en önemli sebebi asfalt bağlayıcının düşük ısılarda rijit davranış göstermesidir. Bu davranış nedeni ile bağlayıcı çekme gerilmeleri etkisi altında neredeyse hiçbir deformasyon oluşmaksızın gevrek kırılma gösterir.

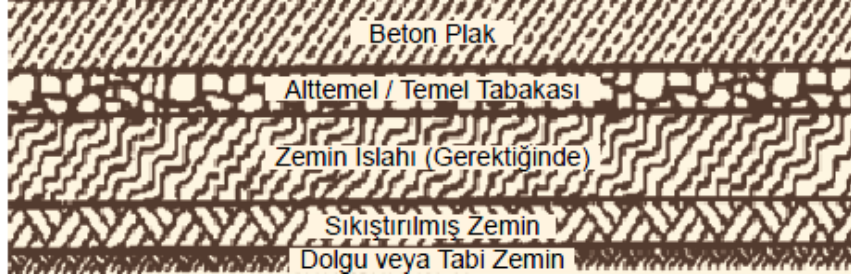
Düşük ısı duyarlılığı yani yüksek plastisite indeksi (PI) değerine sahip olan asfalt bağlayıcılarla yapılan kaplamalarda bu çatlak türü daha az görülür. Bu nedenle, soğuk havanın egemen olduğu bölgelerde yumuşak yani yüksek penetrasyona sahip ve bunun yanında ısıya daha az duyarlı asfalt kullanarak bu çatlakların azaltılması ya da oluşumunun geciktirilmesi mümkün olmaktadır. Bunların dışında kaplama yaşı arttıkça, kalınlık azaldıkça ve zeminin ısı duyarlılığı arttıkça bu çatlakların oluşumu artmaktadır (Tunç, 2007).

Çizelge 3.2. Esnek Üstyapılardaki Yüzey Bozuklukları ve Oluşma Nedenleri (KGM, 2000)

BOZULMA TİPLERİ	OLUŞMA NEDENLERİ										
	Trafik Etkisi	İklim ve Çevre Etkisi	Kötü Malzeme Kullanımı	Kötü Bakım Teknikleri	Asfalt Yaşlanması	Yetersiz Sıkıştırma	Yetersiz Drenaj	Yetersiz Taşıma Gücü	Yetersiz Üstyapı Boyutları	Şişme ve Büzülme Etkisi	Önceki Bozulmaların Etkisi
Timsah Sırtı Çatlaklar	X	X	X	X	X			X	X		
Kenar Çatlakları	X	X						X	X	X	
Enine Çatlaklar		X	X	X	X					X	X
Boyuna Çatlaklar	X	X	X	X	X		X	X	X		
Blok Çatlakları		X				X				X	X
Tekerlek İzinde Oturmalar	X	X	X				X	X	X		
Ondülasyon, Öteleme ve Yoğrulmalar	X		X	X	X		X		X		
Yerel Oturmalar ve Kabarmalar		X		X	X		X	X	X		
Tekerlek Profil İzi	X	X		X							X
Çukurlar			X	X	X				X		X
Segregasyon, Sökülme ve Soyulmalar	X	X	X	X		X	X				
Kaplama Agregası Kaybı	X	X	X	X	X						X
Çizgisel Agrega Kaybı			X	X							
Bitümün Terlemesi	X	X	X	X	X						X

4. RİJİT ÜSTYAPILAR

Rijit üstyapılar, ağır trafiğe ve çok yüksek trafik hacmine sahip olan yollarda elde edilmek istenen sürüş konforu ve emniyetin, sağlamak için yapılan yüksek standartlı kaplama türüdür. Rijit üstyapılar beton kaplamalar olarak da adlandırılırlar. Beton kaplamalar, yeterli mukavemete sahip olan zeminlerde belirli kalınlıkta serilen granüler alt temel tabakası ile kısmen donatılı ya da sürekli donatılı imal edilen beton plaklardan meydana gelir. Şekil 4.1.'de bir rijit üstyapı kesiti görülmektedir.



Şekil 4.1. Rijit Üstyapı Enkesiti (Tunç, 2007)

Beton kaplamaların, 20 sene proje ömrü boyunca 8,2 ton standart dingil yükü sayısının 60-75 milyondan daha fazla olduğu ya da yol trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari vasıta sayısının 5.000'den fazla olduğu yollarda, uygulanması kaçınılmaz bir durumdur (Tunç, 2007). Bu nedenden dolayı ülkemizde henüz yaygın kullanılmasa da gelecekte kullanımının yaygınlaşması beklenmektedir.

4.1. Rijit Üstyapıda Kullanılan Yol Malzemeleri

Rijit üstyapılarda beton bileşenleri bulunmaktadır. Bunlar, hava, agrega ve çimento hamurudur. Böylece rijit üstyapılarda, agrega ve çimento bağlayıcılar olmak üzere iki ana malzeme bulunmaktadır.

4.1.1. Beton Agregası

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından meydana gelebileceği gibi yapay kırma malzemeden de oluşmaktadır. Betonun hacimce yaklaşık %75'i ağırlıkça ise yaklaşık %60'ı agregalardan meydana gelmektedir. Agregalar betonun işlenebilirlik, mukavemet ve durabilite özelliklerine etki etmesinden dolayı da önem kazanmaktadırlar (Tunç, 2007). Beton agregaları dane boyutuna göre Çizelge 4.1.'deki gibi gruplandırılır.

Çizelge 4.1. Beton Agregasının Sınıflandırılması (Umar ve Açar, 1985)

Elekte Kalan (mm)	Elekte Geçen (mm)	Doğal Malzeme	Kırma Malzeme
- 1	1 3	Beton Kumu { İnce beton kumu İri beton kumu	Kırma Beton Kumu { İnce beton kumu İri beton kumu
3 7	7 30	Beton Çakılı { İnce beton çakılı İri beton çakılı	Beton mıcırı Beton kırmataşı

Beton agregaları doğal, kırmataş veya kırma çakıl ve yapay agrega olmak üzere çok farklı biçimlerde elde edilmektedirler. Doğal agregalar dere yataklarından elde edilirken, kırmataşlar taş ocaklarından çıkarılan taş parçalarının veya büyük çakılların kırılması yolu ile elde edilir. Yapay agregalar da yüksek fırın cürufu, eski betonların kırılması, genişletilmiş perlit, pişirilerek genişletirilen kil veya şist olarak sıralanabilir.

Beton yoldaki agregalar yüksek aşınma direncine sahip ve olumsuz hava koşullarına karşı da dayanıklı olmalıdır. Agregada danelerinin formu olabildiğince kübik şekle yakın olmalıdır. Yassı ve uzun dane formu, betonun işleme yeteneğini azalttığı gibi, trafik yüklerine karşı dayanımsız bir üstyapı oluşmasına neden olmaktadır. Agregaların en iyi bileşimi kum, çakıl ve diğer kırılmış malzemelerin iyi bir granülometri eğrisine sahip olması ile gerçekleşir. Agregada bileşimindeki ince kısım çimento ile birlikte harcı oluşturur. Harç büyük boyutlu daneleri birbirine yapıştırarak, aralarındaki boşluğun dolmasını sağlar. Böylece beton direnci, harcın kalitesi ile agrega oranının yeterli olmasına bağlıdır.

4.1.2. Çimento ve Çimento Bağlayıcılar

Çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe sahip olan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve nihayet sertleşen ince taneli bir malzemedir (Ecevit, 2007). Çimentonun hammaddesi kireç, silis, demir ve alimün bileşikleridir.

Çimento hamuru, katılma sırasında agrega danelerini birbirine bağlama ve zamanla sertleşme yeteneğinden dolayı mukavemet kazanma özelliğine sahiptir. Betonun mukavemeti çimento tarafından karşılandığından çimentoya ait özellikler de iyi bilinmelidir. Rijit üstyapılar için çimentonun; fiziksel, mukavemet ve rötre özellikleri büyük önem taşımaktadır. İncelik, hacim genişmesi, priz süresi, ısıtma kaybı, özgül ağırlık ve yoğunluk, çözünmeyen kalıntı;

çimentonun fiziksel özelliklerini, hidrasyon, priz, sertleşme (mukavemet kazanma); mukavemet özelliklerini oluşturur. Rötresinde; termik, plastik ve hidrolik olarak ele alınır.

Rijit üstyapıya sahip yollarda eğilme-çekme direnci yüksek, basınç direnci yeterli, rötresi az ve yavaş priz yapan çimentolar tercih edilmektedir (Umar ve Açar, 1985). Çimentonun işlenebilirliği hakkında karar vermek için, beton dökümü ve taşınması esnasında karışımın bozulup bozulmama durumu, sıkıştırma derecesi ve gerekli, düzgün işçilik gibi özellikleri incelenmelidir. Ayrıca çimentonun sahip olması gereken önemli özelliklerinden bir diğeri de çatlaklara neden olmaması özelliğidir.

4.2. Rijit Üstyapı Tipleri

Beton plak tabakasında sıcaklık değişimleri ve rutubet farklılıklarının oluşturduğu gerilmeler sonucunda meydana gelecek olan çatlakları önlemek amacıyla derzler oluşturulur. Birbiriyle temas eden iki plağı bir arada tutmak için boyuna derzler içinde gergi çubukları, plakalar arasında yük iletmek amacıyla enine derzler içinde ise yük iletici gereçler kullanılır.

Rijit üstyapıların taşıma kapasitesi, elastisite modülü ve dolayısı ile çok yüksek rijitliğe sahip olan beton kaplamanın eğilme mukavemetine dayanır. Esnek kaplamaların aksine rijit kaplamaların taşıma gücünün, kaplama ile taban arasındaki temasın kaybolmaması ile taban mukavemetine önemli derecede bağlı bulunmaması zayıf zeminler üzerinde iyi performans göstermesini sağlamaktadır.

Beton plak ve üstyapı tabanı arasında inşa edilecek alt temel tabakası, üstyapı tabakasının taşıma gücünü artırır, donma olayının yaratacağı hasarı en az düzeye indirir, derzlerden, çatlaklardan ve beton plak kenarından tabandaki ince malzemenin pompaj etkisiyle yukarı çıkmasını önler ve üstyapı inşaatı için uygun bir yüzey sağlar. Rijit kaplamalar, derzli donatısız, derzli donatılı ve sürekli donatılı olmak üzere üç farklı tipte imal edilirler.

4.2.1. Derzli Donatısız Rijit Üstyapı

Bu tipteki üstyapılar 3-6 m uzunluğundaki kısa plaklardan oluşur. Bu plaklar 125-350 mm kalınlıkta olup içinde donatı barındırmazlar. Plaklar genellikle, granüler malzeme, çimento ya da bitümlü tabakalar üzerine inşa edilirler.

Temel tabakası kalınlıkları 100-200 mm civarında imal edilebilir. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılarda kısa derz aralığı, plak ortasındaki çatlamayı en aza indirmek ve derz açıklıklarını nispeten daha küçük tutmak için kullanılır. Aynı sebep nedeni ile bağlanmış boyuna derzler de buna dahildir. Derzlerde bağlantı yükü transferinde, malzeme aderansından yararlanır. Ağır

trafik hacmine sahip yollarda, özellikle rutubetli kısımlarda, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya stabilize temel tabakası kullanılır (Kozak, 2011).

4.2.2. Derzli Donatılı Rijit Üstyapı

Bu tipteki üstyapılar derzli donatısız üstyapı tipine nazaran daha uzun plaklardan oluşurlar. Bu plaklar yaklaşık olarak 8-30 m uzunluğunda olabilir. Plak kalınlıkları ise 150-350 mm kalınlıkta olup, orta kısımlarından donatılar geçmektedir. Derz aralığının daha uzun olması durumunda kuruma nedeni ile büzülme ve ısı nedeni ile de kıvrılma sonucunda bu tür kaplamalarda çatlaklar meydana gelir.

Kaplamada donatı kullanılmasının amacı da, plak ortası çatlaklarının oluşmasını engellemektir. Çatlakların sıkı tutulması ile yük transferinin sağlanması donatı tarafından gerçekteşir. Daha uzun derz aralığı kullanılması ayrıca daha büyük derz açıklıklarına neden olur. Bundan dolayı derzler arası yük iletimini sağlamak için donatı çubukları kullanılır.

Derzli donatısız rijit üstyapılar, donma ısısındaki bölgelerde ve rutubetli bölgelerde bulunan şehirlerarası yollarda sıklıkla kullanılmaktadır. Derzli donatılı rijit üstyapılar, enine derz aralıklarının artırılmasına olanak sağlayan donatılar haricinde derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar ile benzerdirler (Kozak, 2011).

4.2.3. Sürekli Donatılı Rijit Üstyapı

Bu tip bir üstyapı enine derzler olmadan sürekli şekilde imal edilir. Bu süreklilik donatılar için de geçerlidir, derzler sadece gün sonu iş bitimlerinde oluşturulur. Plak kalınlığı yaklaşık 150-250 mm'dir. Donatı genel olarak plak kesitinin %5-7'si kadardır.

Uzun derz aralıklarının etkisi nedeni ile bu tür kaplamalarda ilk birkaç yıl boyunca 0,6-2,4 m'lik aralıklarla enine çatlaklar meydana gelmektedir. Bu çatlaklar plak içindeki donatı sağlam olduğu sürece kapalı kalırlar fakat donatı çekme gerilmelerini karşılayamayacak durumda ise enine çatlaklar açılabilirler. Boyuna çatlaklarla birleşen bozulmuş çatlak bölgeleri, ciddi kaplama bozulmasına işaret eden, yüzeysel oyulmalara (zımbalama etkisi) yol açabilir. Plak desteğini artırmak ve tekerlek yükleri altındaki plak gerilmelerini azaltmak için bu kaplama ile beraber genellikle bir stabilize temel kullanılır.

Bu tür kaplamaların yaygın olarak kullanılmasına rağmen, toplam beton kaplamaya oranı düşüktür. Derzli donatısız ve derzli donatılı rijit üstyapılarda rastlanan ayırma membranı, beton temel ile alt temel arasında daha yüksek bir sürtünmenin elde edilebilmesi için sürekli donatılı rijit üstyapılarda çıkarılmıştır. Alt temel ile sağlanan desteklik üstyapı sonundaki oynamaları azaltmakta ve istenilen çatlama modelini korumaktadır. Plaktaki süreksizliklerin, kabarıp

dökülme riski ile birlikte birbirine yakın aralıklarda çatlamalara olanak tanınmasından dolayı, mümkün olan her yerde önüne geçilmesi gerekmektedir (Kozak, 2011).



Şekil 4.2. Rijit Üstyapı Donatıları (Yeğınobalı, 2009)

Uygulanacak üstyapı tipi plak uzunluğu ve trafik etkileri göz önüne alınarak belirlenir. Düşük trafikli ve kısa plak içeren üstyapılar için donatısız beton kaplama tercih edilebilir. Artan plak uzunluğu ve trafik yüklerinin yoğunluğu için donatılı beton kaplama ve sürekli donatılı beton kaplama uygulanır.

4.3. Rijit Üstyapı İmalatı

Rijit kaplama yapım tekniklerin ve yapımda kullanılan ekipmanların son yıllarda giderek gelişmesi ile daha iyi sonuçlar elde edilmektedir. Üstyapı inşaatının düzgün ve iyi bir şekilde yapılması kaplama performansı açısından çok büyük önem taşımaktadır. Bunun için gerçekleştirilmesi gereken işlemler aşağıda detayları ile açıklanacaktır.

4.3.1. Beton Dökümüne Hazırlık

Uygun bir zemin üzerinden geçen yolun beton kaplaması doğrudan zemin üzerine yapılabilir. Taban zemini, beton döşemeyi ve bunun yanında üzerine gelen trafik yüklerini de taşımak ile yükümlüdür. Ayrıca yolun yapımı sırasında üzerine etki edecek olan yapım makinelerinin de yüklerini taşıyabilecek dayanıma sahip olmalıdır ki, bu ekipmanların etkisi de bitmiş yolun etkisinden daha fazla olmaktadır. Bu nedenle taban zemini yol için önem kazanmaktadır ve gereken taşıma gücüne sahip olması için de sıkıştırılma işlemi çok iyi yapılmalıdır. Zemin pompajı, don kabarması, şişme ve büzülme, su muhtevasının artması ile taşıma gücünde meydana gelen azalma, düşük yatak katsayısı gibi özelliklere sahip olmaması durumunda alt temel tabakasına gerek duyulmasa da rijit kaplamalar genellikle alt temel tabakası üzerine inşa edilirler. Rijit kaplama altına teşkil edilen alt temel tabakaları granüler malzemelerden elde edilir.

Ülkemizde rijit kaplamalar için geliştirilmiş bir şartname olmamak ile birlikte standart proktor yoğunluğunun %100'ü ya da modifiye proktor yoğunluğunun %98'inden az olmayacak şekilde zemin sıkıştırılmalı ve kontrolleri sık aralıklarla yapılmalıdır (Tunç, 2007). Sıkıştırılma işleminden sonra yüzey düzgünlüğü, enine ve boyuna eğimler kontrol edilmelidir. Çünkü zemin stabilitesi ve reglajı kaplamanın yüzey düzgünlüğünü etkilemektedir. Zemin üzerine temel tabakası yapılmaması halinde, yoğunluk ve kesit kontrolünün yapılmasından sonra su geçirmez kağıt ya da polietilen ile kaplanmalıdır. Bununla beton plakların alt yüzlerinin zemin suyu nedeniyle ıslak kalması engellenmiş olmaktadır. Engellenmemesi haline plakların üstü kısmının kuru, alt kısmının ise rutubetli kalması durumunda büzülme farklarından dolayı ilave gerilmelerin oluşmasına neden olacaktır.

Taban zemini üzerine alt temel tabakası yapılması halinde, zemin üzerine hesaplanan kalınlıkta serilip sıkıştırılması gerekmektedir. Serme işleminde alt temel tabakası genişliği;

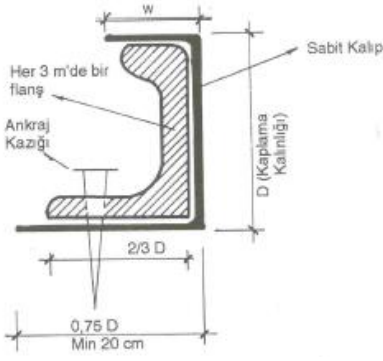
- Sabit kalıp kullanılması durumunda kalıbın taban genişliği,
- Kayar kalıp kullanılacaksa her iki taraftan 50-60 cm fazla olacak kadar yapılmalıdır.

Serim işlemi akabinde gerekli kontroller; yoğunluk ve enkesit kontrolleri yapılmalıdır. İstenen değerler elde edilmemiş ise, yeniden sıkıştırma ve ince reglaj ile gereken düzeltmeler yapılmalıdır. Bu işlemler tamamlandığından alt temel tabakası üzerine son yıllarda şartnameler ile kullanılması zorunlu hale getirilen polietilen kaplaması yapılmalıdır. Bu zorunluluğun nedenleri ise şöyledir;

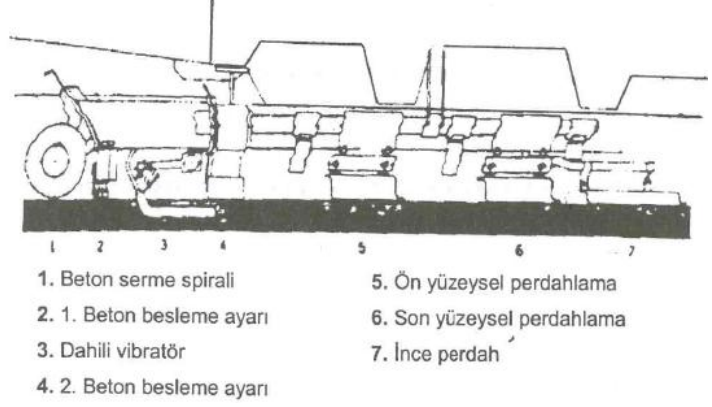
- Polietilen kaplamanın yapılmaması halinde, beton dökümü öncesinde alt temel çok iyi bir şekilde sulanmalıdır. Aksi durumda çimentonun hidrasyon için gerek duyduğu karma suyu agrega daneleri tarafından absorbe edilmiş olacaktır. Alt temel tabakası ne kadar sulanırsa sulansın beton şerbeti agrega boşluklarına nüfuz ederek beton plak ile granüler temel tabakası arasında güçlü aderans oluşumu gerçekleştirecektir. Genleşme ve büzülme durumunda plak ile alt temel tabakası arasında güçlü bir kayma direnci ile birlikte betonun hacim değiştirmesi engelleneceği için ilave gerilmeler oluşacaktır.
- Granüler alt temel çok iyi bir dren malzemesine sahip olsa da drenajın tam gerçekleşemediği koşullarda plak altında rutubet artışları gerçekleşecektir. Bu rutubet farkından da yine büzülme ve genleşmeler meydana gelerek betonda ilave gerilmeler oluşacaktır (Tunç, 2007).

Rijit kaplama yapımında sabit ya da kayar kalıplar kullanılmaktadır (Şekil 4.3. ve 4.4.). Sabit kalıplar klasik beton dökümünde kullanılan kalıplar ile aynı görevi görürken, kayar kalıplar için özel kaplama aracı ve çok düşük w/c oranına sahip beton kullanılmalıdır. Kayar kalıp makinelerinde bulunan vibratörler yardımı ile yüksek kalitede beton yerleşimi sağlanmaktadır.

Beton dökümü yapılan alan, ip veya lazer ışını kılavuzu ile hassas olarak kılavuzlanarak, sürekli derzsiz ve aynı niteliğe sahip beton ile kaplanabilmektedir. Kıvam açısından çökme değeri düşük betonlar kullanılmaktadır. Kayar kalıplı döküm makinelerinin bazıları, derzlerin açılmamasını sağlayan donatı yerleştirme ve bitirme işlerini de yapabilmektedir (İyınam ve Ağar, 2004).

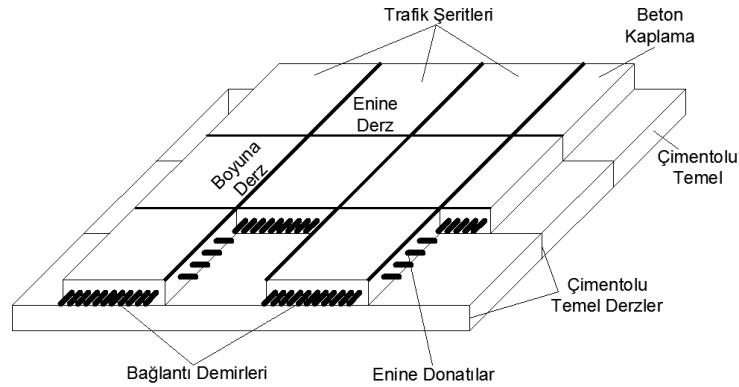


Şekil 4.3. Sabit Kalıp Kesiti
(Tunç, 2007)



Şekil 4.4. Kayar Kalıp Beton Serme Makinesi (Tunç, 2007)

Beton dökümü öncesinde kalıplar çok iyi bir şekilde temizlenmeli, yapışmayı önlemek için de yağlanmalıdır. Kalıpların beton dökümünden en az sekiz saat sonra sökülmesi gerekmektedir. Hava sıcaklığına göre ise bu süre değişebilmektedir. Enine genişleme derzleri beton dökümü öncesinde yapılmalıdır. Bu derzler kavşaklarda ve bunun yanında herhangi bir yapı ile komşu olan plaklarda mutlaka yapılmalıdır. Yol eksenine dik olan ve kaplamanın tüm genişliğinde yapılan genişleme derzleri beton dökümü öncesi hazır olmalı, kayma donatıları sabitlenerek beton dökümü ve vibrasyon esnasında oynamamaları sağlanmalıdır. Benzer şekilde boyuna derzler için de, önce donatılar yerleştirilmeli ve sabitlenmelidir.



Şekil 4.5. Rijit Üstyapılarda Derzler

Beton plaklarda hasır çelikler de kullanılabilir. Hasır çelik teşkil edilecekse, önce beton plağın alt kısmı dökülür, sıkıştırılır, sonra kaba tesviye yapılarak hasır çelikler koyulur ve daha sonra ikinci tabaka beton dökümü yapılarak sıkıştırılır. Bu uygulama için hasır çeliğin kaplama yüzeyinden en az 5 cm derinlikte olmalısı gerekirken, genel olarak kaplama kalınlığının 1/3 - 1/2 derinliğinde olmalıdır.

4.3.2. Beton Dökümü

Beton karışımlar kuru ve yaş olmak üzere iki türde hazırlanabilmektedir. Yaş karışım plantler sayesinde agregaya, çimento ve su uygun oranlarda karıştırılarak beton mikserleri ile imalat yerine getirilir. Yaş karışım en fazla 45 dakika içinde döküm yerinde kalıba yerleştirilmelidir. Kuru karışımda ise sadece agregaya karışımı ya da agregaya ile çimento karışımı su ilave edilmeksizin yüklemesi yapılarak döküm yerine 1,5 saat içinde ulaştırılmalıdır. Döküm yerinde karışıma belirlenen miktarda su katılarak taze beton kalıba yerleştirilmelidir.

Kalıba yerleştirilen beton serme işlemine tabi tutulmaktadır. Serme işleminden önce nem oranındaki azalmayı önlemek için alt temel ve temel tabakaları ıslatılmalıdır. Serme işleminde kullanılan ekipmanlar çok çeşitli olup, her geçen gün daha gelişmiş modelleri üretilmektedir. En basit tipi, kalıba dökülen beton vibratörler ile sıkıştırıldıktan sonra kaplamanın mastarlanarak, düzeltilmesidir. Daha geniş çaplı işler için ise, gelişmiş beton sericiler, taze betonu segregasyon yapmadan sererek sıkıştırmakta ve kaba ve gerekli görülürse ince perdahlamayı bile yapabilmektedir.

Yeni dökülmüş taze betonun yüzey işlemleri tamamlandıktan sonra hava sıcaklığına bağlı olarak kılcal rötre çatlaklarını gidermek ve yüzeyi pürüzlendirmek amacı ile yüzeyde fırça ile perdahlama yapılır. Yine taze betonun prizine ve hava sıcaklığına bağlı olarak enine ve boyuna derzler kesme makinesi yardımı ile kesilir (Şekil 4.6.). Derz kesiminde betonun kıvamı çok önemlidir, ne çok erken ne de çok geç kesilme işlemi yapılmalıdır. Erken kesim betonun yeterince sertleşmemesinden dolayı düzgün olmayan yüzeyli derzlerin oluşumuna neden olurken, geç kesim sonucunda da gelişmiş güzel rötre çatlakları meydana gelir.



Şekil 4.6. Beton Dökümünden Sonra Derzlerin Kesimi (Yeğinoğlu, 2009)

Taze betonun yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması sona erdikten sonra kür işlemi gerçekleştirilmelidir. Kür işlemi hidrasyon için gerekli olan nemi sağlamaktadır ve bu da kaplama performansı için çok büyük önem taşımaktadır çünkü hidrasyon betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan kimyasal bir reaksiyondur. Normal şartlar altında kür işlemine sıkıştırmadan hemen sonra başlanmalı ve bu işlem 7 gün boyunca devam ettirilmelidir. Kür işlemi su püskürterek ya da ıslak bezler ile yapılabildiği gibi genelde sulama boruları ve su püskürtme başlıkları ile yapılmaktadır. Şekil 4.7.'de su püskürtme ile kür işlemi yapılmaktadır. Yetersiz kür işlemi, zayıf aşınma tabakalarının oluşmasına neden olur.



Şekil 4.7. Beton Dökümü Sonrasında Kür İşlemi

Yeterli kayma direncine sahip beton kaplama elde edebilmek için yüzeyin belli miktarda pürüzlü olması istenir. Bunun için de yüzey henüz plastik kıvamda iken enine fırça perdahı, plastik tarak ile yiv açma vb yöntemler kullanılarak pürüzlülük sağlanır. Özellikle kavşaklar, küçük yarıçaplı kurplar gibi yolun kritik kısımlarında gereken kayma direncini elde etmek için pürüzlülüğe çok dikkat edilmelidir.

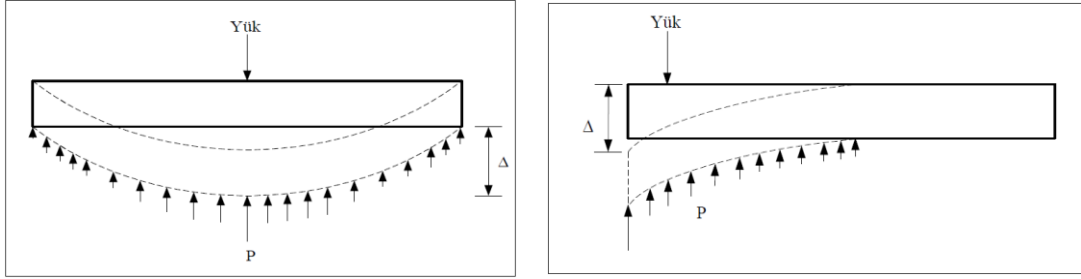
4.4. Rijit Üstyapılarda Gerilme Durumu

Beton kaplamalar asfalt kaplamalara nazaran daha yüksek rijitliğe sahiptirler. Yüksek elastisite modüllerinden dolayı trafik yüklerini zeminde daha geniş alana yayabilirler ve daha fazla mukavemet gösterirler. Bunun yanında zemindeki mukavemet değişimlerinden ve ısı, nem ve benzeri çevre şartlarından daha az etkilenirler (Tunç, 2004). Rijit üstyapılar, beton plaklardan meydana gelirler. Bu plaklar trafik yükleri ve çevre etkilerine karşı koymadan sorumludurlar. Beton plakların karşı koyduğu gerilmeler;

- Taşıt yükleri
- Periyodik ısı değişimleri (burulma, kıvrılma, büzülme, genişleme vb.)
- Periyodik hacim değişimleri (don kabarması, oturma vb.)

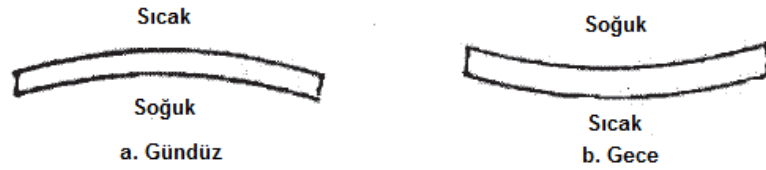
- Plak ile temel arasında oluşan yatay sürtünme
- Plaklar arasındaki düşey sürtünme ve yük iletimi gibi nedenler dolayısıyla farklı şiddetlerde oluşmaktadır (Tunç, 2004).

Bu nedenle plak kalınlığı hesaplamasında dingil yükü ve tekerrür sayısı, zemin taşıma gücü, mevsimsel koşullar ve betonun mekanik özellikleri dikkate alınmalıdır. Beton plaklarda tekerlek yükü etkisi ile basınç ve çekme gerilmeleri birlikte oluşur. Yükün konumuna göre yükün ortada ya da kenarlarda olmasına göre meydana gelen defleksiyonlar farklılık gösterir (Şekil 4.8).



Şekil 4.8. Beton Plaklarda Defleksiyon (Tunç, 2004)

Beton plaklarda ısı etkisi ile burulmalar oluşur. Gece ve gündüz arasındaki ısı farklılığından plak kenarları yukarı ya da aşağıya doğru kıvrılmaya çalışırlar (Şekil 4.9.). Gündüz plak üzerindeki ısı plak altından daha fazla olduğu için plak aşağıya doğru kıvrılmak isteyecek fakat derzlerden dolayı engellenerek üst kısımda basınç, alt kısımda çekme gerilmeleri meydana gelecektir. Gece ise ısı durumu tam tersi olacağından plak yukarı doğru kıvrılmak isteyecek ve üstte çekme altta basınç gerilmeleri oluşacaktır.



Şekil 4.9. Isı Farkları Nedeni ile Beton Plakta Oluşan Şekil Değişirme (Tunç, 2004)

Bunlar beton plaklarda ilave gerilme oluşmasına neden olur. Bu kırılmaya karşı plak da kendi ağırlığı ile karşı koymaya çalışır, bu da plak içinde bükülme gerilmelerinin meydana gelmesine yol açar. Bu kıvrılmalar sonucunda plağın her noktası taban zemini ile temas edemez duruma gelir ve zemin desteğinin üniformluğunun bozulmasına yol açar. Bununla birlikte tekerlek yükünün kaplamada meydana getirdiği eğilme-çekme gerilmeleri de artar. Zaman içinde kıvrılan uç ve kenarlarda trafik etkisinden dolayı çatlama ve kırılmalar gözlenir.

Gece ve gündüz ısı farklılıklarının dışında mevsimsel ısı değişimleri beton plaklarda genişleme ya da büzülme oluşmasına sebep olur. Böylece plaklarda basınç ve çekme gerilmeleri meydana gelir. Bu gerilmelerin oluşumunu önleyebilmek ya da azaltabilmek için genişleme ve büzülme derzleri yapılır. Derzler gerilme oluşumunu önlemede fayda sağlarken, tekerlek gürültüsü yaratarak sürüş konforunu olumsuz etkiler.

4.5. Rijit Üstyapılarda Görülen Kusurlar

Zaman içerisinde beton kaplamalarda çeşitli yüzeysel kusurlar meydana gelmektedir. Bu kusurların oluşumunda trafik yükleri, çevresel koşullar, betonun tasarım ve uygulamalarındaki hatalar gibi faktörler etkili olmaktadır.

4.5.1. Çatlaklar

En fazla görülen kusurlardan biri olup, şu etkilerden kaynaklanabilir;

- Isıya nedeni ile büzülme
- Kurumaya bağlı büzülme
- Zemin desteğinin azalması veya zemindeki oturmalar
- Burulma
- Aşırı yük

Çatlakları oluşturan nedenlerin başlıcaları ise;

- Karışım (miks) tasarımı
- Derz tasarımı
- Kür koşulları
- Diğer koşullardır.

Ayrıca betonda görülen çatlaklar kendi içinde büzülme çatlakları, erken oluşan çatlaklar ve büzülmeyle ilgili olmayan çatlaklar olmak üzere ayrılırlar.

4.5.1.1. Büzülme Çatlakları

Isı ve rutubet nedeni ile büzülmeyle çalışan beton plağın hacim değiştirmesinin engellenmesi durumunda çatlak oluşumu görülmektedir (Şekil 4.10.). Hacim değişimi engellendiğinde betonda çekme gerilmeleri oluşmakta ve çekme mukavemetinin aşılması halinde çatlaklar görülmektedir. Bu oluşumu önlemenin bir yolu ise, mümkün olan en düşük su/çimento (w/c) oranının kullanımıdır. Bu çatlaklara neden olan faktörler şöyle sıralanabilir;

- Büzülme derz aralıklarının çok fazla olması

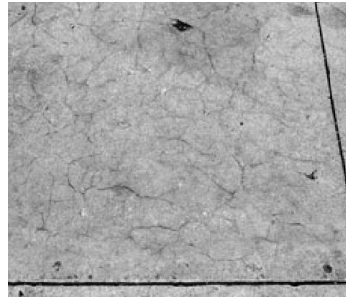
- Büzülme derz derinliğinin yeterli miktarda derin olmaması
- Büzülme derzinin çatlağın oluşumundan önce kesilmemiş olması
- Kür yapılmaması ya da yeterli olmaması
- Kötü karışım tasarımı (düşük mukavemet, fazla miktarda su ya da düşük dozaj)
- Beton plağın değişken kalınlığa sahip olması
- Beton plağın çok pürüzlü alt temel üzerine yapılmış olması
- Açık gradasyonlu alt temel varlığı ile aşırı sürtünmenin meydana gelmesi
- Büzülme derzindeki aşırı donatı kullanımı (Tunç, 2007).



Şekil 4.10. Büzülme Çatlakları (Transportation Information Center, 2002)

4.5.1.2. Erken Oluşan Çatlaklar

Bu çatlaklar betonun sertleşmesinden önce oluşurken, plastik-büzülme çatlakları ve kılcal çatlaklar olmak üzere ikiye ayrılır. Plastik-büzülme çatlaklarının özellikleri, oldukça kısa, fazla derin olmayan ve kaplama üzerinde gelişi güzel oluşmalarıdır (Şekil 4.11.). Genel olarak beton dökümü sırasında rüzgar, düşük rutubet ve beton ya da hava ısının yüksek olması gibi nedenlerden kaynaklanır. Plastik-büzülme çatlakları, beton dökümünden önce alt temelin ıslanması, agrega ve karışım suyunun soğutulması, uygun kür tabakaları ile betonun örtülmesi, rüzgar kırıcı ve güneş önleyici tedbirler ile önlenebilir ya da azaltılabilir.



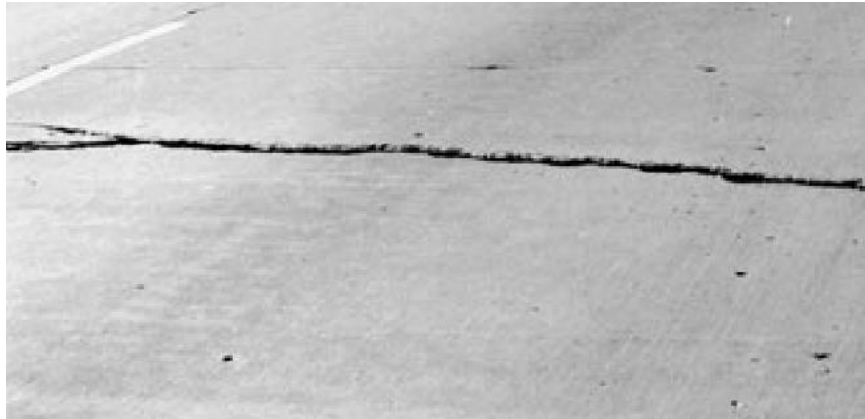
Şekil 4.11. Erken Oluşan Çatlaklar-Plastik büzülme Çatlakları
(Transportation Information Center, 2002)

Kılcal çatlaklar ise, beton yüzeyinde görülür, bu çatlaklar çok derin değildir, düzensiz, petek şeklinde ve görülmesi zor olan çatlaklardır. Bu çatlaklar betonun mukavemet kazanma esnasında ya da sonrasında meydana gelirler. Oluşumlarında plastik-büzülme çatlaklarını oluşturan etkilere ek olarak ani ısı ve rutubet değişimleri etkin rol oynarken, ayrıca betonun erken yaşlarda mukavemet kazanması sırasında ıslanma-kuruma periyotlarına maruz kalması, beton yaş halde iken perdelama ya da erken perdelama, agreganın kirli olması veya kil içermesi gibi etkiler de bu oluşumun nedenlerindedir.

4.5.1.3. Büzülmeye Bağlı Olmayan Çatlaklar

Bu çatlakların oluşumu;

- Alt temel yüzeyinin düzensiz oluşu ya da kötü drenaj nedeni ile yetersiz destek oluşu
- Beton plakların kenarından burulma oluşması nedeni ile yetersiz destek
- Uygunsuz derz dolgusu ya da yetersiz derz
- Donma-çözülme etkisinin kenar ve köşelerdeki farklı dağılımı
- Darbe yükleri
- Aşırı trafik yükü
- Ani ısı değişiminin yarattığı ek gerilmeler
- Alkali-agrega reaksiyonu etkisi
- Sülfat etkisi
- Uygun olmayan tasarım nedenlerinden kaynaklanabilir (Tunç, 2007).



Şekil 4.12. Büzülmeye Bağlı Olmayan Çatlaklar (Transportation Information Center, 2002)

4.5.2. Yüzeysel Kusurlar

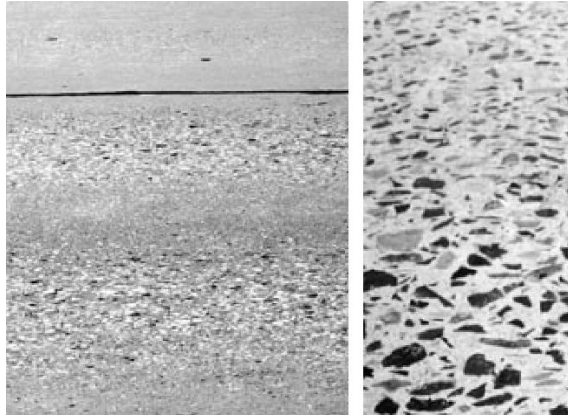
Beton yüzeyindeki kusurlar beton mukavemetinden ya da yüzeydeki mukavemetin düşük olmasından kaynaklanır. Kaplama yüzeyindeki düşük mukavemet değerinin nedeni ise, taze beton yüzeyinde görülen terlemedir. Terleme olayı çimento şerbetinin yüzeye çıkması ile

gerçekleşir. Bununla birlikte yüzeydeki su/çimento oranı artarken beton mukavemetinde azalma meydana gelir. Terlemenin nedenlerine bakıldığında ise bunların; aşırı karma suyu, geç ya da erken perdelama, yüksek su/çimento oranı, gereğinden fazla vibrasyondan kaynaklandığı görülmektedir.

4.5.2.1. Kayma Direncinde Azalmalar

Zaman içinde oluşan kayma direncinde azalma trafiğin aşındırıcı etkisinden kaynaklanmaktadır (Şekil 4.13.). Yapılması gereken kayma direncinin yüksek tutulmasıdır. Bunun için;

- En büyük dane çapının olabildiğince büyük
- Kaba agreganın cilalanma direnci yüksek
- Köşeli biçime sahip kırmataş
- Dane yüzeyleri pürüzlü olan kırmataş
- Aşınma direnci (durabilite) yüksek agrega
- Düşük su/çimento oranına ve yeterli dozaja sahip karışım
- Makro pürüzlülüğün başlangıçta minimum 1 mm derinlikte
- Don direnci yüksek agrega olması gerekmektedir.



Şekil 4.13. Aşınma ve Cilalanma Sonucunda Kayma Direncinde Azalma
(Transportation Information Center, 2002)

4.5.2.2. Talaşlanmalar

Beton kaplamalarda düşük mukavemete sahip yüzeylerde zaman içerisinde yüzeyde taşlanma (tozlanma) görülmektedir. Çok ince ve zayıf bir tabaka varlığından ve trafiğin aşındırıcı etkisinden meydana gelir. Bu tabaka genel olarak su, çimento ve çok ince malzemelerin bir karışımı olup terleme sonucunda oluşur. Trafiğin aşındırma etkisine en fazla maruz kalan kaplamanın üst yüzeyinde böyle bir durum oluşması düşük mukavemimli, çok geçirgen ve aşınma direnci çok düşük bir durum oluşturacağından dolayı istenmemektedir. Yüzeyde yapılan

düzeltilme ve perdelama işlemleri her ne kadar terlemeyi arttırıcı etkiye sahip olsa da yüzey düzgünlüğü elde etmek için bu işlemler yapılmalıdır. Ancak yine de taze betonun haddinden fazla işlenmesi oldukça sakıncalıdır.

4.5.2.3. Soyulmalar

Yüzeydeki ya da kaba agrega etrafındaki çimento hamurunun sökülmesi ile meydana gelen soyulmalar beton içindeki suyun donması ile oluşan hidrolik basınçların neden olduğu fiziksel bir durumdur (Şekil 4.14.). Betona yeterince hava teşkil edilmesi halinde ise bu basınçların çimento hamuru üzerindeki etkisinin azalması ile soyulma direncinde de artış görülmektedir. Soyulmaya neden olan durumlar ise şöyledir;

- Geçirgen betonlar
- Yüzeyi düşük mukavemetli betonlar
- Düşük mukavemete sahip betonlar
- Aşırı terleme yapan betonlar
- Yetersiz kür işlemi
- Çok fazla vibrasyona tabi tutulmuş betonlar
- Donma-çözünme yinelenmesine fazla maruz kalan betonlar
- Hava katkısı yetersiz olan betonlar
- Yetersiz yüzey drenajı.



Şekil 4.14. Yol Yüzeyinde Meydana Gelen Soyulmalar (Transportation Information Center, 2002)

4.5.2.4. Yassı Harç Oluşumu

Beton kaplama yüzeyindeki iri agregaların üzerinde bulunan beton harcının yassı plaklar halinde olması durumunda trafik etkisi ile soyularak ya da koparak yine yüzeyde küçük boşluklar

meydana getirmektedir. Bu kusur tipi çukurlardan farklı olarak ince-uzun, eliptik ya da dairesel bir şekle ve çok az derinliğe sahiptirler. Yassı harç tipi soyulma, yuvarlak daneli agregalardansa yassı daneli agregalarda daha sık görülmektedir. Genellikle çok sıcak ya da çok rüzgarlı havalarda beton dökümü yapılan kaplamalarda meydana gelmektedir. Hidratasyonun tam olarak gerçekleşmediği durumlarda kaba agregaya üzerindeki harcın mukavemeti ve adezyonu azalarak soyulmaya karşı olan direnci de düşmektedir.

4.5.2.5. Kabarcıklar

Taze betonun yüzey tamamlama işlemleri sırasında meydana gelir ve betonun sertleşmesi sonrasında tamiri olanaksız hale gelmektedir. Kabarcıkların boyutları, yaklaşık 6-50 mm çapında ve 3 mm derinliğindedir. Genel olarak plastik betonda hapsolmuş havanın ya da viskoz yükselmesi ile oluşmaktadır. Tedbir alınmayan kabarcıklar trafik etkisi ile parçalanarak yüzeyde boşluklar oluşmasına neden olur (Şekil 4.15.).



Şekil 4.15. Kabarcıklar (Transportation Information Center, 2002)

4.5.3. Çukurlar

Beton kaplamalarda görülen çukurlar, 6-100 mm ya da daha fazla çapa sahip, genellikle konik biçimdedirler (Tunç,2007). Kaplama performansını ve sürüş konforu en fazla etkileyen kusurlardandır. Bu çukurlar; fiziksel ve kimyasal etkiler ile iç basınçların artması sonucu ortaya çıkmaktadır. Kimyasal etkiye örnek; alkali-agrega reaksiyonunun betonda genişlemeye neden olması, fiziksel etkiye örnek de; beton boşluklarında bulunan suyun donması ile gerçekleşen hacimsel genişlemedir. Oluşan çukurların büyümesi ve hızı beton mukavemeti ve trafik yüklerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Çukur oluşumunun önlenmesi için ise; yüzeylerin yüksek mukavemete sahip olması, terlemeyi önleyici tedbirlerin alınması, düşük su/çimento oranı elde edilmesi ve kür işlemlerinin iyi bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

4.5.4. Diğer Kusurlar

4.5.4.1. Burulmalar

Beton kaplamalarda meydana gelen burulmalar plakların alt ve üst kısımlarında oluşan rutubet ve ısı farklılıklarından dolayı plak köşe ve kenarlarının aşağı ya da yukarı doğru kıvrılma eğilimi göstermesi ile oluşur. Bu kıvrılma sonucunda bu kısımların alt temel ile teması kesileceğinden mevcut taban desteği ortadan kalkacaktır. Ayrıca yukarı doğru kıvrılan kısımlarda trafik etkisi nedeniyle çatlama ve kırılmalar meydana gelir. Beton plaklarda görülen burulmaları önlemek için;

- Dren kabiliyeti yüksek alt temel tabakası oluşturmak
- Düşük büzülme yapısına sahip beton üretmek
- Beton plağın üstten 1/3 derinliğinde ve plak kenarlarında 1,5-3 m genişliğinde %1 pürsantajda donatı kullanmak gerekmektedir.

4.5.4.2. Su Birikintileri veya Yetersiz Yüzey Drenajı

Güvenliği sürüş konforu için yağış sonrası yol üzerinde su birikintilerinin oluşmaması istenmektedir. Bu kusurun oluşma nedenleri ise;

- Yetersiz eğim uygulaması
- Kötü perdahlama
- Aşırı segregasyon
- Beton yağış durumunda iken kalıpların sökülmesi
- Beton dökümü sırasında kalıpların yerinden oynaması
- Kalıpların kotlandırılmasının yanlış yapılmasıdır.



Şekil 4.16. Yol Yüzeyindeki Su Birikintileri (Transportation Information Center, 2002)

4.5.4.3. Renk Farklılıkları

Renk farklılık kusurları özellikle gece görüşlerinde far ışıklarının farklı yansımalarına neden olarak, sürücünün göz aldanması yaşamasına yol açar ve bu da sürüş emniyetini tehlikeye sokmaktadır. Yüzeyin homojen olmamasından kaynaklanan renk farklılığı, kalsiyum klorit içeren katkıların kullanılması ile de meydana gelebilmektedir (Tunç, 2007).

Bu tip kusurlar;

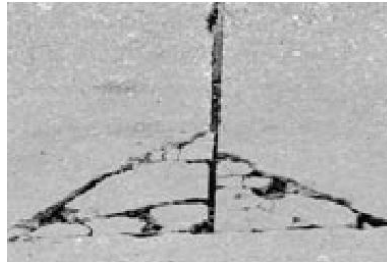
- Terleme suyunun buharlaşması öncesinde kaplama üzerinde uzun süre kalması ile parlak bölge
- Kalsiyum klorit etkisi ile koyu bölge
- Kür işlemi esnasında su geçirmez kağıt ya da plastik örtü kullanımından dolayı açık renkli ve dalgalı bölge
- Beton karışımın her harmanında homojen olmayan karışımdan dolayı renk farklılıkları
- Yüzeyde farklı su/çimento oranı nedeni ile renk farklılıkları
- Çimento kaynağının sık değişmesinden kaynaklanan renk farklılıkları oluşumu ile gerçekleşir.

4.5.4.4. Oturmalar

Plağın farklı oturmalarından kaynaklanan kot farklılıkları sürüş konforunu azalttığı gibi lastik yıpranması ve tekerlek gürültüsünü de arttırmaktadır. Nedenleri ise, zemin durumu ya da yetersiz drenajdır.

4.5.4.5. Köşe Kırıkları

Plak köşelerinin en kritik bölgeler olması nedeniyle en fazla kırılmalar buralarda meydana gelir (Şekil 4.17.). Bu kırılmaları önlemek amacı ile köşeler donatıyla takviye edilmeli ve oluşan kırıklar birbirine bağlanarak yük aktarımı sağlanmalıdır. Köşe kırıklarının oluşma nedenleri; plağın köşelerde dar açılı olarak teşkil edilmesi, dikdörtgen şekle sahip olmayan plaklarda sürekli donatı kullanılmaması, köşe derzlerinde köşe donatısı kullanılmaması, pompaj ve burulma etkileridir.

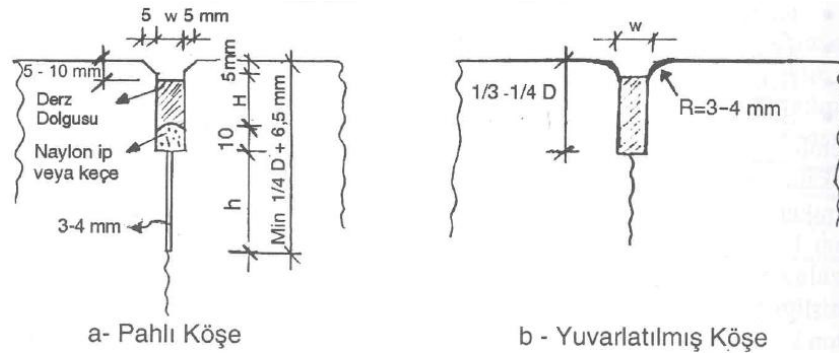


Şekil 4.17. Köşe Kırıkları (Transportation Information Center, 2002)

4.5.4.6. Derz Kusurları

Derz etrafındaki çatlaklar, köşelerinin kırılması ve dolgu malzemesinin bozulması olarak sayılabilir. Derz etrafında görülen çatlaklar bağ demirlerinin derzlerde dik olarak teşkil edilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle bağ demirleri hem yatay hem düşey olarak en fazla %2 sapma ile yerleştirilme ve ek olarak beton dökümü sırasında yerinden oynamaması için sabitlenmelidir.

Beton kaplamalarda derzlerin üst kısımları pah yapılarak trafik etkisi ile kırılmaları önlenmektedir. Derzlerde pahlı ve yuvarlatılmış köşe uygulamaları Şekil 4.18.'de detaylandırılmıştır.



Şekil 4.18. Tipik Derz Detayları (Tunç, 2007)

Plakların ısı sebebiyle genişlemelerinden ötürü derz dolgu malzemesine yaptığı gerilmeler, ısı değişimleri, araçlardan dökülen yağ ve yakıtlar, su ve bunun gibi etkiler dolgu malzemelerinin aşınarak parçalanmasına yol açmaktadır. Şekil 4.19.'da boyuna derz çatlağı, Şekil 4.20.'de ise enine derz çatlağı görülmektedir.



Şekil 4.19. Boyuna Derz Çatlağı
(Transportation Information Center, 2002)



Şekil 4.20. Enine Derz Çatlağı
(Transportation Information Center, 2002)

5. ESNEK VE RİJİT ÜSTYAPILARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Esnek ve rijit üstyapıların bünyelerinde farklı özellik taşıyan bağlayıcılar bulunmasından dolayı bu iki kaplama türü ayrı davranış gösterirler. Her türün de birbiriyle mukayese edildiğinde birçok üstünlük ve sakıncaları bulunmaktadır. Bu üstünlük ve kıyaslamalar sayesinde kaplama türü seçimi yapılmaktadır. Ancak içlerinde en etkili olanı şüphesiz ki trafik hacmidir. Bunun dışında düşük maliyet, mevsim koşulları, kolay yapılabilirlik, bakım-onarım ihtiyaç ve giderleri gibi birçok etken kaplama seçimini etkilemektedir. Birbiri ile kıyaslandığında üstünlükleri ve sakıncaları kaplama türlerine göre aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

Esnek üstyapıların üstünlükleri;

- Asfalt betonu kaplamalar, taşıtlar için pürüzsüz ve düzgün bir yüzey oluştururlar.
- Yüzey aşınması ve dingil yüklerinin meydana getirdiği deformasyonlara karşı oldukça dirençlidirler.
- Yağışsız hava koşullarında kuru oldukları halde sürtünme katsayıları yüksektir.
- Sahip oldukları belirli stabilite ve rijitlik sayesinde yükü alt tabakalara yayarlar.
- Oluşturdukları yüzeyde geçirimsizliği sağlarlar.
- Kademeli inşaat için uygundur.
- Bakım ve onarım çalışmaları mevcut trafik altında yapılabilir ve servis yolu ihtiyacı doğurmazlar.
- Trafiğe açılma süresi oldukça kısadır, yapımdan sonraki birkaç saat içinde trafiğe açılabilirler.
- Asfalt betonu kaplamaların bakım çalışmaları kolaydır.

Esnek üstyapıların sakıncaları;

- Bağlayıcı malzemesi asfaltın termoplastik özellikte olması nedeni ile sıcaklığa bağlı olarak değişik reolojik hallerde bulunabilir.
- Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkisi yükleme hızının ve sıcaklığın bir fonksiyonudur, bu sebeple sabit bir elastisite modülü ve poisson oranına sahip değildir.
- Sıcaklığın yükselmesi ile taşıma gücünde azalma görülmektedir.

- Kaplama yapımından birkaç sene sonra, bitümlü bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin uçarak okside olması ile bozulmalar meydana gelmektedir. Bitümlü bağlayıcıların yaşlanması olarak adlandırılan bu durum, bağlayıcı malzemenin sertleşmesi, uzamasının azalması ve agregaya karşı adezyonun azalmasına neden olmaktadır.
- Koyu renge sahip olmaları dolayısı ile gece görüş zorluğuna sahiptirler.
- Bitüm bağlayıcılı kaplamaların uygulanacağı zeminin kuru ya da en fazla %2 oranında neme sahip olması gerekmektedir.
- Ham maddesi petrol olması nedeni ile ithal edilmesi gerekir ve bu da döviz harcamasına sebep olmaktadır.
- Yapımı için daha fazla enerji gerekmektedir.

Rijit üstyapıların üstünlükleri;

- Kaymaya karşı direnci fazla ve kayma sürtünme katsayıları yüksektir.
- Yuvarlanma direnci düşük ve buna bağlı olarak harekete karşı direnci düşüktür.
- Ağır taşıt trafiği ve yüksek trafik hacmi gibi etkilere karşı oldukça dayanıklıdır.
- Kalitesinin yüksek oluşu göz önünde bulundurulduğunda toplam maliyet olarak diğer kaplama türleri ile kıyaslandığında daha ekonomiktir.
- Açık renkte olmasından dolayı gece kolay bir şekilde görülebilir.
- Gereken bakım uygulandığında istenen yüzey geçirimsizliğini sağlar.
- Zayıf zeminler üzerine uygulanabilirliği yüksektir.
- Bakım masrafları asfalt betonu kaplamalara oranla daha düşüktür. İmalatı iyi yapılmış olan bir beton yol bakım gerektirmeksizin yirmi sene kadar kullanılabilir.
- Esnek üstyapılarda sık görülen ondülasyonlara rijit üstyapılarda rastlanmaz.
- Diğer kaplama türleri için de temel görevi yapabilir.
- Temel ve aşınma tabakası aynı malzemedendir ve genel olarak tek tabaka halinde yapılabilir.

- Daha uzun bir inşaat mevsimine sahiptir, asfalt betonun aksine ıslak ve nemli zeminlere de uygulanabilir.
- Ham maddesi olan çimento, yerli bir malzeme olup, üretimi yerli kaynaklarla gerçekleştirilmektedir.

Rijit üstyapıların sakıncaları;

- Proje ve imalat aşamasında yapılan ihmal ya da hatalar yolun kısa sürede zarar görmesine ve çatlak oluşumuna sebep olur.
- Trafiğe açılma süresi oldukça uzundur, beton prizini alana kadar yolun trafiğe kapalı kalması gerekmektedir.
- Trafik altında çalışma yapmak için elverişli değildir ve servis yolu ihtiyacı gerekmektedir.
- Altyapı sorunları için yolun kazılması ve sonrasında tamiri oldukça zordur ve tamir edilen kısımlarda dayanım olarak zayıflama meydana gelmektedir.
- Açık renge sahip olmasından dolayı ile üzerine gelen güneş ışınlarını çok fazla yansıttığından gündüz görüşünü zorlaştırır.
- Beton plaklardaki derzler ve kaymaya karşı direnç oluşması için yapılan yivler, tekerlek gürültüsü ve titreşime neden olmakta ayrıca sürüş konforunu azaltmaktadır.
- Aşınma etkisi ile yüzey kaygan bir hal almaktadır.
- Temel ve aşınma tabakasının aynı tür malzemedan olmasından dolayı mevcut bir yolun kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik olarak kullanılamaz. Ayrıca aşınma tabakasında görülen herhangi bir bozukluk için döşemenin temel tabakası ile birlikte değiştirilmesini gerektirir.

Bu üstünlük ve sakıncalara göre; tüm olumlu özelliklere sahip olan bir kaplama türü olmasının mümkün olmadığı görülmüştür. Bunun sebebi ise, esnek ve rijit üstyapıların içeriğinde agrega ortak olarak bulunsa dahi bağlayıcı malzemelerinin farklı olmasıdır. Adından da anlaşılacağı üzere rijit kaplamalar daha rijit davranış gösterirken, esnek kaplamalar içindeki asfalt bağlayıcısı sayesinde viskoelastik davranış gösterirler. Viskoelastik malzemeler ne tam elastik ne de tam viskoz davranırlar. Yükleme durumuna göre, hızlı yüklendiklerinde elastik, yavaş yüklendiklerinde ise viskoz davranış göstermektedirler. Kaplamaların içeriğindeki malzemelerin davranışlarının farklı olması nedeni ile de farklı durumlarda aynı davranış göstermeleri

beklenmezken, sürtünme katsayısı ve yuvarlanma direnci gibi değerlerinin de farklı olması beklenir.

6. TOPLAM KALİTE YÖNETİMİ

6.1. Giriş

Özellikle teknolojik alanda birçok gelişmenin yaşandığı, yeni ürünlerin piyasaya sürüldüğü ve bu yeni gelişen ürünlerle birlikte bu ürünleri kullanan müşterileri taleplerinin de sürekli artış gösterdiği günümüzde, kuruluşlar bu acımasız piyasa şartları karşısında ayakta kalmak ve rakiplerine üstünlük sağlamak durumundadırlar.

Teknolojinin henüz bu kadar ilerlemediği daha ilkel teknoloji ile üretim yapıldığı dönemlerde, üretim yapabilenler daha çok kazanmışlardır. Üretimdeki artış rekabeti meydana getirirken arz ile talebin dengelendiği bir dönem başlamıştır. Bu dönemde maliyet odaklı bir rekabet söz konusu olmuştur. Aynı mali daha ucuza üretebilen daha ucuza da satabildiğinden kazanç bakımından rakiplerine üstünlük sağlamıştır.

Maliyetin yanı sıra 1980'li yıllarda kalite de önem kazanmaya başlamıştır. Bu dönemde de, müşteri beğenisine yönelik tasarım kalitesi ve hatasızlığı ifade eden uygunluk kalitesi, rekabeti belirleyen öğeler olmuştur.

1990'lı yıllarda ise, müşterinin istediği ürünü daha ucuza alabilmesi, aldığı ürünün ucuz olmasının yanında kaliteli olması ve kısa sürede üretilmesi gibi unsurlar bu kez rekabeti belirleyici unsurlar olmuştur. Diğer bir söylemle rekabet edebilme gücü kalite, maliyet ve zaman ölçütlerinin tümünde üstünlük sağlamayı gerektirir (Kavrakoğlu, 1992).

6.2. Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Fonksiyon Yayılımı

Toplam kalite yönetiminde amaç ilk seferde doğru olanı yaparak, kaliteli ürün ya da hizmet üretimini hayata geçirmektir. Bu yöntemde amaç sıfır hata ile üretimi gerçekleştirmektir.

Üretilen ürün ya da hizmetin kalitesi, son ürüne yapılan kontroller yerine üretimin sürecini düzeltten kalite güvence sistemleri ile birlikte daha iyi denetlemeyi sağlar. Toplam kalite yönetim sistemi; (Yetiş, 1996)

- Müşterinin istediğini üretmeyi,
- Müşterinin istediğini zamanında üretmeyi,
- Üretimde esnekliği amaçlayarak,
 - Kayıpları önlemeyi,
 - Kaliteyi arttırmayı,
 - İşlem sürecini kısaltmayı,
 - Verimliliği arttırmayı,
 - Sürekli geliştirme ve iyileştirmeyi,

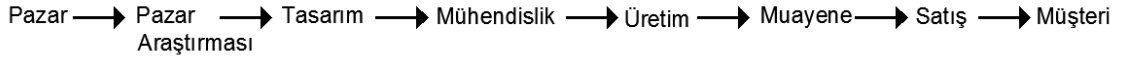
- Maliyeti azaltmayı sağlar.

İşletmelerin içinde bulunduğu rekabet ortamında kuruluşların başarısı da müşterilerinin isteklerine ne kadar karşılık verebildikleri ve memnuniyetlerini sağlayabilmeleri ile doğru orantılı olmaktadır. Bunu yaparken de ürünün kalitesinden ödün vermemeleri, ürünün müşteri için bütçesine uygun olması ve müşterilerin beklentileri doğrultusunda ürünü kısa bir sürede piyasaya sunmaları gerekmektedir.

Toplam Kalite Yönetimi (TKY), müşterilerin kalite beklentilerini karşılayacak ya da bu beklentilerin üzerine çıkacak şekilde iş yapılmasını sağlamak için, bir işletmedeki tüm çalışanların katılımı ile iş süreçlerinin sürekli olarak iyileştirilmesini sağlayan bir yönetim anlayışıdır (Adrian, 1995).

KFY ise müşteri odaklı kalite tasarım yöntemidir. Hedefi TKY'deki gibi ilk seferde doğru olanı yapabilmektir. Müşteri ihtiyaçlarını belirleyip, ürün ya da hizmet ile ilgili sorunları ortaya koyarak çözüm üretir.

KFY süreci diğer teknik araçlarla beraber etkin bir şekilde kullanıldığında önceliği olan konuların tespit edilmesine yardım eden bir planlama sürecidir. İşletmeler KFY sürecini TKY çalışmalarında planlama aracı gibi kullanabilirler (Day, 1990).



Şekil 6.1. KFY'nin TKY ile birlikte kullanımı (Kavrakoğlu, 1992)

Bu koşulların göz önünde bulundurulması durumunda işletmelerin başarılı olmasının ve müşteri memnuniyetini sağlamanın ayrıca bu durumda devamlılık elde etmesinin yolu Toplam Kalite Yönetimi ve Kalite Fonksiyon Yayılımı uygulamalarından geçmektedir (Yıldız ve Baran, 2011).

7. KALİTE FONKSİYON YAYILIMI

7.1. Giriş

Küreselleşmeye bağlı olarak kalite kavramının da gelişimi ile rekabetin artış gösterdiği günümüz piyasa şartlarında firmaların rekabet karşısında ayakta kalabilmeleri için sürekli yenilik içinde olmaları, ön plana çıkan müşteri istek ve ihtiyaçlarını çok iyi bilerek müşteri odaklı üretim yapmaları gerekli hale gelmiştir (Kağnıcıoğlu, 2002).

Günümüzde birçok firma artan müşteri beklentilerini karşılayabilmek için gerçek müşteri isteklerini, başka bir deyişle müşterinin sesini ürün veya hizmetlerine yansıtabilmenin yolunu bulmaya çalışmaktadır (Güllü ve Ulcay, 2002). Bu gerekliliklerden dolayı özellikle ürün tasarımında kullanılan Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) gibi yöntemlerin müşteri odaklı olması son derece olağandır (Bergquist and Abeysekera, 1996). Çünkü günümüzde her üretileni satın alan, kişisel tercihlerini geri plana iten müşteri profili ortadan kalkmış bunun yerine ne istediğinin bilincinde, ihtiyaçlarını dile getiren, teknik tasarım ve fiyat açısından duygu ve ihtiyaçlarını tatmin eden ürünleri tercih eden müşteri profili gelmiştir (Bevan, 1999). Bu sebepten dolayı, hangi ürün özelliklerinin müşteri için anlamlı olduğunu anlamak ve müşteriden gelen geri beslemeleri de ürünün tasarım ve gelişim sürecine yansıtmak büyük önem taşımaktadır (Cristiano et al, 2000).

Bir firma için en önemli başarı koşullarından birisi, piyasa rekabetinde yerini alabilmesi açısından, yeni ürün tasarım sürecinin etkinliği olarak ortaya çıkmaktadır. Kalite Fonksiyon yayılımı, yeni ürün tasarımında ya da mevcut bir ürünün iyileştirilmesinde uygulanarak müşteri istek ve ihtiyaçlarının ürüne doğru yansıtılmasını sağlamaya yönelik çalışmaktadır. Müşterilerin istek ve ihtiyaçlarının ürüne doğru olarak yansıtılması ise firmaların hedeflerinden birisi olan müşteri memnuniyetinin sağlanması anlamına gelir (Taptık ve Keleş, 1998). Böylece üretilecek ya da iyileştirilecek olan ürün müşteri istek ve ihtiyaçlarının dikkate alınması ile birlikte müşteri beklentilerini büyük ölçüde karşılayabilecek bir ürün düzeyine gelmektedir.

7.2. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Tanımı

Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminin Japonca'daki orijinal adı "Hinshitsu Kino Tenkai" olup, bu isim bu yöntemin yaratıcılarından biri olan Yoji Akao'nun 1972 yılında Kansas State Üniversitesi'ni ziyaret etmesi esnasında İngilizce'ye "Quality Function Deployment (QFD)" olarak çevrilmiştir (Akao, 1997). Ülkemizde ise Türkçe olarak yöntemin, Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY), Kalite Fonksiyon Göçerimi (KFG), Kalite Fonksiyon Açılımı (KFA) ve Kalite İşlev Konuşlandırılması (KİK) gibi isimleri mevcuttur (Aytaç, 2002). Bu çalışma kapsamında en yaygın kullanımı olan Kalite Fonksiyon Yayılımı (KFY) ifadesi kullanılmıştır.

Kalite Fonksiyon Yayılımı için birçok yazar kendi tanımlarını oluşturmuştur, bunlardan bazıları şu şekildedir;

“KFY, müşteriye tatmin etmek ve müşterilerinin isteklerini tasarım hedeflerine ve üretim sırasında kullanılacak belli başlı kalite güvence noktalarına dönüştürmek amacıyla tasarım kalitesini geliştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir. KFY, tasarım kalitesini ürün daha tasarım aşamasındayken güvence altına almanın bir yoludur.” (Akao, 1990)

“KFY farklı görevlerden meydana gelen bir takımın eve benzeyen bir seri matris kullanarak, müşteri girdilerini tasarım, üretim ve servise kadar yayan bir ürün (hizmet) geliştirme sürecidir.” (Griffin and Hauser, 1993)

“Bir grup cesur insanın ürünler oluşturmak ve organizasyona açmak için en ince ayrıntıları takip ederek uyumlu bir biçimde çalışmasıdır. Ürünlerin çokluğu Pazar yerinde değerlendirilecektir.” (Mazur, 1996)

“Kalite Fonksiyon Yayılımı müşterinin sesi ile başlayan bir süreçtir. Talep edilen ürünün kalitesi müşteri tarafından belirlenir ve ürün özelliklerine dönüştürülür.” (Gauthier, 1998)

“QFD, müşteri beklentilerinin net bir şekilde değerlendirilmelerini bir projenin temel ihtiyaçlarında tasarım hedeflerine dönüştürmeyi gerektiren geniş bir toplam kalite yönetimi uygulama tekniğidir.” (Dikmen et al, 2004)

“QFD, esas olarak müşteri isteklerini ölçülebilir performans değişikliklerine dönüştürüp, optimize edilmiş bir süreç ve iyi bir dağıtım/satış kanalı elde edilmesine yardımcı olan müşteri odaklı ve takım çalışmasını gerektiren bir kalite metodolojisidir.” (Sevük, 1998)

Bu tanımlamalar ışığında; Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın müşteri isteklerini, beklentilerini ve ihtiyaçlarını göz önünde bulundurup bunları tasarım hedeflerine dönüştüren ve buna göre ürünün tasarım ve teknik özelliklerini belirlemede kullanılan, odak noktasında müşterilerin bulunduğu bir ürün ya da hizmet planlama, iyileştirme ve geliştirme yöntemidir.

7.3. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Tarihçesi

Kalite Fonksiyon Yayılımı, Japon Endüstrisinin II. Dünya Savaşı sonrası taklit ve kopyalamaya dayalı ürün geliştirme durumunu kırarak, özgünlüğe dayalı ürün geliştirmeye geçtiği bir dönemde, 1960'lı yılların sonlarında Japonya'da ortaya çıkmıştır. Toplam kalite kontrol şemsiyesi altında yeni bir ürün geliştirmeyi sağlayan bir yöntem olarak oluşmuştur. Bu yöntem ilk kez 1972 yılında Yoji Akao tarafından “Hinshitsu Tenkai” (kalite yayılımı) olarak tanımlanmıştır (Akao,1997).

Kavram olarak 1960'lı yıllarda ortaya çıkmasına karşın, KFY'ye ilişkin ilk resmi belge 1972 yılında 'Standardization and Quality Control' dergisinde yayınlanan 'Yeni Ürün Geliştirilmesi ve Kalite Güvencesinde QFD' isimli bir bildiridir (Esin, 1999).

KFY'nin ortaya çıkışından sonra Akao'nun deneyimleri ve çalışmaları ilk olarak Mitsubishi'nin Kobe bulunan gemi tersanelerinde uygulamaya dökülmüştür (Akbaba, 2000).

İlk KFY kitabı ise 1978 yılında Japonya'da yayınlanmıştır. Fakat bu kitap ancak 1994 yılında İngilizce'ye çevrilerek, Japonya dışında da yayınlanması sağlanmıştır (Dean, 2000).

1975 yılında Japon Toplumunu için Kalite Kontrol (JSQC- Japanese Society for Quality Control) tarafından, daha sonra 1978 yılında başına Yoji Akao'nun getirildiği ve adının QFD Araştırma Grubu olarak değiştirildiği, Bilgisayar Araştırma Komitesi (Computer Research Committee) kuruldu. Bu komite önündeki yaklaşık 13 yılı QFD metodolojisi ile ilgili devam eden araştırmalara adadı (Akao, 1997). 1987 yılında da bu ekip, 80 tane Japon firmasına yapılan uygulamaların durumu üzerine bir final araştırma raporu yayınladı (Akao et al, 1987).

Amerika ve Avrupa'nın KFY ile tanışması Yoji Akao ve ekibinin dört günlük bir seminer için ABD'ye yaptığı ziyaret ve bunun yanında 1983 yılında Akao'nun kaleme aldığı bir makalenin 'Quality Progress' isimli dergide yayınlanması ile olmuştur. Akao ve ekibi bunun akabinde 1996 yılından sonra her yıl ABD'de KFY seminerleri vermek üzere ülkeye davet edilmişlerdir (Akao, 1997).

Bu arada merkezi Dearborn Michigan'da olan American Supplier Institute (ASI) ve Methuen Massachusetts'de bulunan Growth Opportunity Alliance of Greater Lawrence/Quality, Productivity, and Competitiveness (GOAL/QPC), KFY hakkında genel eğitimler veren ilk kuruluşlar olma özelliğini taşımaktadır. GOAL/QPC kar amacı taşımayan araştırma, yayınlama ve eğitim merkezli bir kuruluştur. ASI ve GOAL/QPC KFY'na ait bilgilerin güncellenmesi ile 1989 yılından sonra bu konu ile ilgili seminerlere sponsorluk etmeye başlamışlardır (Day, 1998).

ASI'nin eski başkanı olan Mr. Larry Sullivan otomobil endüstrisinde yer alan üç büyük otomobil imalatçısında KFY'nin yaygınlaşmasını sağlamıştır. Mr. Akashi Fukuhara da bu çalışmalara liderlik yapmıştır (Akao, 1997).

1977-1984 yılları arasında Toyota şirketinde yapılan KFY uygulaması sonucu başarıya ulaşılmıştır. Toyota şirketindeki başarılı uygulama sonuçlarını gören batı ülkelerinin bu yönteme olan ilgisi artmıştır (Akbaba, 2000). KFY uygulaması ile Toyota'da ürün geliştirme maliyetlerinde %60 ve ürün geliştirme sürecinde de %40'a varan azalmalar gözlenmiştir. Bu yöntemin ABD'deki ilk uygulamaları da 1986'da Ford ve Xerox firmalarında yapılmıştır (Griffin and Hauser, 1993).

Bu sırada Mr. Robert Adams 1989'dan bu yana yapılan Kuzey Amerika KFY sempozyumlarında yöntemin geliştirilerek Amerika'da yaygınlaşması için araştırmalarda kullanılmak üzere bir yer sağlayıp, öncülük etmiştir. Sonrasında 1994 yılında Mr. Glenn H. Mazur, yanında Mr. Richard Zultner ve Dr. John Terninko tarafından KFY Enstitüsü kurulmuştur. Bu enstitü 1996 yılında Akao ödülünü çıkarmış ve bu ödül açılış yılında Mr. King, Mr. Sullivan ve Prof. Tadashi Yoshizawa'ya takdim edilmiştir (Akao, 1997).

1989 yılında yaklaşık olarak 20 Amerikan firması KFY tekniğini uygularken, 1997 yılında ise bu tekniği uygulamakta olan firma sayısı 100'ü aşkın bir sayıya ulaşmıştır. Bu firmalardan bazıları; Budd Corporation, Kelsey Hayes Corporation, Motorola, Digital Equipment, Hewlett Packard, Xerox, AT&T, ITT, NASA, Eastman Kodak, Goodyear, Proctor and Gamble, Polaroid, NCR, Ford, General Motors olarak sıralanabilir (Kim, 1997).

Böylece ilk olarak 1972 yılında Japon Mitsubishi firması ile uygulanmaya başlanan yöntem, 1984 sonrasında da ABD'de incelenip kullanılan ve bugün ise tüm dünyada kabul gören bir kalite tekniği haline gelmiştir (Güllü ve Ulcay, 2002).

Ülkemize baktığımızda KFY tekniği uygulamasının görüldüğü ilk yer beyaz eşya üretici olan Arçelik firmasıdır, burada uygulama 1994 yılında bulaşık makinesi üzerine gerçekleştirilmiştir (Telek ve Akin, 1996). Arçelik firması bu uygulamanın ardından 1995 yılında buzdolabı, çamaşır makinesi ve elektrik süpürgesi için de KFY uygulamalarına başlamıştır. Türkiye'de yöntemin tanınmaya başlanması ile bu yöntemi uygulayan işletme sayılarında bir artış meydana gelmiştir. Ülkemizde bu yöntemi uygulayan bazı firmalar ise; Arçelik, Brisa, Beko, BMC, Cevher Maden Sanayi, Tofaş ve Netaş olarak bilinmektedir. Günümüzde Türkiye'de yaklaşık 50 ila 100 arasında işletme KFY tekniği ile ilgilenmektedir (Ula, 2002). Buradan da anlaşılacağı üzere KFY tekniğine olan ilginin giderek arttığı görülmektedir.

KFY tekniğinin ilk kullanım sahası, endüstriyel tasarım sürecine katkı sağlanması olarak düşünülmüştür. Bunu takip eden zaman zarfında yöntemde elde edilen gelişmelerle birlikte hizmet alanında da yöntemin kullanılabilmesi anlaşılmıştır. Hizmet alanındaki ilk uygulamalarına 1981 yıllarında rastlanır. Günümüzde mal ve hizmet tasarımında yaygın bir şekilde kullanılıyor olmasının yanında, yöntemin kullanımı bu iki alanın da dışına taşmıştır. Yöntem TKY, Stratejik Ürün Planlama, Örgütsel Planlama, Maliyet göçerimi, Yazılım Geliştirme gibi birçok alanda da kullanılır duruma gelmiştir (Cohen, 1995).

7.4. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Faydaları

Müşteri yönlendirmeli modern mühendislikte en ümit verici yöntemlerden birisi KFY'dir. Bir süreci kısaltma, daha rekabetçi ve daha güvenilir tasarımlar oluşturmada iki anahtar adım, ürünün daha iyi tasarlanması ve tasarım sürecinin daha iyi belgelenmesidir (Fortune, 1988).

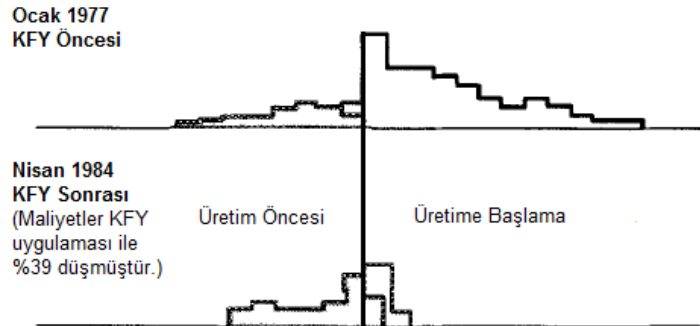
KFY tekniği farklı yapan en büyük özelliği müşteri odaklı olması ve uygulama sürecinde müşteri isteklerini değerlendirerek ürün ya da hizmete bu istekler doğrultusunda yön vermesidir. Bu yöntem işletme ve kuruluşların müşteri memnuniyetini sağlamak için neye ihtiyaç duyulduğunu ve bu ihtiyaçların önceliklerinin belirlenmesine olanak vermektedir.

KFY tekniğinin uygulanması ile birlikte ürünün pazara sunulması daha kısa bir sürede gerçekleşmektedir. Böylelikle müşteriler ihtiyaç duydukları ürünleri daha kısa bir zamanda elde ederler (Akbaba, 2000). Ayrıca ürünler müşteri talepleri dikkate alınarak tasarım yapıldığından, pazara çıktıktan sonraki değerlendirmelerde yapılacak olan mühendislik değişiklikleri azalmaktadır. Bu da kuruluşa daha az bir maliyet olarak yansımaktadır. Böylece KFY süreci kısalttığı gibi maliyetin de düşmesine neden olup, her iki yönden olumlu geri bildirim elde edilmesini sağlar.

Bir çalışmada KFY tekniğinin uygulanması sayesinde, başlangıç aşamasında sorunların büyük bir kısmı azaldığından, yapılan çalışmalar ürün geliştirme süresinin %66 oranında kısaltığını göstermiştir. Bunun yanında tasarım aşamasında yapılan harcama, toplam maliyetin sadece %5-8'ini oluşturmaya karşın, bu aşamada verilen kararlar ürünün yaşam döngüsü boyunca ortaya çıkacak olan maliyeti %60-80 oranında etkilemektedir. Bu sebepten ürün tasarımcıları ve geliştiricileri KFY'yi kendi tasarım işlemlerinde kullanmaya başlamışlardır (King, 1989).

KFY'yi kullanan Japon şirketleri, ürün tasarım ve geliştirme aşamalarında önemli iyileşmeler sağlamış olup, mühendislik değişimlerinde %30-50 oranında azalma, tasarım dönüşümlerinde %30-50 oranında azalma ve başlatma maliyetlerinde %20-50 oranında azalma elde etmişlerdir (Cengiz ve Yayla, 1997).

Ürün geliştirme süresinin ve maliyetlerinin azaldığı uygulamalara en iyi örneklerden biri Toyota şirketinde yapılan uygulama sonucu görülmüştür. Şekil 7.1.'de Toyota şirketinde KFY tekniğinin uygulanmasıyla üretim öncesi ve üretime başlama maliyetlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 7.1. Toyota'da KFY uygulamasından önceki ve sonraki dönemde üretim öncesi ve üretime başlama maliyetleri (Hauser and Clausing 1988)

KFY, herhangi bir süreçteki sorunların neden ve sonuçları ile birlikte irdelenmesini sağlar. Böylece bu süreç devam ettikçe çalışmalar belgelendirildiğinden, gelecekte bu gibi bir sorun ile karşılaşılması durumunda benzer kararların geliştirilmesi ile sorunlara gerçek bir çözüm sağlar. Veriler arasında kurulan bağlantıları matematiksel yöntemler ışığında inceler (Lyman, 1992).

KFY'nin yararları özet olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Müşteri odaklıdır.
- Müşteri menuniyetini artırır.
- Müşteri ve şirket arasındaki ilişkileri iyi yönde güçlendirir.
- Ürün geliştirme süresini ve maliyetlerini azaltır.
- Üretimi ve kaliteyi artırır, daha değerli üretim sağlar.
- Çok fonksiyonlu grupları bir araya getirerek takım çalışmasını aşılır.
- Birçok sözel veriyi bir araya getirip, mantıklı bir biçimde düzenler.
- Sadece ürünler için değil aynı zamanda süreç ve hizmet için de uygulanır.
- Sistematik bir yaklaşım ve gerçekçi bir tanımlama sağlar.

7.5. Kalite Fonksiyon Yayılımı'na Duyulan İhtiyaç

Müşterilerin isteklerinin üretim veya hizmet sürecine aktarılması yani 'müşteri sesine kulak verilmesi' gelişen ekonomi ile birlikte küreselleşen ticaretin meydana getirdiği gelişmenin sonucudur. Her geçen gün ürünü satan ile üreticinin karşı karşıya gelme olasılığı azaldığından, bilinmeyen müşteriye beğeneceği ürünleri sunmak büyük bir sorun haline gelmektedir. Bu da şunu göstermiştir ki, II. Dünya Savaşı sonrası Uzak doğu pazarlarına ABD ve Avrupa ülkeleri egemen iken, bu pazarların Japonya'nın eline geçmesi kolay olmuştur (Esin, 1999).

II. Dünya Savaşı'ndan önce Japonya'nın yeni ürün ve teknolojileri Avrupa ve Amerika'dan getirmesi sonucu, üretimleri getirilen ürünleri kopyalamak üzerine kuruluydu. Gelen şikayet ve oluşan problemlerden dolayı sebep-sonuç grafikleri ile ürün analizi yapılmaktaydı. Tekrar edilen bu analizlerle birlikte büyük bir bilgi birikimi oluşurken bu durum, daha iyi kalitede ve özgün ürünler üretebilmelerine yol açtı (Akao, 1990).

İşletmelerin yaşadığı kalite sorunlarının altında müşteri ile olan karşılıklı iletişim eksikliği yatmaktadır. İletişim eksikliği başlangıçta büyük bir sorun gibi gözükme de, bu eksiklik müşterinin taleplerinin bilinmemesine ve dolayısıyla da müşteri beklentilerini karşılayamayacak ürünlerin üretilmesine neden olur. Sonuçta bu da beklenen müşteri potansiyelinin ve istenen kazancın elde edilememesine yol açar.

Örneğin, küçük bir ekmek fırını ile büyük bir ekmek fabrikası ele alınacak olursa, küçük fırındaki fırın sahibi ürünü hazırlayanlarla temas halindedir. Bundan dolayı müşteri istekleri ve

şikayetlerini ya da yeni tip bir ekmek hakkındaki görüş ve düşünceleri direk olarak öğrenme olasılığı büyük bir işletmeye nazaran daha fazladır.

Buna karşın, ekmek fabrikası için müşteri ile yüz yüze gelmesi, bayiler pazarlamacılar veya pazar araştırma elemanları tarafından gerçekleştirilir. Müşteriden bir şikayet veya bir istek gelmesi halinde bunun üreticiye ulaşması oldukça zaman alıcı bir durumdur. Benzer şekilde müşteri isteği için sonuç alınması ve sonucun müşteriye iletilerek geri bildirim alınması da hayli zaman gerektirir (Esin, 1999).

Günümüzdeki işletmelerde pazarlamacıların ve mühendislerin kendi etki alanları bulunmaktadır. Öyle ki müşteri anket sonuçları her zaman olmasa da arada sırada tasarım elemanlarına ulaşmaktadır. Benzer biçimde Ar-Ge planları da üreticilere gerektiği kadar ulaştırılmamaktadır. Ne yazık ki bu kopukluk ürün kalitesini olumsuz etkileyerek, yüksek maliyetlerin oluşmasına neden olmaktadır (Hauser and Clausing, 1988).

KFY tekniği uygulanırken, müşteri tarafından istenen kalite isteklerinin anlaşılması çok önemlidir. Çünkü bu tasarımın anlaşılmasını üretici için kolaylaştıracaktır.

Pazarda satışı devam etmekte olan bir ürün ile ilgili müşteri şikayetleri üzerinde yapılan çalışma analitik bir olmaktadır. Fakat analize üretilmiş üründen başlanıldığından dolayı sürecin tersine hareket edilerek aşağıdan yukarıya doğru hareket edilir ve sorunu oluşturan etkenler üretim içinde irdelenir. Bu yaklaşım aynı zamanda kalite kontrol için de kullanılabilir.

Pazara yeni çıkan ürünler için ise, yukarıdan aşağıya doğru olan yaklaşım kullanılmalıdır. Müşterinin kalite beklentileri sürece dahil edilerek ürün meydana getirilmelidir (Akao, 1990).

Müşteri sesinin KFY tekniğine yansıtılmasına en güzel örnek senfoni orkestrasıdır. Senfoni, değişik müzik aletlerinin değişik notalara göre çaldıkları melodilerden meydana gelir. Tek başlarına icra edildiklerinde kulağa hoş gelmeyecek melodiler bir arada çalındığında ise ortaya senfoni gibi bir eser çıkmaktadır (Esin, 1999).

Yukarıda da bahsedilen hususlar dikkate alınmadan yapılan bir üretim, kuruluş çalışanlarının kendi istekleri doğrultusunda yapmış oldukları bir üretim olmakla birlikte beklentileri karşılayamaz ve bunun yanında ulaşılması düşünülen müşteri kitlesine de ulaşamaz. Sonuç olarak, KFY tekniğine duyulan ihtiyacın en temel nedeni; müşteri istek ve beklentilerinin kuruluşa yansıtılması gereksinimidir ki bu durumda hem müşteri memnuniyeti, hem de istenilen üretim başarısı elde edilebilmiş olsun.

7.6. Kalite Fonksiyon Yayılımı'nın Uygulama Alanları

KFY tekniği, yeni veya mevcut bir ürün için, yeni bir hizmet için, yatırım planlaması için, süreç yönetimi için, teknoloji yönlendirmeli mühendislik için ve hatta politika yönetimi için dahi kullanılabilir (Güllü ve Ulcay, 2002).

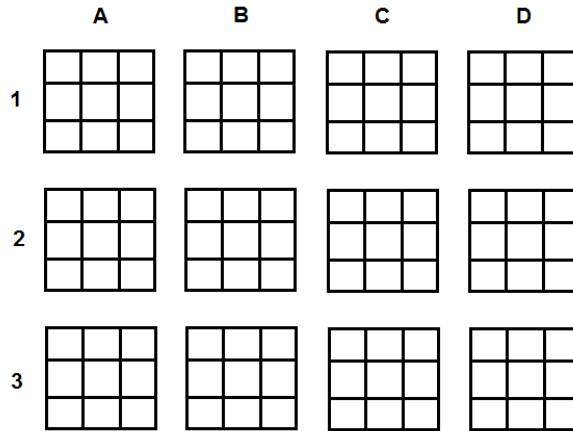
KFY bugüne kadar endüstri ve ticaret alanında, havacılıktan imalata, yazılıma, iletişime, bilişime, kimya ve ilaca, ulaşıma, savunmaya, kamuya, Ar-Ge'ye, gıdaya ve hizmet sektörüne kadar birçok yerde uygulanmıştır (Yang, 2007).

7.7. Kalite Fonksiyon Yayılımı Uygulama Süreci

KFY, uygulayıcılarına yeni ürün geliştirme sürecinde omurga vasfında bir yapı sunan matrislerden oluşan bir sistemdir. Uygulamayı yapanların değişik özellikler gösteren farklı alanlarda yapacakları uygulamalarında temel alabilecekleri birçok KFY modeli bulunmaktadır. İstenen model oluşturulurken, herhangi bir modelin aynen uygulanmasının tersine, KFY modelleri her uygulama için üzerinde gerekli düzenleme ve değişikliklerin yapılması ile en uygun sürecin oluşturulacağı temel bir yapı sunar. Uygulamanın özelliklerine bağlı kalarak, modellerden bir tanesi dikkate alınarak bu modelde sunulan matrisler yeniden tanımlanıp, bazı matrisler atılıp ya da yenileri eklenip modelde değişiklikler yapılabilir (Cohen, 1995).

KFY modellerinden en yaygın kullanımına rastlananlar arasında; Fukuhara'nın Kalite Evi Modeli, Macabe tarafından geliştirilmiş olan Dört Aşamalı Model ve Akao'nun Matrislerin Matrisi Modeli sayılabilir (King, 1989).

'Matrislerin Matrisi' olarak adlandırılan modelde müşteri isteklerinin tüm organizasyon etkinlikleri içine yayılımı yapılır. Bu işlem esnasında bir sıra matris ve organize edilmiş olan kartlar kullanılmaktadır. Şekil 7.2.'de matrislerin matrisini temsil eden bir gösterim bulunmaktadır.



Şekil 7.2. Matrislerin Matrisi (Matrisler Dizisi) (Hales et al, 1990)

Matrislerin matrisi yaklaşımında tüm matrisler belirtilebilmektedir. Örnek olarak, A1; sol ve üst köşede, D4; sütunu ile 4. Satırın kesişmesi ile oluşan matristir. Yapılan bu gruplandırma sayesinde süreçlerin gösterimi yapılabilmektedir. Örneğin A1 ürün planlamasında gerekli olan en temel matristir. Müşteri memnuniyeti için kuruluşların kullanmaları gereken özellikler matrislerin üst kısımlarına doğru gösterilir. C2 matrisi fiyat, hacim ve pazar payı gibi özelliklerin sol tarafa, rakiplerin ise üst kısma doğru sıralandığı temel rekabet analizi tablosudur (Day, 1998). Çizelge 7.1.'de C2 matrisi açılımı verilmiştir.

Çizelge 7.1. C2 Matrisi

C2	1. Rakip	2. Rakip	3. Rakip
Fiyat			
Hacim			
Pazar payı			

KFY yöntemi için bir başka yaklaşım da ASI'nın Kalite Evi temelinde geliştirdiği dört aşamalı ya da dört tablololu süreç olarak bilinmektedir. Bu dört aşama ile birlikte müşteri isteklerinin üretime aktarımının sağlanması önerilmektedir (Bracking and Rogers, 1999).

Dört aşamadan oluşmakta ve Japon mühendis Macabe tarafından geliştirilen KFY modeli (King, 1989) Clausing ya da ASI Modeli olarak da adlandırılır (Cohen, 1995). KFY modelinin iskeletini meydana getiren bu dört aşama, ürün tasarımından üretimine kadar ürün geliştirme sürecinde bir rehber görevi üstlenir. Bu modelin her aşamasında sütunlar bölümünde "Ne'ler" (müşteri istekleri) ve satırlar bölümünde ise "Nasıl'lar" (müşteri isteklerinin nasıl karşılanacağına yolları) barındıran bir matris bulunur. Her aşamada yüksek derecede önem taşıyan "Nasıl'lar" bir sonraki aşamaya aktarılır (Guinta and Praizler, 1993).

KFY tekniğinin uygulamada başarı elde etmesinin önemli bir şartı, bu süreci meydana getirecek faaliyetlerin ayrıntılı bir şekilde planlanarak sistemin tamamına tam bir örgütsel destek sağlanmasıdır. Bu sayede sürecin bütününe işgal edeceği zaman aralığı belirlendiği gibi, KFY süreci içinde görev alacak tüm bölümlerin birbiri arasındaki bilgi akışı sağlanmış olacaktır (Grover, 2002). KFY sistemi genel olarak dört aşamadan oluşur. Bu aşamalar;

- 1- Ürün Planlama
- 2- Bileşen Geliştirme
- 3- Süreç Planlama
- 4- Üretim Planlamadır.

Bu modelin dört aşaması dört farklı kalite evi ile temsil edilmektedir. Bu kalite evleri ürün planlama, bileşen geliştirme, süreç planlaması ve üretim planlaması olarak isimlendirilir (Prasad, 1997).

- 1- **Ürün Planlama:** Dört aşamalı yaklaşımda kalite evlerinden birincisi ürün planlamasının yapıldığı bölümdür. Bu bölümde müşteri istekleri ve müşteri isteklerinin önem dereceleri belirlenip, kritik ürün karakteristiklerine yani tasarım gereklerine dönüştürülmektedir. Rakipler ile karşılaştırma ve bunun yanında maliyet analizi yapılarak bundan sonraki bölüm olan ikinci kalite evine geçilebilir.
- 2- **Bileşen Geliştirme:** Birinci kalite evinde yani ürün planlama bölümünde hedef olarak belirlenen kritik ürün karakteristikleri ikinci kalite evinin girdi verilerini oluşturmaktadır. Bu ikinci bölümde ise, belirlenen tasarım gereklilikleri ürün bileşenlerinde olması gereken özelliklere dönüştürülmektedir.
- 3- **Süreç Planlama:** Üçüncü bölüm uygulama aşamasına geçişi sağlayan ara bir basamak niteliği taşımaktadır. Bileşen geliştirme bölümünde belirlenmiş olan bileşen karakteristikleri süreç planlama bölümünün girdilerini oluşturmaktadır. Bu bölümde süreç planı, kalite kontrol noktaları, hassas ürün ve işlem parametreleri ve bu parametrelerin her birinin kontrol noktaları belirlenir.
- 4- **Üretim Planlama:** Bileşen ve süreç düzeyinde planlama tamamlandıktan sonra ana konular üretim planlaması içinde yaygınlaştırılmalıdır. Süreç planlama bölümünde elde edilen süreç gereklilikleri üretim planlamanın girdilerini oluşturmaktadır. Bu aşamada tipik risk değerlendirmeleri ve sorunların ortaya çıkma olasılıkları değerlendirilip, sıralanabilir. Bunun yanında genel kontrol noktaları, kontrollerin zaman sıklıkları, ölçüm cihazları, operatör ihtiyaçları, sorumluluk ve zamanlama gibi konuların belirlenmesi de bu bölümde gerçekleştirilmektedir (Day, 1998)

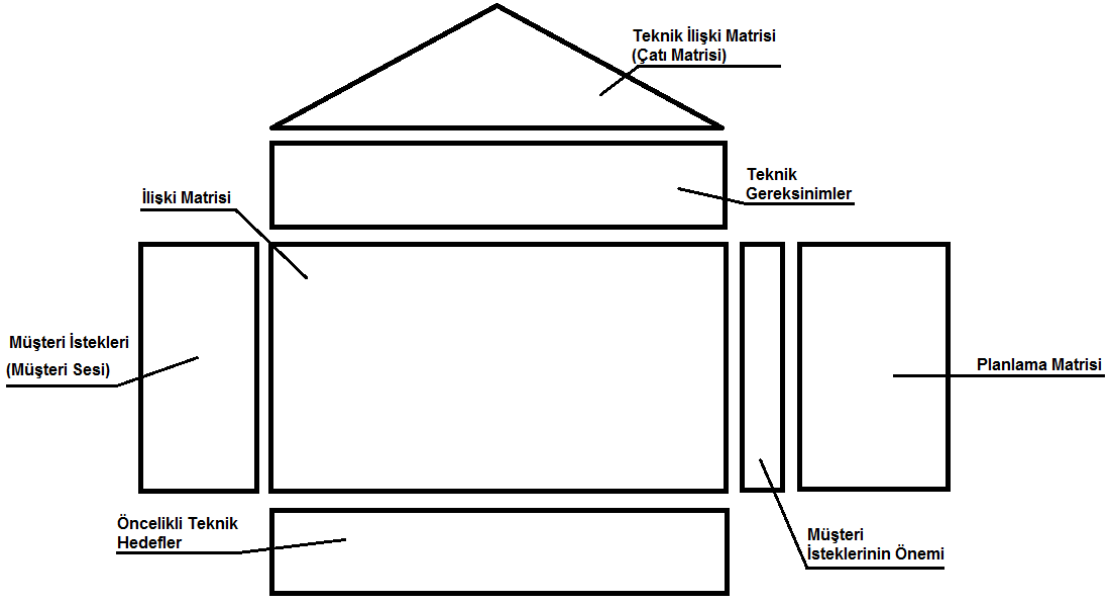
Bu teknik müşteri ihtiyaçları ile tasarım özellikleri arasında bağ kurarak, ürüne ait olan beklentilerin karşılanmasını sağlar ve ayrıca kalite evleri sayesinde yapılabilen görsel kıyaslama ile müşteri ihtiyaçlarının etkileşimlerini, gereken teknik özellikleri, rakip işletmeler ve kendi işletmemizin durumunu görmemizi sağlar.

7.7.1. Kalite Evi

Kalite evi, dört aşamalı modelin ilk aşaması ve ürün planlama matrisinin oluşturulduğu ürün planlama aşamasının bir başka adıdır. Ürün planlama matrisinin üstünde üçgen şeklinde bir kıyaslama bölümü bulunması dolayısı ile "Kalite Evi" adını almıştır (Akao, 1997). Kalite evi, müşterilerin gereksinim hedeflerinin oluşturulmasını ve bu gereksinimlerin teknik açıdan nasıl karşılanacağını belirlemesini sağlar. Ürün planlama matrisi yani Kalite evi ve kısımları Şekil 7.3.'te görüldüğü gibidir.

KFY'nın başlangıç noktası, müşterilerin ölçülemeyen beklentilerini saptamaktır. Hem stratejik hem de faaliyet kararlarını belirlemek için "müşteri istekleri (müşteri sesi)" olarak adlandırılan girdilere gerek duyulmaktadır (Griffin and Hauser, 1993).

Kalite evi, müşteri ihtiyaçları ile kalite özelliklerini kıyaslayan ana bir bölümden ve bu bölümün üstünde bulunan çatı şeklindeki yapı ile de kalite özelliklerini birbiri arasında kıyaslayan bir tablodan meydana gelmektedir. Kalite evi, bölümler arasında planlama ve iletişimin gerçekleştirilmesine yarayan araçları sağlayan bir tür harita özelliği taşımaktadır (Hauser and Clausing, 1988).



Şekil 7.3. Kalite Evi

Kalite evi yedi bölümün toplamından oluşan büyük bir matristir. Bu matrisi oluşturan bölümler şöyledir;

- **Müşteri İstekleri:** Bu bölümde, müşterilerden elde edilen bilgilerden oluşan bir gereksinim listesi vardır ve bu bilgiler aynı zamanda müşteri sesini temsil etmektedir. Ürün tasarımına yönelik bu bilgiler müşterilerin kendilerinden elde edebileceği gibi dolaylı yoldan elde edilmiş bilgiler de olabilir (Besterfield, 1999).
- **Teknik Gereksinimler:** Bu cevaplara mühendisin sesi de denebilir. Bu aşamada mevcut ürünün teknik karakteristikleri belirlenerek müşteri isteklerini karşılamaya yönelik ölçümler oluşturulmaktadır (Kathiravan et al, 2008). Teknik cevaplar farklı kaynaklarda ürün özellikleri, tasarım gereklilikleri, işletme beklentiler, mühendislik özellikleri ya da kalite özellikleri gibi isimlerle de anılmaktadır (Cohen, 1995). Kalite

evinin üst kısmında bulunan teknik cevaplar müşteri gereksinimleri ile karşılıklı değerlendirme yapmayı sağlamaktadır.

- **Müşteri İsteklerinin Önemi:** Müşteri isteklerinin tek başına bilinmesi yeterli değildir. Aynı zamanda bu isteklerin önem derecelerinin bilinmesi de önem taşımaktadır. Kalite evinin bu bölümdeki önem derecelerinin bilinmesi, bu isteklerin karşılanması için üretilen çözümlerinin değerlendirilmesini sağlar.
- **Planlama Matrisi:** Planlama matrisi müşteri isteklerini önceliklerine göre sıralamada yardımcı olur. Planlama matrisi genel olarak; müşterilerin isteklere verdikleri önem derecesi puanlarını, ulaşılmak istenen hedefleri, işletme ve rakiplerin performanslarını, iyileştirme oranını, mutlak ağırlık puanını ve bağıl ağırlık puanlarını içeren sütunların bir araya gelmesi ile oluşur.
- **İlişki Matrisi:** Bu bölümde müşteri istekleri ile teknik gereksinimler arasındaki ilişkilerin nasıl yorumlandığı görülür. Bu bölüm sayesinde her bir özelliğin müşteri isteklerini hangi düzeyde etkilediği belirlenir.
- **Teknik İlişki Matrisi:** Kalite evinin çatısını oluşturan bölümdür. Teknik gereksinimlerin tasarım aşamasında birbirlerini nasıl etkilediğini ve aralarındaki ilişki düzeyini gösterir.
- **Öncelikli Teknik Hedefler:** Ürün veya hizmet özelliklerinin hesaplanmış önem derecesi puanları bu bölümdedir. Yeni tasarımın sahip olması istenen her teknik özellik için belirlenen hedef değerler burada yer alır.

7.7.2. Veri Analizi

Kalite evi tamamlandıktan sonra bu aşamada yapılması gereken müşteri istekleri ile teknik gereksinimlerin tasarıma yönelik olarak öncelik sıralarını belirlemek ve hangi parametrenin ne kadar öneme sahip olduğunu görmektir.

$$\text{İyileştirme Oranı} = \frac{\text{Hedef Kalite}}{\text{Ortalama Değer}} \quad (7.1.)$$

$$\text{Mutlak Ağırlık} = \text{Önem Derecesi} \times \text{İyileştirme Oranı} \quad (7.2.)$$

$$\text{Bağıl Ağırlık (\%)} = \frac{\text{Herbir Satırın Mutlak Ağırlığı}}{\text{Toplam Mutlak Ağırlık}} \times 100 \quad (7.3.)$$

$$\text{Mutlak Önem} = \sum (\text{Mutlak Ağırlık} \times \text{Satıra Ait İlişki Düzeyi}) \quad (7.4.)$$

$$\text{Görel Önem (\%)} = \frac{\text{Herbir Sütunun Mutlak Önemi}}{\text{Toplam Mutlak Önem}} \times 100 \quad (7.5.)$$

Oluşturulan Çizelge 7.2.'ye göre bu formüller sembolize edilecek olursa;

Çizelge 7.2. Planlama Matrisi Analizi

Müşteri İstekleri	Teknik Gereksinimler			Önem Derecesi	1. Seçenek	2. Seçenek	3. Seçenek	Hedef Kalite	İyileştirme Oranı	Mutlak Ağırlık	Bağıl Ağırlık (%)
	1. Teknik Gereksinim	2. Teknik Gereksinim	3. Teknik Gereksinim								
1. İstek	I_{11}	I_{12}	I_{13}	$ÖD_1$	A_{15}	B_{16}	C_{17}	HK_1	$İO_1$	MA_1	BA_1
2. İstek	I_{21}	I_{22}	I_{23}	$ÖD_2$	A_{25}	B_{26}	C_{27}	HK_2	$İO_2$	MA_2	BA_2
3. İstek	I_{31}	I_{32}	I_{33}	$ÖD_3$	A_{35}	B_{36}	C_{37}	HK_3	$İO_3$	MA_3	BA_3
Mutlak Önem	$MÖ_1$	$MÖ_2$	$MÖ_3$								
Görel Önem	$GÖ_1$	$GÖ_2$	$GÖ_3$								

$$\text{İyileştirme Oranı: } İO_i = \prod_{i=1}^m \left[\frac{HK_i}{\left(\frac{A_{15} + B_{16} + C_{17}}{s} \right)} \right] \quad (7.6.)$$

$$\text{Mutlak Ağırlık: } MA_i = \prod_{i=1}^m (İO_i \times ÖD_i) \quad (7.7.)$$

$$\text{Bağıl Ağırlık: } BA_i = \prod_{i=1}^m \left(\frac{MA_i}{\sum_{i=1}^m MA_i} \times 100 \right) \quad (7.8.)$$

$$\text{Mutlak Önem: } MÖ_j = \prod_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^m I_{ij} \times MA_i \right) \quad (7.9.)$$

$$\text{Görel Önem: } GÖ_j = \prod_{j=1}^n \left(\frac{MÖ_j}{\sum_{j=1}^n MÖ_j} \times 100 \right) \quad (7.10.)$$

Formüllerde;

m: müşteri istek sayısı, n: teknik gereksinim sayısı, s: seçenek sayısı, i: satır numarası, j: sütun numarasını ifade etmektedir.

8. YOL MÜHENDİSLİĞİ PARAMETRELERİNİN TASARIMI: BİR KALİTE FONKSİYON YAYILIMI YAKLAŞIMI

8.1. Giriş

Karayolu mühendisliği içinde birçok parametreyi bir arada bulundurur. Bir karayolunu oluşturan her kaplama türünün farklı özellikleri vardır. Her biri için değişen bu özelliklere göre, bir karayolu projesi için hangi kaplama tipinin daha uygun olduğu, hangisinin uygulanması gerektiğini belirlemek oldukça zor olmaktadır. Bu çalışmada seçim yapmayı kolaylaştıracak ve tasarım için hangi özelliklerin ön plana çıkıp daha önemli olduğunu gösterecek olan Kalite Fonksiyon Yayılımı yönteminden yararlanılmıştır. Yöntem uygulaması için kaplama türlerinden en yaygın olarak kullanılan üç tip seçilmiştir. Bunlar; esnek üstyapı olarak sathi kaplama, asfalt betonu kaplama ve rijit üstyapı olarak beton kaplamadır. Bu kaplama türlerini değerlendirmede Kalite Fonksiyon Yayılımı uygulaması için yapılması gereken adımlar aşağıda açıklanmıştır.

8.2. Yol Mühendisliği Parametrelerinin Tasarımı için Kalite Evi'nin Oluşturulması

Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemi kapsamında Kalite evi oluşturulması gerekmektedir. Kalite evi birçok bölümün bir araya gelmesinden meydana gelir. Kalite evinin düşey bölümünde "Ne" sorusuna yanıt veren "Müşteri İstekleri (Müşteri Sesi)" bölümü ile yatay bölümde bulunan ve "Nasıl" sorusuna yanıt veren "Teknik Gereksinimler" bölümü bulunmaktadır. Yöntem uygulaması için öncelikle müşteri isteklerinin oluşturulması ile Kalite evi oluşturulmaya başlanmaktadır.

8.2.1. Müşteri İstekleri

Öncelikle müşteri isteklerini belirlemek için bir karayolunun sahip olması istenen özellikler düşünülmüştür.

Belirlenen bu özellikler sıralanacak olur ise, şunlardır;

- Kaplama yüzeyi pürüzsüz olmalı
- Tekerlek gürültüsü az olmalı
- Titreşim az olmalı
- Kaplamada deformasyon olmamalı
- Kaplama yüzeyinde ayrışma olmamalı
- Kaplama yüzeyinde çatlama olmamalı
- Kaplama üzerinde hareket eden araç kısa sürede hızlanmalı
- Aracın kaplama üzerindeki yol tutuşu üst düzeyde olmalı
- Fren mesafesi kısa olmalı
- Gece görüşü iyi olmalı

- Gündüz görüşü iyi olmalı
- Taşıt işletme giderleri az olmalı
- Lastik ve araç yıpranması en az düzeyde olmalı
- Kaplama üzerindeki yol işaretleri iyi bir şekilde görünür olmalı
- Her mevsim ve koşulda yapılabilir olmalı
- Yağışlı havalarda sürtünme katsayısındaki azalma en az düzeyde olmalı
- Yağış sonrası yol yüzeyi hızlı bir şekilde kuruyabilir olmalı
- Zayıf taban zeminlerine yapılabilir olmalı
- Yakıt, yağ dökülmesi gibi etkilere karşı dayanıklı olmalı
- Tekrar kullanılabilme özelliğine sahip olmalı
- Çevre ve hava kirliliğine yol açması en az düzeyde olmalı
- Yerli malzeme kullanılabilir olmalı
- Servis ömrü uzun olmalı
- Bakım ve onarım maliyeti düşük olmalı
- Gece-gündüz sıcaklık farklarına dayanıklı olmalı
- Trafik yüklerine karşı dayanıklı olmalı
- Bakımı kolay yapılabilir olmalı
- Üstyapı türünün yenilenebilirliği kolay olmalı
- Üstyapı yapım maliyeti düşük olmalı
- İnşa edilebilirliği kolay olmalı
- İnşa edilebilirliği hızlı olmalı
- Ekipman gereksinimi az olmalı ve fazla özellikli ekipman gerekmemeli
- Kullanılacak malzemenin temin edilebilirliği kolay olmalı

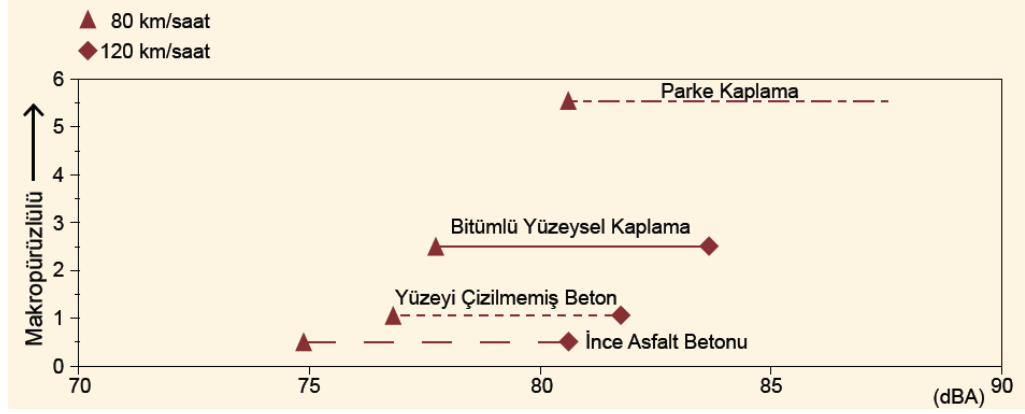
Belirlenen parametreler irdelenip yöntem kapsamına uygunluğu sorgulandığı zaman, nasıl sorusuna aynı cevabı verenler birleştirilmiş, yanıt alınamayanlar elenmiş ve son olarak kalanlar da gruplara ayrılmıştır. Müşteri istekleri son hali ile alt istekleri içeren iki başlık halinde toplanmıştır. Müşteri istekleri bölümünün ana başlıkları; Güvenlik&Konfor (Kullanıcı) ve İmalat&İşletme (İnşaatçı) olup bileşenleri Çizelge 8.1.'deki gibi sıralanmıştır.

Çizelge 8.1. Müşteri İstekleri

Müşteri İstekleri	
Güvenlik&Konfor (Kullanıcı)	Kaplama düzgün bir yüzeye sahip olmalı, tekerlek gürültüsü ve titreşim en az seviyede olmalı
	Taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması en az seviyede olmalı
	Fren mesafesi kısa olmalı
	Olumsuz hava koşullarında da güvenli sürüş sağlamalı
	Gece görüş kolaylığı
	Gündüz görüş kolaylığı
İmalat&İşletme (İnşaatçı)	Kısa süre içerisinde kullanıma hazır duruma gelmeli
	Kolay inşa edilebilir olmalı
	Hızlı inşa edilebilir olmalı
	Düşük yapım maliyetine sahip olmalı
	Servis ömrü uzun ve trafik yüklerine karşı dayanımlı olmalı
	Farklı hava koşullarına karşı dayanımlı olmalı
	Kimyasal etkilere karşı dayanımlı olmalı
	Düşük bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetine sahip olmalı
	Uzun süreli inşaat mevsimine sahip olmalı
	Bakım-onarım çalışmaları kolay yapılabilir olmalı

8.2.1.1. Müşteri İstekleri Bölümünün Bileşenleri

- **Kaplama düzgün bir yüzeye sahip olmalı, tekerlek gürültüsü ve titreşim en az düzeyde olmalı:** Kaplamanın düzgün bir yüzeye sahip olmasının bir etkeni kaplama türüdür. Kaplama türüne göre yol yüzeyindeki pürüzlülük değişmektedir. Kaplama üzerinde taşıtların hareketi sonucunda pürüzlülüğe bağlı olarak tekerlek gürültüsü ve titreşim meydana gelmektedir. Meydana gelen tekerlek gürültüsü taşıtın hızı ve ağırlığı, kaplama ve lastik yüzeyi özelliklerine, ayrıca yüzeyin kuru ya da ıslak olması gibi faktörlere bağlı olarak değişik değerlerde olabilir. Beton yolların sürekli olmaması, plaklar halinde olması nedeni ile plaklar arası derzler dolayısı ile belli periyotlarda sesler meydana gelecektir. Kaplama yüzeyinde emniyetli sürüşe katkı sağlayan makro pürüzlülüğün artması gürültünün de artmasına neden olur. Gürültü açısından kaplama türleri kıyaslandığında, sathi kaplamada en fazla gürültü meydana gelir, bunu beton yollar ve asfalt betonu kaplama takip eder (Şekil 8.1.).



Şekil 8.1. Makro Pürüzlülük ve Gürültü İlişkisi (Yeğinobalı, 2009)

Nova Scotia'da yapılan beş yıllık araştırma sonuçlarına göre beton kaplamadan çıkan gürültünün, asfalt betonu kaplamadan yaklaşık olarak 2-4 desibel daha fazla olduğu saptanmıştır. Buna ilave olarak 5 desibelden az farklılıkların önem taşımadığı bildirilmiştir (Nova Scotia Transportation and Public Works, 1999).

- **Taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması en az seviyede olmalı:** Taşıtların harekete geçmesi ile ortaya çıkan harcamalar yakıt, yağ, lastik bakım-onarım ve kullanma eskimesi gibi harcamalardır. Bu harcamalar ile yolun fiziki ve geometrik özellikleri arasında çok önemli bir yakınlık vardır. Bir karayolunun beklentileri karşılayacak şekilde tasarlanmasının amaçlanması durumunda yolu kullanacak olan taşıtların seyir ve işletme maliyetlerini de göz önünde bulundurmamak kaçınılmazdır ve bu maliyetlerin olabildiğince düşük olması istenir. Seyir ile bağlantılı işletme maliyetlerinde en önemli etkenlerden biri de kaplama türüdür.

Ağır taşıtlar esnek kaplamalarda rijit kaplamalara göre daha fazla deformasyona neden olurlar. Kaplamadaki bu deformasyon, taşıt enerjisinin bir kısmını emer. Böylece esnek kaplamalarda sürüş için daha fazla enerjiye gerek duyulduğu ortaya çıkar ki bu da daha fazla yakıt tüketimine neden olur. Beton kaplamalarda asfalt kaplamalara göre yaklaşık %20 yakıt tasarrufuna ulaşıldığı gözlenmiştir (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2003).

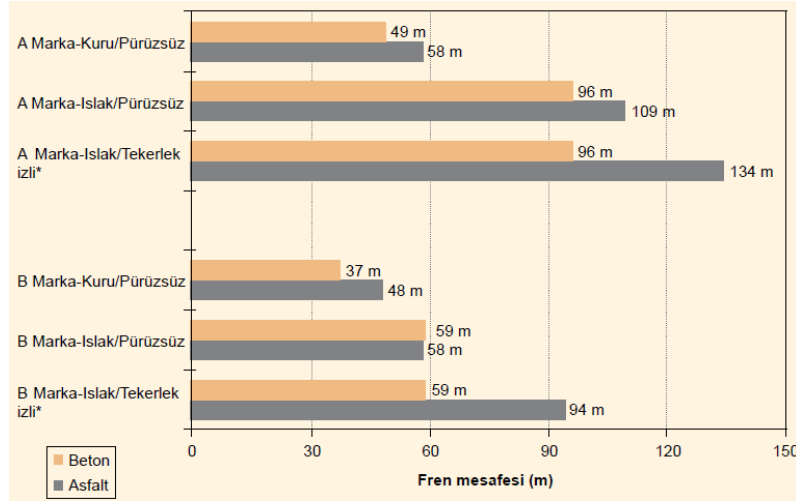
Tekerlek lastiğinin aşınması üzerinde yapılan detaylı araştırmalar sonucunda, tekerlek lastiğinde oluşan aşınmanın, daha pürüzlü yol yüzeyinde, pürüzlülüğü az olan yol yüzeyine göre üç kat fazla olduğu gözlenmiştir. Bu gözlemler sonucunda yol yüzeyi mikro dokusunun tekerlek lastiğinin aşınmasında belirleyici bir etken olduğu saptanmıştır (Ergün ve Öztaş, 2011).

Çizelge 8.2. Lastik Yıpranmasının Hız ve Kaplama Cinsi ile Değişimi* (Yayla, 2006)

Hız (km/sa)	Asfalt Kaplama		Stabilize Kaplama	
	Otomobil	Kamyon	Otomobil	Kamyon
24	1,6	2,1	-	-
40	2,9	3,7	-	13,8
56	4,3	5,6	13,2	15,7
80	7,0	9,2	15,9	-
105	11,1	14,5	-	-

*Her 1000 km için yıpranma yüzdesi

- **Fren mesafesi kısa olmalı:** Illinois Üniversitesinde yapılan araştırmada farklı iki model otomobilin saatte 100 km hızla giderken asfalt ve beton yollardaki fren mesafeleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda Şekil 8.2.'de görüldüğü üzere beton kaplamalardaki durma mesafelerinin, asfalt kaplamalardakine göre daha kısa olduğu belirlenmiştir (Cement Association of Canada, 2002). Bunun nedeni beton kaplamaların sürtünme katsayılarının daha yüksek değerlere sahip olmasıdır. Farklı kaplama türleri için sürtünme katsayıları Çizelge 8.4.'te verilmiştir. Bu tabloda da beton kaplamaların en yüksek sürtünme katsayısı değerine sahip olduğu görülmektedir.

**Şekil 8.2.** Kaplamalarda Fren Mesafeleri (Yeğınobalı, 2009)

- **Olumsuz hava koşullarında da güvenli sürüş sağlamalı:** Olumsuz hava koşullarında sürüş konforuna ve emniyetine zarar verecek birçok durum söz konusudur. Bunlardan yağmurlu ve kar yağışlı havalarda sürtünme katsayısında meydana gelen azalma, deformasyonlar nedeniyle yol yüzeyindeki düzgünlüğün bozulması oluşan çukurlar ve oyukların su ile dolması, soğuk havalarda suyun donması ve kaygan yüzeylerin oluşması gibi durumlar akla ilk gelenleridir. Yüzeyde oluşan tümsekler ve çukurlar

yağışlı havalarda fazladan su tutar. Bu da su kızıağı tehlikesi için büyük bir potansiyel oluşturur. Suyun donması ile meydana gelen hacim genişlemesi kaplamaya zarar verir.

- **Gece görüşü kolay olmalı:** Gece görüşünün kolay olması kaplama rengi ile bağlantılıdır. Kaplama rengi ne kadar açık olur ise karanlıkta o kadar kolay görülebilir. Özellikle şehirlerarası yollarda bu durum tehlike yaratabilir.
- **Gündüz görüşü kolay olmalı:** Gündüz görüşünün kolay olması da gece olduğu gibi kaplama rengine bağlıdır. Bu iki durum birbiri ile ters ilişkilidir. Gündüz görüşünün daha sağlıklı olabilmesi için kaplama renginin açık değil aksine koyu olması gerekir ki güneş ışınları yansıtmassın. Kaplama renginin açık olması halinde ışık yansıması sonucu sürücünün görüşünde azalma ve göz kamaşması meydana gelir.
- **Kısa süre içerisinde kullanıma hazır duruma gelmeli:** Rijit üstyapılı kaplamalar, asfalt betonu kaplamalara göre daha geç trafiğe açılırlar. Asfalt kaplamalar birkaç saat içinde trafiğe açılabilirken, beton kaplamaların prizini alması beklenmelidir, bu da trafiğe açılma süresini arttırmaktadır.
- **Kolay inşa edilebilir olmalı:** Esnek üstyapıların imalatında genel olarak rijit üstyapılara göre daha fazla enerji harcanmasını gerektirse de esnek kaplama imalatı nispeten beton kaplamaların imalatına göre daha kolaydır. Harcanan enerji, malzemenin elde edilmesi, taşınması, karışımın hazırlanması ve yola serilmesi için tüketilen enerji miktarlarından oluşmaktadır.
- **Hızlı inşa edilebilir olmalı:** Yapım hızı göz önünde bulundurulduğunda esnek kaplamalar daha üstündür. Hızlı inşa edilebilir olmayı inşanın zorluk derecesi ve özenli bir çalışma gerektirip gerektirmeyeceği de etkilemektedir. Rijit üstyapılar, esnek üstyapılara göre daha özenli bir çalışma gerektirmektedir.
- **Düşük yapım maliyetine sahip olmalı:** Rijit ve esnek üstyapı yapım maliyetlerinin kıyaslanması hizmet sürelerine, zemin ve trafik özelliklerine, ülke koşullarına göre değişebilmektedir. Ayrıca yapım maliyeti hesaplanmasında, kullanılacak malzemelerin cins, miktar ve kaynaktaki maliyetlerinin belirlenmesi, malzemelerin taşıma maliyetleri, işçilik giderleri, iş makineleri ile ilgili masraflar ve sabit masraflar göz önünde bulundurulmalıdır (Ecevit, 2007). Genel olarak bakıldığında ise, beton yolların ilk yapım maliyetlerinin asfalt yollardan biraz daha fazla olduğu görülmektedir.
- **Servis ömrü uzun ve trafik yüklerine karşı dayanımlı olmalı:** Kaplamaların servis ömürlerine bakıldığında ABD' de yapılan bir araştırmada, beton yolların servis ömürleri

en az 20-25 yıl civarında olurken kaliteli asfalt yollarda 6-14 yıl olmaktadır (Yeğınobalı ve Başkoca, 2005).

Trafik yüklerine karşı dayanımlı olma incelendiğinde, beton yollar üzerine gelen yükleri asfalta göre daha geniş alana yayarak, taban zeminine iletir. Beton yolların taşıma gücü taban zeminine bağlı değildir. Bu nedenle, beton yol zayıf taban zeminleri üstünde asfalt yollara göre daha iyi sonuçlar vermekte, dayanım açısından her türlü etkiye karşı koyacak durumda hazırlanabilmektedir. Asfalt kaplamalar ise, üzerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletirler. Sırası ile kaplamadan temele, temelden alt temele ve son olarak alt temelden taban zeminine iletilen yükler, her bir tabaka geçişinde gittikçe yayılmakta ve daha geniş alana dağılmaktadır. Dolayısıyla taban zemini zayıf ise ve çeşitli gerilmeler altında deformasyona uğruyorsa, asfalt kaplama da deforme olan bu durumu izlemekte ve yolun üstünde şekil değişiklikleri, ondülasyonlar meydana gelmektedir. Bu yüzden, ağır trafik altındaki yollarda, beton yol uygulaması, dayanıklılık nedeni ile çok daha uygun olmaktadır.

- **Farklı hava koşullarına karşı dayanımlı olmalı:** Beton kaplamalı yollar, su geçirmez olduklarından, yağmur tarafından hasara uğratılmamakta ve ısı etkisiyle yumuşamamakta ve bozulmamaktadır. Geçirimsizlikleri sayesinde su tabakaya nüfuz edemez ve soğuk havalarda meydana gelen hacim değişimlerinden kaplamanın da zarar görmesi engellenmiş olur.
- **Kimyasal etkilere karşı dayanımlı olmalı:** Kimyasal etkilere dayanım kaplamaların bağlayıcı malzemesinin yapı ile ilişkilidir. Beton kaplamalı yolun bağlayıcı maddesi olan çimento, bitümlü bağlayıcının tersine herhangi bir uçucu madde içermemekte ve bu sayede beton kaplamalı yol için gevrekleşme ve yaşlanma söz konusu olmamaktadır.

Beton kaplamalar taşıtlardan yol yüzeyine akan yakıt, yağ gibi kimyasal maddelerin sızması nedeniyle bağlayıcılarını kaybetmemekte ve herhangi bir değişime uğramamaktadır. Beton kaplama, bu özellikleri nedeniyle, çoğu olumsuz koşul altında hasar görmemektedir. Aynı şeyi asfalt kaplamalar için söylemek mümkün değildir. Asfalt kaplamaların bağlayıcı maddesi bitüm kimyasal etkiler altında zarar görür ve bu da agrega ile arasındaki bağın zayıflamasına sebep olmaktadır.

- **Düşük bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetine sahip olmalı:** Bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetleri kıyaslandığında itinalı bir şekilde inşa edilmiş beton bir kaplamanın masrafları asfalt kaplamalara göre daha düşüktür. İmalatı iyi yapılmış bir beton kaplama çok uzun bir süre bakım-onarım gerektirmeden kullanılabilirken, asfalt kaplamalarda bu mümkün değildir ve sık bakım-onarım nedeniyle bu maliyetleri daha

fazla olmaktadır. Esnek üstyapılarda yapımlarından yaklaşık 3-5 yıl sonra bakım-onarım çalışmalarına gerek duyulmakta, 10 yıl sonrasında da kaplama yüzeyi yenilenmektedir. Sıklıkla yapılan bakım-onarım maliyetleri çoğu zaman ilk yapım maliyetini dahi geçebilmektedir.

- **Uzun süreli inşaat mevsimine sahip olmalı:** Asfalt uygulamaların düşük sıcaklık ve yağışlı havalarda yapılamaması nedeni ile yapım ve onarım mevsimi daha kısadır. Beton yol uygulamalarında ise bu durumun tersine ıslak taban zeminleri de dahil olmak üzere, hemen her mevsim koşullarında yapılır. Yine asfalt kaplamaların belirli bir sıcaklıkta dökülmesi ve silindire sıkıştırılması gerekirken, beton kaplamalar ise vibratörlerle sıkıştırılabilir ve ısı kaybı gibi bir sorun söz konusu olmamaktadır. Ülkemizdeki birçok bölgede beton kaplamalar için inşaat mevsimi daha uygundur, asfalt kaplamaların aksine ıslak taban zeminlerine uygulanabilir.
- **Bakım-onarım çalışmaları kolay yapılabilir olmalı:** Özellikle bakım-onarım trafik altında yapılabildiğinden dolayı servis yoluna ihtiyaç gerekmemektedir. Bu özellik de bakım-onarım çalışmalarının yapılabilirliğini kolaylaştırır. Beton kaplamalar da ise bu mümkün değildir, servis yoluna gereksinim duyulur. Süre olarak ele alındığında asfalt kaplamalar daha sık bakım gerektirirken, beton kaplamalar sık bakıma ihtiyaç duymazlar. Esnek üstyapılarda oluşan bozulmalara lokal müdahaleler yapılabilirken, rijit üstyapılarda bu mümkün değildir ve plağın sökülüp, tekrar yapılması gerekmektedir.

8.2.2. Teknik Gereksinimler

Belirlenen müşteri isteklerinden sonra bu istekleri karşılayacak olan, nasıl sorusuna verdiğimiz cevaplar teknik gereksinimleri ortaya çıkarmaktadır. Bunlar ise sırası ile aşağıdaki gibi belirlenmiştir;

- Kaplama sürekliliği
- Kaliteli işçilik
- Yuvarlanma direnci
- Sürtünme katsayısı
- Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması
- Kaplama rengi
- Trafiğe açılma süresi
- Yapım tekniği kolaylığı
- En az ekipman gereksinimi
- Özelliksiz ekipman gereksinimi
- Düşük maliyetli imalat tesisleri

- Yerli malzeme kullanılabilirliği
- Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı
- Malzemenin yük altındaki davranışı
- Yorulma mukavemeti
- Agregabağlayıcı bağının sıcaklığa, soğuklığa ve neme direnci
- Agregabağlayıcı bağının kimyasal maddelere direnci
- Periyodik bakım ihtiyacının az olması
- Farklı mevsim koşullarına karşı direnç
- Bakım-onarım süresi

8.2.2.1. Teknik Gereksinimler Bölümünün Bileşenleri:

- **Kaplama Sürekliliği:** Kaplama sürekliliği de sürüş konforunu etkileyen bir faktördür. Kaplama türü olarak ele alındığında bitümlü karışimli imalatlarda ön plana çıkmamaktadır. Bitümlü malzeme yapısı dolayısı ile serim işlemi sonrasında yapılan sıkıştırma ile ek yerleri hissedilmeyecek düzeyde olur. Buna karşın rijit kaplamalarda yekpare beton dökümü yapılmadığından ve beton plaklar arası derz oluşturulduğundan kaplama sürekliliği elde edilemediğinden sürüş konforuna olumsuz yönde etki eder.
- **Kaliteli İşçilik:** Kaplama imalatı esnasında kaliteli işçilik, kaplama türü ne olursa olsun çok önemlidir. Çünkü kötü işçilikten kaynaklanan yüzey bozuklukları, segregasyon gibi durumlar direk olarak sürüş konforunu ve emniyetini etkilemektedir. Aynı zamanda bu deformasyonlar yuvarlanma direncinin de artmasına sebep olarak taşıt işletme giderlerini de olumsuz olarak etkiler. Bunun yanında rijit üstyapı uygulamalarında, esnek üstyapı uygulamalarına göre daha fazla sayıda kalifiye eleman ihtiyacı duyulur.
- **Yuvarlanma Direnci:** Yuvarlanma direnci, taşıt lastiklerinin kaplama ile temas ettiği yerlerde oluşan şekil değiştirmeler ile kaplamadaki küçük boyuttaki çukurlar, kum-çakıl parçaları, kasisler ve gevşek bir yüzey üzerinden geçmesi esnasında taşıt aktarma organlarına ait dişlilerde oluşan sürtünme sonucu meydana gelmektedir. Yuvarlanma direncinin değeri yol yüzeyinin durumu, lastiklerin durumu ve taşıtların hızlarına bağlı olarak değişmektedir. Farklı kaplama türlerine göre yuvarlanma direnci katsayıları Çizelge 8.3.'te verilmiştir.

Çizelge 8.3. Çeşitli Kaplama Tiplerine Göre Yuvarlanma Direnci Katsayısı (Yayla, 2006)

Kaplama Türü	μ_0 Katsayısı (kg/kg)
Beton yollar ve ince dokulu asfalt kaplama	0,010-0,020
Asfalt makadam kaplama	0,020-0,025
Kırmataş ve çakıl kaplamalar	0,030-0,040
Parke kaplamalar	0,040-0,050
Kuru ve sıkı toprak yollar	0,030-0,060
Gevşek toprak, kumlu, çamurlu yüzeyler	0,015-0,060

- **Sürtünme Katsayısı:** Taşıt tekerlekleri ile yol yüzeyi arasındaki sürtünme katsayısı değeri, kaplama türü, dokusu, durumu (kuru veya ıslak olma), taşıt lastik tipi, taşıt hızı ve başka etkenlere göre değişkenlik gösterir. Kaplamaların kuru yüzeyli ve pürüzlülüğünün fazla olması ile sürtünme katsayısı da büyür. (Çizelge 8.4.)

Çizelge 8.4. Yol Kaplamalarına Ait Sürtünme Katsayısı Değerleri (Yayla, 2006)

Kaplama Türü	Yol Yüzeyinin Durumu	Sürtünme Katsayısı
Asfalt	Kuru	0,60
	Islak, temiz	0,35
	Islak, hafif çamurlu	0,25
Beton	Kuru	0,75
	Islak, temiz	0,55
	Islak, hafif çamurlu	0,40
Parke	Kuru	0,60
	Islak, temiz	0,40
	Islak, hafif çamurlu	0,30
Bazalt ufak parke	Kuru	0,45
	Islak, temiz	0,25
	Islak, hafif çamurlu	0,15
Granit ufak parke	Kuru	0,50
	Islak, temiz	0,35
	Islak, hafif çamurlu	0,25
Katranlı makadam	Kuru	0,50
	Islak, temiz	0,35
	Islak, hafif çamurlu	0,25

Çizelge 8.4. Yol Kaplamalarına Ait Sürtünme Katsayısı Değerleri (Yayla, 2006) (Devam)

Kaplama Türü	Yol Yüzeyinin Durumu	Sürtünme Katsayısı
Silindirlenmiş balast	Kuru	0,70
	Islak, temiz	0,50
	Islak, hafif çamurlu	0,40
Tahta parke	Kuru	0,55
	Islak, temiz	0,40
	Islak, hafif çamurlu	0,30
Kar	Kuru, zincirli	0,55
	Kuru, zincirsiz	0,45
	Yaş, zincirli	0,20
	Yaş, zincirsiz	0,10
Buz	Kuru, zincirli	0,35
	Kuru, zincirsiz	0,15
	Yaş, zincirli	0,15
	Yaş, zincirsiz	0,05

- **Sürtünme Katsayısı Kaybı:** Olumsuz hava koşullarında sürtünme katsayısında, kaplama yüzeyinin kuru olması durumundaki sürtünme katsayısına göre azalma meydana gelir. Gerçekleşen bu azalma sürüş emniyetinin düşmesine neden olur. Çizelge 8.5.'te kaplama yüzeyinin farklı durumlarına göre sürtünme katsayısındaki değişiklikler, yağış nedeniyle meydana gelen azalma görülmektedir. Kaplama türleri kıyaslandığında beton kaplamalarda ıslak oldukları zaman sürtünme katsayısında görülen azalma, diğer plastik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha düşüktür.
- **Kaplama Rengi:** Müşteri istekleri bileşenlerinde de belirtildiği gibi kaplama rengi gece ve gündüz görüşüne farklı şekilde etki eder. Beton kaplamaların açık renkli olması sürücülerin gece görüşünü artırır. Koyu renkli olan asfalt betonu kaplama ise gece görüşünü zorlaştırır. Gündüz görüşünde ise durum tam tersidir; açık renge sahip olma özelliğinden dolayı beton kaplama çok fazla ışık yansıttığı için bu durum taşıt kullanıcılarını rahatsız eder, koyu renge sahip asfalt betonunda ise bu durum söz konusu değildir. Beton kaplamalar ıslak oldukları durumlarda da tehlikeli far ışığı yansımalarına neden olmazlar. Şekil 8.3.'te kaplama türlerine göre gece görüşleri görülmektedir.



Beton



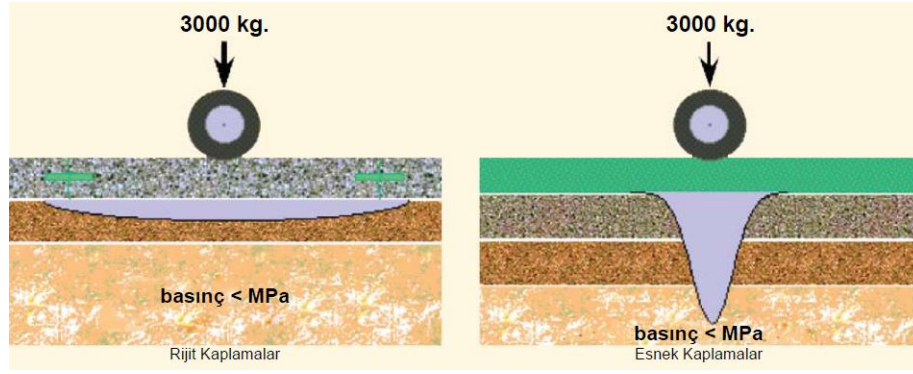
Asfalt

Şekil 8.3. Beton ve Asfalt Kaplama Türünde Gece Görüşü (Yeğınobalı, 2009)

- **Trafiğe Açılma Süresi:** Trafiğe açılma açısından en avantajlı kaplama türü asfalt kaplamalardır. Beton yolların trafiğe açılmaları için prizini tamamlamaları gerekmektedir. Bu nedenle trafiğe açılma süresi asfalt kaplamalara göre daha uzundur.
- **Yapım Tekniği Kolaylığı:** Esnek kaplamalar ile rijit kaplamalar yapım tekniği kolaylığı olarak kıyaslandığında esnek kaplamaların daha kolay yapılabildikleri görülmektedir. Rijit kaplamalar için daha titiz bir çalışma gerekmektedir.
- **Minimum Ekipman Gereksinimi:** Esnek ya da rijit, her iki imalat türünde de olabildiğince az ekipman ile işin yapılması istenir. Bu durum imalat kolaylığını ve hızını da etkiler. Rijit üstyapılarda beton dökümü dolayısı ile ilaveten kalıp kullanımı ihtiyacı ortaya çıkar.
- **Özelliksiz Ekipman Gereksinimi:** Özelliksiz ekipman gereksinimi sayesinde kullanılacak ekipmanın elde edilebilirliği daha kolaylaşır, ekipman maliyeti de daha düşük olur.
- **Düşük Maliyetli İmalat Tesisleri:** Üstyapı malzemelerinin üretildiği tesislere plent adı verilmektedir. Kıyaslama yapıldığında ise rijit kaplama plentleri (beton karışım tesisleri) esnek kaplama plentlerine (asfalt karışım tesisi) göre daha ucuz ve basittir ayrıca daha yüksek kapasitelere sahiptirler.
- **Yerli Malzeme Kullanılabilirliği:** Rijit üstyapılarda kullanılan çimento, ülkemizde elde edilmesi bol miktarda olan kireç gibi bir yerli malzemeden üretilmektedir. Fakat esnek kaplamalarda kullanılan bitüm petrol ürünü olması nedeni ile ithal edilerek ülke dışından temin edilmektedir. Bu nedenle yerli malzeme kullanılabilirliğinde rijit üstyapı malzemeleri öne çıkmaktadır.
- **Kolay Temin Edilebilir Malzeme Kullanımı:** İki üstyapı türünde de ortak olarak kullanılan agrega malzemesi elde edilme açısından bir farklılık göstermese de bağlayıcı malzemelerin farklı olması karşılaştırılabilir. Çimentonun ülkemizde kolaylıkla üretilmesi

nedeni ile bitüme göre daha kolay temin edilebilir ve ulaşılabilir bir malzemedir. Yine bitümün ithal olmasından dolayı maliyeti de daha fazladır.

- **Malzemenin Yük Altındaki Davranışı:** Esnek kaplamaların yapısında bulunan asfalt bağlayıcının termoplastik ve viskoelastik bir yapıya sahip olmasından dolayı özellikle ağır trafik yüküne sahip yollarda kalıcı deformasyonlar oluşmaktadır. Rijit kaplamalarda ise rijit davranış nedeni ile yol yüzeyinde bozulmaların meydana gelmesi daha zor olmaktadır. Ayrıca yüksek basınç mukavemetine sahip olmasından dolayı durabilitesi, yoğunluğu, don ve aşınma direnci, çekme ve yorulma mukavemeti daha yüksektir.



Şekil 8.4. Kaplama Türlerinde Yük Dağılımı (Smith et al, 2001)

Esnek üstyapılar kaplama tabakasına gelen yükü sırayla temel ve alt temel tabakalarına yayarak taban zeminine iletir. Rijit üstyapılarda, beton plağın yüksek elastisite modülü ve rijitliği sayesinde yük büyük ölçüde karşılanır ve taban zeminine çok küçük değerde gerilme ulaşır (Şekil 8.4.).

- **Yorulma Mukavemeti:** Yorulma mukavemeti değerleri incelendiğinde esnek kaplamaların yorulma mukavemetlerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bu önemli bir dezavantajdır. Zaman içinde trafik yükleri altında daha çabuk ve şiddet derecesi yüksek bozulmaların meydana gelmesine sebebiyet verir. Ayrıca tüm malzemelerde olduğu gibi asfalt ve beton için de sıcaklık ve nem farklılıkları, donma-çözünme, aşırı ve yinelenen yükler, zararlı kimyasallar gibi etkenler yorulma mukavemetine etki etmektedir.
- **Malzemenin Yaşlanması:** Malzemenin yaşlanması durumu rijit üstyapılarda görülmeyp, esnek üstyapılarda meydana gelmektedir. Bunun nedeni, esnek üstyapılardaki karışımlarda kullanılan bağlayıcı madde olan bitümün içindeki uçucu bileşenlerin zamanla karışımdan uzaklaşması ile eskime ve gevrekleşme oluşumudur. Yaşlanma sonucunda bağlayıcı sertleşerek, uzaması ve agrega ile adezyonu azalmaktadır. Bu değişimden kaplama da olumsuz bir şekilde etkilenir ve güvenli sürüşü

açısından tehlike arz eder. Rijit üstyapılarda bağlayıcı maddenin çimento olması ve herhangi bir uçucu madde içermemesi bu oluşumu önlemektedir.

- **Agrega-Bağlayıcı Bağının Sıcağa, Soğuğa ve Neme Direnci:** Sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnç farklı iklim koşullarında yolların dayanımlı olması ve bozulmaların meydana gelmemesi için önemli bir parametredir. Bunu sağlamak için geçirimsizlik başta gelir ayrıca kaplamanın don ve aşınmaya karşı direnci de yüksek olmalıdır.
- **Agrega-Bağlayıcı Bağının Kimyasal Etkilere Direnci:** Çoğu özellikte olduğu gibi kimyasal etkilere direnç de kaplama türünün yapısında bulunan bağlayıcı malzemesi ile ilgilidir. Asfaltın yapısında bulunan bitümün çimento bağlayıcıya göre kimyasal etkilere direnci daha düşüktür. Rijit üstyapılarda, beton kaplama üzerine kimyasal madde dökülse de üstyapının özelliklerinde değişme meydana gelmemektedir.
- **Periyodik Bakım İhtiyacı Azlığı:** Periyodik bakım ihtiyaçları karşılaştırıldığında esnek kaplamalar rijit kaplamalardan daha fazla periyodik bakım gereksinimi duyarlar. Bu aynı zamanda doğru orantılı olarak bakım masraflarının da fazla olmasına yol açar.
- **Farklı Mevsim Koşullarına Karşı Direnç:** Betonun dayanıklılığının en fazla önem kazandığı mevsim ilkbahardır. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) tarafından Kanada'da yapılan bir araştırma sonuçlarına göre, asfalt kaplamaların %61'i bahar koşullarında bozulurken, beton kaplamaların aynı koşullardaki bozulma oranı sadece %5,5 olmaktadır (İyınam ve Ağar).
- **Trafik Altında Yapılabilme:** Rijit üstyapılı kaplamaların trafik altında yapılabilmesi mümkün değildir buna karşılık esnek üstyapılı kaplamalar trafik altında yapılabilmek için çok elverişlidir.
- **Servis Yolu Gerektirme:** Bakım-onarım çalışmaları sırasında esnek üstyapılı kaplamalarda servis yolu gereksinimi doğmaz iken, rijit üstyapılı kaplamalarda servis yolu gerekliliği kaçınılmazdır. Bu durum da bakım-onarım çalışmalarında zorluk meydana getirir.
- **Bakım-Onarım Süresi:** Rijit üstyapılı kaplamaların bakım ve onarımları için uzun süreye ihtiyaç duyulmaktadır. Buna karşı olarak esnek üstyapı kaplamalarının bakım-onarım süresi rijit üstyapılı kaplamalara kıyasla daha kısadır.

8.2.3. Müşteri İsteklerinin Önemi

Belirlenen müşteri isteklerinin değerlendirilmesi için bu bölümde akademisyenler, ulaştırma konusuyla ilgili özel ve kamu görevi yapan kişiler, karayolu işletmesinde görev alan yetkili kişiler ve inşaat mühendislerinin görüşlerine başvurulmuş ve bu kişilerin aynı zamanda birer karayolu kullanıcı olduğu göz önünde bulundurulmuştur. Belirlenen hedef kitlenin görüşlerini almak için bir anket hazırlanmıştır (EK A.1.). Bu anket ile birlikte hedef kitlenin görüşleri alınmıştır. Anket katılımcı sayıları Çizelge 8.5.'te verildiği gibidir.

Çizelge 8.5. Anket Katılımcı Sayıları

Karayolu Ulaştırması Konusunda Çalışanlar			Akademisyen&İnşaat Mühendisleri	Toplam
KGM	Belediye	Özel Sektör		
5	4	3	18	30

Bu bölümdeki değerler, değerlendirmeyi yapan paydaşların, hazırlanan anket sorularında müşteri isteklerini belirlenen puan değerlerine göre değerlendirmesi sonucu elde edilmiştir. Buradaki değerlendirme puanları, düşük, çok düşük, orta, yüksek ve çok yüksek önem derecelerine karşılık gelecek şekilde 1-2-3-4-5 olarak belirlenmiştir.

Önem dereceleri toplam değer katılımcı sayısına bölünmesi ile elde edilmiştir. Bu değerlerin arasındaki farkların daha iyi görülebilmesi için de değerler 0 ile 1 aralığında normalize edilmiştir. Bu değerlerin oluşturduğu sütun da önem derecelerinin yanına normalize önem dereceleri başlığı altında eklenmiştir (Şekil 8.5. ve 8.6.).

8.2.4. Planlama Matrisi

Planlama matrisi bölümünde belirlenen üç kaplama türü; sathi, asfalt betonu ve beton kaplamaların müşteri istekleri kapsamında değerlendirilmesi yapılmıştır (Çizelge 8.6.). Müşteri isteklerinin önemi bölümünde puan değerleri burada da aynı şekilde kullanılmıştır.

Çizelge 8.6. Üç Kaplama Türünün Müşteri İsteklerine Göre Değerlendirilmesi ve Hedef Kalite

Esnek Üstyapı		Rijit Üstyapı (Beton Kaplama)	Hedef Kalite	İyileştirme Oranı
Sathi Kaplama	Asfalt Betonlu Kaplama			
2	5	4	5	1,36
2	4	5	5	1,36
4	4	5	5	1,15
2	4	5	5	1,36
3	2	5	5	1,5
4	5	3	5	1,25
5	4	3	5	1,25
5	4	3	5	1,25
5	4	3	5	1,25
5	4	3	5	1,25
2	4	5	5	1,36
2	3	5	5	1,5
1	3	5	5	1,67
2	3	5	5	1,5
3	3	5	5	1,36
5	4	3	5	1,25

Burada elde edilen iyileştirme oranı, hedef kalitenin belirlenen üç kaplama türünün ortalama puan değerine bölünmesi ile (7.1.) ve (7.6.) formüllerine göre elde edilmiştir.

8.2.5. İlişki Matrisi

Kalite evinin ilişki matrisi bölümünde ne sorularının karşılığı müşteri istekleri ile nasıl sorularının karşılığı olan teknik gereksinimler arasındaki ilişki düzeyleri belirlenmiştir. Bu ilişki düzeylerini belirlerken yine bir puanlama değerlerinden faydalanılır. Burada kullanılan puan değerleri Çizelge 8.7.'de görülmektedir.

Çizelge 8.7. İlişki Derecesine Karşılık Gelen Puan Değerleri

İlişki/Korelasyon Derecesi	Puan Değeri
Güçlü ilişki	9
Orta ilişki	3
Zayıf ilişki	1
İlişki yok	Boş

Bu puan değerlerinin dayandırıldığı kesin bir yargı bulunmamakla birlikte literatür araştırmaları sonucunda bulunan makaleler dikkate alınarak en yaygın kullanılan değerlendirme tercih edilmiştir. Buna ilave olarak arada bir farkın olup olmadığını görmek amacı ile ilişki derecelerine karşılık gelen farklı puan değerleri belirlenmiştir. Buna göre ilişki düzeyleri yüz üzerinden değerlendirilmiştir. Buna göre yeni ilişki değerleri Çizelge 8.8.'de verildiği gibidir.

Çizelge 8.8. İlişki Derecesine Karşılık Gelen Yeni Puan Değerleri

İlişki/Korelasyon Derecesi	Puan Değeri
Güçlü ilişki	90
Orta ilişki	50
Zayıf ilişki	20
İlişki yok	Boş

Her bir müşteri isteğinin ilişkilendirildiği teknik gereksinimler ise Çizelge 8.9.'da verilmiştir.

Çizelge 8.9. Müşteri İstekleri ile İlişkilendirilen Teknik Gereksinimler

Müşteri İstekleri	İlişkilendirilen Teknik Gereksinimler
Kaplama düzgün bir yüzeye sahip olmalı, tekerlek gürültüsü ve titreşim en az düzeyde olmalı	Kaplama sürekliliği, Kaliteli işçilik, Yuvarlanma direnci, Sürtünme katsayısı, Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması, Yorulma mukavemeti, Malzemenin yaşlanması, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, Bakım-onarım süresi
Taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması en az seviyede olmalı	Kaplama sürekliliği, Kaliteli işçilik, Yuvarlanma direnci, Sürtünme katsayısı, Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması, malzemenin yük altındaki davranışı, Malzemenin yaşlanması, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, bakım-onarım süresi
Fren mesafesi kısa olmalı	Kaliteli işçilik, Yuvarlanma direnci, Sürtünme katsayısı, Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcaklığa, soğuklığa ve neme karşı direnci
Olumsuz hava koşullarında da güvenli sürüş sağlamalı	Kaliteli işçilik, Yuvarlanma direnci, Sürtünme katsayısı, Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcaklığa, soğuklığa ve neme karşı direnci, Farklı mevsim koşullarına karşı direnç
Gece görüşü kolay olmalı	Kaplama rengi, Malzemenin yaşlanması
Gündüz görüşü kolay olmalı	Kaplama rengi, Malzemenin yaşlanması
Kısa süre içerisinde kullanıma hazır duruma gelmeli	Kaliteli işçilik, Trafiğe açılma süresi, Yapım tekniği kolaylığı, Minimum ekipman gereksinimi, Özelliksiz ekipman gereksinimi, Düşük maliyetli imalat tesisleri, Yerli malzeme kullanılabilirliği, Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, Trafik altında yapılabilme, Servis yolu gerektirme, Bakım-onarım süresi

Çizelge 8.9. Müşteri İstekleri ile İlişkilendirilen Teknik Gereksinimler (Devam)

Kolay inşa edilebilir olmalı	Kaliteli işçilik, Trafiğe açılma süresi, Yapım tekniği kolaylığı, Minimum ekipman gereksinimi, Özelliksiz ekipman gereksinimi, Düşük maliyetli imalat tesisleri, Yerli malzeme kullanılabilirliği, Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı, Trafik altında yapılabilme, Servis yolu gerektirme, Bakım-onarım süresi
Hızlı inşa edilebilir olmalı	Kaliteli işçilik, Trafiğe açılma süresi, Yapım tekniği kolaylığı, Minimum ekipman gereksinimi, Özelliksiz ekipman gereksinimi, Yerli malzeme kullanılabilirliği, Trafik altında yapılabilme, Bakım-onarım süresi
Düşük yapım maliyetine sahip olmalı	Minimum ekipman gereksinimi, Özelliksiz ekipman gereksinimi, Düşük maliyetli imalat tesisleri, Yerli malzeme kullanılabilirliği, Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnci
Servis ömrü uzun ve trafik yüklerine karşı dayanımlı olmalı	Yuvarlanma direnci, Malzemenin yük altındaki davranışı, Yorulma mukavemeti, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnci, Agregabağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, Farklı mevsim koşullarına karşı direnç
Düşük bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetine sahip olmalı	Yapım tekniği kolaylığı, Minimum ekipman gereksinimi, Düşük maliyetli imalat tesisleri, Yerli malzeme kullanılabilirliği, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnci, Agregabağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, Farklı mevsim koşullarına karşı direnç, Trafik altında yapılabilme, Servis yolu gerektirme, Bakım-onarım süresi
Farklı hava koşullarına karşı dayanımlı olmalı	Yorulma mukavemeti, Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnci, Farklı mevsim koşullarına karşı direnç, Bakım-onarım süresi
Kimyasal etkilere karşı dayanımlı olmalı	Malzemenin yaşlanması, Agregabağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci
Uzun süreli inşaat mevsimine sahip olmalı	Trafiğe açılma süresi, Yapım tekniği kolaylığı, Agregabağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme karşı direnci, Farklı mevsim koşullarına karşı direnç
Bakım-onarım çalışmaları kolay yapılabilir olmalı	Trafiğe açılma süresi, Yapım tekniği kolaylığı, Minimum ekipman gereksinimi, Özelliksiz ekipman gereksinimi, Düşük maliyetli imalat tesisleri, Malzemenin yaşlanması, Periyodik bakım ihtiyacı azlığı, Trafik altında yapılabilme, Servis yolu gerektirme, Bakım-onarım süresi

8.2.6. Teknik İlişki Matrisi

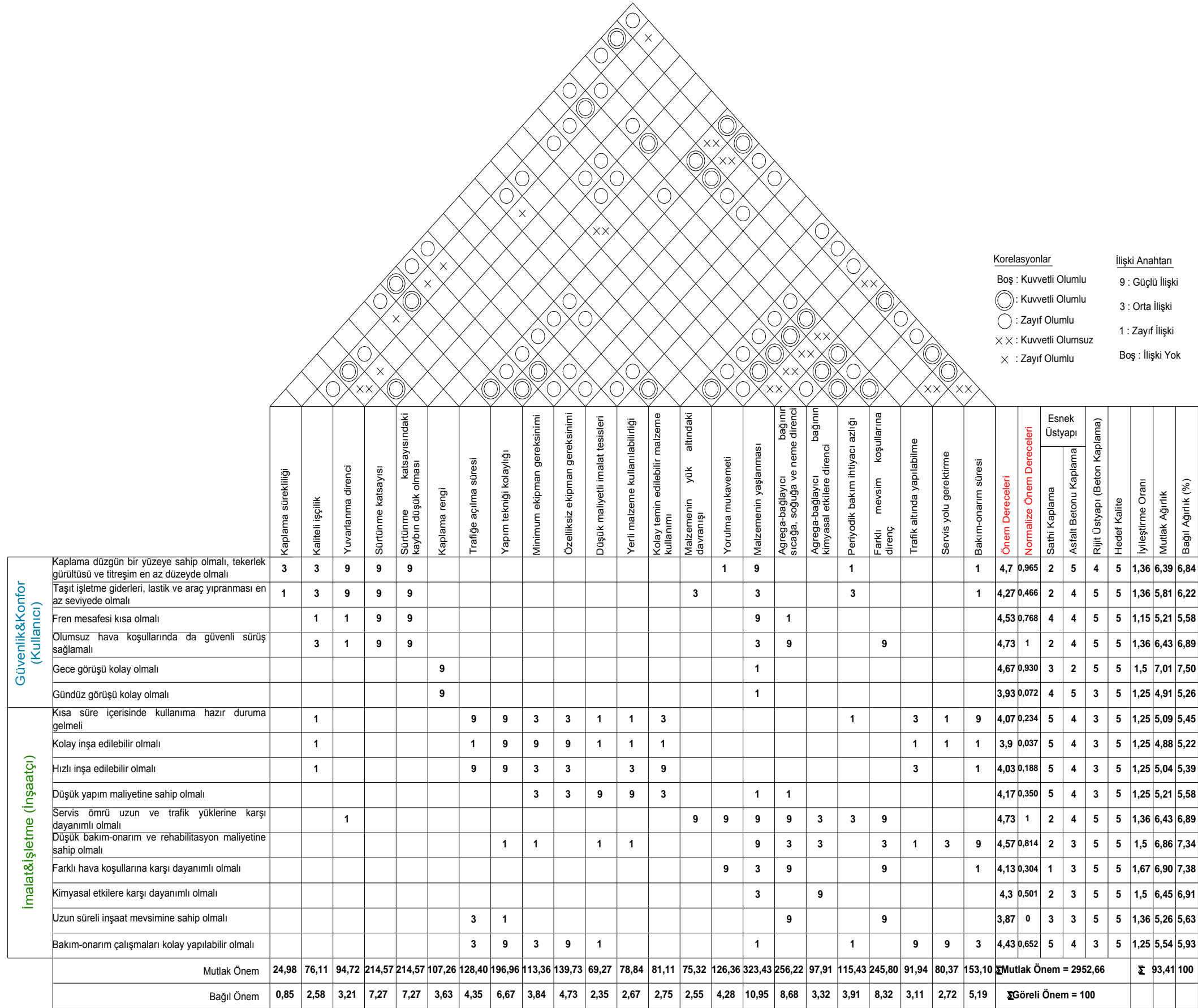
Kalite Evinin çatısını oluşturan teknik ilişki matrisinde amaçlanan şey, teknik gereksinimlerin birbiri ile ilişkilerini ortaya koymaktır. Bu ilişki seviyelerini tanımlamada kullanılan ölçütler Çizelge 8.10.'da gösterildiği gibi belirlenmiştir.

Çizelge 8.10. İlişki Dereceleri

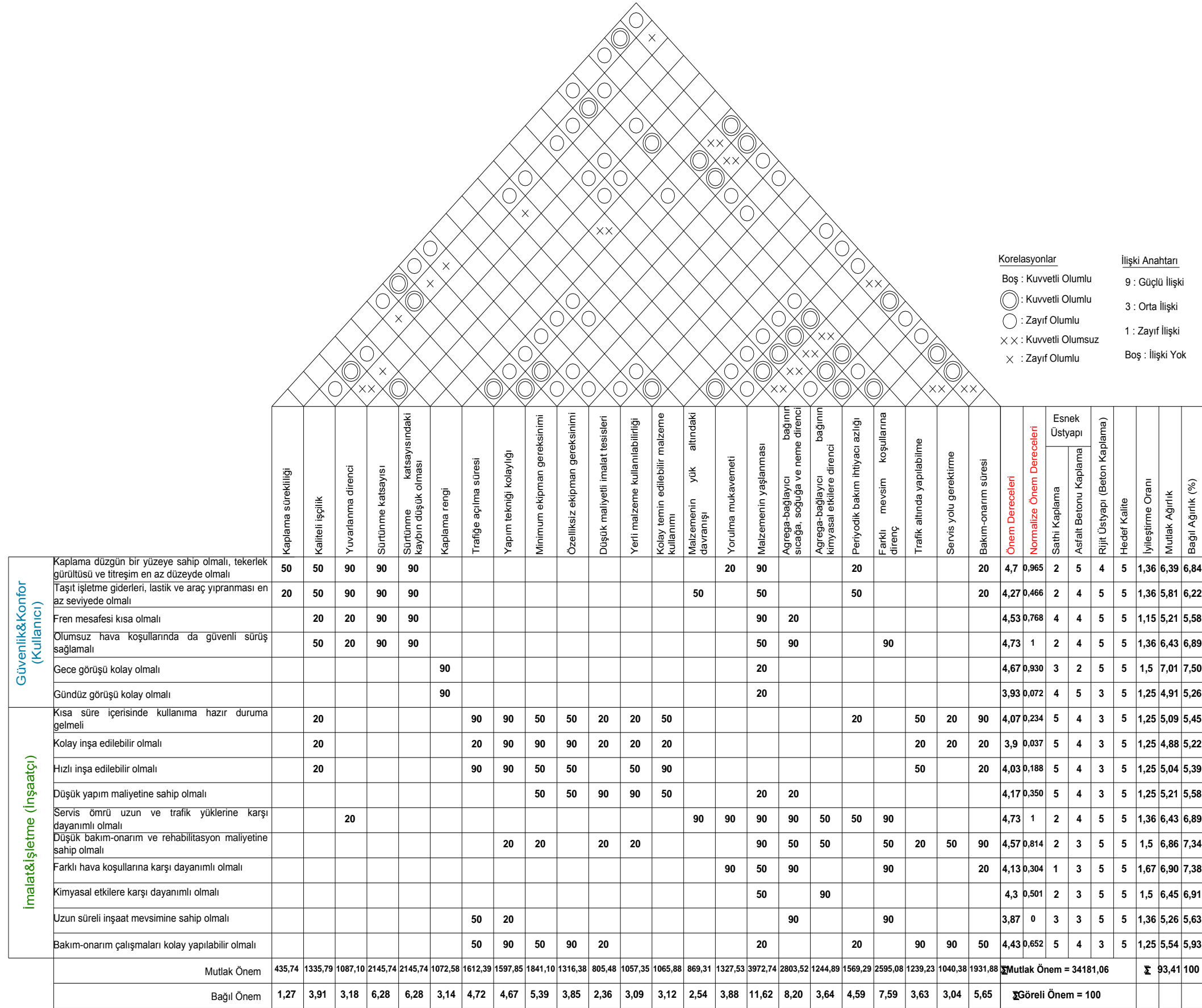
Boş : İlişki yok
⊙ : Kuvvetli Olumlu
○ : Zayıf Olumlu
XX : Kuvvetli Olumsuz
X : Zayıf Olumsuz

8.2.7. Öncelikli Teknik Hedefler

Kalite Evinin en altında bulunan öncelikli teknik hedefler bölümü sonuçların ortaya çıktığı bölümdür. Burada yapılan hesaplamalar sonucunda belirlenmiş olan teknik gereksinimlerin hangilerinin bizim için daha önemli olduğu ve hangi öncelikte bulunduğu görülmektedir. Burada mutlak önem ve göreceli önem elde edilir. Mutlak önem, mutlak ağırlıkların ilişki dereceleri ile çarpılması ve toplanması ile formül (7.4.) ve (7.9.)'a göre elde edilir. Göreceli önem ise; her bir mutlak önemin toplam mutlak önem değerine bölünerek yüzde şeklinde ifade edilmesi ile formül (7.5.) ve (7.10.)'a göre elde edilir. Çıkan sonuçlara göre elimizdeki alternatifler değerlendirilir.



Şekil 8.5. Verilerin ve Sonuç Değerlerinin Elde Edildiği Kalite Evi (9-3-1-Boş)



Şekil 8.6. Verilerin ve Sonuç Değerlerinin Elde Edildiği Kalite Evi (90-50-20-Boş)

9. SONUÇ ve ÖNERİLER

Üstyapı türlerinin değerlendirildiği, parametrelerinin belirlendiği ve Kalite Fonksiyon Yayılımı yöntemi ile sayısal olarak analizinin yapıldığı bu tez çalışmasında şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Yapılan görüşmeler sonucunda müşteri isteklerinin önem dereceleri elde edilmiş, daha sonra bu önem dereceleri hesaplanan iyileştirme oranları ile çarpılarak her bir müşteri isteğinin mutlak ağırlığı belirlenmiştir. Mutlak ve bağıl ağırlık değerlerine göre müşteri istekleri Çizelge 9.1.'de sırası ile verilmiştir. Her iki puan türü için önem dereceleri ve iyileştirme oranları değişmediğinden müşteri istekleri sıralaması değişmemektedir.

Çizelge 9.1. Müşteri İsteklerinin Önem Sıralaması

Müşteri İstekleri	Mutlak Ağırlık	Bağıl Ağırlık (%)
Gece görüşü kolay olmalı	7,01	7,50
Farklı hava koşullarına karşı dayanımlı olmalı	6,90	7,38
Düşük bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetine sahip olmalı	6,86	7,34
Kimyasal etkilere karşı dayanımlı olmalı	6,45	6,91
Olumsuz hava koşullarında da güvenli sürüş sağlamalı	6,43	6,89
Servis ömrü uzun ve trafik yüklerine karşı dayanımlı olmalı	6,43	6,89
Kaplama düzgün bir yüzeye sahip olmalı, tekerlek gürültüsü ve titreşim en az düzeyde olmalı	6,39	6,84
Taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması en az seviyede olmalı	5,81	6,22
Bakım-onarım çalışmaları kolay yapılabilir olmalı	5,54	5,93
Uzun süreli inşaat mevsimine sahip olmalı	5,26	5,63
Fren mesafesi kısa olmalı	5,21	5,58
Düşük yapım maliyetine sahip olmalı	5,21	5,58
Kısa süre içerisinde kullanıma hazır duruma gelmeli	5,09	5,45
Hızlı inşa edilebilir olmalı	5,04	5,39
Gündüz görüşü kolay olmalı	4,91	5,26
Kolay inşa edilebilir olmalı	4,88	5,22
Toplam	93,41	100,00

Müşteri istekleri ve bu istekleri karşılayan teknik gereksinimlerin belirlenmesi ile oluşturulan Kalite Evinde elde edilen sayısal sonuçlar mutlak önem ve görelî önem değerleri ise sırasına göre Çizelge 9.2.'de görülmektedir.

Çizelge 9.2. Teknik Gereksinimlerin Mutlak ve Görelî Öneme Göre Sıralaması
(9-3-1-Boş Puan Değerlerine Göre)

Teknik Gereksinimler	Mutlak Önem	Görelî Önem (%)
Malzemenin yaşlanması	323,43	10,95
Agrega-bağlayıcı bağının sığağa, soğuşa ve neme direnci	256,22	8,68
Farklı mevsim koşullarına karşı direnç	245,80	8,32
Sürtünme katsayısı	214,57	7,27
Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması	214,57	7,27
Yapım tekniğı kolaylığı	196,96	6,67
Bakım-onarım süresi	153,10	5,19
Özelliksiz ekipman gereksinimi	139,73	4,73
Trafığe açılma süresi	128,40	4,35
Yorulma mukavemeti	126,36	4,28
Periyodik bakım ihtiyacı azlığı	115,43	3,91
Minimum ekipman gereksinimi	113,36	3,84
Kaplama rengi	107,26	3,63
Agrega-bağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci	97,91	3,32
Yuvarlanma direnci	94,72	3,21
Trafik altında yapılabılme	91,94	3,11
Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı	81,11	2,75
Servis yolu gerektirme	80,37	2,72
Yerli malzeme kullanılabilirliği	78,84	2,67
Kaliteli işçilik	76,11	2,58
Malzemenin yük altındaki davranışı	75,32	2,55
Düşük maliyetli imalat tesisleri	69,27	2,35
Kaplama sürekliliğı	24,98	0,85
Toplam	2952,66	100,00

Çizelge 9.2.'e göre en önemli teknik gereksinim malzemenin yaşlanması olurken, en düşük öneme sahip gereksinim kaplama sürekliliğı olarak elde edilmiştir.

Oluşturulan 90-50-20-Boş puan değerlerine göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, her iki değerlendirmede de en önemli ilk beş teknik gereksinimin değışmediğı görölmektedir. Fakat sıralamada aradaki bazı teknik gereksinimler yer değıştirmiştir. Farklı sırada bulunan gereksinimler koyu renk ile gösterilmiştir.

Çizelge 9.3. Teknik Gereksinimlerin Mutlak ve Görelî Öneme Göre Sıralaması
(90-50-20-Boş Puan Değerlerine Göre)

Teknik Gereksinimler	Mutlak Önem	Görelî Önem (%)
Malzemenin yaşlanması	3972,742	11,62
Agrega-bağlayıcı bağının sıcağa, soğuğa ve neme direnci	2803,521	8,20
Farklı mevsim koşullarına karşı direnç	2595,081	7,59
Sürtünme katsayısı	2145,735	6,28
Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması	2145,735	6,28
Bakım-onarım süresi	1931,876	5,65
Minimum ekipman gereksinimi	1841,1	5,39
Trafiğe açılma süresi	1612,389	4,72
Yapım tekniği kolaylığı	1597,85	4,67
Periyodik bakım ihtiyacı azlığı	1569,29	4,59
Kaliteli işçilik	1335,79	3,91
Yorulma mukavemeti	1327,531	3,88
Özellihsiz ekipman gereksinimi	1316,375	3,85
Agrega-bağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci	1244,89	3,64
Trafik altında yapılabilme	1239,225	3,63
Yuvarlanma direnci	1087,10	3,18
Kaplama rengi	1072,575	3,14
Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı	1065,875	3,12
Yerli malzeme kullanılabilirliği	1057,35	3,09
Servis yolu gerektirme	1040,375	3,04
Malzemenin yük altındaki davranışı	869,312	2,54
Düşük maliyetli imalat tesisleri	805,475	2,36
Kaplama sürekliliği	435,744	1,28
Toplam Değerler	34181,06	100,00

Çizelge 9.2.'de ortaya çıkan sıralamaya göre üstyapı türleri kıyaslandığında ise Çizelge 9.4.'teki durum ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu durum değerlendirildiğinde özellikle en önemli ilk beş teknik gereksinimin hepsinin de rijit üstyapıda olumlu bir şekilde ön plana çıkması dikkat çekicidir. Elde edilen sonuçları sayısal bir şekilde değerlendirebilmek için ilişki matrisinde kullanılan puan değerlerine benzer biçimde "9-3-1-0" değerlerinden yararlanılmıştır. Kaplama türlerine teknik gereksinimler karşılığında verilen puan değerleri mutlak önem değerleri ile çarpılıp, toplandığında üstyapı ve kaplama tiplerinin toplam sonuçları ortaya çıkmıştır.

Çizelge 9.4. genel olarak değerlendirildiğinde, toplam değerlere göre rijit üstyapının esnek üstyapıya göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Esnek üstyapı ise kendi içinde sathi ve asfalt betonu kaplama olarak ele alındığında sathi kaplama toplam değerlerde daha az bir fark ile daha üstün olmaktadır. Bunun nedeni sathi kaplamanın daha basit bir yapıya sahip olmasından kaynaklı yapım tekniği, bakım-onarım süresi, özelliiksiz ekipman gereksinimi, trafiğe açılma süresi gibi imalata yönelik parametrelerin karşılığında daha yüksek puan değeri almasıdır. Ancak teknik gereksinimlerin sıralamasında bu gereksinimlerin daha düşük önem değerlerine sahip olduğu unutulmamalıdır.

Bunun dışında asfalt betonu ile sathi kaplama kendi arasında, malzemenin yaşlanması, agrega-bağlayıcı bağının sıcaklığa, soğuklığa ve neme direnci, farklı mevsim koşullarına karşı direnç ve sürtünme katsayısı gibi yapısal parametreler ile değerlendirildiğinde daha iyi değerlere sahip olan asfalt betonu kaplama tercih edilmektedir. Ayrıca asfalt betonu sathi kaplamaya göre daha konforlu ve dayanımlı bir kaplama türüdür.

Çizelge 9.4. Teknik Gereksinimlerin Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kıyaslanması

Teknik Gereksinim	Mutlak Önem	Esnek Üstyapı		Rijit Üstyapı
		Sathi Kaplama	Asfalt Betonu Kaplama	Beton Kaplama
Malzemenin yaşlanması	323,43	1	1	9
Agrega-bağlayıcı bağının sıcaklığa, soğuklığa ve neme direnci	256,22	1	3	9
Farklı mevsim koşullarına karşı direnç	245,80	1	3	9
Sürtünme katsayısı	214,57	3	3	9
Sürtünme katsayısındaki kaybın düşük olması	214,57	1	1	9
Yapım tekniği kolaylığı	196,96	9	3	1
Bakım-onarım süresi	153,10	9	3	1
Özelliiksiz ekipman gereksinimi	139,73	9	3	1
Trafiğe açılma süresi	128,40	9	9	1
Yorulma mukavemeti	126,36	1	1	9
Periyodik bakım ihtiyacı azlığı	115,43	1	3	9
Minimum ekipman gereksinimi	113,36	9	1	1
Kaplama rengi (Gece görüşü)	107,26	1	1	9
Kaplama rengi (Gündüz görüşü)	107,26	9	9	1

Çizelge 9.4. Teknik Gereksinimlerin Esnek ve Rijit Üstyapılarda Kıyaslanması (Devam)

Teknik Gereksinim	Mutlak Önem	Esnek Üstyapı		Rijit Üstyapı
		Sathi Kaplama	Asfalt Betonu Kaplama	Beton Kaplama
Agrega-bağlayıcı bağının kimyasal etkilere direnci	97,91	1	1	9
Yuvarlanma direnci	94,72	3	9	9
Trafik altında yapılabilme	91,94	9	9	1
Kolay temin edilebilir malzeme kullanımı	81,11	1	1	9
Servis yolu gerektirme	80,37	9	9	0
Yerli malzeme kullanılabilirliği	78,84	1	1	9
Kaliteli işçilik	76,11	1	9	9
Malzemenin yük altındaki davranışı	75,32	1	3	9
Düşük maliyetli imalat tesisleri	69,27	1	1	9
Kaplama sürekliliği	24,98	9	9	1
Toplam		11895,6	10837,52	17637,1

Çalışma kapsamında kullanılan KFY'de, kalite evinde çatı ve ilişki matrisinde kullanılan değerlendirmeler, ilişki derecelerini belirleme ve bu ilişki düzeylerini puanlandırma esasına dayanmaktadır. Böyle bir puanlandırma yapılabileceği gibi akıllı sistemlerden bulanık mantık (fuzzy logic) yönteminden de yararlanılabilir. Bulanık mantık teorisine, bu çalışmada da olduğu gibi mutlak ayrımların olmadığı birçok öznel konularda sıklıkla başvurulmaktadır. Ayrıca müşteri isteklerinin belirlenmesi ve teknik gereksinimlerle ilişkilendirilmesinde aşamasında daha geniş kapsamlı bir çalışma için müşteri istekleri ve bunlara bağlı olarak da teknik gereksinimler sayıca artırılabilir.

Elde edilen sonuçlar ve yapılan değerlendirmeler kapsamında bir üstyapı tasarımı için hangi parametrelere ne kadar önem verilmesi gerektiği ve önem sıralaması ortaya çıkmıştır. Ayrıca kaplama tiplerinin de kıyaslanması yapılarak ülkemizde henüz yaygın olarak uygulanmayan rijit üstyapının, artık sathi ve asfalt betonu kaplamaların yanında bir seçenek olarak değerlendirilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur.

Rijit üstyapıları yaygın bir şekilde kullanan ABD ve AB ülkeleri, ilerleyen yıllarda daha da artacak olan petrol ve enerji sıkıntısını öngörerek, bu durumda beton yolları bir çözüm olarak görmektedir.

Özellikle zayıf taşıma gücüne sahip taban zeminlerinde, yüksek trafik hacmine sahip veya gelecekte sahip olması beklenen yollarda, rijit üstyapı ekonomik, emniyetli ve uzun ömürlü özellikleri ile önem kazanmaktadır. Bunun yanında yüksek dayanım ve durabiliteye sahip olması da bu durumu desteklemektedir.

Sonuç olarak rijit üstyapının öne çıkan bu özellikleri ve gelişen teknolojinin de sağlamış olduğu kolaylıklar göz önünde bulundurulduğunda ülkemizde var olan sadece esnek üstyapı anlayışı yıkılmalı, beton yolların çok güçlü bir seçenek olduğu unutulmayıp, yapımına önem verilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Adrian, J.,J., 1995. Total Quality Management. The Illionis Department of Transportation, Peoria, Illinois.
2. Ađar, E., Öztaş, G. Ve Sūtaş, İ., 1998. Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları). İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
3. Akao, Y., 1997. QFD: Past, Present and Future. International Symposium on QFD '97 Linköping.
4. Akao, Y., Ohfuji, T., Naoi, T., 1987. Survey and Reviews on Quality Function Deployment in Japan. Proceedings of the International Conference for Quality Control-1987. Tokyo: JUSE and IAQ. pp. 171-176.
5. Akbaba, A., 2000. Kalite Fonksiyon Göçerimi Metodu ve Hizmet İşletmelerine Uyarlanması. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(3).
6. Avcı, E., 2009. Sıcak İklimli Bölgelerde Kullanılan Asfalt Betonu Karışım Değişkenlerinden Kaplama Tabakası Performansına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
7. Aytaç, A., 2002. Kalite Fonksiyonu Yayılımı Yöntemi'nin Eğitimde Kullanımı: Ders Müfredatının Gözden Geçirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
8. Bevan, N., 1999. Quality In Use: Meeting User Needs For Quality. The Journal of Systems and Software, 49(1): 89-96.
9. California Department of Transportation., 2001. Felexible Pavement Rehabilitation Manual, State of California.
10. Cement Association of Canada, 2002. www.cement.ca/cement.nsf.
11. Cengiz, Y.B., Yayla, Y., 1997. Rekabet Üstünlüğü için Modern Yaklaşımlar. Tüsiad-Kalder 6. Ulusal Kalite Kongresi- Tebliğler ve Özgeçmişler, İstanbul, S.151-158.
12. Cohen, L., 1995. Quality Function Deployment: How to Make QFD Work for You, Addison-Wesley Publishing Company, Inc., Reading, Massachusetts.
13. Cristiano, J. J., Liker, J. K. and White, C. C., 2000. Customer-Driven Product development Through Quality Function Deployment In The US and Japan, Journal of Product Innovation Management, 17(4): 228-308.

14. Day, R. G., 1998. Kalite Fonksiyonu Yayılımı. Kalite Fonksiyon Yayılımı – Bir Şirketin Müşteri ile Bütünleştirilmesi, ASQC Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.
15. Dean, B. E., 2000. Quality Function Deployment. <http://mijuno.larc.nasa.gov/dfc/qfd.html>
16. Delice-Kılıç, E., Güngör, Z., 2008. Kalite Fonksiyon Yayılımı İçin Yeni Bir Yaklaşım: Bir Uygulama. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Akademik Bilişim.
17. Dikmen, I., Birgonul, M. T., Kiziltas, S., 2004. Strategic use of quality function deployment (QFD) in the construction industry, Elsevier, Building and Environment 40 (2005) 245-255.
18. Doğan, O., 2006. Esnek Üstyapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık ile Tahmini. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
19. Ecevit, O., 2007. Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
20. Ergün, M., Öztaş, G., 2011. Beton Yolların Yüzey Özelliği ve Etkileri, http://www.as-beton.com/pdf/beton_yollar.pdf 30.03.2011.
21. Esin, A., 1999. ISO 9000 Işığında Toplam Kalite. TMMOB Makine Mühendisliği Odası, 267-285.
22. Fortuna, R.M., 1988, Beyond Quality: Taking SPC Upstream, Quality Progress June p. 23-28.
23. Gauthier, B., 1998. An Introduction to Quality Function Deployment. University of Rhode Island Term Paper.
24. Griffin, A. And Hauser, J. R., 1993. The Voice of The Customer. Marketing Science, Vol.12, 1-27, U.S.A.
25. Grover D., 2002. Graphical Project Planning Techniques: An Overview of Gantt. PERT and CPM Charts Prepared for Groups in ECE480.
26. Güllü, E., Ulcay, Y., 2002. Kalite Fonksiyonu Yayılımı ve Bir Uygulama. Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 7, Sayı 1.
27. Hales, R.F., Lyman, D. And Norman, R., 1990. QFD and The Expanded House of Quality. Proaction Development Inc.

28. Hanlı, E., 2009. Esnek Yol Üstyapısında Oluşan Bozulmalar ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
29. <http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletIYolEnvanter/YillaraGoreDevletVelIYollari.pdf>
30. İyınam, Ş., Açar, E., 2004. Karayollarında Hazır Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Kongresi, İstanbul.
31. Kağnıcıoğlu, H., 2002. Ürün Tasarımında Kalite Fonksiyon Yayılımı. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Uludağ Üniversitesi, 1: 177-188.
32. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, 2000. Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Ankara.
33. Kavrakoğlu, İ., 1992. Toplam Kalite Yönetimi. Kalder Yayınları, 29-91, İstanbul.
34. Kim , K-J., 1997. Determining Optimal Design Charecteristic Levels in Quality Function Deployment. Marcel Decker Inc., 295-307, US.
35. King, B., 1989. Better Desing in Half The Time: Implementing QFD in America. 3 rd. Ed., Goal/qpc.
36. Kozak, M., 2011. Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:7 ,Sayı: 1.
37. Lyman, D., 1992. The Functional Relationship Between QFD and VE. Proceedings of the Society of American Value Engineers, Vol. 27, pp. 79-85.
38. Mazur, G., 1996. The Application of Quality Function Deployment (QFD) to design a Course Total Quality Management (TQM) at The University of Michigan College of Engineering.
39. Nova Scotia Transportation and Public Works, 1999. Asphalt Concrete Pavement and Portland Cement Pavement, Highway 104. Year 5 of 5 year study.
40. Smith, T., Tighe, S. Ve Fung, R., 2001. Concrete Pavements in Canada: A Review of Their Usage and Performance, Proc., Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Halifax.
41. Taptık, Y., Keleş, Ö., 1998. Kalite Savaş Araçları, Kalder, İstanbul, 110-115.

42. Tatlı, B., 2004. Esnek ve Rijit Üstyapıların Performans Maliyetlerinin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
43. Telek, A. B. ve Akın, B., 1996. Bir QFD Uygulaması. Toplam Kalite Yönetimi ve Siyasette Kalite Özgeçmişler ve Tebliğler, Cilt 3, Beşinci Ulusal Kalite Kongresi, 13-14 Kasım, İstanbul, S: 588-597
44. Terzi, S., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
45. Transportation Information Center, 2002. Concrete Roads Paser Manual, Pavement Surfacing Evaluation and Rating, University of Wisconsin-Madison.
46. Tunç, A., 2007. Yol Malzemeleri ve Uygulamaları. Ankara.
47. Tunç, A., 2004. Kaplama Mühendisliği ve Uygulamaları. Ankara.
48. Türkiye Hazır Beton Birliği Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, 2003. Beton Yollar, Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 247, 2003/5.
49. Ula, T., 2002. Türkiye'nin Kalite Hareketlerinde Kalite Fonksiyon Göçeriminin Önemi ve Geleceği. Tartışma Paneli Bildirisi, Birinci Ulusal Kalite Fonksiyon Göçerimi Sempozyumu, 17-19 Nisan, İzmir.
50. [Ulaşım Gazetesi, www.ulasimgazetesi.com](http://www.ulasimgazetesi.com)
51. Umar, F. Ve Ağar, E., 1985. Yol Üstyapısı. İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbası.
52. Yang, H., 2007. Campus Landscape Space Planning And Design Using QFD
53. Yeğınobalı, A., 2009. Niçin Beton Yol?, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, TCMB/AR-GE/Y 09.01, Ankara.
54. Yeğınobalı, A., Başkoca, A., 2005. Afyonkarahisar'daki Beton Yolun Hikayesi, TÇMB/ARGE/Y05.01, Ankara.
55. Yetiş, N., 1996. Sanayinin Mühendislik Eğitiminden Beklentileri. Marmara Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, 1-44 İstanbul.
56. Yıldız, M., S. Ve Baran, Z., 2011. Kalite Fonksiyon Göçerimi ve Homojenize Yoğurt Üretiminde Uygulaması / Quality Function Deployment and Application Essay in

Homogenized Yoghurt Production. Ege Akademik Bakış / Ege Academic Review, Cilt: 11, Sayı: 1, ss. 59 -72.

EKLER

EK A.1. Yol Mühendisliği Parametreleri Tasarımı Değerlendirme Anket Formu

EK A.1.

ANKETE KATILAN

AD-SOYAD:

C.B.Ü.

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜH. ANABİLİM DALI

ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİ YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

YOL MÜHENDİSLİĞİ PARAMETRELERİ TASARIMI DEĞERLENDİRME

ANKET FORMU

Anketin amacı karayolu mühendisliği parametrelerini değerlendirilerek, öncelikli öneme sahip olanları belirlemek ve beklentileri en iyi şekilde karşılayacak olan bir tasarım elde etmektir.

Katılımcılardan belirlenmiş olan parametreleri değerlendirerek, bu parametrelere puan vermeleri beklenmektedir.

Anket katılımcıları akademisyenler, ulaştırma konusuyla ilgili özel ve kamu görevi yapan kişiler, karayolu işletmesinde görev alan yetkili kişiler ve inşaat mühendislerinden oluşmaktadır. Aynı zaman da bu katılımcılar bir karayolu kullanıcısı olarak da dikkate alınacaktır.

Anketin cevaplandırılmasında her parametre; çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek önem derecelerine karşılık gelecek şekilde 1-2-3-4-5 puan değerlerinden biri seçilerek değerlendirilmelidir. (Seçtiğiniz önem derecesine karşılık gelen puan değeri hangisi ise X ile işaretleyiniz.)

PARAMETRELER		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Konfor&Güvenlik (Kullanıcı)		5	4	3	2	1
1	Kaplama düzgün bir yüzeye sahip olmalı, tekerlek gürültüsü ve titreşim en az düzeyde olmalı					
2	Taşıt işletme giderleri, lastik ve araç yıpranması en az seviyede olmalı					
3	Fren mesafesi kısa olmalı					
4	Olumsuz hava koşullarında da güvenli sürüş sağlamalı					
5	Gece görüş kolaylığı					
6	Gündüz görüş kolaylığı					
PARAMETRELER		Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
İmalat&İşletme (İnşaatçı)		5	4	3	2	1
1	Kısa süre içerisinde kullanıma hazır duruma gelmeli					
2	Kolay inşa edilebilir olmalı					
3	Hızlı inşa edilebilir olmalı					
4	Düşük yapım maliyetine sahip olmalı					
5	Servis ömrü uzun ve trafik yüklerine karşı dayanımlı olmalı					
6	Farklı hava koşullarına karşı dayanımlı olmalı					
7	Kimyasal etkilere karşı dayanımlı olmalı					
8	Düşük bakım-onarım ve rehabilitasyon maliyetine sahip olmalı					
9	Uzun süreli inşaat mevsimine sahip olmalı					
10	Bakım-onarım çalışmaları kolay yapılabilir olmalı					

ÖNERİLER:

*****Değerli katkılarınız için teşekkür ederim.*****

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Dilay YILDIRIM

Doğum Tarihi : 26 Ekim 1987

Doğum Yeri : Manisa



Dilay YILDIRIM, ilk, orta ve lise öğrenimini Manisa'da tamamladı. 2005 yılında girdiği Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden 2009 yılında mezun oldu. Eylül 2009'dan beri yüksek lisans çalışmasını sürdürmekte ve Celal Bayar Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Şubat 2010 yılından beri araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.