

Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yol Betonu Olarak Kullanılması

Safa Mutyılmaz

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan 2014

Using Of Self-Compacting Concrete With Fibers On Concrete Pavements

Safa Mutyılmaz

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

April 2014

Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yol Betonu Olarak Kullanılması

Safa Mutyılmaz

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Ulaştırma Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Şafak Bilgiç

Nisan 2014

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi Safa MUTYILMAZ'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Lifli Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yol Betonu Olarak Kullanılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd.Doç.Dr.Şafak BİLGİÇ

İkinci Danışman : ---

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Yrd. Doç. Dr. Şafak BİLGİÇ

Üye : Doç. Dr. Murat KARACASU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet CANBAZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Polat YALINIZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Yaşar VİTOŞOĞLU

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

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

ÖZET

Kaplama teknolojisinin oldukça ilerlediği günümüzde, ülkemizin ekonomik faydaları ve halkımızın ihtiyaçları doğrultusunda Beton Yolların uygulanması ve kullanılması her anlamda avantaj sağlayacak bir kaplama çeşidi olarak karşımızda durmaktadır. Bütün mühendislik ürünlerinde olduğu gibi yollarda da ömür / maliyet oranı, tasarımda ve üretimde ilk düşünülmesi gereken kalemdir.

Bu bağlamda bu çalışmada ömür/maliyet oranının yüksekliğinden dolayı beton yollar, beton yollar arasında ise en dirençli tip olan Continuously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) tipi kaplamalar seçilmiş ve irdelenmiştir. Bu tip kaplamalar sürekli yapıda imal edilirler ve oldukça uzun ömürlüdürler.

Ayrıca CRCP tipi kaplamaların daha hızlı üretilebilmesi ve işçilik maliyetlerinin azalmasından dolayı da daha ucuz imalatlar yapabilmek adına, üretim safhasında Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) kullanımı detaylandırılmıştır. Kaplamaya uygun olabilecek farklı oranlarda Lifler (Çelik ve Polipropilen) ve Uçucu Kül ihtiva eden KYB üretimleri yapılmış, deneyleri tamamlanmıştır. Elde edilmiş sonuçlar ve dış kaynaklardan edinilen farklı başlıklardaki bilgiler ile birlikte konu ile ilgili hassasiyetler, avantajlar, üretim kuralları ve önerilerin geniş sunumu yapılmıştır. Lif kullanımı hem performansı arttıracak, hem de donatı işçiliği maliyetinin tasarrufunda önemli katkılar sağlayacak nitelikte katkılar olarak düşünülmüş ve irdelenmiştir.

ANAHTAR KELİMELELER: Beton yollar, CRCP tipi kaplamalar, Çelik lifler, Polipropilen lifler, Uçucu Kül, Kendiliğinden Yerleşen Beton.

SUMMARY

Where the advancement of pavement technology in these years, Concrete Pavements have very advantages on using and application for the roads. When design and production stage of roads As in all engineering products, most important item is life/cost ratio. This item should be considered first.

In this study concrete pavement was selected and analysed because of its high life/cost performance. Continuously Reinforced Concrete Pavements (CRCP) are the most logical type in concrete pavements. This pavements are built-up continuously and they have a long life cycle.

Also in this study self-compacting concrete (SCC) was detailed because of its cheaper and faster manufacturing effect. Self-compacting concretes produced which has containing, different rates fibers and fly ash then tests have been completed. Sensitivites, advantages, producing rules and recommandations have been presented with obtained - achieved results and external articles. Fibers were intended as make important contributions which is increaseing performance as well as saves costs of reinforcement labor wages.

KEY WORDS: Concrete roads, CRCP pavements, Steel Fibers, Polypropylene Fibers, Flying ash, Self Compacting Concrete.

TEŞEKKÜR

Ders ve tez aşamalarımda danışmanlığımı üstlenmiş olan, tezin bitirilmesi hususunu, kendimden çok bana hatırlatma iyiliğinde bulunmuş, tezler, kaynaklar, kitaplar temin etmiş, bilgi ve titizliğinden dolayı bu tez çalışmasının danışmanlığının karşılığı olamayacağını düşündüğüm Sayın Şafak BİLGİÇ hocama, beton tasarımı ve kullanımı hususunda betona olan ilgimi fazlasıyla doyurmuş bulunan Sayın Mehmet CANBAZ hocama, tüm desteklerinden dolayı devamlı teşekkür etmem gereken değerli aileme ve varlığı ile hayatıma değer katan eşime, en içten teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xviii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ VE AMAÇ	1
2. ESNEK KAPLAMA ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Düşük Standartlı Esnek Kaplamalar Ve Tipleri.....	7
2.1.1. Makadam temeller.....	8
2.1.2. Sathi kaplamalar.....	9
2.1.3. The California Bearing Ratio (CBR) değeri ve hesaplanması.....	10
2.2. Yüksek Standartlı Esnek Kaplamalar.....	11
2.2.1. Temel tabakaları.....	12
2.2.2. Bitümlü karışım tabakaları.....	12
2.2.3. AASHTO metodu esasları.....	15
3. RİJİT KAPLAMA ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ	17
3.1. Beton Yolların Tarihçesi.....	20
3.2. Türkiye’deki Mevcut Beton Yollar ve Türkiye İçin Beton Yolların Önemi.....	21
3.3. Beton Kaplama Tipleri ve Özellikleri.....	26
3.3.1. Donatısız ve derzli beton kaplamaların özellikleri (JPCP).....	26
3.3.2. Donatılı ve derzli beton kaplamaların özellikleri (JRCP).....	29
3.3.3. Sürekli donatılı beton kaplamanın özellikleri (CRCP).....	30
3.3.3.1. CRCP’ nin performansını etkileyen faktörler.....	31
3.3.3.1. CRCP tipi kaplamanın imalatı.....	33

İÇİNDEKİLER (devamı)

Sayfa

3.4.Kaplama Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları.....	37
3.4.1.Esnek kaplamaların avantaj ve dezavantajları.....	37
3.4.2.Rijit kaplamaların avantaj ve dezavantajları.....	38
4. CRCP TİPİ KAPLAMALARIN DİZAYNI VE ETKEN FAKTÖRLER.....	41
4.1.İklim Faktörü.....	41
4.1.1.Ortam sıcaklığı.....	42
4.1.2.Çelik derinliğindeki sıcaklık.....	42
4.2.Beton Karakteristik Özellikleri.....	43
4.2.1.Beton basınç dayanımı.....	43
4.2.2.Beton çekme dayanımı.....	43
4.2.3.Beton kopma modülü.....	43
4.2.4.Beton elastisite modülü.....	44
4.3.Trafik Faktörü.....	45
4.3.1.Kümülatif trafik büyüme faktörü.....	45
4.4.Çatlak Aralığı Faktörü.....	46
4.4.1.Bradbury katsayısı.....	47
4.4.2.Westergoard'ın nominal gerilme faktörü.....	48
4.4.2.1.Toplam gerilme farkı.....	48
4.4.2.2.Eşdeğer sıcaklık.....	49
4.4.2.3.Kaplama alt ve üst yüzeyleri arasındaki bağıl nem oranı.....	50
4.4.3.En yüksek tutunma gerilmesi.....	50
4.4.4.Birinci tutunma gerilmesi katsayısı.....	50
4.4.4.1.Çelik derinliğindeki maksimum toplam gerilme.....	51
4.4.4.2.Maksimum beton sıcaklık farkı.....	51
4.4.4.3.Çelik derinliğinde kabul edilmiş T_{set} değeri hesabı.....	51
4.4.4.4.Betonun sertleşmesi ile çelik derinliğinde oluşacak kayma katsayısı.....	52

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4.5.Çatlak Genişliği Faktörü.....	53
4.5.1.Ortalama sıcaklık farkı.....	54
4.5.2.İkinci bağ gerilme faktörü.....	54
4.5.3.Sezonsal i artışı için çelik derinliğinde boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme.....	55
4.5.3.1.Sezonsal i artışı için çevresel etkilerle oluşan gerilme.....	56
4.6.Yük Transferi kapasitesi Faktörü.....	56
4.6.1.Rölatif sertlik yarıçapı.....	57
4.6.2.Enine çatlak dayanıklılığı.....	58
4.7.Çekme Gerilmesi ve Yorulma Hasarları.....	59
4.7.1.Yük gerilmeleri.....	60
4.7.2.Sıcaklık etkisiyle oluşan burkma gerilmesi.....	63
4.7.3.Toplam gerilme.....	65
4.7.4.Müsaade edilebilir yük tekrarları.....	65
4.7.5.Beklenen yük tekrarları.....	67
4.7.6.Kümülatif yorulma zararı.....	68
4.8.Zımbalama (Punchout) Tahmini.....	70
4.8.1.Güç fonksiyonu zımbalama modeli.....	71
4.8.2.S-Eğrisi zımbalama modeli.....	72
4.9.Aashto – 2002 CRCP Dizayn Metodu Ve Duyarlılık Analizi.....	73
5. CRCP YOL TASARIMINDA KULLANILAN KABULLER VE DİZAYN TABLOLARI.....	81
5.1.Genel Dizayn Bileşenleri ve Sınır Değerleri.....	81
5.1.1.Kaplama kalınlığı.....	81
5.1.2.Dizayn ömrü.....	81

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
5.1.3.Çelik oranı.....	81
5.1.4.Betonarme donatı çapları ve çelik lif dozajı.....	82
5.1.5.Çeliğin yüzeyden derinliği.....	82
5.1.6.Banket tipi.....	82
5.1.7.Trafik.....	83
5.1.8.Beton özellikleri.....	84
5.1.9.Temel özellikleri.....	84
5.1.10.Zımbalama (punchouts) sayısı.....	84
5.1.11.Uluslar arası engebe indeksi (IRI)	85
5.1.12.Dizayn güvenilirliği.....	85
5.2.Tasarım Tabloları.....	85
5.2.1.Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 50$ psi/in).....	86
5.2.2.Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 100$ psi/in).....	88
5.2.3.Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 200$ psi/in).....	90
6. KYB’NİN CRCP TİPİ BETON YOL YAPIMINDA KULLANIMI.....	92
6.1.KYB İçeriği, Kullanılan Malzemeler Ve Özellikleri.....	93
6.1.1.Çimento.....	94
6.1.2.Su.....	94
6.1.3.Agrega.....	94
6.1.4.Kimyasal katkılar.....	95
6.1.5.Uçucu kül.....	95
6.1.6.Mekanik katkılar.....	95
6.1.6.1.Çelik lifler.....	96
6.1.6.2.Polipropilen lifler.....	97

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
6.2.KYB Tasarımı, Üretimi Ve Kullanımı	99
6.2.1.Tasarım aşaması.....	99
6.2.2.Üretim aşaması.....	101
6.2.3.Kullanım aşaması.....	102
6.3.KYB standart deneyleri	103
6.3.1.Taze durum deneyleri.....	105
6.3.1.1.Slump - yayılma deneyi	105
6.3.1.2.V hunisi deneyi.....	106
6.3.1.3.L kutusu deneyi.....	106
6.3.2.Sertleşmiş durum deneyleri.....	107
6.3.2.1.Küp basınç dayanım deneyi.....	107
6.3.2.2.Birim ağırlık deneyleri.....	107
6.3.2.3.Yüzey sertliği deneyi.....	108
6.3.2.4.Ultrases geçiş hızı deneyi.....	108
6.3.2.5.Kiriş eğilme dayanım deneyi.....	109
6.3.2.6.Levha yükleme deneyi.....	110
6.3.2.7.Silindir yarmada çekme deneyi.....	110
6.4.CRCP'de kullanılabilir lifli ve uçucu küllü KYB deneyleri ile sonuç tabloları	112
6.4.1.Sonuç Tabloları ve Yorumlar.....	115
6.4.1.1.Lif kullanımının etkileri.....	123
6.4.1.2.Uçucu kül kullanımının etkileri.....	125
6.4.2.CRCP kaplamalarda KYB için yorum ve öneriler.....	126
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	128

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. 1950 yılında Türkiye’de yük taşımacılığı dağılımı.....	4
1.2. 1980 yılında Türkiye’de yük taşımacılığı dağılımı.....	4
2.1. Bitümlü makadam.....	8
2.2. Suyla kaynatılmış makadam.....	8
2.3. Tek tabaka sathi kaplama.....	9
2.4. Sathi kaplama uygulama tipleri ve yapılış şekilleri.....	9
2.5. Sıcak asfaltın yüzey düzeltme işlemi.....	13
2.6. Bitümlü sıcak karışım (BSK) kesiti.....	13
2.7. Tipik esnek üstyapı kesiti.....	14
3.1. Tipik beton kaplama perspektifi.....	17
3.2. Rijit kaplamalarda klasik derz kesiti.....	19
3.3. Turgut Özal bulvarı / Adana.....	21
3.4. Mavi bulvar / Adana.....	21
3.5. Afyon beton yol kaplaması.....	22
3.6. Agreg a kilitle nmesi ve ankraj donatısı ile çalışan kaplama.....	27
3.7. JPCP ve JRCP kaplamalarda kullanılan ankraj donatısı.....	27
3.8. Yol boyunca ankraj donatılarının serilmesi.....	27
3.9. Ankraj donatısının beton dökümünden sonraki hali.....	28
3.10. Beton dökümünü bekleyen son durum.....	28
3.11. Beton kaplamalarda derz kesimine örnek.....	28
3.12. JRCP kaplama kesiti.....	29
3.13. Çin’de imal edilen CRCP kaplama.....	30

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.14. Çelik sehpaşası tip1	33
3.15. Çelik sehpaşası tip2	34
3.16. Çelik sehpaşası tip3	34
3.17. Elle çelik serimi	36
3.18. Makine ile çelik serimi	36
3.19. Katı beton serici	36
4.1. 10 inçlik kaplamada sıcaklık değişim frekansları	41
4.2. LTE_S, LTE_L, \bar{L} , ve en kritik yükleme koşulları	62
4.3. Kaplama kenarında oluşmuş zımbalama	70
4.4. Güç fonksiyonuna göre zımbalama miktarı/mil grafiği	71
4.5. S-Eğrisine göre zımbalama miktarı/mil grafiği	72
4.6. Yıllık ortalama günlük kamyon trafiği ve zımbalama sayısı ilişkişi	76
4.7. Kaplama kalınlığı ve uluslar arası engebe faktörü ilişkişi	76
4.8. Kaplama kalınlığı ve zımbalama sayısı ilişkişi	77
4.9. Temel kalınlığı ve uluslar arası engebe faktörü ilişkişi	77
4.10. Temel kalınlığı ve zımbalama sayısı ilişkişi	78
4.11. Sıkıştırılmış zemin katman kalınlıkları ve ulusal engebe faktörü ilişkişi	78
4.12. Çelik yüzdesi ve ulusal engebe faktörü ilişkişi	79
4.13. Çelik yüzdesi ve zımbalama sayısı arası ilişki	79
4.14. Zemin dayanımı ve zımbalama sayısı arası ilişki	80
4.15. Çelik derinliği ve zımbalama sayısı arası ilişki	80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.1. Farklı ESAL _s değerlerinde 20 yıl proje ömrü ve %50 tasarım güvenilirliğindeki gereken kaplama kalınlığı tablosu örneği.....	83
5.2. Kd = 50psi/in, 20 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	86
5.3. Kd = 50psi/in, 20 yıl proje ömrü, %95 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	86
5.4. Kd = 50psi/in, 30 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	87
5.5. Kd = 50psi/in, 30 yıl proje ömrü, %95 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	87
5.6. Kd = 100psi/in, 20 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	88
5.7. Kd = 100psi/in, 20 yıl proje ömrü, %95tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	88
5.8. Kd = 100psi/in, 30 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	89
5.9. Kd = 100psi/in, 30 yıl proje ömrü, %95 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	89
5.10. Kd = 200psi/in, 20 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	90
5.11. Kd = 200psi/in, 20 yıl proje ömrü, %95 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	90

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.12. Kd = 200psi/in, 30 yıl proje ömrü, %50 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	91
5.13. Kd = 200psi/in, 30 yıl proje ömrü, %95 tasarım güvenilirliğindeki kaplama kalınlığı	91
6.1. Çelik lifin kullanım öncesi ve sonrası halleri.....	97
6.2. Sertleşmiş betonda polipropilen lif.....	98
6.3. Polipropilen lifin şekli.....	98
6.4. KYB bileşenleri ve etkileri.....	101
6.5. Yayılma deneyinde kullanılan test tertibatı.....	105
6.6. V hunisi.....	106
6.7. L kutusu.....	106
6.8. Schimidt çekici abağı.....	108
6.9. Ultrases geçiş hızı testi.....	109
6.10. Kiriş eğilme dayanımı mekanizma çizimi.....	109
6.11. Levha yükleme deneyi.....	110
6.12. Numunede oluşan içsel gerilmeler.....	111
6.13. Deney tertibatı.....	111
6.14. Testi bitmiş silindir numune.....	111
6.15. Kullanılan kimyasal katkı.....	112
6.16. Levha numuneler.....	113
6.17. Prizma numuneler.....	113
6.18. Silindir numuneler.....	113
6.19. Alınan tüm numune serisi.....	114

ŞEKİLLER DİZİNİ (devamı)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.20. Polipropilen lif kullanımının basınç dayanımına etkisi.....	116
6.21. Çelik lif kullanımının basınç dayanımına etkisi.....	117
6.22. Polipropilen lif kullanımının eğilme dayanımına etkisi.....	117
6.23. Çelik lif kullanımının eğilme dayanımına etkisi.....	118
6.24. Polipropilen lif kullanımının levha taşıma gücüne etkisi.....	119
6.25. Çelik lif kullanımının levha taşıma gücüne etkisi.....	119
6.26. Polipropilen lif kullanımının çekme dayanımına etkisi.....	120
6.27. Çelik lif kullanımının çekme dayanımına etkisi.....	120
6.28. Polipropilen lif kullanımının ultrases geçiş hızına etkisi.....	121
6.29. Çelik lif kullanımının ultrases geçiş hızına etkisi.....	121
6.30. Polipropilen lif kullanımının yüzey sertliğine etkisi.....	122
6.31. Çelik lif kullanımının yüzey sertliğine etkisi.....	122
6.32. Lifsiz elemanın kopmuş – ayrılmış hali.....	124
6.33. Çelik lif kullanılmış, kopmaya direnmiş giriş numunesi.....	124
6.34. Uçucu kül.....	126

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. %100 CBR değerinde standart yük - penetrasyon değerleri.....	10
3.1. Kaplamalar arası avantajlar ve dezavantajlar çizelgesi.....	40
4.1. Kaplama kalınlıklarına göre önerilen çelik derinliği.....	42
4.2. Efektif sıcaklık değişim değerleri.....	49
4.3. Temel/Alt temel tiplerinin sürtünme katsayısı.....	55
4.4. Kaplama kalınlıklarına göre Δ_T frekans dağılımları.....	63
4.5. Tasarım duyarlılık analizi için kabul edilmiş değerler.....	75
6.1. C 30/37 dayanım sınıfında bir KYB reçetesi.....	93
6.2. Avrupa KYB şartnamesi beton tasarım abağı.....	100
6.3. Örnek teşkil edebilecek C35 KYB reçetesi.....	100
6.4. KYB için yapılması gereken bazı deneyler.....	104
6.5. CRCP tipi kaplamalarda KYB kullanımının avantajı ve dezavantajı.....	127

EKLER

Ek -1 Yapılan tüm deneylerin sonuçları çizelgesi.

Ek -2 Kritik gerilmeler (alt-üst) hesabında kullanılacak abak.

Ek - 3 Örnek maliyet analizi (Lifli KYB ile üretilen CRCP tipi beton yol).

Ek - 4 Örnek maliyet analizi (Klasik beton yol).

Ek - 5 Örnek maliyet analizi (Bitümlü sıcak karışım - asfalt - yol).

Ek - 6 Kaplama maliyetleri kıyaslama çizelgesi.

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
A	Betonun yaşı (yıl)
a_i	Her bir tabakanın izafi mukavemet katsayısı
a_1, a_2, a_3	Katsayılar
a,b,c	Kalibrasyon katsayıları
C	Kaplama boyutu düzeltme katsayısı
C	Çatlakları (her 1000 ft ² 'de çatlakların alanı)
CC	Beton tasarımında yardküpte kullanılacak çimento dozajı (lb / yd ³)
$C_{STT,i}$	Üst kısım çekme gerilmesi için kaplama boyut düzeltme katsayısı
$C_{STB,i}$	Alt kısım çekme gerilmesi için kaplama boyut düzeltme katsayısı
C_i	i sezonsal artışı için Bradbury katsayısı
CS/RRS	Kaplama boyut oranı
\bar{C}	Çatlak genişliği kalibrasyon sabiti (1,0)
$c_{1,i}$	Sezonsal i artışı için birinci tutunma gerilmesi katsayısı
$c_{1,i}$	Sezonsal artışı i için ilk bağ gerilmesi
$c_{2,i}$	Sezonsal i artışı için ikinci bağ gerilme faktörü
cw_i	i sezonsal artış fonksiyonuna göre çatlak genişliği faktörü
d_b	Çeliğin çapı (inç)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
D_i	Kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları
$D_{STTi,j}$	Üst kısım çekme gerilmesi için kümülatif yorulma zararı
$D_{STBi,j}$	Alt kısım çekme gerilmesi için kümülatif yorulma zararı
$D_{TOT-STTi}$	Üst kısım çekme gerilmesi için toplam i sezonsal yorulma hasarı
$D_{TOT-STBi}$	Alt kısım çekme gerilmesi için toplam i sezonsal yorulma hasarı
$\bar{D}_{TOT,i}$	Çekme gerilmesi konumunda, kaplamanın alt ya da üst konumunda birikmiş yorulma hasarları
EDR_i	Eşdeğer zarar oranı
$ESAL_i$	Sezonsal i artışı için 18-kip eşdeğeri tek aks değerinin tasarım şeridindeki kümülatif sayısı
$ESAL_{i-1}$	Bir önceki sezonsal i artışı için 18-kip eşdeğeri tek aks değerinin tasarım şeridindeki kümülatif sayısı
E_{pcc}	Beton elastisite modülü (psi)
$E_{PCC,i}$	Sezonsal artış için betonun elastisite modülü (psi)
$ESAL_i$	Sezonsal trafik faktörü
$ESAL_m$	Kaplamanın dizayn ömrü boyunca şeritteki $ESAL_s$ sayısı
$ESAL_s$	Trafik faktörü
f	Temel sürtünme katsayısı
f'_{c28}	Betonun 28 gündeki karakteristik basınç dayanımı (psi)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
f'_{t28}	Beton 28 günlük çekme dayanımı (psi)
$f_{\sigma,i}$	Sezonsal i artışı için çelik derinliğindeki uzunlamasına (yol doğrultusunda) oluşan maksimum gerilme (Psi)
F_j	Sıcaklık oluşum frekansı.
GF_i	i sezonsal artış için kümülatif trafik büyüme faktörü
GF_m	Dizayn ömrü sonunda kümülatif trafik büyüme faktörü
H	Betonda hidrasyon ısı (kJ / g)
\bar{h}_{PCC}	Kritik gerilmeye karşılık gelen beton kaplama kalınlığı
h_{PCC}	Beton kaplama kalınlığı (inç)
$J_{c,i}$	Sezonsal i artışında enine çatlakların yük transfer etkinlik dayanımı
J_s	AGG/(kg)s, Yüklenebilecek karşı şerit sayısı başına dayanım
k_d	Yüklemede temelin yük için tepki modülü (psi/inç)
k_s	Temel burkulma reaksiyonu (psi/inç)
k_1	Tutunma kayma katsayısı
L	Kaplamanın uzunluğu (inç)
\bar{L}	Relatif sertlik yükleme yarıçapı
LIFE	Dizayn ömrü (yıl)
\bar{L}_i	Sezonsal Çatlak Aralığı Faktörü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
l_i	Sezonsal artış i için rölatif bükülme yarıçapı (inç)
l_i	Sezonsal i artışında sertlik ile karşılanabilen yük alanı yarıçapı
L_{seed}	Başlangıç (ilk) çatlak aralığı değeri (inç)
LTE_c	Enine çatlak yük transferi verimliliği
$LTE_{c,i}$	Yük Transferi Kapasitesi Faktörü
LTE_{base}	Tabii zeminin ve temelin (altyapının) yük transferine katkı yüzdesi
LTE_S	Yük transfer verimliliği
m	Dizayn hayatı boyunca geçecek mevsim sayısı (1 yılda 4 mevsim)
MOR_{90}	Kopma modülünün 90 günlük değeri (psi)
n_i	Sezonsal i artırımını için beklenen yük tekrar sayısı.
$N_{i,j}$	Müsaade edilebilir yük tekrarları
$n_{STT,i}$	Üst kısım çekme gerilmesi için beklenen yük tekrarı
$n_{STB,i}$	Alt kısım çekme gerilmesi için beklenen yük tekrarı
P	Yamalar (her 1000 ft ² 'de yapılan yama alanı)
P	Uygulanmış yarım dingil yükü
P_b	Kesirsel çelik yüzdesi
PO_i	i sezon sonunda 1mil içinde de toplam zımbalama sayısı
PSI	Mevcut Servis Yeteneği İndeksi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
P_t	Nihai servis yeteneği indeksi
r	Yıllık artış yüzdesi
R	Bölgesel faktör
\hat{R}	Kaplama üstü çekmeye karşı mukavemet azaltma faktörü
RD	Her iki teker izindeki ortalama derinliği (inç)
r_d	Çelik ile yapılan betonarmeleştirmenin yük transferine sağladığı kazanç faktörü
$rh_{PCC,\zeta}$	Çelik derinliğindeki rölatif nem miktarı (%)
R_{ij}	Her sıcaklık frekansı için toplam gerilme düzeltme faktörü
R_m	Çelik lif çekme dayanım kapasitesi
$R_{0,i}$	Efektif sıcaklık değişimi
SN	Düzeltilmiş kaplama yapısal sayısı
S_i	Kaplamanın üzerine oturduğu zeminin izafi taşıma gücü
SV	Ortalama eğim değişiminin 106 ile çarpımı
$STRRATIO$	28 gün MOR için belirli bir yaşta MOR oranı
$s_{o,i}$	Sezonsal i artışında çatlak kayma dayanım kapasitesi
$SR_{STT,ij}$	Üst kısım çekme gerilmesi için gerilme oranı
$SR_{STB,ij}$	Alt kısım çekme gerilmesi için gerilme oranı
t	Proje süresi

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$T_{8.2}$	Toplam eşdeğer standart dingil yükü sayısı
$T_{steel,i}$	i sezonsal artışına göre çelik derinliğindeki ortalama sıcaklık ($^{\circ}\text{F}$)
$T_{steel,min}$	Çelik derinliğinde sezonsal en düşük sıcaklık ($^{\circ}\text{F}$)
T_{set}	Beton kaplamada termal şekil değiştirme olmadığı kabul edilmiş sıcaklık değeri ($^{\circ}\text{F}$)
T_{air}	İnşaat sezonunda ortalama mevsimsel ortam sıcaklığı ($^{\circ}\text{F}$)
TM	Güvenilirlik trafik çarpanı
U_m	Zirve bağ gerilmesi (psi)
y	Kaplamanın merkezine, burkulmaya sebep olan kuvvetin uzaklığı
W_g	Ortalama günlük (tek yönde - tek şeritte) standart dingil sayısı
$W_{8,2t}$	8,2 ton tek dingil yükünün nihai servis yeteneğine erişmesi için gerekli toplam tekerrür sayısı
a	Yükün etki alan yarıçapı
α_{PCC}	Betonun termal genleşme katsayısı ($1/^{\circ}\text{F}$)
Δ_t	Beton kaplamanın alt ve üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı ($^{\circ}\text{F}$)
$\Delta t_{eqv,i}$	i için eşdeğer sıcaklık ($^{\circ}\text{F}$)

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\Delta(1 - rh_{PCC}^3)_{eqv}$	Kaplamadaki alt ve üst (yüzey) kısımlardaki rölatif nem farkı
$\Delta T_{\zeta,max}$	Çelik derinliğindeki, tasarımda kullanılması kabul edilen (set tempereture) sıcaklık değerinden, oluşabileceği öngörölmüş en fazla sıcaklık farkı (Fahrenayt)
$\Delta T_{\zeta,i}$	Sezonsal i artışına göre, çelik derinliğinde ayarlanmış sıcaklığa göre ortalama sıcaklık farkı (°F)
Δt	Her beton kalınlığı aralığına karşılık sıcaklık farklarının frekans dağılımı
$\Delta T_{ave,j}$	Asıl sıcaklık farkı frekansı
$\sigma_{TOT,i,j}$	Toplam gerilme (psi)
$\sigma_{CURL,i,j}$	Her sıcaklık frekansı için burkulma gerilmesi.
$\sigma_{LOAD,i}$	Yükleme gerilmesi i sezonsal artırımlı.
σ_T	Çatlak yük verimliliği, ölçüsüz levha boyut oranı ve yük transferi verimliliğine karşılık gelen üst kısımdaki kritik üst çekme gerilmesi
σ_B	Kritik alt kısımda oluşan çekme gerilmesi
$\sigma_{o,i}$	Sezonsal artış i için Westergaard'ın nominal gerilme faktörü (psi)
$\sigma_{0,i}$	Westergaard's nominal gerilim faktörü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
$\sigma_{env,i}$	Sezonsal i artışı için çevresel etkilerle oluşan gerilme (psi)
$\varepsilon_{tot} - \zeta_{max}$	Çelik derinliğindeki toplamda maksimum olacak gerilme değerleri
ε_{shr}	Betonun sertleşmesi ile çelik derinliğinde oluşacak kayma katsayısı
$\varepsilon_{tot-\Delta,i}$	Sezonsal artış i için kaplama alt ve üst yüzeyleri arasındaki gerilme farkı
ε_{∞}	Beton son büzülme değeri
γ_{PCC}	Betonun termal difüzyonudur (ft ² /gün)
μ_{PCC}	Betonun Poisson oranı
ζ	Çelik derinliği (inç)
<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AADTT	Ortalama Yıllık Günlük Kamyon Trafiği
ATB	Asfalt ile düzenlenmiş temel
BSK	Bitümlü Sıcak Karışım
CRCP	Continuously Reinforced Concrete Pavement (Sürekli donatılı beton kaplamalar)
CBR	The California Bearing Ratio

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
CTB	Çimento ile düzenlenmiş temel
EFNARC Concrete	European Federation of National Associations Representing for Concrete
IRI	Uluslararası engebe faktörü
IDOT	Illinois Department of Transportation
JPCP	Donatısız ve derzli beton kaplamalar
JRCP	Donatılı ve derzli beton kaplamalar
KYB	Kendiliğinden Yerleşen Beton
LTE	Enine çatlaktaki kayıp (lost in transverse crack)
LTPP	Uzun süreli kaplama performansı
MOR	Kopma modülü
Mpa	Megapascal
PCC	Portland çimentosu betonu ile yapılan kaplamalar
PÇ	Portland çimentosu
RCC	Roller Compacted Concrete
STT	Levhanın üstünde boyutsuz çekme gerilmesi
STB	Levhanın altında boyutsuz çekme gerilmesi
TÇMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
UK	Uçucu kül

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Ekonomik kaynakları sınırlı olan ülkemizde yatırımların oldukça verimli yapılması en büyük gerekliliktir. İhtiyaçlar giderilirken kaynakların zorlanmaması, zorlanacak olsa dahi geri dönüşünün kayda değer projeler olması beklenir. Ülkenin kazancı üretime bağlı olup, üretilenlerin ekonomik olarak ulaştırılması gereklidir. Üretim merkezlerinin diğer üretim noktalarına ve limanlara bağları ekonomik olmalıdır. Sadece, araçların bozuk satırlardan dolayı oluşan bakım masrafları ve güzergâhtan ötürü fazladan yol kat ederek harcanan ek yakıt miktarının düşünülmesi bile yol tasarımının önemini ortaya koyacaktır. Beton yollar, uzun ömürlü oluşu, uygun tasarımla yakalanabilecek konfor düzeyi, bakım masraflarının azlığı, yapımında iç kaynakların kullanılması gibi özellikleriyle, esnek üst yapılara göre ekonomiklik açısından öne çıkmaktadır. Beton yollar yapım aşamasında maliyetli görünseler de, ağır taşıt trafiğine ve yoğun trafiğe dayanımı ile yıllar içinde fayda/maliyet oranını yükselterek kârlı yatırım olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yol kaplaması olarak kullanılan betonun görevi; trafikle gelen yüksek değerlerdeki tekil yükleri tabana iletmektir. Kaplama bu esnada bir miktar deforme olur ve alt tabakalara yükü iletilir. Daha az esnek yapıdaki bir malzeme Elastisite modülünün yüksekliği ile daha az deforme olarak gücü iletir. Deformasyon daha az olsa da daha büyük alanda olacağından temel tabakalarının sağlığı için kaplama tipi önemlidir. Beton kaplamalar asfalt kaplamalara göre bu konuda üstündür. Beton yol alışılmış asfalt betonu ile yapılan kaplamaların aksine, çimento betonu ile yapılan kaplamalardır. Bağlayıcı malzeme bitüm değil çimentodur. Kullanılan beton standarda yakın betondur (C30-C50 gibi). Bir beton kaplamanın davranışı, betonun kendi özelliği dışında temel tabakalarının yapısı ve tasarımına da bağlıdır. Bu sebepler düşünüldüğünde; kullanılan malzemelerin kalitesi ve işçilikteki titizlik, verimi ortaya çıkaracaktır. Yol mühendisliğinde, verilen tasarım ve iklim koşullarında kaplama malzemesinin seçimi, projenin en önemli bölümünü oluşturmaktadır.

Yol kaplama tipinin seçimini belirleyen klasik etmenlerden olan aderans, yol sürüş konforu, ekonomi faktörlerinin yanı sıra, çağdaş yol tasarımında estetik özellikler ve sürüş gürültüsü gibi etmenlerin de güçlü şekilde rol oynadıkları söylenebilir.

Klasik ulaştırma mühendisliği literatüründe bitümlü kaplama (asfalt yol) ile beton kaplama arasında seçim, uzun yıllardan beri her iki kaplama türünün kendine has yararları gözetilmek suretiyle yapılmaktadır. Servis ömrü boyunca bakım - onarım masrafları dikkate alındığında ve tümüyle kaplama yenileme tekerrür süresi düşünüldüğünde iyi tasarlanmış beton kaplamalı yolların, asfalt kaplamalı yollara nazaran daha ekonomik olduğu yönünde yorum yapılabilir. Beton teknolojisinin gelişmesi ile ileriki yıllarda beton yolların daha da ekonomik bir hal alacağı aşikârdır. Geçmişe göz atıldığında 25 sene öncesinde betonun üretimi, yerleştirilmesi, performansı başlı başına bir sorunken; bulunduğumuz yıllar içinde bu şartlar fazlasıyla iyileşmiştir.

Ülkemizde batı kısımlarda ağırlıklı dağılmış olarak 54 adet çimento üretim tesisi bulunmaktadır. Bu fabrikalarımızda dünya standartlarını sağlayan çok tipte çimento üretilmektedir. Üretim sonucu ülke içine giren paranın daha uzun süre ülkede kalması için yerli malı kullanılmalı, yerli üretim arttırılmalıdır. Yerli malzemenin kullanımıyla yapılan beton yollar, bu açıdan Türkiye için önemli konumdadır.

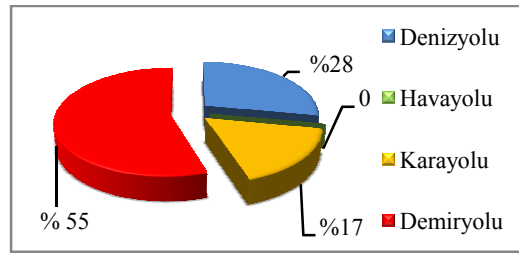
Bu çalışma bu çerçevede Türkiye'deki beton yol ağının çoğaltılmasıyla elde edilecek avantajlar ve yapım aşamasındaki teknik konularda derlemeler yapmaktadır. Beton yolun üstünlükleri ve zayıf yönleri irdelenmiş olup, beton yolların kullanım ömrünün arttırılması için yapılacaklar, yapım aşamasındaki incelikler, asfalt yol ile kıyaslamalar, beton yollarda yüzey yenileme ve beton yolların yüzey özellikleri detaylandırılmıştır. Beton yollarda kullanılan en son tasarım yöntemlerinden The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO - 86, AASHTO – 93) yöntemleri detaylandırılmıştır. En performanslı ve konforlu tasarım cinsi olarak devamlı betonarme (derzsiz) beton yol tasarımı incelenmiştir.

Bu çalışmada kendine has olarak, çelik ve polipropilen lif katkılı ve uçucu kül değişenli Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) üretimi yapılmış olup, yol kaplaması olarak kullanılması için tavsiye edilebilecek beton cinsi ve malzeme oranları saptanmıştır.

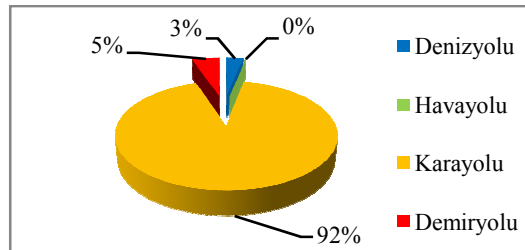
Bu amaçla 63 küp (15cm), 42 silindir, 21 kiriş, 21 levha (10x30x30cm) numunesi hazırlanmış olup 28 günlük küp basınç dayanımları, schmidt çekici okuması, ultrases deneyi, yarmada çekme, levha tekil yük yükleme, kiriş eğilme deneyleri yapılmıştır. Tüm karışım numuneleri Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Yapı malzemeleri laboratuvarında hazırlanmış olup dayanım deneyleri de 28 gün sonunda aynı yerde yapılmıştır.

Genel amaç beton yol yapımındaki incelikler, maliyetler, beton cinsi ve tasarım yöntemi irdelemesidir. Lifli beton kullanımı ile Continously Reinforced Concrete Pavement (CRCP) tipi kaplamalardaki donatılandırma işçiliği, maliyeti, süresinde iyileşmelerin elde edilmesi, lifli yapıya ek olarak KYB niteliğinde yapısı sayesinde ise; bahsedilen özelliklere ek olarak döküm işçiliği maliyeti, süresi ve beton kalitesinin artışı gibi artılar hedeflenmiş olmaktadır. Özel amaç çelik lifli (Dramix 65/60), polipropilen lifli (12 mm) ayrıca uçucu kül değişkenleriyle kendiliğinden yerleşen beton (KYB) üretimi yaparak en uygun reçeteyi elde etmek ve beton yollarda kullanılabilirliğini irdeleyip, beton yolların sürekli olarak tasarımını (CRCP) incelemektir.

Türkiye’de 1950’li yıllarda yaşanan göç hareketleri ve sanayinin hareketlenmesi sonucunda, başta İstanbul olmak üzere çoğu büyük ilde ulaşım ihtiyacı artmıştır. (Bkz. Şekil 1.1.) Bu yıllardan sonra ülkemizde yük taşımacılığı ve yolcu taşımacılığında demiryolu ve denizyolu çok gerilerde kalmış ve ihtiyaç karayolu yapımı ile karşılanmaya çalışılmıştır. Dönemin şartları göz önüne alındığında bitüm fiyatlarının uygunluğu, asfalt yapım tekniğinin nispeten kolay oluşu ve beton teknolojisinin ülkemizdeki zayıf durumu sebebiyle ülkemizde esnek üstyapı da denilen asfalt yollar yapılmış ve ihtiyaçların çoğu bu yollar ile karşılanmaya çalışılmıştır. (Bkz. Şekil 1.2.)



Şekil 1.1. 1950 yılında Türkiye’de yük taşımacılığı dağılımı (KGM)



Şekil 1.2. 1980 yılında Türkiye’de yük taşımacılığı dağılımı(KGM)

Geçmiş yıllarda esnek kaplamanın tek çözüm yolu olarak benimsenmesinin yanında, 1973 yılına kadar ucuz bitüm temin edilebilmiş ancak 1973 yılında yaşanmış olan petrol krizinden sonra, hammaddesi petrol olan bitümün birim fiyatı artış göstermiştir (Türel, 2002). Ekonomiye ağır yük teşkil eden ulaştırma maliyetlerinin içselleştirilmesi yerli üretim ile yapılmalıdır. Bu konuda en iyi çözüm anahtarı, daha dayanıklı ve daha az bakım masrafı gerektiren ve ayrıca hammaddesi ülkemizde bol çeşitte bulunan beton yolların tercih edilmesidir.

Fakat ülkemizde, ağır taşıt trafiği yoğunluğu birçok ülkenin üstünde olduğu ve artık mevcut kaplama tipinin bu yükü karşılayamadığı gerçeği ile birlikte, sonu gelmez bakım-onarım masrafları olduğunun bilinmesine karşın, halen esnek üst yapı tipi olan asfalt yol kullanılmaktadır. Türkiye’de 2010 Ocak verilerine göre 2100 km otoyol, 7488 km devlet yolu, 1193 km il yolları olmak üzere toplamda 10781 km asfalt betonu kaplama olmasına karşın toplam beton yol miktarı 20 km civarındadır (KGM web sitesi). Bu yolların çoğu Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (T.Ç.M.B) destekleriyle yapılmıştır (TÇMB web sitesi).

2. ESNEK KAPLAMA ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Kaplama tabakasında kullanılan bağlayıcı cinsine göre yol üstyapıları; esnek kaplamalar ve rijit kaplamalar olmak üzere iki ana sınıfa ayrılmaktadır. Bağlayıcı olarak bitümlü malzemelerin kullanıldığı beton çeşidine esnek yol üstyapısı denilmektedir. Bağlayıcının çimento olduğu betonun kullanıldığı kaplamalar rijit kaplamalardır. Her iki kaplama tipinde de güzergâh belirleme, kurp hesapları, maksimum eğim şartları, minimum şerit sayısı belirleme gibi hesaplar aynen geçerlidir.

Üstyapı tabakalarının en uygun şekilde tasarımı; güvenlik, konfor ve ekonomi bakımından büyük önem arz etmektedir. Her iki kaplamada da uygunsuz tasarım, sonuçta konforsuzluk ve maliyet olarak geri dönecektir. Üstyapı kaplama tabakalarının servis ömrü, trafiğe açılışından itibaren, iyileştirme veya yeniden yapım gerekinceye kadar geçen periyot olarak tanımlanmaktadır. Üstyapının ömrü; yapısal tasarım şartlarına, malzeme karakteristiklerine, tabaka kalınlıklarına, bakım aktivitelerine veya kabul edilen bozulma kriterlerine göre değişiklik göstermektedir. Bu sebeple dizayn aşamasında yerel şartlar irdelenmelidir. Aksi halde avantajlı düşünülen ve hedeflenen kaplama tipi daha avantajsız bir durum alabilir.

Bağlayıcı olarak petrol ürünlerinin kullanıldığı asfalt yollar esnek yol üst yapılarıdır. Esnek kaplamalar bitümle agrega karışımının belli temel üzerine oturtulması ve sıkıştırılmasıyla yapılan, asfalt kullanılan kaplamalardır.

Karayolu esnek üstyapısı, trafik yükünü taşımak üzere, taban zemini üzerine yerleştirilen tabakalı yol yapısıdır. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyi ile sıkı bir temas sağlayan ve yükleri taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olarak tarif edilmektedir. Alt temel, temel tabakasını taşımak üzere tabii zemin üzerine yerleştirilen, granülometrisi ve plastisite özellikleri belirli olan granüler malzemeden oluşmuş bir tabakadır. Temel, alt temel üzerine inşa edilen tabakadır. Kaplamayı taşımak, yükü yaymak, drenaj temin etmek ve don etkisini azaltmak gibi fonksiyonlara sahiptir. Kaplama tabakası en üst tabaka olup genellikle asfalt betonu yada sathi kaplamadan oluşur. Kaymaya, trafik aşındırmasına ve iklim koşullarının ayrıştırıcı etkilerine karşı koyar (Umar ve Ağar 1991).

Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek tabii zemine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibidir. Yani tekerlek yükleri altında esnek yapı deforme olur ve her tabaka, daha az deforme olarak yükü bir alttaki tabakaya daha da yayarak iletir. Böylece asfalttaki yük zemindeki geniş alanda karşılandığından daha az bir gerilme ile iletilir. Zemine yaklaştıkça gerilmedeki azalma sebebiyle, malzeme de bu düşüğe uygun seçilmelidir (Sezgin, 2003).

Esnek üstyapıların dizaynında platform genişliği, banket genişlikleri, hendek ve şevler oldukça önemli bir yer teşkil etmektedir. Bir esnek üstyapı, proje ömrü, trafik hacmi, mevcut malzeme durumu ve taban zemini CBR değeri gibi kriterler göz önünde bulundurularak, tabakalı olarak projelendirilir (Gazi Üniv. web sitesi).

Esnek üstyapılar; pürüzsüz ve düzgün yüzeyle, belli değerde kayma direncine sahip, kalıcı deformasyonlara karşı dirençli, trafik yüklerini zemin taşıma gücünü aşmayacak şekilde yayabilen kalınlıkta, aşınmaya karşı durabil, suyu temele geçirmeyecek şekilde geçirimsiz olmalıdırlar (Tunç, 2007).

Esnek üstyapılar iyi projelendirilmezse; aşağıdaki iki nedenden biri yolun tahrip olmasına sebep olur:

- Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerlerini aşması ve iç dengenin bozulması ile ortaya çıkan kaymalar.
- Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişmeler altında, oldukça büyük oturmaların ortaya çıkması, üst tabakaların oturmalara uymaması sonucunda oluşan çatlaklar, kopmalar (Özgan, vd., 2010).

Esnek üstyapılar genelde;

- Düşük standartlı kaplamalar (Yüzeysel veya koruyucu tabakalar)
- Yüksek standartlı kaplamalar (Bitümlü sıcak karışımlar)

olmak üzere iki ayrı kalite olarak sınıflandırılabilirler.

2.1. Düşük Standartlı Esnek Kaplamalar ve Tipleri

Düşük standartlı kaplamalar trafik hacminin düşük olduğu (Ağır taşıt trafiğinin günlük 500'den az olan veya 8,2 ton standart dingil yükünün 20 yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olan) yollarda ekonomik olup yeterli performansı sağlayabilmektedirler.

Düşük standartlı esnek kaplamalar;

- Stabilize yani bağlayıcısız kaplamalar
- Makadam temeller
- Sathi kaplamalar
- Koruyucu satıh tabakası kaplamalar olarak inşa edilir (Tunç, 2007).

Koruyucu satıh tabakaları daha ziyade esnek kaplamaların onarımında kullanılmaktadır. Proje ömrü boyunca standart dingil yükünün tekerrürü ($T_{8,2}$);

- 40.000'den az ise stabilize
- 40.000 ila 100.000 ise tek kat sathi kaplama veya stabilize
- 100.000 ila 500.000 ise tek kat sathi kaplama
- 500.000 ila 2.000.000 ise çift kat sathi kaplama
- 2.000.000 dan fazla ise bitümlü sıcak karışım(BSK)

olarak yapılmalıdır (Tunç, 2007).

Her ne kadar ülkemizde trafik artış hızı fazla olsa da, karayolu ağımızın büyük kısmında ve köy yollarında trafik hacmi oldukça düşüktür. Yinede bu gibi düşük hacimli yollarda dahi BSK ile karşılaşılabilir. Aynı şekilde yüksek hacimli yollarımızda da stabilize yollarla karşılaşılabilir.

Ülkemizde makadam temel+koruyucu satıh tabakası kullanılmamaktadır. Ayrıca kalite olarak BSK'nın bir alt kalitesinde olan harçlı kaplamalar da ülkemizde tercih edilmemektedir.

2.1.1. Makadam temeller

Makadam temeller düşük hacimli yollarda stabilize kaplamaların bir şekilde düzenlenmesi sonucu elde edilen düşük standartlı esnek bir kaplamadır (Tunç, 2007).

- a) Penetrasyon makadam temel; Penetrasyon makadam temel imalatı, sathi kaplama yapımındaki agrega asfaltın uygulama sırasının tersidir. Yani sathi kaplama imalinde önce asfalt bağlayıcı sonra agrega tatbik edilirken, makadam temelde önce agrega sonra bağlayıcı tatbik edilir.
- b) Bitümlü makadam temel; Bu kaplamalar düşük trafikli yollarda sathi kaplama ya da koruyu satıh kaplaması (özellikle aşınma tabakası) altına veya bir alttemel tabakası üzerine kırmataş ile hazırlanan kaba gradasyonlu agregaya bitümlü bağlayıcı ilave edilerek elde edilen karışımlardır. (Bkz Şekil 2.1.)
- c) Suyla kaynatılmış makadam temel; Bu kaplama çeşidi ülkemizde kullanılmayan ancak çok düşük trafiğe sahip yollar için koruyucu bir örtme tabakası altında dünyada yaygın kullanılan düşük standartlı bir kaplamadır. Bu tip kaplamanın yapımı için kaba agrega doğrudan bir alttemel veya zemin üzerine serilir ve sıkıştırılır. Sıkıştırılan kaba agreganın tüm boşluklarını dolduracak kadar ince agrega serilir ve sıkıştırılarak ince agreganın kaba agreganın içine iyice nüfus etmesi sağlanır. Tekrar kuru ince agrega serilir ve üzerine bol su tatbik edilerek sıkıştırılır. (Bkz. Şekil 2.2.)



Şekil 2.1. Bitümlü makadam kesiti



Şekil 2.2. Suyla kaynatılmış makadam

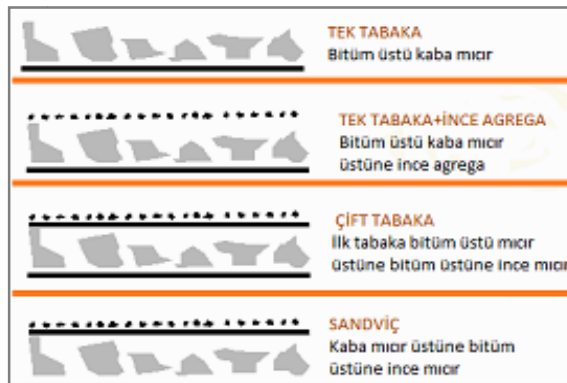
2.1.2. Sathi kaplamalar

Sathi kaplamalar nispeten düşük trafik hacimli yollarda çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip kaplamalar bir temel tabakası üzerine tek kat veya çift kat olmak üzere uygulanabilir. İnce bir film tabakası halinde sıvı asfalt tatbik edildikten hemen sonra uygun boyut ve şekildeki agreganın serilip sıkıştırılmasıyla elde edilen hem ekonomik hem de basit bir esnek kaplama tipidir (Bkz Şekil 2.3.). Sathi kaplamalı üstyapılar, taban CBR değeri ve yolun proje ömrü boyunca geçecek toplam standart dingil sayısına göre projelendirilmelidir. Sathi kaplamalı üstyapıların tabaka kalınlıkları yardımcı sathi kaplama tasarım abağı ile bulunabilir.

Sathi kaplamaların da farklı tipleri vardır. (Bkz. Şekil 2.4.)



Şekil 2.3. Tek Tabaka Sathi Kaplama



Şekil 2.4. Sathi kaplama uygulama tipleri ve yapılaş şekilleri

2.1.3. The California Bearing Ratio (CBR) değeri ve hesaplanması

Arazi CBR deneyi kısaca, belli çaptaki bir pistonun, kriko aracılığı ile üzerinden geçmesi muhtemel yol zeminine batırılması esasına dayanır. Belirli batma değerlerine karşı ölçülen yük miktarları, kırmataş için bulunmuş standart değerlere oranlanarak zeminin CBR değeri hesaplanır.

$$CBR = \frac{\text{ÖLÇÜLENYük}}{\text{STANDARTyük}} \times 100\%$$

Çizelge 2.1. %100 CBR değerinde standart yük - penetrasyon değerleri.

Pistonun penetrasyonu (mm)	Karşılık gelen yük (kg)	Karşılık gelen dayanım (kg/cm²)
2,5	1370	70
5,0	2030	105
7,5	2630	134
10	3180	162
12,5	3600	183

Bu deney, kesit alanı 19,35 cm² olan silindrsel bir pistonu belirli bir hızla zemine iterek elde edilen yük - penetrasyon bağlantısının (Kaliforniya taşıma oranı) bulunmasını kapsar. Pistonun boyutları nedeniyle deney sadece tane büyüklüğü en çok 20 mm olan malzeme için uygulanır. Genelde belli batma miktarları kabaca taşıma gücünü işaret eder (Bkz. Çizelge 2.1.) Su içeriğinin oldukça yüksek olduğu kohezyonlu zeminlerde (CBR değeri %5 den küçük) bu deneyin doğru değerler vermediği görülmüştür. CBR, Penetrasyonun herhangi bir değeri için ölçülen yükün standart bir yüke oranı olarak ifade edilmektedir. CBR değeri 2,5 mm'lik ve 5,0 mm'lik penetrasyonlarda hesaplanır ve elde edilen bu iki değerden büyük olanı zeminin CBR değeri olarak kabul edilir (M.E.B.,Megep, 2006).

Toplam Standart Dingil Sayısı

$$T_{8.2} = W_g * 365 * t$$

formülü ile bulunur. Burada;

W_g: Ortalama günlük (tek yönde - tek şeritte) standart dingil sayısı

t: Proje süresi olarak alınacaktır.

2.2. Yüksek Standartlı Esnek Kaplamalar

Yüksek standartlı esnek kaplamalar çok tabakalı kaplamalardır. Esnek kaplamalarda kullanılan tabakalar;

- Alttemel
- Temel
 - Granüler
 - Plentmiks (ihtiyaç olduğunda)
 - Çimento bağlayıcılı (ihtiyaç olduğunda)
- Kaplama
 - Bitümlü temel
 - Binder
 - Aşınma

olmak üzere çok bileşenlidir.

Her bir tabakanın kalınlık ve fonksiyonu birbirinden farklıdır. Tabakaların tipleri ve kalınlıkları yolun sahip olduğu trafiğin hacmi, zeminin taşıma gücü, çevresel faktörler, kullanılan malzemenin mekanik özellikleri, vb. hususlar göz önüne alınarak saptanır.

2.2.1. Temel tabakaları

- a) Mekanik stabil temel; Belirli fiziksel özelliklere ve gradasyona sahip agreganın optimum su içeriğinde karıştırılıp yola serildikten sonra silindirler ile maksimum kuru yoğunluğa kadar sıkıştırılması sonucu elde edilen stabil bir temel tabakasıdır
- b) Plentmiks temel; Mekanik stabilizasyon temelde olduğu gibi belirli bir gradasyona sahip agreganın plentte su ile karıştırılarak serilmesi işlemidir.
- c) Çimento bağlayıcı temel; Plentte iyi derecelendirilmiş agreganın çimento ilave edilerek karıştırılıp stabil hale getirilmesiyle oluşmuş temel tabakalarıdır.
- d) Alttemel; En alt tabaka olup düşük elastisiyet modülüne veya CBR değerine sahip fakat iyi dren olabilen granüler malzemelerden yapılıdır (Tunç, 2007).

2.2.2. Bitümlü karışım kaplama tabakaları

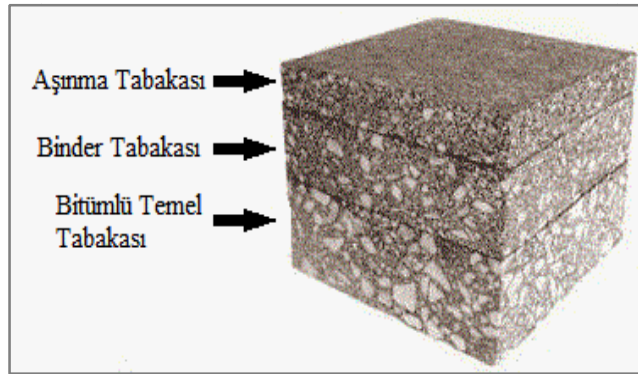
Bitümlü karışımlar, bir asfalt plentinde agrağa ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak veya sıvı asfaltlar ile soğuk olarak sıkıştırılmış olmalarına göre;

- Bitümlü sıcak karışımlar
- Bitümlü soğuk karışımlar olmak üzere iki farklı şekilde imal edilebilirler.

Ülkemizde bitümlü sıcak karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bitümlü sıcak karışımlar hem asfalt bağlayıcının hem de agreganın uygun ısıya kadar ısıtılıp uygun oranlarda plentte karışımı ile elde edilmekte ve yüksek standartlı esnek kaplamaların üst tabakalarında kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2.5, 2.6.). Ülkemizde sık kullanılmayan soğuk bitümlü karışımlar, genel olarak kışın acil onarım işlerinde ve asfalt plentinin olmadığı veya ekonomik olmadığı durumlarda çok küçük miktarda bitümlü karışım gereken yerlerde kullanılmaktadır.

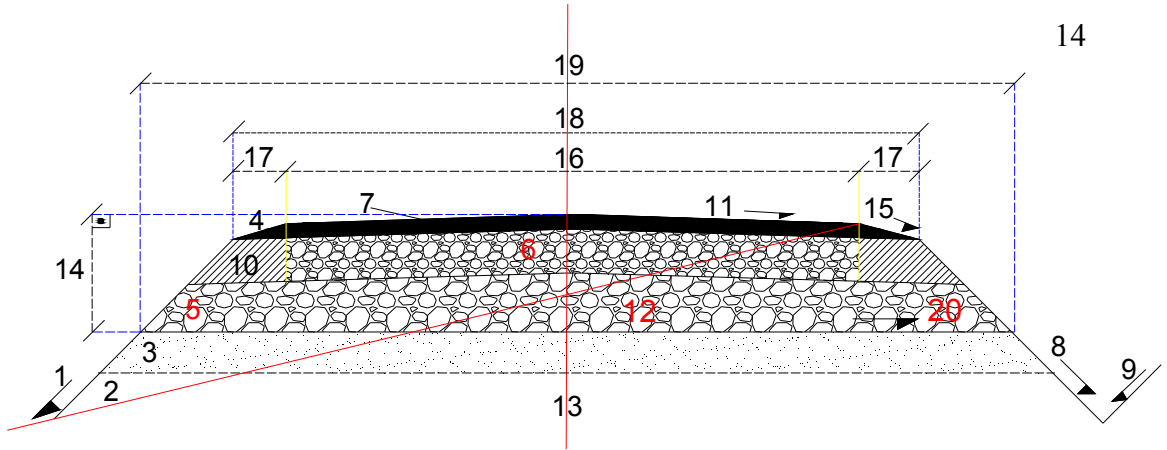


Şekil 2.5. Sıcak asfaltın yüzey düzeltme işlemi



Şekil 2.6. Bitümlü sıcak karışım (BSK) kesiti

BSK'nın serim anındaki ısı minimum $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ olmalıdır. Taşıma esnasındaki, şantiyede bekleme esnasındaki ısı kayıpları $20\text{ }^{\circ}\text{C} - 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında kabul edilmeli ve malzemenin plentten çıkış sıcaklığı bu değerler hesaplanarak ayarlanmalıdır. Sıkıştırma başlangıcında $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ şartı mutlaka aranmalıdır. Aksi halde karışımın viskozitesi artarak, sıkışmaya karşı direnci artacak ve istenilen sıkışıklık derecesi elde edilemeyecektir (Giriş, 2007)



Şekil 2.7. Tipik Esnek Üstyapı Enkesiti (Özgan, vd., 2010)

1. Dolgu Şevi	11. Yolun Enine Eğimi
2. Doğal Zemin	12. Tesviye Yüzeyi
3. Seçme Malzeme Tabakası	13. Taban Zemini
4. Banket Kaplama	14. Üstyapı Proje Kalınlığı
5. Alt temel	15. Banket Eğimi
6. Temel Tabakası	16. Trafik Şeritleri Genişliği
7. Kaplama Tabakası	17. Banket Genişliği
8. Hendek Şevi	18. Yol Genişliği
9. Yarma Şevi	19. Üstyapı Taban Genişliği
10. Banket Temeli	20. Tabanın Enine Eğimi

Esnek üstyapılar iyi projelendirilmezse iki sebepten dolayı yol yapısı tahrip olabilir.

1. Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerlerini aşması ve iç dengenin bozulması ile ortaya çıkan kaymalar,
2. Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişimler altında, oldukça büyük oturumların ortaya çıkması, üst tabakaların bu oturmalara uymaması sonucu ortaya çıkan çatlaklar, kopmalar.

2.2.3. AASHTO metodu esasları

Bu tasarım yönteminde yapısal tasarım (tabaka kalınlıkları ve cinsi) ve yükleme şartlarının (dingil yükü ve tekerrür sayısı) kaplamaya olan etkileri ve kaplama performansının yük tekerrürleri altındaki değişimi esas alınmaktadır. Kaplama kalınlığını veren formül yol testlerindeki gözlem ve ölçümlere dayandırılarak elde edilmiştir.

Bir kaplamanın performansı, taşıtların emniyetli ve konforlu olarak seyahat edebilmelerinin göstergesidir. AASHTO yönteminde kaplamanın performansı “servis yeteneği” kavramı ile tanımlanmaktadır. Bu yol testinde kaplamanın başlangıçta sahip olduğu ve belirli bir kullanım sonunda azalan servis yeteneğine göre kaplamanın performansının nasıl değiştiği saptanmaya çalışılmış ve buna göre tasarım formülleri geliştirilmiştir. Mevcut servis yeteneği indeksi (*PSI*) Eşitlik 1’de kaplama yapısal sayısı (*SN*) Eşitlik 2’de görüldüğü gibi belirlenmektedir.

AASHTO yol testlerinin sonuçları trafik yükleri, malzemenin özellikleri, tabaka kalınlıkları, iklim koşulları ve zemin şartlarının etkileri regresyon analizleri ile irdelenmiştir. Esnek kaplamaların tasarımı için AASHTO tasarım rehberinde Eşitlik 3 kullanılmıştır (AASHTO, 1972).

$$PSI = 5.03 - 1.91 \log(1 + SV) - 1.38 RD^2 - 0.01 \sqrt{C + P} \quad (1)$$

$$SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 + a_3 D_3 \quad (2)$$

$$\log W_{8.2,t} = 9.36 - \log(SN+1) - 0.20 + \frac{\log[4.2 - p_t] / (4.2 - 1.5)}{0.4 + \left[\frac{1094}{(SN+1)^{5.19}} \right]} - \log \frac{1}{R} + 0.372(S_i - 3) \quad (3)$$

$W_{8,2t}$: 8,2 ton tek dingil yükünün nihai servis yeteneğine erişmesi için gerekli toplam tekerrür sayısı,

SN : Düzeltilmiş kaplama yapısal sayısı,

S_i : Kaplamanın üzerine oturduğu zeminin izafi taşıma gücü,

P_t : Nihai servis yeteneği indeksi,

R : Bölgesel faktör

RD : Her iki teker izindeki ortalama derinliği (inç),

SV : Ortalama eğim değişiminin 106 ile çarpımı,

C : Çatlakları (her 1000 ft²'de çatlakların alanı),

P : Yamaları (her 1000 ft²'de yapılan yama alanı),

D_i : Kaplama, temel ve alt temel tabaka kalınlıkları,

a_i : Her bir tabakanın izafi mukavemet katsayısıdır.

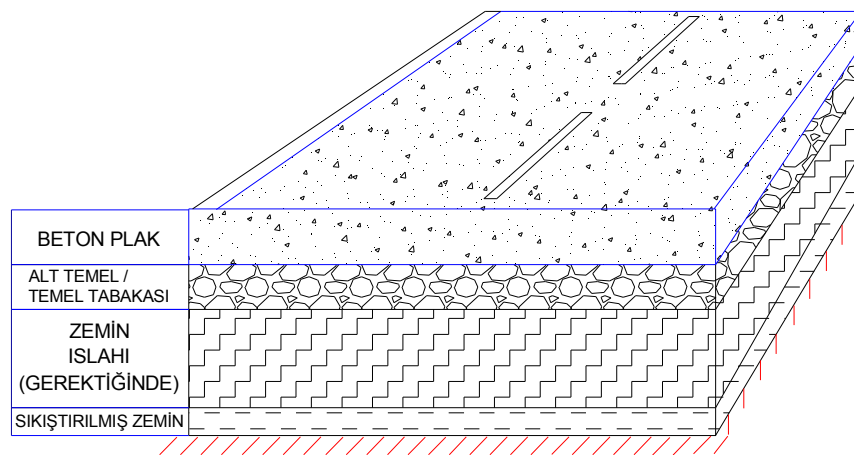
AASHO-72 tasarım yönteminde sırasıyla şu işlemler yapılır: Üstyapısı hesaplanacak yolun oturacağı doğal zeminin taşıma gücü (CBR) belirlenir. Proje trafiği belirlenir. Hizmet ve işletme periyodu sonundaki trafik belirlenir. Projelendirmede kullanılacak (**$W_{8,2t}$**) dingil yüküne eşdeğer trafik tespit edilir. Bölge faktörü, şerit faktörü ve yolun son hizmet kabiliyeti indeksi belirlenir. SN belirlenir. Tabaka kalınlıkları ile izafi mukavemet katsayılarının çarpımının en az SN değerini vereceği kalınlıklar tespit edilir. Her bir tabakanın CBR değerlerine göre kalınlıkları tekrar kontrol edilir. Yetersiz olan kalınlıklar artırılır.

3. RİJİT KAPLAMA ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı önemli bir alternatif haline gelmiştir.

Beton kaplamalar, çok yüksek trafik hacmine ve ağır trafiğe sahip karayollarında ve hava alanlarında taşıtlar için gerekli sürüş konforu ve sürüş emniyetini temin etmek amacıyla yapılan yüksek standartlı rijit üstyapılardır.

Beton kaplamalar, yeterli mukavemete sahip zeminler üzerine belirli bir kalınlıkta serilen granüler alttemel tabakası ile kısmen donatılı veya sürekli donatılı beton plaklardan meydana gelir. Rijit kaplamalarda, esnek kaplama tiplerinin aksine kalın ve katmanlı temel tabakalarına gerek duyulmamaktadır (Bkz. Şekil 3.1.). Beton Yol elemanlarını, Taban Zeminleri, Kaplama Altı Tabakası, Beton Plaklar ve Derzler ana başlıkları altında toplamak mümkündür.



Şekil 3.1. Tipik beton kaplama perspektifi

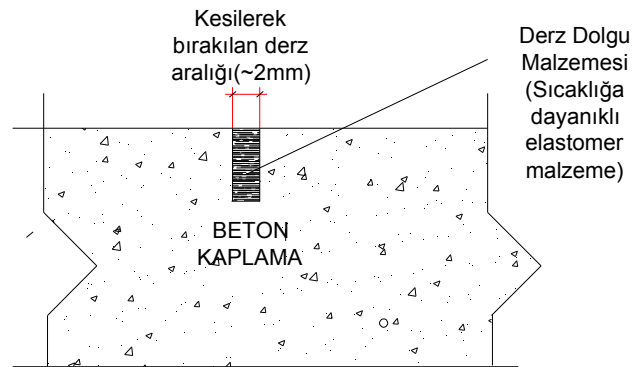
Beton yollar trafik yüklerini esnek üstyapıya nazaran daha geniş alana yayarak, zemine iletir. Buna rağmen zemin çeşitli nedenlerle çökerse, zeminin şekil değiştirmesine ayak uyduramayan rijit beton plak, bu kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar. Zemin desteğinin yitirilmesine karşın yük taşımaya devam eden beton kaplama, yüksek yükler karşısında ise bu olumlu özelliğinin yan etkisini gösterir ve kırılarak (punchout) zemine direkt yük transferi moduna geçer. Böylelikle yol yüzeyi bozulmuş ve temele su alır hale gelmiş olur. Bu etkiler düşünüldüğünde zemin ve beton kalitesinin önemi ortaya çıkmaktadır. Rijit beton plak, taban zemini ile sürekli temas halinde olduğu sürece taşıyıcı eleman vazifesi görür, fakat betonun düşük olan çekme basıncının aşılması sonucunda da kaplama kırılabilir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plakalardan oluşur. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılabilir. Genellikle beton plağın elastisite modülü taban zemininkinden çok büyüktür. Bu nedenle beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışabilmektedir (Umar ve Ağar 1991).

Rijit üstyapı; kaplama tabakası, kum, iri - ince agrega, portland çimentosu, katkılar ve su karışımından oluşan tek veya iki tabaka halinde dökülen bir üstyapı tipi olup, gerektiğinde granüller bir kaplama altı tabakası da kullanılabilir. Rijit üstyapıda yük büyük oranda elastik temel üzerine oturan plak tarafından karşılanmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

Beton yolların yüzeyleri kayma sakıncası göstermediği tutucu ve pürüzlü olduğu için % 7 ye kadar boyuna eğim uygulanabilir. Daha fazla eğimli bir beton yol isteniyorsa yüzeyin özel olarak pürüzlendirilmesi gerekebilir. Teknik Şartnamelerde yağış sularının çabuk akması için min. boyuna eğim % 0,4 olarak belirtilmiştir. Beton yolun yüzeyinin düzgün olması suların kolayca akmasına müsait olduğundan, enine eğim küçük alınabilir. Düşük boyuna eğimlerde enine eğim % 2,0; dik boyuna eğimlerde de minimum % 1 olmalıdır. Otoyollarda % 1,6 – 2 uygundur. Taban zemini özellikleri nedeniyle plak kalınlığını arttırmak gerekirse, bu kalınlık en çok 25 cm.ye kadar çıkarılabilir. En düşük kalınlığa gelince, mevcut ve sağlam bir altyapı üzerine gelecek beton döşemelerin kalınlığı 1.grup yollarda 15 cm, ötekilerde 12 cm.den az olamaz. Bu kalınlıklar betonun tek tabaka olarak dökülmesi hali için verilmiştir (Umar ve Ağar 1991).

20 yıl proje ömrü içinde $T_{8,2}$ standart dingil yükü sayısının 60 ile 75 milyondan fazla olan veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari vasıtaların sayısı 5000 den fazla olan yollarda ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5000 den fazla kalkış yaptığı hava alanlarında beton kaplama yapılması kaçınılmazdır. Bu nedenle gelecekte ülkemizde beton kaplamaların kullanımının gündeme gelmesi ve yaygınlaşması beklenmektedir. Özellikle 1980'li yıllardan sonra beton teknolojisinde kat edilen teknolojik yenilikler (hiper akışkanlaştırıcı katkılar, hava sürükleyici katkılar, mineral katkı – silika füme, lifler, uçucu kül v.b. kullanımı, yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinde kullanılan aletler) sayesinde, betonun dayanım özelliğinin yanı sıra, servis süresince dış etkilere dayanıklılığı (durabilitesi) önemli ölçüde arttırılmıştır.

Beton kaplamaların uzun sürede performansını sağlamak için işçilik de uygun malzeme seçimi ve yapı dizaynı kadar önemlidir. Rijit yol kaplaması üretimi çok karmaşık bir süreçtir. Bu aşama, altyapının hazırlanması, temel tabakasının yapımı, kullanılacak malzemenin seçimi, beton üretimi ve taşınması, beton dökümü, kür yapılması gibi aşamaları içerir. Bir beton yol kaplaması, üstte çimento betonu, alt kısımlarda ise temel ve alt temel (eğer kullanılırsa) tabakalarını içerir. Yükün en kuvvetli kısmını üst kaplama karşılar. Temel ve alt temel kısımları daha az yük değerleriyle karşılaşır. Fakat drenaj, donma etkisinden koruma, iş makinelerine çalışma alanı sağlama gibi görevleri vardır. Rijit kaplama, esnek kaplamaya göre daha sert yapıdadır. Bunun sebebi kullanılan bağlayıcının etkisiyle oluşan elastisite modülüdür. Beton çelik ile betonarme hale getirilir ve genellikle derzli tasarımla çatlaklar önlenmek istenir. (Elias et al., 2008), (Bkz. Şekil 3.2.).



Şekil 3.2. Rijit kaplamalarda klasik derz kesiti

3.1. Beton Yolların Tarihçesi

İlk olarak Romalılar MÖ 1.yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzzolonik bağlayıcılar kullanmışlardır. Çok eskiye dayanan bu örnekte taş parçalar, bağlayıcılarla bir araya getirilmiştir. Sadece beton yollardaki gelişmelere bakacak olursak 19 yüzyılın sonlarına gitmemiz gerekecektir. İlk Beton yol uygulaması ABD’de yapılmıştır. 1891’de Ohio’da yapılmış bir sokak ilk beton yoldur. Çok ince hesaplara ve detaylara boğulmadan yapılan bu yollar ile şimdiki yollar arasında önemli farklar bulunmaktadır. Tasarım ilkelerine dayalı beton yollar 1920’li yıllarda yapılmıştır. Daha sonraları zemin problemlerinin baş göstermesi ile alt temelli klasik beton yollar 1933 yılından sonra imal edilmiştir (TMH, 2003).

Almanya’da işsizlikle mücadele etmek için askeri birimlerin hızlı ve güvenli şekilde hareket edebilmeleri için çalışan sayısı fazla olan beton otoyol şantiyeleri kurulmuştur. Daha sonra Belçika ve Fransa, beton otoyol yapmaya başlamışlardır. Deforme olmayan kalıp kullanımı ve beton santrallerinin varlığı ile kalite garanti altına alınmaya çalışılmıştır. Beton yol yapımında kolaylıkların artması ve sanayileşme ile sadece 1960 ve 1970 yılları arasında ABD’de 70.000 km beton yol yapılmıştır.

Toplam Beton yol sahipliği açısından ABD, Almanya, Belçika, Japonya, Fransa ilk sıralarda yer alan ülkelerdir. Silindirle sıkıştırılabilen RCC kaplamalarda ilk modern örnek ise 1970 yılında İspanya’da yapılan düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda ki uygulamadır. Ağır trafik taşıyan diğer bir RCC kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada’da yapılmıştır (Keifer, 1988). Geçmişten bu yana beton teknolojisinde yaşanan gelişmelere bakacak olunursa beton yol yapma sebepleri derinlemesine irdelenmelidir. Gelişmelere örnek olarak; Hazır beton şirketlerinin açılması, kayar kalıplar, lifli betonlar, kür kimyasalları, öngörmeli beton, sürekli betonarme levhalar gibi örnekler verilebilir. Tüm bunlara rağmen ülkemizde 2010 yılına kadar 5,5 km’ si TÇMB desteği ile yapılmış yolla beraber toplamda 10 km kadar beton yol yapılmıştır (Yeğınobalı, 2009).

3.2. Türkiye'deki Mevcut Beton Yollar Ve Türkiye İçin Beton Yolların Önemi

1985-1990'lı yıllarda Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından başlatılan Yeni Adana Projesi kapsamındaki Planlı Şehirleşme uygulamalarında birçok bulvar Beton Yol olarak yapılmıştır. Günümüze kadar herhangi bir bakım ve onarım gerektirmeden hizmet veren bu kaplamanın daha uzun yıllar hizmet vereceği görülmektedir (Bkz. Şekil 3.3 ve 3.4). Adana Büyükşehir Belediyesi 'nin 1985-1990'lı yıllarda yapımını gerçekleştirdiği Beton Yollar 'ın mevcut görüntüleri aşağıda verilmiştir (Uçar ve Konrapa, 2002).



Şekil 3.3. Turgut Özal Bulvarı / Adana, Yapım yılı: 1986



Şekil 3.4. Mavi Bulvar / Adana Yapım yılı:1986

Beton yollara ilk somut örneklerden olacak bir proje de Afyon yolu olarak isimlendirilmiş yol yapım projesidir (Ecevit, 2007). İncehisar ayırımında yapılacak bu yolun sonradan şehre yakın bir yerde yapılması düşünülmüş ve Afyona gidiş yönünde 5+700 ve 7+700 uzaklıkları arasında yapılmıştır. Eğim olarak % 2, platform genişliği 12 m seçilmiş olup, Alt temel kalınlığı 25 cm, temel kalınlığı 15 cm seçilmiştir. Böylece kaplama altına kadar olan kısım 40 cm belirlenmiştir. Toplam uzunluk 2000 m ve enine derz aralığı 5 m seçilmiştir. Yol kış şartlarında performansını sergilemiştir (Bkz. Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Afyon beton yol kaplaması

Bir diğer düşünülen fakat yarım kalan proje de Şanlıurfa-Viraşehir beton yoludur. Beton yolun toplam uzunluğu 93,8 km olup tamamı Şanlıurfa ilinde ve BY standardındadır. Bu projenin 2003 yılından önce 4,3 km si BSK bölünmüş yol olarak trafiğe açılmıştır. 2003 – 2008 yılları arasında ise 14 km si sathi kaplama yapılmıştır. 2009 yılı ödeneği 11.000.000 TL olan bu yolun yıl içerisinde 20,5 km.lik kesimin BSK lı bölünmüş yol olarak bitirilmesi hedeflenmiştir. Yüklenici firmanın çalışmaması nedeniyle sözleşme feshedilmiştir. Görüldüğü gibi Avrupa ve Amerika'da 1930'lu yıllarda yapımına başlanan beton yollar, nihayetinde 2004 yılından sonra Türkiye'de kabul görmüş ve yapılması düşüncesi konuşulmaya başlanmıştır. 2020'li yıllarda yurdumuzda yoğun şekilde beton yol yapılacağı düşünülmektedir (KGM 91. şube web sitesi).

Asfalt Türkiye karayollarında 50 yılı aşkın bir süredir kullanılan tek kaplama malzemesi olmuştur. Bunun başlıca nedenleri,

- 1950'den sonra asfalt uygulamasının giderek yaygınlaşmış ve asfalt kaplama yapımında belirli bir teknoloji, deneyim ve alışkanlık edinilmiş, alternatif yol yapım teknikleri üzerinde fazla durulmamış olması
- 1974 yılına kadar ucuz bitüm sağlanabilmiş olması
- Asfalt kaplamalı yol yapımının beton kaplamalı yola göre daha kolay görülmesi, beton kaplamalı yol uygulamasının maliyetli ve güç olacağının düşünülmüş olması, şeklinde sıralanabilmektedir.

1974 yılından sonra petrol fiyatlarındaki ani artış nedeniyle, bitümün asfalt betonunun birim fiyatındaki payı giderek yükselmiş ve böylece asfalt ham madde (bitüm), maliyeti açısından sahip olduğu üstünlüğü yitirmeye başlamıştır. Bugün otoyollar ile birlikte 63.219 km uzunluğundaki şehirlerarası karayolu ağımızın 8.728 km lik bölümü “bitümlü sıcak karışım (BSK)” (asfalt betonu) kaplamalı, yaklaşık 50.000 km lik kısmı ise “yüzeysel kaplamalı” olarak yapılmış bulunmaktadır (Tunç., 2007). Türkiye'deki ağır taşıt trafiğinin Avrupa ortalamalarının oldukça üzerinde olması gerçeği de göz önüne alındığında, kapsamlı bakım – onarım çalışmalarının söz konusu olduğu ve olacağı açıktır.

Karayollarımızdaki bakım – onarım çalışmalarının, ülke ekonomisi açısından göz ardı edilemeyecek mali bir yük olduğu bilinmektedir. Bu arada, sık bakım – onarım çalışmaları nedeniyle aksayan ulaşımın yol açtığı akaryakıt giderleri ile iş ve enerji kaybının getirdiği yükün ve sürücülerin yaşadığı sıkıntının da ayrıca hesaba katılması gerekmektedir. Bu durumda, daha dayanıklı ve daha az bakım – onarım gerektiren, ana malzemesi kendi kaynaklarımızdan temin edilebilecek beton kaplamalı yollar yapmak önemli bir çözüm seçeneği olabilmektedir. Amerika'da 100, Avrupa'da ise 75 yılı aşkın süredir kullanılmakta olan beton kaplamalı yollar seçeneği, az sayıdaki bazı kent içi ve köy yolu dışında, Türkiye'de ne yazık ki bu güne kadar ciddi şekilde değerlendirilememiştir.

Asfalt kaplama üretiminde kullanılan ham petrolün büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bu gün çimento üretimi bakımından Dünyanın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemizde 5 adet rafineriye karşılık, ülkenin bütün bölgelerine dağılmış ve uluslar arası standartlara uygun çok sayıda çimento fabrikası ve hazır beton üretim tesisi bulunmaktadır.

Türkiye'de özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun ve taban zemininin zayıf olduğu bölgelerde beton kaplamalı yolların bir seçenek değil, zorunluluk olarak görülmesi gerekmektedir. Ağır taşıt oranı ve yıllık trafik artış yüzdesi yüksek olan ve bu nedenle çok sık bakım – onarım gerektirmesi nedeniyle sık sık trafiğe kapatılan asfalt betonu kaplamalı otoyolların, beton kaplamalı olarak yapılması uygun olacaktır. Böylece bu yolların, uzun yıllar bakım – onarım gerektirmeksizin, kesintisiz hizmet vermesi sağlanmış olacaktır. Aynı şekilde, yoğun ve ağır trafiğe maruz kalan kent içi yollar ve kent çevre yolları da beton kaplama uygulamasının son derece verimli olacağı kesimler olmaktadır. Beton kaplamalı yol ile ilgili tüm belirtilenler, Türkiye'de, ülkenin tüm ulaşım ve taşımacılık hareketini büyük oranda (% 90 – 95) üstlenen karayollarının yapımında 50 yıldan fazla süredir benimsenen “tamamen asfalt” yaklaşımının artık değiştirilmesinin uygun olacağını ortaya koymaktadır.

Diğer ülkelerin 100 yılı geçen deneyimleri, Türkiye'nin ekonomik ve toplumsal gerçekleri ve çağdaş mühendislik biliminin verileri ışığında, farklı çözüm seçeneklerinin denenmesinde geç kalınmış olduğu görülmektedir (Ağar, vd., 1998).

Amaç elbette tüm karayollarının betona dönüştürülmesi değil, ortam ve koşullara göre en uygun seçeneğin tercih edilmesi, özellikle yolun orta ve uzun vadedeki bakım – onarım ve işletim giderlerinin de hesaba katılarak, ülkemiz açısından en ekonomik ve verimli olan seçimin yapılması olacaktır.

Ülkemizde yol yapımı ve bakımından sorumlu kuruluşların, kısıtlı kaynaklarının önemli bir kısmını yol bakım – onarımında kullandıklarını ve Türkiye'nin gerek kaynak, gerekse mühendislik açısından beton kaplamalı yol yapımında son derece avantajlı ve yeterli bulunduğu göz önüne alınmalıdır.

Türkiye’de birçok ülkede olduğu gibi, beton kaplamalı yol seçeneğini dikkate almak suretiyle planlama yapmalarının uygun olacağı düşünülmektedir. Çimento üretiminde dünyanın önde gelen ülkelerinden olması ve beton üretim ve uygulama teknolojisinde gelişmiş ülkeler düzeyinde bulunmasına karşılık, Türkiye’nin bu potansiyeli karayolu yapımında kullanılmamaktadır. Bundan böyle, karayolu planlamalarında, özellikle de ağır taşıt trafiğinin yoğun olduğu bölgelerde, beton kaplamalı yol seçeneğinin göz önüne alınması zorunlu görülmektedir (Tunç, 2007).

Teknolojik ve bilimsel gelişmelerin hızlı yaşandığı dünyada, ülkemizin bu gelişmelerin gerisinde kalmasının önemli nedenlerinden biri de ulaşım ağının yeterli ve istenen standartlarda olmamasıdır. Yapılması gereken; gelişmiş ülkelerin seviyesine ulaşmaktır. Bunun için de ekonominin güçlü olması gerekmektedir. Ülke ekonomisinin güçlü olması ve dünya piyasalarıyla rekabet edebilir düzeye gelmesi için, sanayide gerekli olan hammadde ve mamullerin zamanında ekonomik olarak üretici ve tüketiciye ulaşması gerekir. Ulaşım ağında yapılacak her türlü proje ve yatırım ülke sanayisinin güçlenmesine önemli katkı sağlayacaktır.

Ekonomik olarak zayıf olan ülkemizde, yapılacak yolların standartlar açısından iyi olması ve optimum maliyetle yapılması gerekmektedir. Bununla ilgili olarak; ilk yapım maliyeti daha fazla olmasına rağmen, uzun vadede fazla bakım ve onarım gerektirmediğinden beton yol seçeneği mutlaka değerlendirilmelidir.

3.3. Beton Kaplama Tipleri ve Özellikleri

Beton kaplamalar Portland çimentosu betonu ile yapılan kaplamalardır (PCC). Bu kaplamalar alt kategorilere ayrılırlar. Bu farklı tipler çatlak kontrollerinin farklılığı, zeminin kalitesi ve harcanabilecek maddiyata bağlı olarak şekillenmişlerdir.

Beton kaplama tipleri;

- Donatısız ve derzli beton kaplamalar (JPCP)
- Donatılı ve derzli beton kaplamalar (JRCP)
- Sürekli donatılı beton kaplamalar (CRCP)

3.3.1. Donatısız ve derzli beton kaplamaların özellikleri (JPCP)

JPCP tipindeki kaplamaların blok uzunlukları 3,7m ile 6,1m arasında değişir. Bu blokların üretiminde betonarme donatısı bulunmaz, sadece derzlerde ankraj donatıları bulunur. Bu donatılar iki blok arası bağlanmayı sağlarlar. Beton kaplamalarda en önemli sorun zemin farklılıklarından dolayı ya da temel tabakasında oluşan bir bozulma sonucu blok elamanın ortadan yüklü iken uçlarından kalkma eğilimi göstermesidir. Derzlerdeki ankraj donatıları blokların daha kısıtlı ve bağımlı hareket etmesini sağlamak amaçlıdır. JPCP tipi kaplamaların blok uzunlukları betonun sınıf kalitesine göre arttırılabilir. Fakat genellikle orta yerlerinden çatlaklar gözlenmektedir. Bu kaplama tipinde her zaman ankraj donatıları kullanılmayabilir. Agreganın kilitlemesi denilen fiziksel kilitleme de az yoğunluktaki yollarda yeterli olmaktadır. Agreganın kilitlemesi, sertleşen betonda açılan derz çizgilerinin temele kadar ulaşarak plakların ayrılmasıyla oluşur. (Bkz Şekil 3.6.) Bu kilitleme olayında yük plağın ortasındayken kalkmak isteyen uçlar, diğer bloğun uçları ile kilitli olduklarından hareket edemezler. Bu durum fiziksel bir durumdur fakat ağır trafikli yollarda ankraj donatısı kullanılmalıdır ve genelde 3,2 – 3,6 cm çapında ve 46 cm uzunluğunda olurlar, 35 cm civarı ara mesafelerde yerleştirilir. (Bkz.Şekil 3.7.) Bu donatılar sehpa ortasına yerleştirilip beton dökülecek yüzeye yerleştirilip üzerlerine beton dökülür.(Bkz. Şekil 3.8.) Sonrasında sertleşmiş beton tam o sehpa ortasına denk gelecek şekilde 3–5 cm derinliğinde kesilir (Bkz. Şekil 3.11.).



Şekil 3.6. Agrega kilitlemesi ve ankraj donatısı ile çalışan kaplama



Şekil 3.7. JPCP ve JRCP kaplamalarda kullanılan ankraj donatısı



Şekil 3.8. Yol boyunca ankraj donatılarının serilmesi



Şekil 3.9. Ankraj donatısının beton dökümünden sonraki hali



Şekil 3.10. Beton Dökümünü bekleyen son durum



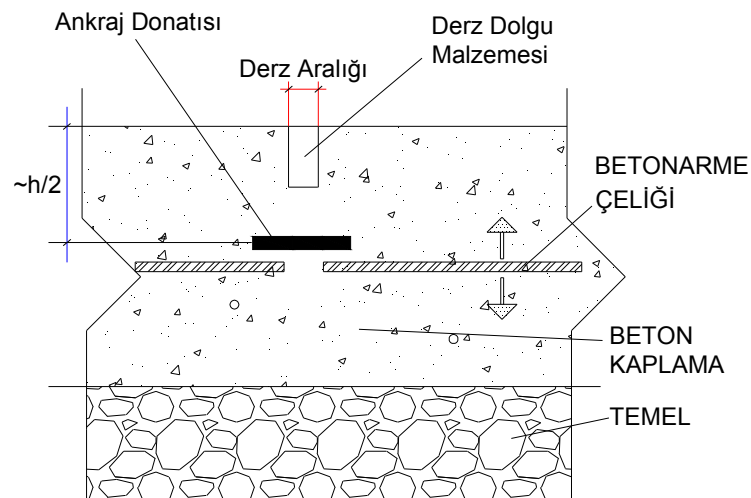
Şekil 3.11. Beton kaplamada derz kesimine örnek

3.3.2. Donatılı ve derzli beton kaplamaların özellikleri (JRCP)

Bu kaplama tipinde plaklarda klasik betonarme çeliği kullanılmak suretiyle plakların blok uzunlukları ve dolayısıyla derz mesafelerinin miktarı arttırılmaktadır. Kullanılacak çelik miktarı çatlak kontrolünde önemli rol oynar. Çelikle güçlendirilmiş beton bloklarda güçlendirme olmasına rağmen donatının yetersiz kaldığı durumlarda diğer plaklarla bağlantıyı sağlayan ankraj çubukları devreye girer. Böylelikle diğer plağın ağırlığı sayesinde yardım alınmış olur.

Derz aralığı JPCP kaplamalara nazaran daha uzundur. Bu mesafe 8 metre ile 15,2 metreye kadar değişkenlik gösterir. Bu değişkenliğin en önemli etkeni betonun kalitesidir. Beton ve betonarmeleştirme ne kadar kaliteliyse bu mesafe 15,2 metreye kadar uzayacaktır. Bu kaplama tipinin ABD’de kullanımı giderek azalmaktadır. (Bkz. Şekil 3.9.). Bunun sebebi performansı yüksek ve bakım maliyetleri düşük olan CRCP kaplamanın varoluşudur. Çatlak ara uzaklığı yaklaşık 4,5 m dir.

Betonarmeleştirme çeliği klasik betonarme çeliği ile yapılabilir. Normalde beton kesit alanının 0,006 – 0,007 oranında çelik kullanımı gereklidir. Bu donatılar kaplamanın orta kısmının biraz daha altına yerleştirilmelidir. Donatı pas payı en az 60 mm olmalıdır.



Şekil 3.12. JRCP kaplama kesiti

3.3.3. Sürekli donatılı beton kaplamanın özellikleri ve imalatı (CRCP)

CRCP tipi yol kaplamaları, enine ve boyuna doğrultuda çelik donatı içermektedir (Bkz. Şekil 3.13.). Yol yüzeyinde sonradan kesilen enine derzler yapılmaz. Kaplama içindeki boyuna donatının ilk görevi gelen taşınacak yükü karşılamaya yardımcı olmanın yanında yüzeysel çatlakları, nem etkileri, hacim değişiklikleri gibi çevresel etkileri azaltmaktır (Elias, vd., 2008). Enlemesine donatının görevi boylamasına donatının etkilerinin yanında yükü taşımaya daha fazla yardım etmektir. Derz yoktur, seçilecek çatlak ara uzaklığı 1,1 – 2,4 metre arasında olmalıdır. Donatı miktarı kesit alanının 0,006 – 0,009 katı kadar olmalıdır. Kabul edilebilir maksimum çatlak genişliği 1,2 mm kadar olmalıdır.



Şekil 3.13. Çin’de imal edilen CRCP tipi kaplamanın beton dökümüne hazır hali

CRCP tipi sürekli kaplamada sıcaklık değişimi sonucunda enine doğrultudakinden daha fazla miktarda genleşme isteği ortaya çıkacaktır. Enine derz olmayan bu kaplama türünde kaplama kalınlığı ve donatı hesabında bu etki göz önünde bulundurulur ve böylece derze gerek kalmaksızın iç gerilmeler oluşur fakat tasarım karakteristiği gereği çatlak oluşmayacaktır. Bu kaplama tipi imalatında diğer tiplere göre iş kalemi tekerrür sayısı azalır (hazırlık-beton, hazırlık-beton), fakat bölüm bölüm dökümün yapılan bu uygulamada iş kalemi imalat süresi artacaktır. Bunun sebebi donatıların yerleştirilerek, bir seferde dökülmesi gereken kısım uzunluğunun daha fazla olmasıdır.

İmalatın yarım kalması, daha sonra dökülmesi gibi bir durum kabul olamayacağından, belirlenecek çatlak aralığı uzunluğundan daha kısa imalat yapılmamalıdır. Böyle yapılmayan bir imalat betonarmeleştirilmiş kaplamanın bir bütün olarak çalışma performansını zayıflatır.

3.3.3.1. CRCP' nin performansını etkileyen faktörler

Çimento betonunun karakteristik özellikleri (Basınç dayanımı, aşınmaya karşı direnç, elastik modül, ısıl genleşme davranışı vb.), kaplama ve temel dayanımı, kullanılan çeliğin özellikleri (çeliğin betonarmeleşme kabiliyeti, çekme dayanımı, ve kaplamadaki konumu), çevresel etkiler (nem durumu, rüzgar hızı, solar radyasyon), yapının boyut ve geometrisi, taşınacak dış araç yükü dür (Elias et all., 2008). CRCP tipi kaplamanın ana malzemesi beton ve çelik olduğundan bu malzemelerin hassasiyetleri bilinmelidir.

Beton gerilmesi aşağıdaki faktörler tarafından etkilenmektedir;

- a) Donatı yüzdesi
- b) Alt temel sürtünmesi
- c) Sıcaklık genleşme katsayıları
- d) Betonun büzülmesi (t)
- e) Tekerlek yükü (t)
- f) Çatlak ara uzaklığı (t)
- g) Sıcaklık düşüşü (t)

Donatı gerilmeleri ise aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir;

- a) Donatı yüzdesi (ters orantılı)
- b) Alttemel sürtünmesi (ters orantılı)
- c) Sıcaklık genleşme katsayıları
- d) Betonun büzülmesi (t)
- e) Sıcaklık düşüşü (t)
- f) Tekerlek yükü (t)

Önceki sayfalarda açıklanan diğer iki tip kaplama, derzli olduklarından daha fazla bakım gerektirebilirler ve otoyol gibi sürekli trafiğe açık yol türlerine sık bakım yapmak uygun gözükmemektedir ve enine derzler olmadığından ses ile oluşacak konfor bozukluğu olmayacaktır. Birçok açıdan irdelendiğinde sürekli donatılı beton yollar maliyet ve performans açısından makul bir seçim olabilmektedir. Sürekli donatılı beton yol kaplaması derzli beton yolların çıkardığı bakım sorunlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir. İlk maliyeti yüksek olan sürekli donatılı yol kaplaması gösterdiği yüksek performans sayesinde kullanımda olduğu süreyi uzattığı için toplam maliyeti yüksek olmaz.

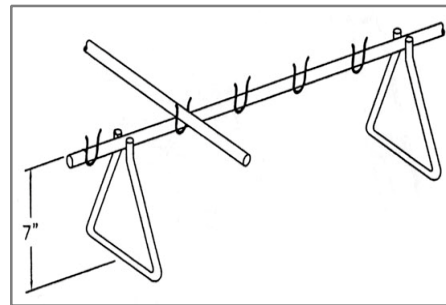
Yapılan arazi gözlemlerinde sürekli donatılı beton yolların bazı kısımlarının standart 8,2t dingil ağırlığını rahatça taşıyabildiği gözlemlenmiştir (Kunt,1997). Bu yük biriminden sonra yapılan gözlemlerde ortalama çatlak aralığı 1,13metre olarak ölçülmüştür (Velasco, vd., 1981). Sürekli donatılı yol kaplamasında uç kısımları hariç hiçbir yerinde gerek genleşme ve gerekse büzülme derzi yoktur. Bu yol kaplaması uzunluğu boyunca enine rastgele olarak çatlar. Bu çatlakların genişliği kaplamanın orta seviyelerinde bulunan boyuna donatı tarafından kontrol edilir.

Çatlaklar beton yolun hareketinin yarattığı çekme gerilmesi sonucu, gerilmenin çekme direncinden daha yüksek olması durumunda olmaktadır. Döşeme zemin üzerinde oturduğu için hava sıcaklığının düşüşü ile boyuna daralmak istemektedir. Fakat zeminin uyguladığı sürtünme kuvveti direnci ile bu hareketi kısıtlamaya çalışırken betonda çekme gerilmesi birikimine sebep olmaktadır (Velasco, et all., 1981).

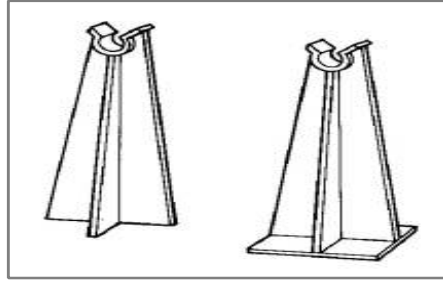
Beton yol döşemesi iki ardışık çatlak arasında darılırken çatlakların bulunduğu kesimde beton en büyük birim daralmayı yapmaktadır. Döşemenin orta kısmında ise hareket miktarı sıfırdır. Çatlaklarda beton gerilmesi sıfırken hareketin sıfır olduğu orta noktada gerilme maksimuma ulaşmaktadır. Donatı gerilmesi ise beton gerilmesinden farklı gelişmektedir. Çatlaklarda donatı gerilmesi maksimum değerine ulaşırken, döşemenin orta kısmında bu gerilmenin miktarı düşmektedir. Orta kısımdaki donatı gerilmesi ortadaki şartlara bağlı olarak çekme veya basınç gerilmesi oluşturabilmektedir.

3.3.3.2. CRCP tipi kaplamanın imalatı

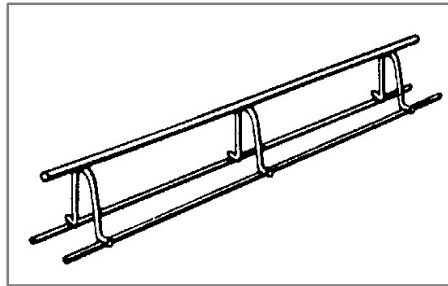
CRCP imalatında ilk adım, tabii zemindeki nebati katmanın sıyrılması (~ 40cm) ve bu sıyrılma ardından tabii zeminin (tercih edilirse kireç veya çimento ile iyileştirilerek, PCC) sıkıştırılmasıdır. Tabii zemin sıkıştırılmasının ardından seçme malzeme minimum 50 cm kalınlığında serilerek sıkıştırılmalı ve gerekli dayanım değerlerinin sağlandığını anlama amaçlı kum konisi deneyi yerinde yapılmalıdır. Bu deney yapılmadan önce seçme malzemenin karakteristiğinin belirlenmesi amaçlı zemin analiz şirketlerine numune verilmeli ve malzemenin optimum su içeriği araştırılmalıdır. Yapılan temel tabakası gerekli dayanımı verirse kalıp hazırlığı ve kot kontrolleri yapılmalıdır. Beton dökülecek zemine çelik kalıplar matkapla açılan demirlere çakılan demir çubuklara kaynak yapılarak yerleştirilir. Daha sonra projesine göre Hasır çelik, Dramix ya da Fibermesh uygulamasına sıra gelir. Hasır çelik kullanılacak ise projesi gereği tek kat ya da çift kat olarak aralarına sehpa konularak (Bkz.Şekil 3.14., 3.15., 3.16.) ve hasır çelikler birbiri üzerine uygun bindirme payları ile yerleştirilir. (hasır çeliklerin bindirme payları çalışan yönde en az 3 göz, tevzi yönünde en az 1 gözdür) Dramix malzemesinin ya da Fibermesh malzemesinin uygulaması yapılacak ise Bu malzemeler şartnamesinde belirtilen miktarda direk olarak transmikser içine atılır; Bunlar mikser içinde bir süre karıştırılırlar; Böylelikle betonun içine homojen bir şekilde dağılmış olurlar. Bundan sonra beton dökme işlemine sıra gelir.



Şekil 3.14. Çelik sehpaı tip 1



Şekil 3.15. Çelik sehpa tip 2



Şekil 3.16. Çelik sehpa tip 3

Temel imalatından sonra kaplama kalınlığı doğrultusunda serim yapılmadan önce CPCP tipi kaplamalar için gerekli donatı serimi sehpalara yerleştirilir, diğer tipler için ise derz açıklığı ve konumlarına göre ankraj donatısı (dowel) yerleştirilmelidir. Beton dökümü gerekli kalınlıkta yapıldıktan sonra kür önlemleri titizlikle alınmalıdır. Beton zemin projesi gereği metrekaresine düşen zemin sertleştirici sarfiyatı tayin edilir. Küçük alanlarda yüzey sertleştirici uygulaması yapılacaksa; Anonun genişliğine göre ilk 25 kg'lık torba içindeki malzemenin serpileceği alan iki anonun dışındaki tuğla veya blok üzerine oturtulmuş 15 – 20 cm genişliğindeki iki adet kalas ile sınırlanarak belirtilmiş olur. Bu kalaslar aynı zamanda işçilerin üzerinde durarak sertleştirici tozu serpmelerine yarar. Yüzey sertleştirici zemine uygulanırken uzak yerlere atılmamalıdır. Çünkü bu şekilde uygulandığında düzgün bir şekilde uygulanmamış olur.

Birinci torba içinde ki malzeme düzgün bir şekilde serpidikten sonra kalaslar ikinci torba hizasına getirilir. Ve aynı uygulama anonun diğer tarafına dizilmiş bütün torbalar kullanılıncaya kadar devam eder. Bu ilk uygulamadan sonra yüzey sertleştirici; Perdah makinesiyle (disk- tepsi takılmış) iyice betona yaydırılır. Birinci uygulamada olduğu gibi anonun diğer tarafına dizilmiş torbalar kullanılmak suretiyle yürütülmüş olur ve diskli perdah makinesiyle iyice yaydırılır. Kaba ve ince perdah işlemlerinin bitiminden sonra kür uygulanmasına sıra gelir. Beton yüzeyi parlak bir görünüm aldıktan sonra kür uygulanmaya başlanır. Kür miktarı m^2 'de 0,100 lt / m^2 kadar yeterli olmaktadır ve rulo veya fırça ile uygulanır. Özellikle kür malzemesi bir pompa yardımıyla uygulanırsa kür daha homojen olarak satıha uygulanmakta ve satıha daha estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Derzli tiplerde önceden belirlenmiş konumlarda, 3–5 mm derinliğinde ve 1–2 mm kalınlığında derz kesme işlemi yapılmalıdır. CRCP tipi kaplamalarda ise sadece boyuna doğrultuda bırakılacak derzlerde hassasiyet gösterilmelidir.

Betonun priz alırken çatlamasını önlemek için 3 – 4 gün içinde yalancı derzlerin kesilmesine başlanmalıdır. Doğal derzler beton priz almaya devam ederken bu kısımlarda çalışmalar (çatlamalar) bittikten sonra olmaktadır. Buralarda çatlamalar bittikten sonra takribi 15 gün içinde kesmeye başlanmalıdır. Derz kesimi yapılırken dikkat edilmesi gereken husus; Derz kesimi ıslak kesim olarak yapıldığı için derzlerden çıkan çamurlu su daha derz kesilirken çekvaplar vasıtasıyla derhal temizlenmelidir. Yoksa bu çamurlu su beton yüzeyinde iz bırakacaktır. Bu da giderilmesi imkansız bir kusurdur.

Tek yönde tek şeritli imalatlarda boyuna derz bırakılmamalı, boyuna derz sadece şeritler arası kesilmelidir. Yüzey sertleştirici katkıları geçirimsizliği ve cilalanmayı önleyeceğinden kullanılabilirler.

CRCP tipi kaplamanın imalatında kullanılan farklı makineler mevcuttur. Bu makineler yardımı ile çelik serimi, beton kaplama işi, derz açma işleri vb. imalatlar yapılabilmektedir. İmalatta çelik serimi elle ve makineli olmak üzere iki yöntemle yapılmaktadır (Sanjay, 2006), (Bkz Şekil 3.17., 3.18., 3.19.).



Şekil 3.17. Elle çelik serimi



Şekil 3.18. Makine ile çelik serimi



Şekil 3.19. Katı beton sericisi

3.4. Kaplama Tiplerinin Avantaj ve Dezavantajları

Rijit kaplamaların birçok avantajı vardır. En önemli avantajı hizmet ömrü boyunca düşük bakım maliyetidir. Rijit kaplamaların bu özelliği kullanılan malzemenin yapısı ile alakalı olan özelliğidir. Çimento betonunun gevrek bir malzeme olmasına karşın yüksek elastisite modülü ile yükü daha az deforme olarak aktarması, taneler arası bağın daha uzun süreler bozulmamasını sağlamaktadır. Böylelikle taneler arasındaki bütünlük ve homojen yapı bozulmaksızın kaplama daha uzun süre hizmet verebilmektedir. Esnek kaplamalarda ise bağlayıcının daha kalın film tabakası olarak çalışması ve bu bağlayıcının (bitüm) elastik yapısı sebebiyle daha ömürlü bir kaplama elde edilmektedir.

Her ne olursa olsun amaca uygun kaplama seçimi mühendislik açısından en önemli kriterdir. Her iki kaplamanın yapısını davranışını artı ve eksilerini bilmek tasarım aşamasında kolaylık sağlayacaktır. Her iki kaplamanın da kendine özgü avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu sebeple bu avantaj ve dezavantajların bilinmesi önemlidir.

3.4.1. Esnek kaplamaların avantaj ve dezavantajları

Avantaj olarak;

- Trafik için düzgün ve gürültüsüz bir yüzeye sahiptir.
- Kuruda yüksek kayma sürtünme katsayısına sahiptir.
- Üstten gelen yükü alt tabakalara yayarak iletir.
- Geçirimsiz yüzey sağlar.
- Kademeli inşaata uygundur.
- Bakım-onarımı trafik altında yapıldığından servis yolu gerekmez.
- Yapım veya onarımdan hemen sonra trafiğe açılabilir.
- Bilgi ve donanım açısından ülkemizde yeterli deneyime sahip olunması.
- Uygulamanın, bakım-onarımın kolay olması gibi maddeler sayılabilir.

Dezavantaj olarak;

- Koyu rengi nedeniyle gece görüş zorluğu ve çizgileme gereksinimi vardır.
- İnşaat mevsimi ülkemizde birçok bölgede kısadır.
- Hammadde olan petrol ithal edilmektedir. Böylelikle temel ihtiyaçlardan olan yol yapımı dolaylı olarak dışa bağımlı hal almaktadır. Ayrıca ithal edilen çoğu şey gibi pahalıya mâl olmaktadır.
- Rafinerilerin konumları itibariyle taşıma mesafeleri uzaktır.
- Isıtma zorluğu nedeniyle fazla enerji gereksinimi vardır.
- Taşıtlardan akan yağ, mazot, benzin türü kimyasal maddeler yüzeyi olumsuz yönde etkiler.
- Soğuk iklimli bölgelerde kar ve buz ile mücadele için yapılan tuzlamanın yüzey bozulmalarına sebep olması gibi özellikleri esnek kaplamanın dezavantajları olarak sayılabilir (Giriş, 2007).

3.4.2. Rijit kaplamaların avantaj ve dezavantajları

Beton kaplamaların esnek kaplamalara nazaran bazı avantajları vardır. Bunlar;

- Mekanik özellikleri (mukavemet, yorulma mukavemeti, vb.) daha yüksek olduğundan daha ince yapılı ve daha uzun ömürlüdür.
- Bakım ve onarım ihtiyaçları oldukça azdır (Yeğinobalı, 2001).
- Çimento ülkemizde üretebildiğinden ötürü dışa bağımlı değildir (Yeğinobalı, 2001).
- 5 °C nin üzerindeki sıcaklıklarda ve rutubetli havalarda inşa edilebildiklerinden dolayı inşaat mevsimi daha uzundur.
- Yağışlı havalarda nispeten daha fazla kayma direncine sahiptir.
- Gece görünümleri daha kolaydır.
- Islak zeminde kayma sürtünme katsayıları yüksektir. (boyuna sürtünme katsayısı: 0,70, enine sürtünme katsayısı: 0,65). Böylelikle bu yollar güven vericidir. Frenleme esnasında karşı direnci fazladır, daha kısa mesafede daha fazla enerji yutulabilir, frenleme mesafesi düşecektir.

Beton kaplamaların esnek kaplamalara göre bazı dezavantajları mevcuttur;

— Yapım maliyeti yüksek olabilmektedir. Genel olarak zeminin yapısı maliyeti önemli olarak etkilemektedir. CBR değerinin düşük olduğu zayıf zeminlerde beton yollar daha avantajlı görülmektedir.

— Onarım süreleri çok uzun olduğundan ve onarım sırasında trafiğe kapatılması gerekli olduğundan dolayı servis yollarının yapılmasını gerektirmekte ve onarım maliyetini arttırmaktadır.

— Beton plaklar arasındaki derzler, sürüş konforunun azalmasına ve lastik gürültüsünün artmasına sebep olmaktadır. Fakat sürekli yapıda beton kaplama ile bu sorun azaltılabilmektedir.

— Beton kaplamaların inşaatı nispeten daha zordur. Çimento betonu malzemesi, asfalt betonuna nazaran daha az hata kabul etmektedir. Gereğini yapmanın zorluğu ve insanın kolayca kaçma çabası çok büyük yatırım kayıplarına sebep olabilir (Bolat, vd., 2010).

— Kademeli inşaata uygun değildir. Beton yapısı gereği dökümünden 7 gün sonrasına kadar yüklenmemelidir. Fakat priz hızlandırıcı katkıları ile bu süre azaltılabilir.

— Derz dolgularının onarım ihtiyacı fazla ve maliyetleri de yüksektir.

— Beton yollarda katmanlar çok farklı ısınmalar gösterir. Güneş altında üst tabaka hızlıca ısınırken alt kısım bu ısıya saatler sonra ulaşabilir. Bu durum ile birlikte iç gerilmeler oluşmakta ve yükleme sonucu ilave gerilmelerle çatlama görülebilir.

Bu dezavantajlarına rağmen trafik hacmi çok yüksek yollarda ve havaalanlarında yapımı kaçınılmazdır. Henüz ülkemizdeki trafik hacminin az olması sebebiyle beton kaplamalı yollar yapılmamakta ise de uçuş trafiği yoğun olan hava alanlarında tüm kaplamalı sahalar uçuş trafiği düşük hava alanlarında ise pist başları, limanlarda ve sanayi tesislerde yükleme – boşaltma platformları, otoparklar, vb. yerlerde beton kaplamalar yapılmaktadır.

20 yıl proje ömrü içinde 8,2t standart dingil yükü sayısının 60 ile 75 milyondan fazla olan veya yolun trafiğe açıldığında tek yöndeki günlük ticari vasıtaların sayısı 5.000 den fazla olan yollarda ve büyük yolcu uçaklarının yıllık 5.000 den fazla kalkış yapan hava alanlarında beton kaplama yapılması çok avantajlıdır.

Çizelge 3.1. Kaplamalar arasında avantaj ve dezavantaj değerlendirme çizelgesi (Bolat, vd., 2010).

Parametreler	Esnek Üstyapı	Rijit Üstyapı
— Trafiğe çabuk açılabilme	++	--
— Çelik donatı kullanabilme	--	+
— Onarım sıklığı	-	++
— Dayanıklılık	0	++
— Islak halde kayma sürtünme katsayısı	-	+
— Soğuk havalarda yol yapım çalışması	-	0
— Kaliteli agrega gereksinimi	0	0
— Seyir konforu	++	+
— Gece seyir konforu	0	++
— Yaşlanma ve kimyasallardan etkilenme	--	+
— İmalatta çevre kirliliğini arttırma etkisi	-	0
— Enerji kısıtlılığından etkilenme	-	+
— İklim koşullarına bağlılık	-	++
— Trafikte yüksek yıllık artış oranı	-	++
— Trafikte düşük yıllık artış oranı (iyi analiz şartı)	+	-
— Trafikte yüksek ağırlıktaki taşıt oranı	-	++
— Üst yapıda kaplama takviyesi	+	0
— Üst yapı temel + kaplama değişimi	0	0
— Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları	+	--
++ ; Çok iyi, + ; iyi, 0; Normal, - ;Kötü, -- ;Çok kötü		

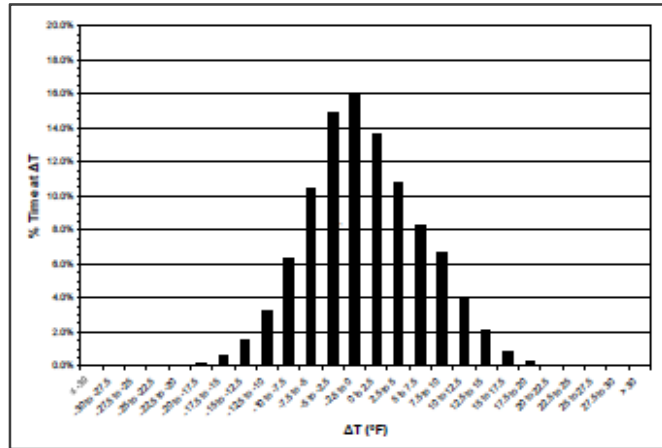
Her iki kaplamanın olumlu ve olumsuz özellikleri vardır. Fakat Çizelge 3.1. incelenirse daha fazla önem arz eden kalemlerde beton kaplamaların daha avantajlı olacağı görülmektedir. Trafiğe açılma süresi ve yüksek iskonto oranları - sınırlı yatırım kaynakları gibi iki kötü özelliği olan beton kaplamalar, diğer tüm kalemlerde üstün ve kalitelidir. Eğer yeni ve hacimli bir yol güzergâhı hazırlanıyorsa beton kaplamanın bu iki kötü özelliği fazla üstünde düşünülecek olmaktan uzaklaşır.

4. CRCP TİPİ KAPLAMALARIN DİZAYNINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

Sürekli betonarme kaplamaların tasarımını etkileyen çok sayıda faktör vardır. Bu faktörlerin her biri kaplamanın servis süresi ve bakım maliyet miktarlarını etkilerler. Fakat kaplamanın ömrü ve dayanıklılığını en fazla etkileyen betondaki kılcal çatlaklardır. Bu çatlaklar yük altında daha büyük çatlaklara dönüşerek kopmalara sebep olacaktır. Betondaki çatlakların oluşma sebepleri hidrasyon etkisi ve çevresel etkilerdir (Beyer ve Roesler, 2009).

4.1. İklim Faktörü

Beton kaplamanın alt ve üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı (Δ_t), tasarım aşamasında kullanılan gerilmelerin başlıca etkileyenidir. Bu fark betonun sonraki zamanlarda göreceği zararı artırır. Hava sıcaklığı ve kaplamada bulunan çeliğin sıcaklığı, çatlak ara uzaklığı ve yüzeysel çatlak derinliğini belirlemede kullanılır. EICM version 3.4 programı ile kalınlık belirlerken sıcaklık değişimi faktörleri gözlemlenmiştir (Beyer ve Roesler, 2009). Yapılan bu araştırmada 8,10,12,14 inç kalınlıklarında kaplamalar kullanılmış olup, çıkan değerlerle Δ_t değerleri saptanmıştır. Pozitif sıcaklık farklarında kaplamanın üst kısım sıcaklığının alt kısmından daha fazla olduğu anlaşılmalıdır. Değerler fahrenheit değerindedir. (Bkz. Şekil 4.1.)



Şekil 4.1. 10 inçlik kaplamada yıllık sıcaklık değişimleri (Beyer ve Roesler, 2009)

Bu değerler % 99 doğrulukta yıllık sıcaklık farklarını temsil eder. -20 ile 20 °F arasındaki uçurum fark sebebiyle tasarımda sıcaklık değişiminin etkisinin göz önüne alınacağı aşıkârdır. Bu farkın önemli gerilmeler yaratacağı düşünülürse ve kritik yüklemelerin aynı anda (Tır, Kamyon) geleceğı düşünülürse, çatlakların oluşma ihtimalinin artacağı düşünülebilir.

4.1.1. Ortam sıcaklığı

Ortam sıcaklığı yıl içinde bulunan ayın ve coğrafik konumun durumuyla değişkendir. Tasarım yapılacak şehrin yıllık ortalama sıcaklıkları, kaydedilmiş en yüksek ve en düşük sıcaklıklar, gün içinde sıcaklık değişimi hızları ortalaması bilinmelidir. Bu sayede amaca uygun tasarım yapılabilir.

4.1.2. Çelik derinliğindeki sıcaklık

Çelik derinliği (ζ) çeliğin üst yüzeyinden kaplama üst yüzeyine olan derinlik mesafesidir. IDOT (Illinois Department of Transportation) standartlarında boylamasına çelik derinliği 3inç (~ 9cm) olarak minimal olarak değerlendirmiştir (Bkz. Çizelge 4.1.). Kaplamaların 8 inç veya daha küçük değerlerinde 3.5inç (~ 9cm) uygun bir derinliktir. Bu derinlik arttıkça yüzeyle çelik arasındaki sıcaklık farkı artacaktır. Çelik miktarının betonunkinden daha az olduğu ve daha çabuk genleşme yapabildiğı düşünülürse sıcaklık farkı çelik ile beton arasında gereksiz ve kendiliğinden oluşan iç gerilmelere sebep olacaktır.

Çizelge 4.1. Kaplama kalınlıklarına göre önerilen çelik derinliği

Kaplama Kalınlığı (cm)	Çelik Derinliği (cm)
20	9
25.3	9
30.5	10
35.6	12

4.2. Beton Karakteristik Özellikleri

Kullanılacak betonun zamana bağlı özellikleri çatlak ara uzaklığı ve yorgunluk zarar hesaplarının yapılabilmesi için gereklidir.

4.2.1. Beton basınç dayanımı

Betonun 28 gündeki karakteristik basınç dayanımıdır (f'_{c28}). Pik bağ gerilmesinin hesaplanmasında kullanılır.

4.2.2. Beton çekme dayanımı

Betonun direkt yada direkt olmayan çekme gerilmesidir. Ortalama çatlak ara uzaklığı hesaplamasında kullanılır.

$$f'_{c28} = 0,7 * MOR_{28} \quad (4.1)$$

MOR_{28} betonun dökümünden 28 gün sonundaki kopma modülüdür.

4.2.3. Beton kopma modülü

MOR değeri 3 noktalı yükleme deneyi ile bulunur. Sezonsal MOR değeri MOR_i ise;

$$MOR_i = STRRATIO * MOR_{28} \quad (4.2)$$

$$STRRATIO = a_1 + a_2 \log(A/0,0767) - a_3 [\log(A/0,0767)]^2 \quad (4.3)$$

Bu denklemde;

$STRRATIO = 28$ gün MOR için belirli bir yaşta MOR oranı

$A =$ Betonun yaşı (yıl)

$a_1, a_2, a_3 =$ katsayılar (sırasıyla 1,0, 0,12, 0,01566)

Kopma modülünün 90 günlük değeri MOR_{90} genellikle tasarım programlarında kullanılır (Beyer ve Roesler, 2009). Bu değer tek noktalı yüklemenin 14 günlük sonucuna yaklaşık olarak eşittir. Bu değerden MOR_{28} değerine ulaşmak için;

$$MOR_{28} = 0,9 * MOR_{90} \text{ formülü kullanılabilir.} \quad (4.4)$$

4.2.4. Beton elastisite modülü

Elastisite modülü kaplamanın çatlak ara uzaklığının belirlenmesinde kullanılır. E_{pcc} olarak gösterilirse ve sezonsal Elastisite modülüne ulaşmak istersek;

$$E_{PCC,i} = \frac{MOR_i}{MOR_{28}} * E_{PCC\ 28} \quad (4.5)$$

$$E_{PCC,i} = 57.000 \sqrt{f'_{c,i}} \quad (4.6)$$

denklemlerini kullanabiliriz.

Beton kaplamanın ana malzemesidir. Bu sebeple betonun tüm özellikleri detaylı olarak bilinmelidir. Yapılacak olan beton yolda yanlış tasarım ya da uygunsuz işçilik gibi kabul edilemez etkenler olursa, tüm hesaplar ve tahminler boşa gidecektir. Bu sebeple yapılacak projede betonun sapma değerlerinin sınırlandırılma imkânları irdelenmeli beton üretim ve dökümüne özen gösterilmelidir. Kür uygulaması dökümden 3 saat içinde başlatılmalı, mümkünse özel solüsyonlarla yapılmalıdır. Beton dökülürken işçilikte yapılan kusurlar, beton üretiminde oynaklıklar, taze betonun ulaştırılmasında gecikmeler, kullanımda don önleme için tuz kullanımı, hesabı aşan dingil yükü gibi etkenler betonun toplam ömrünü azaltır. Bu sebeple kullanılan beton detaylı ele alınmalı ve beton dökümü en önemli parça olarak değerlendirilmelidir.

4.3. Trafik Faktörü

Sayılaştırılmış tasarım şeridindeki tek akstaki trafik yükü kaplama kalınlığı belirlemede önemlidir. Kümülatif ESALs sayısı, sezonsal artış ile $ESAL_i$ 'ye dönüşür ve şöyle hesaplanır:

$$ESAL_i = \frac{GF_i}{GF_m} (ESAL_m)(TM) \quad (4.7)$$

Burada,

GF_i = i sezonsal artış için kümülatif trafik büyüme faktörü,

GF_m = Dizayn ömrü sonunda kümülatif trafik büyüme faktörü,

$ESAL_m$ = Kaplamanın dizayn ömrü boyunca şeritteki $ESAL_s$ sayısı,

TM = Güvenilirlik trafik çarpanıdır.

4.3.1. Kümülatif trafik büyüme faktörü

Kümülatif trafik büyüme faktörü trafikte beklenen yıllık artış miktarını hesaplamak için kullanılır. Sezonsal artışı i temsil ederse GF_i şöyle hesaplanır:

$$GF_i = \left[(1+r)^A - 1 \right] \left(\frac{1}{r} \right) \quad (4.8)$$

Burada r yıllık artış yüzdesi (kesiri), A betonun yıl olarak yaşıdır. Eğer yıllık artış miktarı sıfır olursa, $ESAL_s$ değerinin dizayn ömrü sonuna kadar lineer arttığı düşünülür (Beyer ve Roesler, 2009).

4.4. Çatlak Aralığı Faktörü

Çatlak aralığının diğer adı da enine çatlaklar arası mesafedir. Bu oran çatlak derinliği ve kaplamadaki gerilim şiddetinin etkisinin hesaplanmasında kullanılır. Sezonlar artışı değeri i için \bar{L}_i şöyle hesaplanır:

$$\bar{L}_i = \frac{f'_{t28} - C_i \sigma_{0,i} \left(1 - \frac{2\zeta}{h_{PCC}} \right)}{\frac{f}{2} + \frac{U_m P_b}{c_{1,i} d_b}} \quad (4.9)$$

Burada,

f'_{t28} = beton 28 günlük çekme dayanımı (psi),

C_i = Bradbury katsayısı (sezonlar artışı i için),

$\sigma_{0,i}$ = Westergaard's nominal gerilim faktörü,

ζ = çeliğin derinliği (inç),

h_{PCC} = beton kaplama kalınlığı (inç),

f = temel sürtünme katsayısı,

U_m = zirve bağ gerilmesi (psi),

P_b = kesirsel çelik yüzdesi,

$c_{1,i}$ = sezonlar artışı i için ilk bağ gerilmesi,

d_b = çeliğin çapıdır (inç).

Bradbury katsayısı :

Bu katsayı sonlu kaplama boyutundaki gerilmelerin doğruca hesaplanmasını sağlar. Kaplama ortasındaki katsayı i sezonsal artışı için şöyle hesaplanır:

$$C_i = 1 - \frac{2 \cos \lambda_i \cosh \lambda_i (\tan \lambda_i + \tanh \lambda_i)}{\sin 2\lambda_i + \sinh 2\lambda_i} \quad (4.10)$$

$$\lambda_i = \frac{L}{\ell_i \sqrt{8}} \quad (4.11)$$

Burada, L kaplamanın uzunluğu (inç), ℓ_i sezonsal artış i için rölatif bükülme yarıçapıdır (inç). Kaplama blok uzaklığı 144 inç olarak alınabilir.

4.4.1.1. Rölatif burkulma yarıçapı

i sezonsal artış için şöyle hesaplanır:

$$\ell_i = \left[\frac{E_{PCC,i} h_{PCC}^3}{12(1 - \mu_{PCC}^2) k_s} \right]^{1/4} \quad (4.12)$$

Burada,

$E_{PCC,i}$ = sezonsal artış için betonun elastisite modülü,

h_{PCC} = beton kaplama kalınlığı (inç),

μ_{PCC} = betonun Poisson oranı,

k_s = temel burkulmaya reaksiyonudur (psi/inç).

4.4.2. Westergaard'ın nominal gerilme faktörü

Sezonsal artış i için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\sigma_{0,i} = \frac{E_{PCC,i} \varepsilon_{tot-\Delta,i}}{2(1 - \mu_{PCC})} \quad (4.13)$$

Burada,

$E_{PCC,i}$ = psi cinsinden betonun elastisite modülü,

$\varepsilon_{tot-\Delta,i}$ = sezonsal artış i için kaplama alt ve üst yüzeyleri arasındaki gerilme farkı,

μ_{PCC} = betonun Poisson oranıdır.

4.4.2.1. Toplam gerilme farkı

Kaplamanın alt ve üst yüzeyleri arasındaki gerilme farkı; Sezonsal artış i için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\varepsilon_{tot-\Delta,i} = \alpha_{PCC} \Delta t_{eqv,i} + \varepsilon_{\infty} \Delta(1 - rh_{PCC}^3)_{eqv} \quad (4.14)$$

Burada,

α_{PCC} = betonun termal genişleme katsayısı ($1/^{\circ}F$),

$\Delta t_{eqv,i}$ = i için eşdeğer sıcaklık ($^{\circ}F$),

ε_{∞} = beton son büzülme değeri,

$\Delta(1 - rh_{PCC}^3)_{eqv}$ = kaplamadaki alt ve üst (yüzey) kısımlardaki rölatif nem farkıdır.

4.4.2.2. Eşdeğer sıcaklık

Sezonsal artış i için, eşdeğer sıcaklık ($\Delta t_{eqv,i}$) aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır:

$$\Delta t_{eqv,i} = \frac{R_{0,i}}{2CF} \left(1 - e^{-\frac{h_{PCC}}{12} \sqrt{\frac{2\pi}{(\gamma_{PCC})^2}}} \right) \quad (4.15)$$

$$CF = 1,000 + 0,1116h_{PCC}^{3/2} - 0,565h_{PCC} + 0,685h_{PCC}^{1/2} \quad (4.16)$$

Burada,

$R_{0,i}$ = Efektif sıcaklık değişimi (Çizelge 4.2'ye bakınız),

h_{PCC} = Beton kaplama kalınlığı (inç),

γ_{PCC} = Betonun termal difüzyonudur (ft²/gün).

(1 F = 17,22 °C)

Çizelge 4.2. Efektif Sıcaklık değişim değerleri

Minimum Sezonsal Ortam sıcaklığı (°F)	Efektif Sıcaklık değişimi (R_o)
< 40	21,5
40 – 60	23,4
60 – 80	25,7
> 80	30,1

4.4.2.3. Kaplama alt ve üst yüzeyleri arasındaki bağıl nem oranı

$$\Delta(1 - rh_{PCC}^3)_{eqv} = 0,2*(0,0028h_{PCC}^2 - 0,107h_{PCC} + 1,4292) \quad (4.17)$$

Bu denklemde, h_{PCC} kaplama kalınlığı (inç). Değer olarak %50 - %95 aralığı kullanılır.

4.4.3. En yüksek tutunma gerilmesi

Tepe tutunma gerilmesi (U_m), şu şekilde hesaplanabilir.

$$U_m = 0,002 * k_1 \quad (4.18)$$

$$k_1 = 0,1172 * f'_{c28} * 1.000 \quad (4.19)$$

Burada k_1 tutunma kayma katsayısı, f'_{c28} ise betonun 28 günlük basınç dayanımı (psi). ($145,0377 \text{ psi} = 1 \text{ Mpa}$)

4.4.4. Birinci tutunma gerilmesi katsayısı

Bu katsayı ikinci tutunma gerilmesi katsayısı hesabında kullanılacaktır. İkinci katsayı çatlak genişliği hesabında kullanılır. İzin verilecek maksimum çatlak genişliği için ikinci katsayı sabit tutularak, kullanılacak betonun özellikleri seçilebilir. Çünkü çatlak genişliği hesabında ikinci tutunma gerilmesi katsayısı ve betonun kuruma değişimi, termal genişlemesi, uzunlamasına çekme dayanımı gibi özellikleri kullanılır.

Birinci katsayı hesap edilirken toplam çelik derinliğindeki gerilme, maksimum beton sıcaklığı farkı, beton ve çeliğin yüzey gerilmesini sıfır yapan sıcaklık, beton kuruma gerilmesi gibi hesaplamalar kullanılacaktır (Beyer ve Roesler, 2009) [30].

$$C_{1,i} = \begin{cases} E\check{G}ER; & \bar{L}_i - L_{seed} < 0,01 \text{ ise } c_{1,i} = c_{1 seed} \text{ gibi hesaplanır,} \\ DE\check{G}\check{I}LSE \text{ } c_{1 seed} = 0,577 - 9,44 * 10^{-9} \frac{\ln \epsilon_{tot} - \delta_{max}}{(\epsilon_{tot} - \delta_{max})^2} + 0,0052 * L_{seed} (\ln L_{seed}) \end{cases} \quad (4.20)$$

Burada L_{seed} başlangıç (ilk) çatlak aralığı değeri(inç) ve $\varepsilon_{tot} - \zeta_{max}$ çelik derinliğindeki toplamda maksimum olacak gerilme değerleridir.

4.4.4.1 Çelik derinliğindeki toplam maksimum gerilme

$$\varepsilon_{tot-\zeta_{max}} = \Delta T_{\zeta_{max}} \alpha_{PCC} + \varepsilon_{shr} \quad (4.21)$$

$\Delta T_{\zeta_{max}}$ = Çelik derinliğindeki, tasarımda kullanılması kabul edilen (set temperature) sıcaklık değerinden, oluşabileceği öngörölmüş en fazla sıcaklık farkı (Fahrenheit)

α_{PCC} = Beton ısı genleşme katsayısı (1/°F)

ε_{shr} = Betonun sertleşmesi ile çelik derinliğinde oluşacak kayma katsayısı

4.4.4.2 Maksimum beton sıcaklık farkı

$$\Delta T_{\zeta_{max}} = \begin{cases} EĞER, & T_{set} > T_{steel,min} \quad ise \quad T_{set} - T_{steel,min} \\ DEĞİLSE & 0 \end{cases} \quad (4.22)$$

Çelik derinliğindeki, tasarımda kullanılması kabul edilen (set temperature) sıcaklık değerinden, oluşabileceği öngörölmüş en fazla sıcaklık farkı yukarıdaki formülle hesaplanmaktadır. Bu formülde $T_{steel,min}$ çelik derinliğinde sezonsal en düşük sıcaklıktır. Genellikle muhite göre en düşük ortalama, kış aylarında yaşanmaktadır. (Beyer ve Roesler, 2009).

4.4.4.3 Çelik derinliğinde kabul edilmiş T_{set} değeri hesabı

T_{set} öyle bir sıcaklıktır ki bu sıcaklıkta beton kaplamasında hiç termal şekil değiştirme olmaz. Termal genleşme büzüşme sıfırdır. Sıcaklığın betona etkisi olmamaktadır.

$$T_{set} = CC * 0,59328 * H * 0,5 * 1.000 * \frac{1.8}{1,1*2.400} + T_{air} \quad (4.23)$$

$$H = -0,0787 + 0,007 * T_{air} - 0,00003 * T_{air}^2 \quad (4.24)$$

Bu formüllerde;

CC = Beton tasarımında yardküpte kullanılacak çimento dozajı. (lb / yd³)

(1 lb=0,45kg), (1yd = 0,9144 m)

H = Betonda hidrasyon ısısı. (kJ / g)

T_{air} = İnşaat sezonunda ortalama mevsimsel ortam sıcaklığı. (°F)

Bu eşitlikte kullanılabilen sıcaklık aralığı 60–120 °F aralığıdır.

4.4.4.4 Betonun sertleşmesi ile çelik derinliğinde oluşacak kayma katsayısı

$$\varepsilon_{shr} = \varepsilon_{\infty} \left[1 - \left(\frac{rh_{PCC,\zeta}}{100} \right)^3 \right] \quad (4.25)$$

Bu formülde;

ε_{∞} = Beton doruk büzülmesi.

$rh_{PCC,\zeta}$ = Çelik derinliğindeki rölatif nem miktarıdır. (%)

Bu formül ile birlikte çelik derinliğindeki gerilme hesabında gerekli olan tüm bileşenler hesaplanmış olmaktadır. Böylece tasarım aşamasında 4.4. başlığında var olan çatlak aralığı şıkkındaki tüm değerler açıklanmış olmaktadır (Beyer ve Roesler, 2009).

4.5. Çatlak Genişliği Faktörü

Tasarım aşamasında göz önüne alınacak olan bir diğer etmen çatlak genişliğidir. Bu etmenin değeri aşağıdaki formül ile elde edilecektir fakat unutulmamalıdır ki ortalama çatlak genişliği bize gerekli olan değerdir.

Çatlak genişliği; büzülme, termal genişleme, betonarmeleştirme, temel oturma davranışı ve çatlak kayması kapasitesinin fonksiyonudur. Çatlak derinliğinde i sezonsal artış fonksiyonuna göre (cw_i) şöyle hesaplanmaktadır

$$cw_i = \max \left(\left(\varepsilon_{shr} + a_{PCC} \Delta T_{\zeta,i} - \frac{c_{2,i} f_{\sigma,i}}{E_{PCC,i}} \right) \bar{L}_i * 1.000 * \bar{C} , 0,001 \right) \quad (4.26)$$

bu formülde;

\bar{L}_i = i sezonsal artışına göre çatlak aralığı

ε_{shr} = Engellenebilmiş kuruma büzülmesi

a_{PCC} = Beton termal genişleme katsayısı

$\Delta T_{\zeta,i}$ = Sezonsal i artışına göre, çelik derinliğinde ayarlanmış sıcaklığa göre ortalama sıcaklık farkı

$c_{2,i}$ = Sezonsal i artışı için ikinci bağ gerilme faktörü

$f_{\sigma,i}$ = Sezonsal i artışı için çelik derinliğindeki uzunlamasına (yol doğrultusunda) oluşan maksimum gerilme (Psi)

$E_{PCC,i}$ = Sezonsal i artışı için beton elastisite modülü (Psi)

\bar{C} = Çatlak genişliği kalibrasyon sabiti (1,0)

Çatlak genişliği hesabında kullanılacak formül ve bileşenleri yukarıda tanımlanmıştır. Formüldeki bileşenlerden \bar{L}_i bir önceki bölümde elde edilmişti. $E_{PCC,i}$ kullanılan betona has bir özelliktir. \bar{C} bir kabul olup 1,0 değeri alınır. a_{PCC} kullanılan betonun karakteristik özelliğidir. ε_{shr} ise bir önceki bölümdeki (4.25) formülü ile elde edilmişti. Bu bileşenlerimiz dışında kalan $\Delta T_{\zeta,i}$, $c_{2,i}$, $f_{\sigma,i}$ bileşenleri alt bölümlerde açıklanmıştır.

4.5.1. Ortalama sıcaklık farkı ($\Delta T_{\zeta,i}$)

$$\Delta T_{\zeta,i} = \begin{cases} E\check{G}ER, & T_{set} > T_{steel,i} \text{ ise } T_{set} - T_{steel,i} \\ DE\check{G}\check{I}LSE & 0 \end{cases} \quad (4.27)$$

Burada T_{set} , 4.4.4.3 başlığımızda hesaplanmıştır. $T_{steel,i}$ ise i sezonsal artışına göre çelik derinliğindeki ortalama sıcaklıktır.

4.5.2. İkinci bağ gerilme faktörü ($c_{2,i}$)

$$c_{2,i} = a_i + \frac{b_i}{k_1} + \frac{c_i}{\bar{L}_i^2} \quad (4.28)$$

$$a_i = 0,7606 + 1.772,5(\varepsilon_{tot-\zeta,i}) - 2x10^6(\varepsilon_{tot-\zeta,i})^2 \quad (4.29)$$

$$b_i = 9x10^8(\varepsilon_{tot-\zeta,i}) + 149.486 \quad (4.30)$$

$$c_i = 3x10^9(\varepsilon_{tot-\zeta,i})^2 - 5 * 10^6(\varepsilon_{tot-\zeta,i}) + 2.020,4 \quad (4.31)$$

Bu formüllerde,

k_1 = Bağ gerilme faktörü

\bar{L}_i = i dönemsel artışına göre çatlak aralığı

$\varepsilon_{tot-\zeta,i}$ = Çelik derinliğindeki toplam gerilme

α_{PCC} = Beton ısı genleşme katsayısı (1/°F)

$$\varepsilon_{tot-\zeta,i} = \Delta T_{\zeta,i} * \alpha_{PCC} + \varepsilon_{shr} \quad (4.32)$$

4.5.3. Sezonal i artışı için çelik derinliğinde boyuna doğrultuda oluşan maksimum gerilme ($f_{\sigma,i}$)

Çatlak genişliği hesabında kullanılan en önemli değerdir. Çatlak oluşumunda ana etken gerilmedir ve bu gerilmenin üst değeri şu şekilde bulunur;

$$f_{\sigma,i} = \frac{\bar{L}_i U_m P_b}{c_{1,i} d_b} + \sigma_{env,i} + \frac{\bar{L}_i}{2} f \quad (4.33)$$

\bar{L}_i = i dönemseller artışına göre çatlak aralığı.

U_m = Tepe tutunma gerilmesi (psi).

P_b = Çelik yüzdesi.

$C_{1,i}$ = Sezonal i artışı için ilk bağ gerilme faktörü.

d_b = Betonarmeleştirme de kullanılacak çelik çapı (inç).

$\sigma_{env,i}$ = Sezonal i artışı için çevresel etkilerle oluşan gerilme (psi).

f = Temel sürtünme katsayısı 0,5 ve 10 arasında alınması uygundur. Aşağıda verilen çizelgeden değerler seçilebilir.

Çizelge 4.3. Temel/Alt temel tiplerine göre düşünebilecek sürtünme katsayısı değerleri

Temel / Alt temel tipi	Çeşitli sürtünme katsayısı değerleri (düşük- orta- yüksek)
İnce taneli toprak	0,5 – 1,1 – 2,0
Kum	0,5 – 0,8 – 1,0
Agrega	0,5 – 2,5 – 4,0
Kireç ile stabil edilmiş kil	3,0 – 4,1 – 5,3
Agrega ile düzenlenmiş temel (ATB)	2,5 – 7,5 – 15
Çimento ile düzenlenmiş temel (CTB)	3,5 – 8,9 – 13

$f_{\sigma,i}$ Değerini bulmak için gerekli olan parametrelerden sadece $\sigma_{env,i}$ parametresinin bulunması hususunda detay verilmedi. Bu değer $f_{\sigma,i}$ parametresine ulaşmak için gereken en önemli parametredir (Beyer ve Roesler, 2009).

4.5.3.1. Sezonal i artışı için çevresel etkilerle oluşan gerilme (psi) ($\sigma_{env,i}$)

$$\sigma_{env,i} = C_i \sigma_{0,i} \left(1 - \frac{2\zeta}{h_{PCC}} \right) \quad (4.34)$$

Bu denklemde;

C_i = Bradbury katsayısı

$\sigma_{0,i}$ = Westergaard'ın nominal stres faktörü (psi)

ζ = Çeliğin yüzeyden olan derinliği (inç)

h_{PCC} = Beton kaplamanın kalınlığı (inç)

4.6. Yük Transferi Kapasitesi Faktörü

Çatlak genişliği 4.5. başlığında anlatılmıştı. Yük transferi terimi beton kaplamanın yük transfer kapasitesini temsil eder. Beton sertliği, çatlakta taşınabilen değerler öngörü sağlayabilir. Yük transferi konusunda enine çatlaklardaki agrega kilitlenebilme kapasitesi, kaplamanın doğal davranışı, temel desteği ve betonarmedeki çeliğin iletim gücü gibi parametreler rol oynamaktadır. Aşağıdaki formüllerle elde edilir.

$$LTE_{c,i} = 100 * \left(1 - \left(1 - \frac{1}{1 + \log^{-1} \left[(0,214 - 0,183 \frac{a}{l_i} - \log(J_{c,i}) - r_d) / 1,18 \right]} \right) \left(1 - \frac{LTE_{base}}{100} \right) \right) \quad (4.35)$$

$$r_d = 2,5P_b - 1,25 \quad (4.36)$$

(4.35) ve (4.36) formüllerindeki değerler şunlardır;

a = Yükün etki alan yarıçapı (mesela 6 inç)

l_i = Sezonsal i artışında sertlik ile karşılanabilen yük alanı yarıçapı

$J_{c,i}$ = Sezonsal i artışında enine çatlakların yük transfer etkinlik dayanımı

r_d = Çelikle yapılan betonarmeleştirimin yük transferine sağladığı kazanç faktörü

P_b = Çelik yüzdesi

LTE_{base} = Tabii zeminin ve temelin (altyapının) yük transferine katkı yüzdesi (%)

4.6.1. Rölatif sertlik yarıçapı

$$l_i = \left[\frac{E_{PCC,i} * h_{PCC}^3}{12(1 - \mu_{PCC}^2 * k_d)} \right]^{1/4} \quad (4.37)$$

Burada;

$E_{PCC,i}$ = Sezonsal i artışına karşı beton elastisite modülü (psi)

h_{PCC} = Beton kaplama kalınlığı (inç)

μ_{PCC} = Betonun poisson oranı

k_d = Yüklemede temelin yük için tepki modülü (psi/inç)

4.6.2. Enine çatlak dayanıklılığı

Dayanım burada agreganın çatlaktaki kenetlenme veya mesnetlenmesidir.

$$\text{Log}(J_s) = ae^{-e^{-\left(\frac{J_s-b}{c}\right)}} + de^{-e^{-\left(\frac{S_{0,i}-f}{g}\right)}} + he^{-e^{-\left(\frac{J_s-b}{c}\right)}} * e^{-e^{-\left(\frac{S_{0,i}-f}{g}\right)}} \quad (4.38)$$

Burada;

J_s = AGG/(kg)s, Yüklenebilecek karşı şerit sayısı başına dayanım

$S_{0,i}$ = Sezonsal i artışında çatlak kayma dayanım kapasitesi

a,b,c,d,f,g,h sırasıyla (-2,20, -11,20, 7,56, -28,85, 0,35, 0,38, 49,80 alınabilir)

buradaki J_s şöyle hesaplanabilir;

$$J_s = \left[\frac{\frac{1}{LTE_s} - 0.01}{0.012} \right]^{-\frac{1}{0.849}} \quad (4.39)$$

LTE_{base} = Tabii zeminin ve temelin (altyapının) yük transferine katkı yüzdesi (%)

$S_{0,i}$ ise şöyle hesaplanır;

$$S_{0,i} = 0,05 * h_{PCC} * e^{-0.032cw_i} \quad (4.40)$$

$S_{0,i}$ çatlak kayma dayanım kapasitesi olup çatlaktaki kaymaya karşı direncin ne kadar olacağını anlatır (Beyer ve Roesler, 2009).

Kayma kapasitesi kaybı;

Kayma kapasitesi kaybı, dizayn için önemli faktördür. Bu hesaplama silsilesinde kayma kapasitesi kaybı, çatlak dayanımı, kaplama dayanıklılığı ve ömür döngüsünü etkiler. Temsil eden değer enine çatlaktaki kayıp olup LTE (lost in transverse crack) ile gösterilir.

Yük ile kaybedileni bulan bir alet olan defloktometre ile bilgiler uzun süreli kaplama performansı (LTPP) ile harmanlanarak analiz edilip sonuçlar bu yolla bulunabilmektedir (Khazonovic, Gotlit., 2003). Bu iki bilim adamının analizleri yaklaşık 40 yılı temsil etmekte olup zamanla dağılımı detaylandırır. Buna göre çatlakların %98'inden fazlasında %80 kayıp olup, %60'ından fazlasında %90 kayıp vardır. Bu deneyler hızlandırılmış yaşlanma ile elde edilmiştir. Yaşlanmaya en büyük etki sıcaklık farkı olup, hesaplarda kabul ile elde edilir.

4.7. Çekme Gerilmesi ve Yorulma Hasarları Faktörü

Her sıcaklık frekansında sezonsal i artışı için burkulma gerilmesi, toplam gerilmeyi tahmin amaçlı ayrı ayrı hesaplanmıştır. Fakat bu yaklaşım süperpozisyon varsayımına göre hatalıdır. Çünkü JPCP için kullanılan R düzeltme faktörü CRCP için bulunamamıştır.

Zamanla gelişen hesaplama yöntemlerinde bağdaştırıcı ve kabulle düzenlenen değerler kullanıldı fakat bu kesin olmamaktadır. Bu yaklaşımın dışında NCHRP 1-37A da bir yaklaşım ve anlatımla kesine yakın değerler bulunmuştur fakat uygulamaya uygun değildir.

Toplam eğilme gerilmesi (yük + sıcaklık) gerilme oranını vermektedir ve kaplamanın yetersiz kalacağı tekrarlanabilecek yük sayısını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, yorulma hasarı kavramı uygulanmış olan yük tekrarı bölü, uygulanabilecek yük tekrarıdır.

4.7.1. Yük gerilmeleri

Patlaklar (punchouts) bitişik iki enine çatlak arasındaki uzunlamasına çatlak formunun sonucunda oluşurlar. Bu uzunlamasına çatlaklar yüklerin kaplamadaki tekrarıyla oluşmuş yorulma çatlaklarıdır. Trafik yüklerinin sonucu olarak kaplamada 2 çeşit bükülme görülür; uzunlamasına ve enlemesine. Enlemesine bükülmeler, kaplamanın alt ve üstünde oluşabilir. CRCP için yüksek enlemesine gerilmeler, tipik olarak tekerlekler arası yükler sayesinde oluşur ve uzun doğrultudaki kenara yüksek ölçüde etki eder.

Uzunlamasına gerilmede ise, yüksek gerilmeler kaplamanın kenarlarındadır ve daha çok JPCP tipi kaplamalarda görülür. Eğer enlemesine çatlak aralıkları küçük ise enine bükülme gerilmesi, boyuna bükülme gerilmesinden büyük olur. Bu gerilmeler erozyonda, alt katmandaki kalıcı deformasyon durumlarında veya negatif yöndeki burkulmalarda çok daha fazla oluşacaktır. Bu analizleri toplarsak enine burkulma çiftlerinin neden önemsendiğini anlamaktayız. (Bkz. Şekil 4.2.)

Bu durumlar düşünüldüğünde yükleme gerilmelerinin tasarım aşamasındaki önemi oraya çıkmaktadır. Alt ve üst bağlarda yükleme sonucu oluşan STT ve STB gerilmelerinin hesabı ISLAB2000 programıyla yapılan analizler sonucu formülize edilmiştir. ISLAB2000 programı iki kritik eğilme gerilmesinin konumu ve boyutunu kataloglaştırmak için kullanılmış iyi bir programdır.

Tüm kataloglaştırılmış değerleri normalize edilirse CRCP tipinin ölçüsüz çekme gerilmeleri şu şekilde elde edilmiştir.

$$STT = \frac{\sigma_T \bar{h}_{PCC}^2}{P} \quad (4.41)$$

$$STB = \frac{\sigma_B \bar{h}_{PCC}^2}{P} \quad (4.42)$$

Bu formüllerde;

STT = Levhanın üstünde boyutsuz çekme gerilmesi.

STB = Levhanın altında boyutsuz çekme gerilmesi.

σ_T = Çatlak yük verimliliği, ölçüsüz levha boyut oranı ve yük transferi verimliliğine karşılık gelen üst kısımdaki kritik üst çekme gerilmesi.

σ_B = Kritik alt kısımda oluşan çekme gerilmesi.

\bar{h}_{PCC} = Kritik gerilmeye karşılık gelen beton kaplama kalınlığı.

P = Uygulanmış yarım dingil yükü (9.000 lbs).

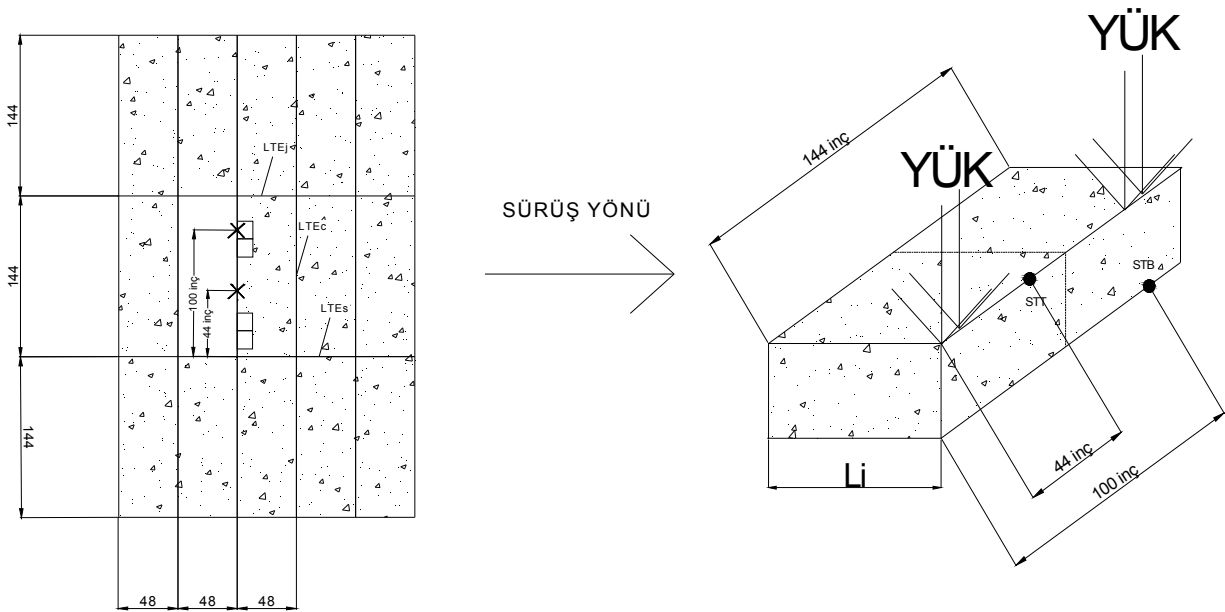
Her bir Yük transferi verimliliği, çatlak yük transferi verimliliği ve ölçülendirilmemiş kaplama kalınlıkları için katalog sonuçları ile enterpolasyon şeması elde edilip kullanılmıştır. (Bkz. Ek - 2)

Herhangi davranış ve enine çatlak LTE ve beton kalınlığı için yükleme değeri 18-kip tek dingil yükü için yük gerilmesi diğer sayfada verilen formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$\sigma_{LOAD-STT_1} = STT_1 \frac{P}{h_{pcc}^2} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{LOAD-STB_1} = STB_1 \frac{P}{h_{pcc}^2} \quad (4.44)$$

Yük kritik gerilmeleri (alt-üst) abağında bulunan LTE_S yüklenme yük transfer verimliliğini, LTE_C enine çatlak yük transferi verimliliğini, CS/RRS kaplama boyut oranını (\bar{L}/l) olup l relatif sertlik yükleme yarıçapıdır.



Şekil 4.2. LTE_S , LTE_C , \bar{L} ve en kritik yükleme koşulları (Beyer ve Roesler, 2009).

4.7.2. Sıcaklık etkisiyle oluşan burkma gerilmesi

Sıcaklıkla oluşan burkulma gerilmesi hesaplanırken mevsimsel sıcaklık farkları frekansları kullanılmış ve her beton kalınlığı aralığına karşılık Δt frekans dağılımı tablosu oluşturulmuştur. (Bkz. Çizelge 4.4.)

Çizelge 4.4. Kaplama kalınlıklarına göre Δt frekans dağılımları

Kaplama kalınlığı (inç)	Δt frekans dağılımı
Kaplama ≤ 9 inç	8
$9 \text{ inç} < \text{Kaplama} \leq 11$ inç	10
$11 \text{ inç} < \text{Kaplama} \leq 13$ inç	12
Kaplama > 13 inç	14

Sıcaklık burkulma gerilmeleri, kritik alt ve üst yük gerilmelerinin konumunda hesaplanmış ve yükleme gerilmesi analizleri sonucunda formülize edilmiştir.

$$\sigma_{CURL-STT,i,j} = C_{STT,i} \frac{E_{PCC,i} \alpha_{PCC} \Delta T_{ave,j}}{2} \quad (4.45)$$

$$\sigma_{CURL-STB,i,j} = C_{STB,i} \frac{E_{PCC,i} \alpha_{PCC} \Delta T_{ave,j}}{2} \quad (4.46)$$

Burada;

$C_{STT,i}$ = Üst kısım çekme gerilmesi için kaplama boyut düzeltme katsayısı.

$C_{STB,i}$ = Alt kısım çekme gerilmesi için düzeltme katsayısı.

$E_{PCC,i}$ = Beton elastisite modülü sezonsal i artışı için (psi).

α_{PCC} = Beton termal genişleme katsayısı ($1/^\circ F$).

$\Delta T_{ave,j}$ = asıl sıcaklık farkı frekansı.

Kaplama boyutu düzeltme katsayısı ;

Kaplama boyutu düzeltme katsayısı (c) kaplamanın ortası olarak değerlendirilmiştir. Westergaard'ın denklemlerinde burkulma gerilmesi kaplamanın $y/2$ ile $y = 0$ aralığında ne değerde olduğunu hesaplamaya yaramıştır.

$$C_i = 1 - C_{1,i}(C_{2,i} + C_{3,i}) \quad (4.47)$$

$$C_{1,i} = \frac{2\cos\lambda_i \cosh\lambda_i}{\sin 2\lambda_i + \sinh 2\lambda_i} \quad (4.48)$$

$$C_{2,i} = (\tan\lambda_i + \tanh\lambda_i)\cos y'_i * \cosh y'_i \quad (4.49)$$

$$C_{3,i} = (\tan\lambda_i + \tanh\lambda_i)\sin y'_i * \sinh y'_i \quad (4.50)$$

$$\lambda_i = \frac{L}{i\sqrt{8}} \quad (4.51)$$

$$y'_i = \frac{y}{i\sqrt{2}} \quad (4.52)$$

Bu formüllerde;

L = Kaplama genişliği (144inç olarak ayarlanıp analiz edilmiş değerlerdir).

i = Rölatif sertlik yarıçapı.

y = Kaplamanın merkez çizgisine, burkulmaya sebep olan kuvvetin uzaklığı (inç) .

4.7.3. Toplam gerilme

Toplam gerilme ($\sigma_{TOT,ij}$) herhangi lokasyonda, herhangi yük ve herhangi bir sıcaklıkta aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\sigma_{TOT-STT,ij} = \sigma_{LOAD-STT,i} - R_{ij} * \sigma_{CURL-STT,ij} \quad (4.53)$$

$$\sigma_{TOT-STB,ij} = \sigma_{LOAD-STB,i} + R_{ij} * \sigma_{CURL-STB,ij} \quad (4.54)$$

Bu formülde;

$\sigma_{CURL,ij}$ = Her sıcaklık frekansı için burkulma gerilmesi.

$\sigma_{LOAD,i}$ = Yükleme gerilmesi i sezonsal artırımını.

R_{ij} = Her sıcaklık frekansı için toplam gerilme düzeltme faktörü.

Yukarıdaki formüllere bakıldığında üst kısımda oluşan toplam gerilme hesabında sıcaklığın burkulma etki değeri çıkarılmıştır. Bunun sebebi olarak genelde üstteki sıcaklık, kaplama altından daha fazladır ve Δt bu farktır. Alt kısmın hesabında burkulma etkisi büzüşme ile daha fazla olduğundan etki olarak yük gerilme değeri ile toplanmıştır.

Bu formüllerdeki R_{ij} değeri genelde 1 alınmalıdır. Bunun sebebi ise Süperpozisyon kullanımının sonlu elemanlar metodu ile farklı sonuçlar vermesinden, aynı şey olmamalarından kaynaklıdır.

4.7.4. Müsaade edilebilir yük tekrarları (N_{ij})

Müsaade edilebilir yük tekrarı sayısı iki çeşit beton yorgunluk denklemleriyle bulunabilmektedir. Bu yorgunluk denklemleri tasarımcı kabulleriyle oluşur. Müsaade edilebilir tekrar hesapları enine eğilme gerilmelerinin hepsi için yapılmıştır.

Yorulma denklemleri ;

Gerilme oranı: Tüm beton yorulma denklemleri, kaplamanın gerilme oranının fonksiyonlarıdır.

Her sıcaklık frekansı için i sezonsal artışı da göz önüne alınırsa gerilme oranları şu şekilde hesaplanır.

$$SR_{STT,ij} = \begin{cases} EĞER & \frac{\sigma_{TOT,ij}}{\hat{R} * MOR_i} > 0,02 \text{ ise } \frac{\sigma_{TOT,ij}}{\hat{R} * MOR_i} \text{ alınır} \\ DEĞİLSE & 0,02 \text{ alınır} \end{cases} \quad (4.55)$$

$$SR_{STB,ij} = \begin{cases} EĞER & \frac{\sigma_{TOT,ij}}{MOR_i} > 0,02 \text{ ise } \frac{\sigma_{TOT,ij}}{MOR_i} \text{ alınır} \\ DEĞİLSE & 0,02 \text{ alınır} \end{cases} \quad (4.56)$$

burada,

$\sigma_{TOT,ij}$ = Sıcaklık frekansı için toplam gerilme (psi)

\hat{R} = Kaplama üstü çekmeye karşı mukavemet azaltma faktörü

MOR_i = Betonun kopma modülü (psi)

M-E PDG yorulma denklemi: CRCP tipi kaplamalar için M-E PDG 'nin verdiği yorulma denklemleri şöyledir;

$$\text{Log} N_{i,j} = 2,0 * \left(\left(\frac{1}{SR_{i,j}} \right)^{1,22} \right) - 1 \quad (4.57)$$

Bu formül daha çok A.B.D. askeri güçlerinin havaalanlarında yaptıkları deneylerde elde edilmiş ve sonuç vermiş bir formüldür. Daha çok LTPP ve diğer yol tipleri için ayarlanmış ve % 50 çatlak başarısızlığı üzerine kurulmuştur. Bu formül JPCP tipi kaplamalarda kullanılan formüle çok yakın olup, sadece sonunda -1 vardır.

Bu formülün dezavantajı direk bir punchout (zımbalama) değeri vermeyip, kaplamanın % 50 kırıldığı yere kadar uygulanabilen tekrar sayısını vermesidir.

Sıfır bakım yorulma denklemi

Darter tarafından 1977 de geliştirilen denklem JPCP için Zollinger ve Barenberg tarafından 1989 da işlenmiş ve şu hali almıştır.

$$\text{Log}N_{ij} = 17,61 - 17,61(SR_{ij}) \quad (4.58)$$

Bu formül laboratuvar koşullarında beton kirişlerin yorulmasının tayini ile elde edilmiş formül olup IDOT JPCP tasarım metodunda kullanılmaktadır. Avantajı laboratuvar koşullarında elde edilmiş olması ve güvenilirliğinin %50 den fazla olmasıdır.

4.7.5. Beklenen yük tekrarları

Beklenen yük tekrarları ESAL değerlerinin kümülatif toplamlarının fonksiyonunun kritik gerilme değerlerinin sebebidir (Beyer ve Roesler, 2009).

$$n_{STT,i} = (EDR_{STT,i})(ESAL_i - ESAL_{i-1}) \quad (4.59)$$

$$n_{STB,i} = (EDR_{STB,i})(ESAL_i - ESAL_{i-1}) \quad (4.60)$$

Bu denklemde;

EDR_i = Eşdeğer zarar oranı. (Zollinger, Barenberg., 1989)

$ESAL_i$ = Sezonsal i artışı için 18-kip eşdeğeri tek aks değerinin tasarım şeridindeki kümülatif sayısı.

$ESAL_{i-1}$ = Bir önceki sezonsal i artışı için 18-kip eşdeğeri tek aks değerinin tasarım şeridindeki kümülatif sayısı.

Eşdeğer zarar oranı ;

EDR kritik yük pozisyonuyla alakalı olup, en yüksek gerilme oranını veren konumla alakalıdır. Tüm bölgelere dağılmış toplam trafik değeri gibi birikmiş olan yorgunluk sebebidir. Trafik yükün daha çok kullandığı ve yükü etki ettirdiği konumla alakalıdır. Ölçüsel olmayan kaplama boyut oranı(\bar{L}/l)'nın ve yük transferi kabiliyeti LTE_s 'nin bir fonksiyonudur.

$$EDR_{STT,i} \begin{cases} EĞER $LTE_s \leq 60$ ise & - 0,1424 \left(\frac{\bar{L}_l}{l}\right) + 0,2806 \\ EĞER $60 < LTE_s \leq 85$ ise & - 0,1138 \left(\frac{\bar{L}_l}{l}\right) + 0,2688 \\ EĞER $85 < LTE_s \leq 100$ ise & - 0,0950 \left(\frac{\bar{L}_l}{l}\right) + 0,32 \end{cases} \quad (4.61)$$

$$EDR_{STB,i} = -0,2264 \left(\frac{\bar{L}_l}{l}\right) + 0,5533 \quad (4.62)$$

Bu denklemde; $\left(\frac{\bar{L}_l}{l}\right)$ dönemselsel i artırımı için ölçüsüz kaplama boyut oranıdır. Paydadaki li ise relatif sertlik yükleme yarıçapıdır.

4.7.6. Kümülatif yorulma zararı

Yorulma zararı hesapları farklı yükleme seviyelerindeki yorulmaları kombine etme amaçlı dizayn edilmiştir.

$$D_{STT,ij} = F_j * \frac{n_{STT,i}}{N_{STT,ij}} \quad (4.63)$$

$$D_{STB,ij} = F_j * \frac{n_{STB,i}}{N_{STB,ij}} \quad (4.64)$$

Bu formüllerde;

F_j = Sıcaklık oluşum frekansı.

n_i = Sezonsal i artırımını için beklenen yük tekrar sayısı.

N_{ij} = Her sıcaklık i sezonsal artırımını için uygulanabilecek yük tekrar sayısı.

Yükleme ile oluşan alt ve üst kritik noktalarında CRCP için toplam yorulma tek tek hesaplanmıştır. İ dönemsel yorulma hasarı;

$$D_{STT,i} = \sum D_{STT,ij} \quad (4.65)$$

$$D_{STB,i} = \sum D_{STT,ij} \quad (4.66)$$

Toplam i sezonsal yorulma hesabı;

$$D_{TOT-STT,i} = \sum_{i=1}^m D_{STT,i} \quad (4.67)$$

$$D_{TOT-STB,i} = \sum_{i=1}^m D_{ST,i} \quad (4.68)$$

$$m = 4 * LIFE \quad (4.69)$$

m toplam dönem – mevsim sayısı (1yılıda adet) olup LIFE dizayn ömrü (yıl)dür.

4.8. Zımbalama (Punchout) Tahmini

Bir mildeki zımbalama sayısı birikmiş olan yorulma hasarı ile ilişkilendirilebilir. Aşağıdaki formüllerden bu ilişki anlaşılabilir. Yorulma ile oluşan ve güç aktaramayacak şekilde betonla ilişkisi kesilmiş bölgelerdir. Genelde temelden ve de ana yükten ya da betonun karakteristiğinden dolayı yük dağılımının ani değiştiği alanlarda görülür (Bkz Şekil 4.3.). İki farklı şekilde hesaplama formu vardır. Zımbalama beton yollarda en istenmeyen ve en çok oluşan hasarlardır. Bu sebeple 1 mil uzunluktaki zımbalama sayısının düşük olması, o kaplamanın kalitesini belli edecektir.



Şekil 4.3. Kaplama kenarında oluşmuş zımbalama.

$$\bar{D}_{TOT,i} = \begin{cases} EĞER & D_{TOT-STT,i} > D_{TOT-STB,i} \text{ ise } D_{TOT-STT,i} \text{ alınır.} \\ EĞER & D_{TOT-STT,i} \leq D_{TOT-STB,i} \text{ ise } D_{TOT-STB,i} \text{ alınmalıdır.} \end{cases}$$

Bu denklemdeki i , tasarım ömrü boyunca ki dönem-sezon sayısıdır.

4.8.1. Güç fonksiyonu zımbalama modeli

$$PO_i = \begin{cases} EĞER D_{TOT,i} < 2,42 \times 10^{-7} \text{ ise } \sum_{i=1}^m \frac{a}{1+b \cdot \bar{D}_{TOT,i}^c} \\ DEĞİLSE = 50 \end{cases} \quad (4.70)$$

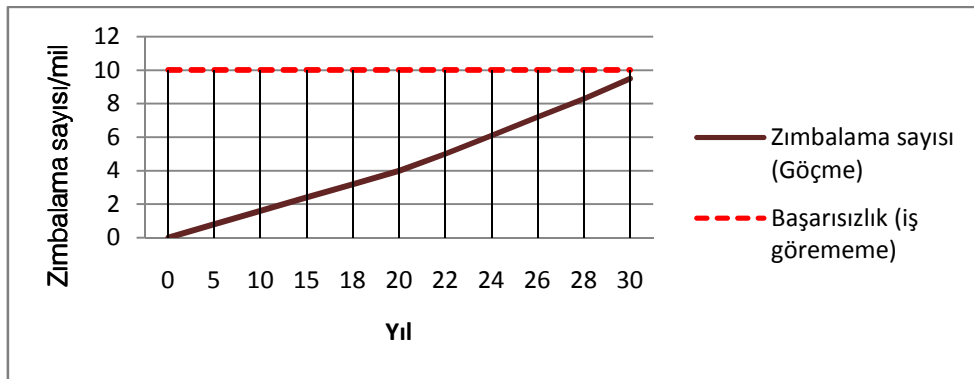
Bu formülde;

PO_i = i sezon sonunda 1 mil içinde de toplam zımbalama sayısı.

$\bar{D}_{TOT,i}$ = Çekme gerilmesi konumunda, kaplamanın alt ya da üst konumunda birikmiş yorulma hasarları.

m = Dizayn hayatı boyunca geçecek mevsim sayısı (1 yılda 4 mevsim).

ve a,b,c kalibrasyon katsayıları olup sırası ile (-6,515, -1.600×10^{-5} , -0,733).



Şekil 4.4. Güç fonksiyonu modeline göre, 70 milyon ESALs, betonla iyileştirilmiş temelli, 30 yıl hizmet ömrüyle tasarlanmış beton yolda beklenen zımbalama miktarı /mil.

Şekli inceleyecek olursak Güç fonksiyonu modelinde kullanımın başladığı ilk yıllardan tasarım ömrü sonuna kadar neredeyse doğrusal bir artışın olacağı varsayımı gözlenebilir. 20 yıl sonunda zımbalama/yıllık değerinde bir miktar daha artış olacağı yorumlanabilir.

4.8.2. S - Eğrisi zımbalama modeli

İkinci zımbalama modeli IDOT tarafından güvenle kullanılan bu modeldir.

$$PO_i = \sum_{i=1}^m \frac{1}{a + b * c^{-\log \bar{D}_{TOT,i}}}$$

Bu formülde;

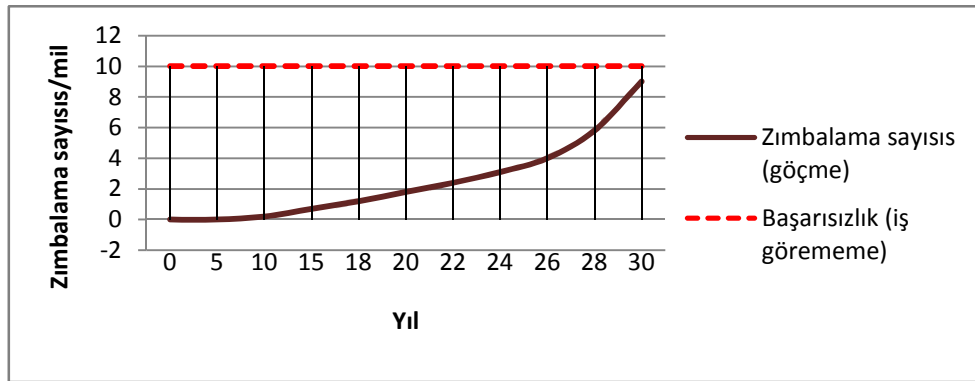
PO_i = i sezon sonunda 1 mil içinde de toplam zımbalama sayısı

$\bar{D}_{TOT,i}$ = Çekme gerilmesi konumunda, kaplamanın alt yada üst konumunda birikmiş yorulma hasarları.

m = Dizayn hayatı boyunca geçecek mevsim sayısı (1 yılda 4 mevsim)

ve a,b,c kalibrasyon katsayıları olup sırası ile (0,02,1,00x10⁻³², 32.386)

Her iki hesaplama yöntemindeki kalibrasyon katsayıları sıfır bakım yorulma denkleminin uygulanmış değerleridir.



Şekil 4.5. S- eğrisi zımbalama modeline göre, 70 milyon ESALs, betonla iyileştirilmiş temelli, 30 yıl hizmet ömrüyle tasarlanmış beton yolda beklenen zımbalama miktarı /mil (Beyer ve Roesler, 2009).

Şekli inceleyecek olursak S-eğrisi modelinin zımbalama oluşum ivmesinin yıllara göre daha fazla değişim gösterdiğini görebiliriz

Sürekli donatılı beton yol tasarımı, genelde iklim, yük, zemin özelliklerine göre küçük farklılıklar gösterir. Tasarım aşamasında sınır değerler mevcut olup, tecrübeye dayalı ve testlerle elde edilmiş gerçek değerler arasından seçilir.

Beton yol yapımına en fazla önemi veren ülke olan ABD’de her eyaletin ayrı çalışan ulaştırma departmanı mevcuttur. Bu farklılığı standartlaştırmak amaçlı genel bir kurum olan AASHTO kurulmuştur.

AASHTO projelendirme yöntemine bakılacak olursa, küçük değerler ve kabuller sebebiyle büyük değişiklikler oluşmayacağı 4. bölümde ki incelemelerde görülebilir. Bu sebeple genel projelendirmede dizayn kabulleri, standartları ve tablolaştırılmış haller 5. bölümde özetlenmiştir. Bu tezde kabuller AASHTO yönteminden alınmış kabuller olup, malzeme olarak lif içerikli kendiliğinden yerleşen beton kullanımında oluşacak farklılıklara ışık tutmak amaçlanmıştır.

4.9. AASHTO - 2002 CRCP Dizayn Metodu ve Duyarlılık Analizi

Kaplama kalınlığı zımbalama çatlaklarının en önemli etkeni olup minimum 8 inç olarak yapılmalıdır. Zemin desteği yok olsa dahi, beton kendi mukavemeti ile kiriş olarak çalışmaya devam edebilecektir. Sıcaklık ve yük miktarı kaplama kalınlığı seçimini etkiler. Maksimum kaplama kalınlığı 16 inç olarak öngörülmelidir (Florida Department Of Transportation).

Bu kalınlıktan daha yüksek değerlerde yük taşıma olsa dahi tasarım ömrünün sonlarına doğru yüzeysel bozulmalar oluşarak tasarım ömrüne katkıda bulunabilecek olan fazla kalınlığı gereksiz hale düşürecektir. AASHTO tasarım yönteminin genel denklemi ile bu kalınlık hesabı hakkında öngörüde bulunulabilir.

$$\text{Log}_{10}(\text{ESAL}_D) = Z_R * S_0 + 7,35 * \text{log}_{10}(D_R + 1) - 0,06 + \frac{(\text{log}_{10} \frac{P_I - P_T}{4,5 - 1,5})}{1 + \frac{1,624 * 10^7}{(D_R + 1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 * P_T) * \text{log}_{10} \left[\frac{S_r * C_D [D_R^{0,75} - 1,132]}{215,63 * J \left(D_R^{0,75} - \frac{18,42}{(\frac{E_C}{K_G})^{0,25}} \right)} \right]$$

D_R = İnç olarak gerekli beton kaplama kalınlığı.

$ESAL_D$ = Proje ömrü boyunca biriken 18-kip tek dingil yükleri.

Z_R = Tasarım güvenirligi R için normal dağılım tablosundaki standart sapma.

K_G = Yatak katsayısı (Temel reaksiyon modülü) (lbs/inç²/inç).

S_o = Standart sapma.

P_I = İlk olarak servis verilebilirlik.

P_T = Uç birim servis verilebilirlik(uç nokta).

S'_c = Beton kopma modülü (Psi).

E_C = Beton elastisite modülü (Psi).

C_D = Drenaj katsayısı.

J = Joint(derz araları bağlantı) iletim katsayısı.

Bu denklem tasarımda kullanılan ana denklemdir. AASHTO tarafından deneysel sonuçların formüle edilmesiyle elde edilmiş ve en genel kullanılan formüldür.

Kaplama tasarımında AASHTO kurumunun test sahasında elde edilmiş deneyimler, formülize edilmişlerdir. Bu formüllerin direkt kabulünün yapılabileceği gibi tam olarak tasarım parametrelerinin artması ya da azalmasıyla olacak değişikliklerin göz önüne serilmesi gereklidir. Duyarlılık analizi bu amaçla yapılmaktadır.

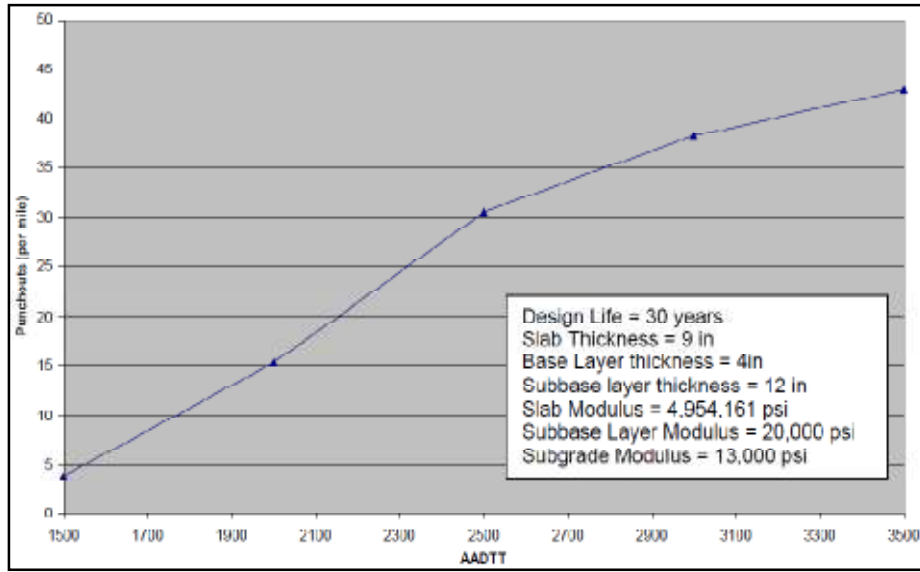
Duyarlılık analizinde sonuç elde etmek için, kaplama gerilmesinde etken olan kalemlerin bir tanesi değiştirilirken diğer tüm etkiler sabit tutulur ve değişim gözlenir. Böylelikle kalemler arası oranlar, bağlantılar ortaya çıkar.

Analizde tasarım ömrü 30 yıl, başlangıç IRI değeri 63in/mil, tasarım ömrü sonunda IRI değeri 252 in/mil, maksimum kabul edilecek zımbalama sayısı 10 tane ve % 95 tasarım güvenilirliği seçimleri yapılmıştır. İlk yıl iki şeritten geçecek kamyon sayısı 2.500 adet olarak öngörülerek yıllık artış oranı % 4 ve kullanım hızları 60mil/saat olarak kabul edilmiştir.

Bölüm 4.7.1.'de kritik yükleme detayları verilmişti ve bu bölümde ilgili çizimlerde de belirtildiği üzere yük miktarının öneminin yanı sıra konumların da önemli olduğu incelenmiştir. Duyarlılık analizinde dış tekerin kaplama kenarına uzaklığı 18inç, kaplama genişliği 144 inç, standart aks uzaklığı 100 inç ve lastik basıncı 120 psi olarak kabul edilmiştir (Sanjay, 2006). Duyarlılık analizindeki tüm bu etkenler tablo halinde verilmiştir (Bkz. Çizelge 4.5.) .

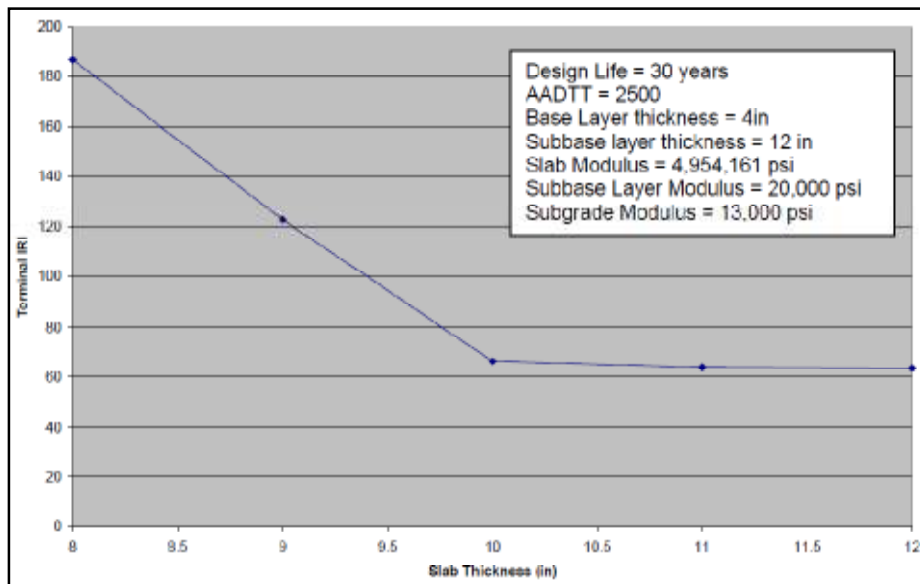
Çizelge 4.5. Tasarım duyarlılık analizi için kabul edilmiş değerler (Sanjay, 2006).

	Girdi Parametreleri	Seçim	Normlar
1	Dizayn Ömrü	30 yıl	Değişken
2	AADTT çift şerit	2.500	1.500 - 3.500
3	IRI.	63in/mil	Değişken
4	Kabul edilebilir maks. IRI.	252in/mil	Değişken
5	Oluşabilecek maks. Zımbalama/mil	10	Değişken
6	Kaplama kalınlığı	9 in.	8 - 12 in.
7	Temel Kalınlığı	4 in.	4 - 8 in.
8	Kompakt alt temel kalınlığı	12 in.	10 - 14 in.
9	Çelik yüzdesi	0,6	0,4 – 0,8
10	Çelik derinliği	4 in.	3 – 4,5 in.
11	Temel modülü	2000psi	Değişken



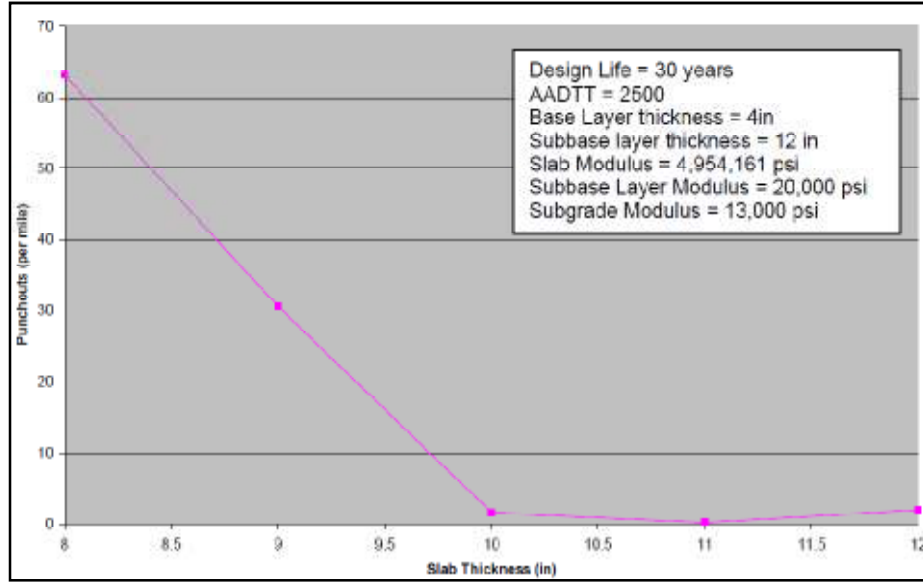
Şekil 4.6. Yıllık ortalama günlük kamyon trafiği ve zımbalama sayısı ilişkisi (Sanjay, 2006).

Yukarıdaki grafikte de görüldüğü gibi, trafik miktarı arttıkça zımbalama sayısının artacağı beklenebilir. Bu durum kaplamanın yorulması ile sebeplendirilebilir.



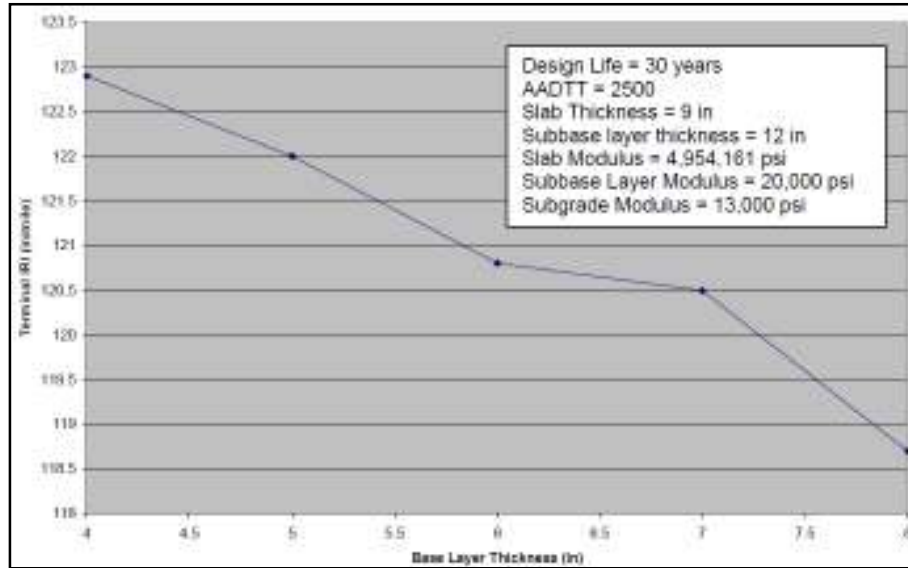
Şekil 4.7. Kaplama kalınlığı ve uluslararası engebe faktörü ilişkisi (Sanjay, 2006).

Kaplama kalınlığı arttıkça etkilere direnç artacaktır. 10 inç değeri çoğu durum için önemli bir baraj değeridir.



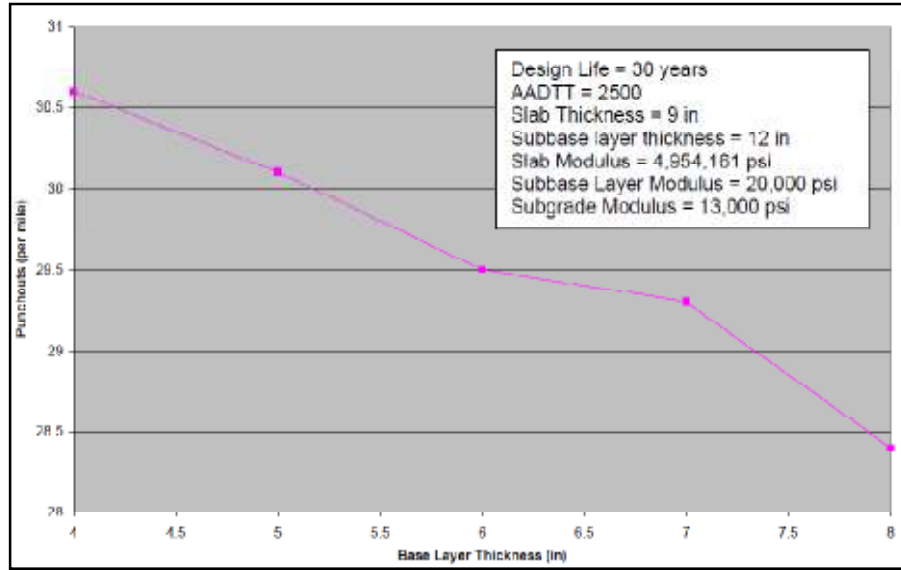
Şekil 4.8. Kaplama kalınlığı ve zımbalama sayısı ilişkisi (Sanjay, 2006).

Grafikte de görüldüğü üzere 10–11 inç kalınlık aralığında kaplama maksimum dayanım göstermektedir. Betonarme karakterde, iletişimin en güçlü olduğu kalınlık aralığı bu aralık gibi düşünülebilir.



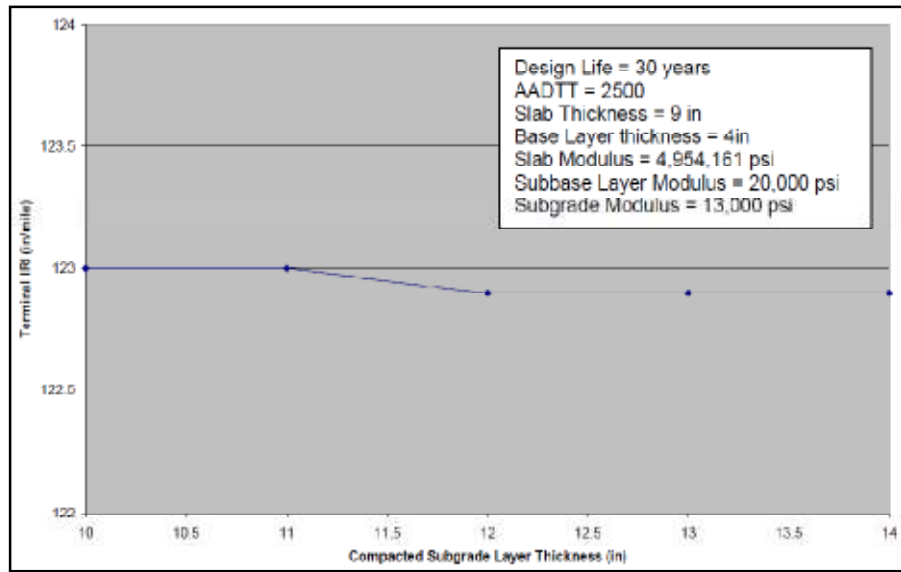
Şekil 4.9. Temel kalınlığı ve ulusal engebe indeksi ilişkisi (Sanjay, 2006).

Kaplama yükünü tabana yaymak üzere göğüsleyen temel kalınlığı arttıkça kaplamanın performansı da artacaktır. Şekil 4.11. ve Şekil 4.12. gösteriyor ki; 8 inç'lik temel kalınlığı, oldukça kuvvetli etkiler yaratır.



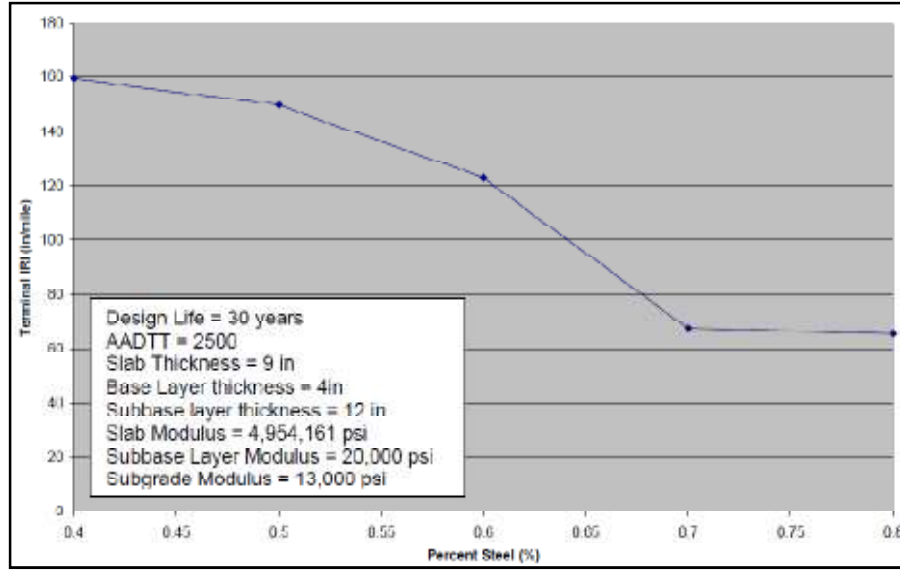
Şekil 4.10. Temel kalınlığı ve zımbalama arası ilişki (Sanjay, 2006).

Beton yollarda üç etkenden en etkili olanı beton kalınlığıdır. Zımbalama kabulünde kalınlığın artması her zaman avantajlıdır, fakat kalınlık, maliyeti etkileyen en büyük kalemdir (Bkz. Şekil 4.10.).



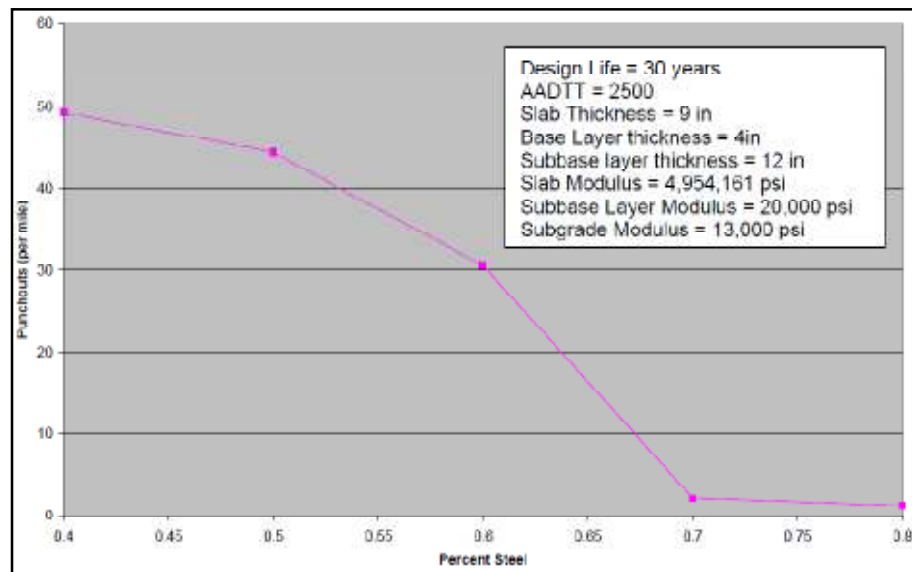
Şekil 4.11. Sıkıştırılmış zemin katman kalınlıkları ve uluslararası engebe indeksi ilişkisi (Sanjay, 2006).

Temel altındaki tabi zemin iyileştirmesi tüm katmanları çökmeye karşı koyacak ve toplam performansı etkileyen önemli bir faktör olacaktır (Bkz. Şekil 4.13.).

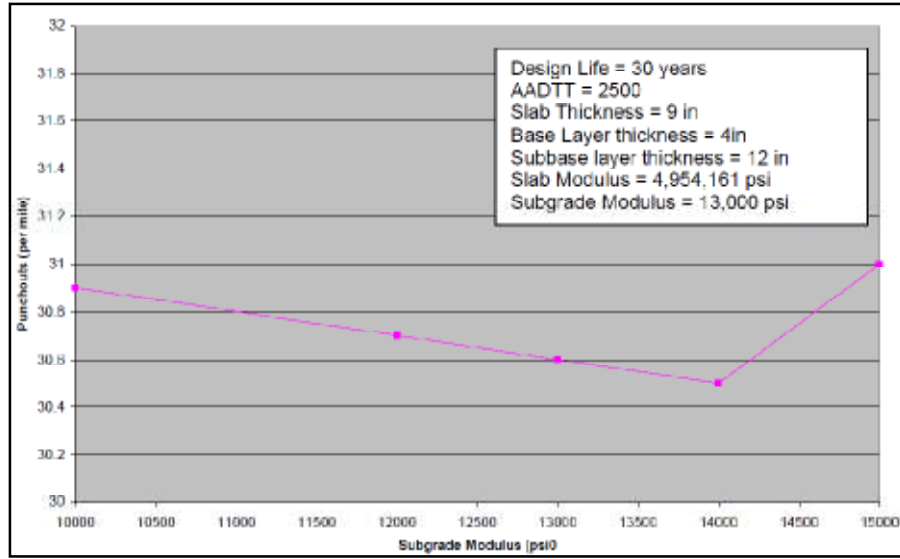


Şekil 4.12. Çelik yüzdesi ve uluslararası engebe faktörü ilişkisi (Sanjay, 2006).

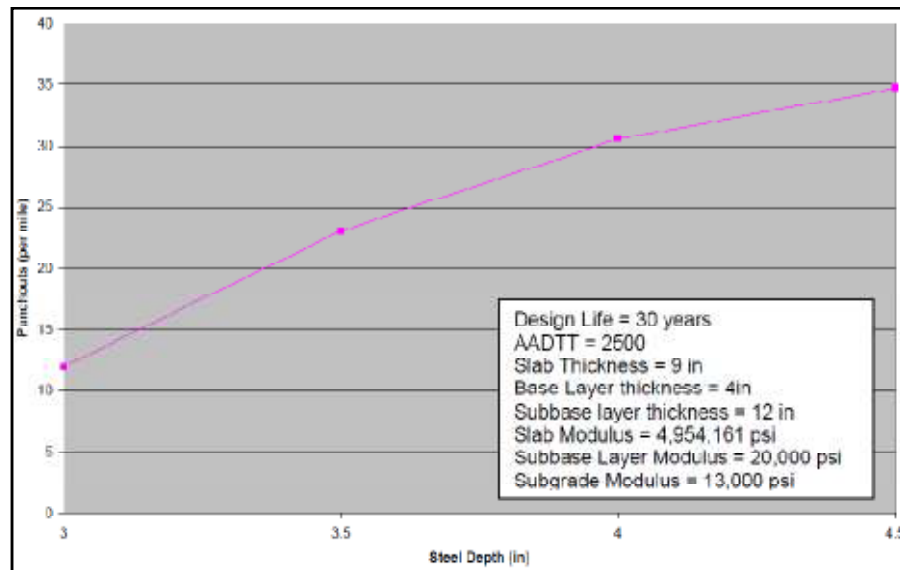
Çelik yükü karşılamada esneklik katkısı yapmaktadır. Özellikle kaplamada zımbalama, çatlama, ömür kalemlerine etkisi büyüktür. CRCP tipi kaplamada içsel gerilmeleri minimumda tutmak, çelik kullanımı ile mümkündür. Şekil 4.12 ve Şekil 4.13 'de anlaşılacağı üzere kesit alanının % 0,7 oranında çelik alanı kullanmak güçlü bir katkı sağlamaktadır.



Şekil 4.13. Çelik yüzdesi ve zımbalama sayısı arasındaki ilişki (Sanjay, 2006).



Şekil 4.14. Zemin dayanımı ve zımbalama sayısı arasındaki ilişki (Sanjay, 2006).



Şekil 4.15. Çelik derinliği ve zımbalama sayısı arasındaki ilişki (Sanjay, 2006).

Çelik derinliği çelikten maksimum faydalanma oranıyla alakalı bir durumdur. Bu oran arttıkça tasarımda kullanılması gereken çelik miktarı azaltılabilir. Beton yüzeyinden, çelik üstüne 3 – 3,5 inç en performanslı durumdur (Bkz Şekil 4.15.).

5. CRCP YOL TASARIMINDA KULLANILAN KABULLER VE DİZAYN TABLOLARI

Beton yol tasarımımda 4. Bölümdeki etkenlere gösterilen hassasiyet sebebiyle bir tasarım yapılmış bulunmaktadır. Örneğin zımbalama değerlerinin 1 mil uzunluktaki maksimum sayısını aşmamak amaçlı kaplama kalınlığını artırımının yapıldığı gibi. Bu bölümde ise Amerika Birleşik Devletleri eyaletlerinin kullandığı AASHTO tasarım kabullerinin bilgilendirilmesi verilecektir (Florida Department Of Transportation).

5.1 Genel Dizayn Bileşenleri ve Sınır Değerleri

5.1.1. Kaplama kalınlığı

Kaplama kalınlığı zımbalama çatlaklarının en önemli etkeni olup minimum 8 inç olarak yapılmalıdır. Zemin desteği yok olsa dahi, beton kendi mukavemeti ile kiriş olarak çalışmaya devam edebilecektir. Sıcaklık ve yük miktarı kaplama kalınlığı seçimini etkiler. Maksimum kaplama kalınlığı 16 inç olarak öngörülmelidir (FDOTPMO).

5.1.2. Dizayn Ömrü

Kaplamanın ömrü, kaplamanın hizmet süresince servis yeteneğini ve belirlenmiş hacmi taşıma kapasitesini koruması olarak nitelendirilebilir. Genel kaplama ömrü 20 yıl seçilmektedir. Yüksek hacimli trafik koridorlarında ise 30 yıl seçilmektedir (Beyer, Roesler., 2009).

5.1.3. Çelik oranı

Çelik oranı (P_b), kaplamanın enkesitinin yüzdesi olarak adlandırılır. 20 yıl dizayn ömrü için % 0,7, 30 yıl dizayn ömrü için % 0,8 olarak özelleştirilmiştir (Beyer, Roesler., 2009).

5.1.4. Betonarme donatı çapları ve çelik lif dozajı

Tasarımda genel olarak donatı çaplarından \emptyset 16 ve \emptyset 22 aralığında seçim yapılmaktadır. Uzun doğrultudaki betonarme aralığında güvenli tarafta kalabilmek için daha büyük çapta donatı kullanılabilir (Beyer, Roesler., 2009) . Çelik lif kullanımında R_e en az % 30 seçilmelidir. 1m^3 beton içinde optimum dozaj 40 kg çelik teldir.

5.1.5. Çeliğin yüzeyden derinliği

Çelik derinliği yüzeyden olan derinliktir. Genel IDOT standartlarına göre çelik derinliği 7cm olarak alınır. Eğer ki kaplama kalınlığı 20 cm ye eş veya daha küçükse 9 - 10 cm çelik derinliği uygulanabilir. Büyük kalınlıklarda -min.30cm- çift betonarme tabakası önerilmemektedir (Beyer, Roesler., 2009). Çelik genel anlamda çatlak kontrolü için vardır. Punchout durumunu sınırlamada derinlik seçimi önemlidir (Bkz. Şekil 4.15.).

Elastik tasarım Westergaard tarafından 1920 li yıllarda elde edilmiştir. Donatı miktarı az yada donatısı hiç olmayan kaplamalarda elastik yöntem kullanılabilir. Bu yöntemin alternatifi olan Plastik metotta, plağın sünek davranacağı kabul edilir. Plağın, çatlak sonrası elasto-plastik davranışı için, yeteri miktarda çelik tel veya hasır donatıya sahip olması gerekir.

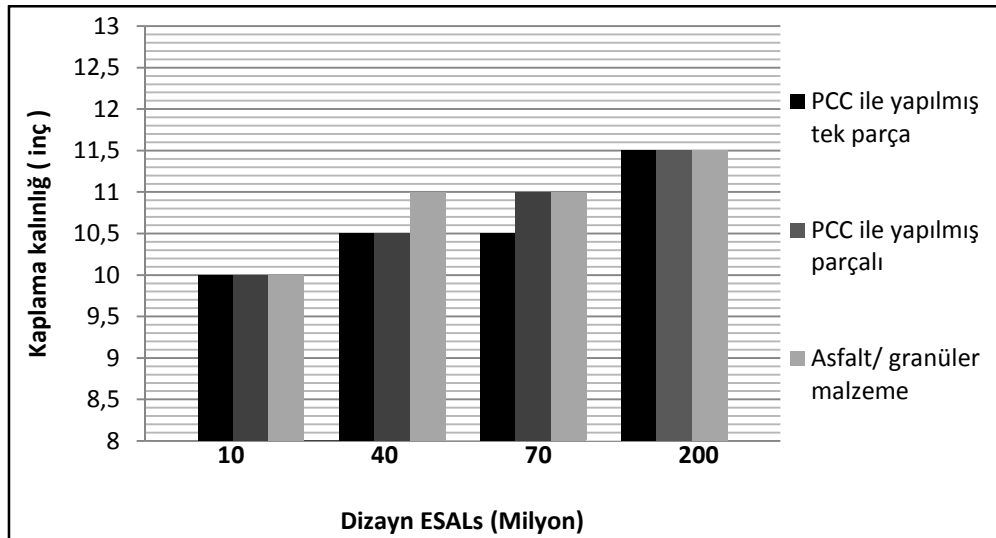
5.1.6. Banket tipi

Banket yapı itibariyle kaplamanın yükünü karşılayan ilk tabakadır. Bu yükü temel tabakasına iletir. Yük transfer etkinliğinde (LTE) beton % 50 – 60, Asfalt tabaka %5, Granüller malzeme % 5 olarak rol alırlar. Yük transferinin yanında, kaplama tabakası ile aralarında mesnet karakteristikleri (J_s) ; Betonda 4,00, Asfaltta 0,04, Granüller malzemede 0,04 olarak sıralanabilir.

5.1.7. Trafik

Dizayn şeridindeki 18 kip (8 ton/aks) equivalent single axle loads (ESALs) niteliğinde kaplamanın ömrünce geçecek olan araç sayısının belirlenmesi tasarımda önemli bir etkidir. Eğer ki ESALs değeri 30 milyondan fazla ise CRCP tipi kaplama ön plana çıkmalıdır. Bu değer şehir içi alanda dahi ulaşılabilir rakamlardır. Örneğin tasarım senesine ait ABD İllinois şehrinde tasarım kabul ESALs değeri 230 milyondur (Beyer, Roesler., 2009).

ESALs değerinde tasarım ömründe değişiklik olabileceği düşünülürse büyütme faktörü kullanılmaktadır. ESALs' tan farklı olarak; ESAL yıllık değeri ifade eder, Ortalama Yıllık Günlük Kamyon Trafığı sayısı da AADTT ile ifade edilir. AADTT bir yoldan günde geçen kamyon miktar olup, toplam geçen günlük trafiğin yüzdesi cinsinden değer alır. Eğer tüm veriler varsa AADTT' den ESALs' a eşlenik hesaplaması yapılabilir. Tasarımda abaklardan faydalanılabilir (Bkz. Şekil 5.1.).



Şekil 5.1. Farklı temel tiplerinde, farklı ESALs değerlerinde, 20 yıl proje ömrü, % 50 tasarım güvenilirliği ve 50 psi/ inç temel reaksiyon değerleri için kaplama kalınlığı tasarım abağı

5.1.8. Beton Özellikleri

Malzeme standartları hesaplamaların temelini oluşturduğundan betonun özellikleri iyi irdelenmelidir. Elastisite modülü olarak minimum $4,4 \times 10^6$ psi ($30.336\text{Mpa} = \text{C25/30}$) Niteliğinde değere sahip olmalıdır. Poission oranı 0,15 ve 0,25 arasında, termal genleşme katsayısı $10^{-5}/^\circ\text{C}$, kayma modülü $0,35 E_c$, çimento içeriği minimum 270 kg/m^3 olarak düşünülmelidir.

Üç noktalı kiriş eğilme yükü deneyindeki Modulus Of Rupture (MOR_{90}) 90 günlük kopma değerinin 5,1 MPa'yı sağlaması önerilmektedir (Beyer, Roesler.,2009) Bu standartları sağlayan en düşük beton dayanım sınıfı C25/30 dur.

5.1.9. Temel özellikleri

Temel alt temel tabakaları iletilmiş yükü zemine iletmekle yükümlü katmanlardır. Çok çeşitli malzemelerle yapılabilirler. Ülkemizde genel uygulama zemin kompaksiyonu ardından seçme kırmataş serimi ile alt temel, bypass tabir edilen granül dağılımında 0–3 mm ince malzemenin oldukça fazla olduğu bir karışımla temel oluşturulmaktadır. Yük transferi etkinliği LTE_{base} olarak ele aldığımızda agrega % 20, ATB (asfalt ile iyileştirilmiş) % 30, CTB (beton ile iyileştirilmiş) % 30, ince beton tabakası % 40 değerlerini taşımaktadırlar.

5.1.10. Zımbalama (punchouts) sayısı

Kabul edilebilir beklenen sayıda zımbalama miktarları, tasarımda olduğu kadar bakım onarım gereksinim tayininde de işe yarayacaktır. Beklenen sayılar önceki bölümde detaylandırılan; Güç fonksiyonu zımbalama modeli ve S - Eğrisi zımbalama modeli olarak iki farklı şekilde kabul edilebilir.

5.1.11. Uluslararası engebe indeksi (IRI)

International Roughness Index (IRI), AASHTO tarafından hesaplarda kullanılan bir bileşendir. 1 mil uzunluğundaki yükselti şiddeti (miktarı) ile açıklanır ve aksın bastığı şeritteki uzunlamasına düzgünlük parametrelerinin toparlayıcısıdır. Genelde 150 – 200 inç/mil olarak alınır. Kabul edilen bu değer, yolun tasarım ömrü boyunca yüke karşı direnç kapasitesinin azalması sebebiyle artacaktır (Sanjay, 2006).

5.1.12. Dizayn güvenilirliği

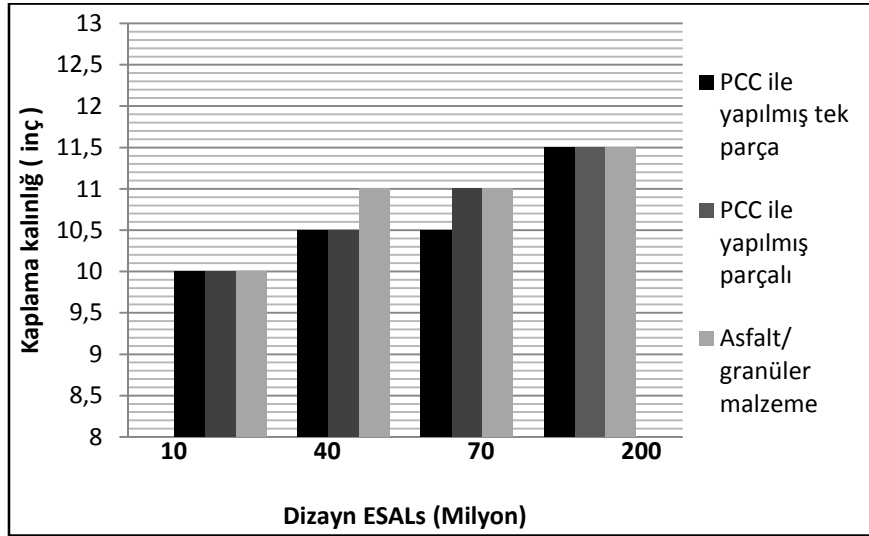
Dizayn güvenilirliği bir projenin yaptığı doğru tasarım sayısının yüzdesidir. Birimi % dir. Örneğin bir kriter 25mm derinlikte olmalı ve bu kriter eğer % 90 güvenli (design reliability) bir değerde incelenirse, o projenin yaptığı 100 projeden 90'ında bu kriter 25 mm derinlikte, diğer 10'unda ise daha farklı derinliktedir. Yanlış yapılan kabuller ve hesaplar içsel gerilmelerde önemli rol oynar (Sanjay, 2006). Eğer dizayn güvenilirliğinin yüksek değerde olmasını istiyorsak daha güvenli tarafta kalan kabuller yapmalıyız. Güvenirliliğin yanı sıra işçilik kalitesi de bu değere etken kabul edilebilir.

5.2. Tasarım Tabloları

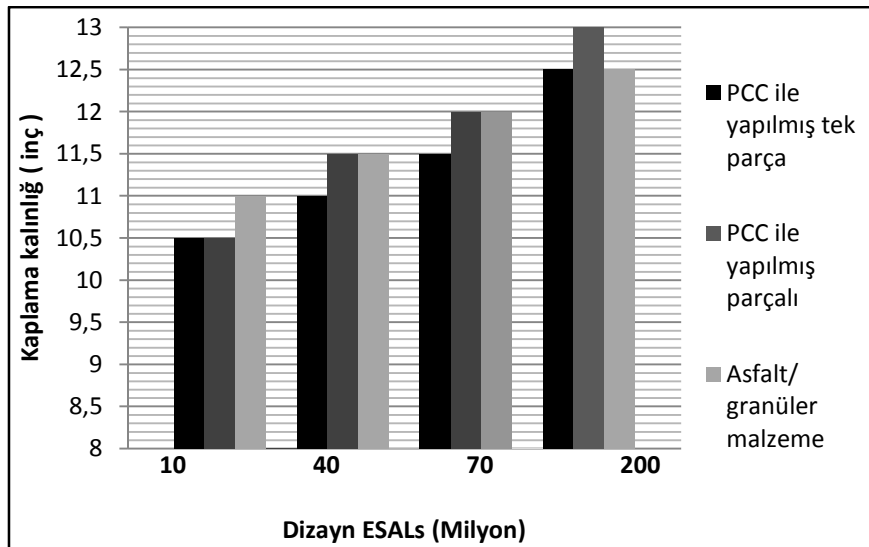
Zemin dayanımı arttıkça kaplama kalınlığının azalmaktadır. Konu devamında k_d 'nin farklı değerleri için tasarım tabloları verilmiştir. Tablolarda 3 farklı sınıftaki temel tipi için, kaplama kalınlık değişimleri gösterilmiştir. Bu zemin farklılıkları zemin reaksiyon modülleri ile alakalıdır. $k_d = 50$ psi/in, $k_d = 100$ psi/in, $k_d = 200$ psi/in değerlerinde yapılandırılacak kaplamadan geçecek araç ELASs sayısına karşılık gelecek kalınlıklar bu tablolar ile belirlenirler. Tablolar incelenecek olursa zeminin k_d değerinin yanında, alt temel tipleri PCC olarak tek parça, PCC olarak katmanlı, asfalt - granüler malzeme olarak 3 ayrı tipte detay verilmiştir.

5.2.1. Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 50$ psi/in)

Şekil 5.2. ve Şekil 5.3.'e bakıldığında zemin reaksiyon modülü aynı olsa da, dizayn güvenilirliği kaplama kalınlığını oldukça etkiler. % 95 oranında yapılacak işe güven duygusu oluşturulacaktır.

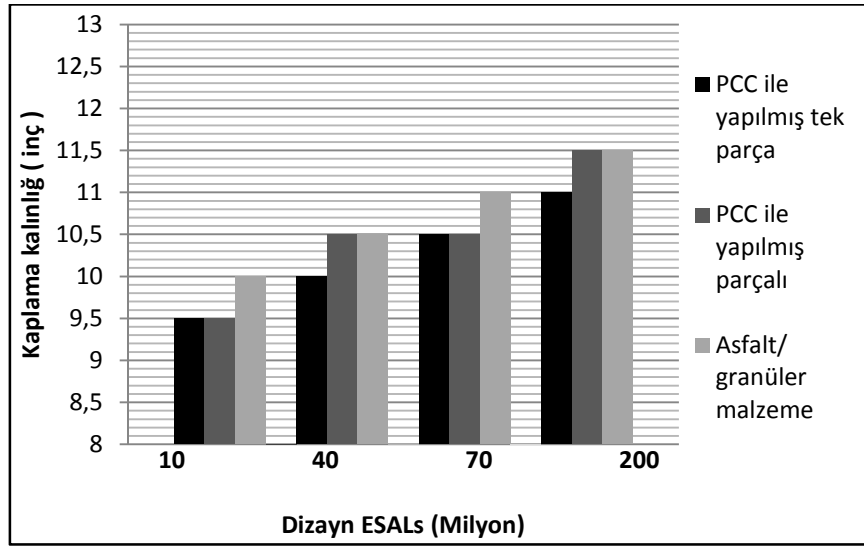


Şekil 5.2. 20 yıl dizayn ömrü, % 50 proje güvenilirliği, 50 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

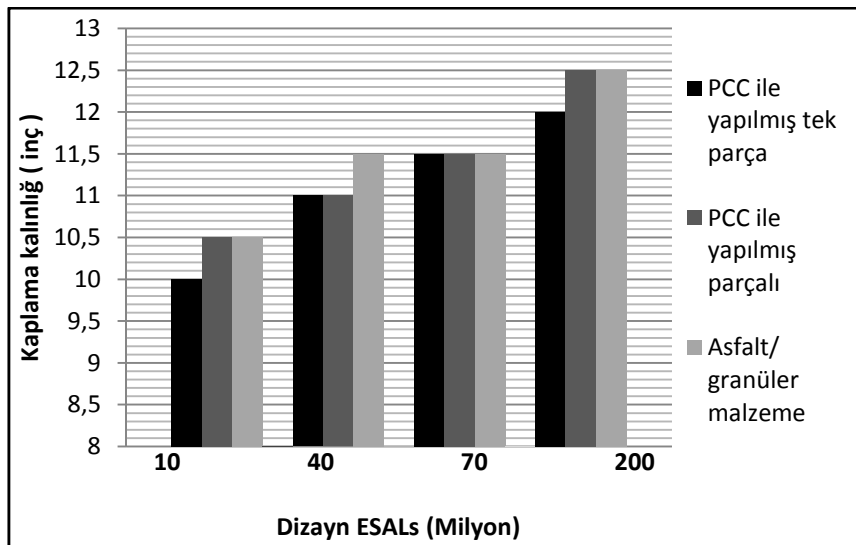


Şekil 5.3. 20 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenilirliği, 50 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

Şekil 5.4. ve Şekil 5.5. diğer şekillerle kıyaslandığında aslında dizayn ömrünün kaplama kalınlığı seçiminde çok etken olmadığı anlaşılacaktır. Bunun sebebi uygun şartlarda ve kaliteli imalatlarda üretilmiş beton malzemesinin çok geç yaşlanmasıdır.



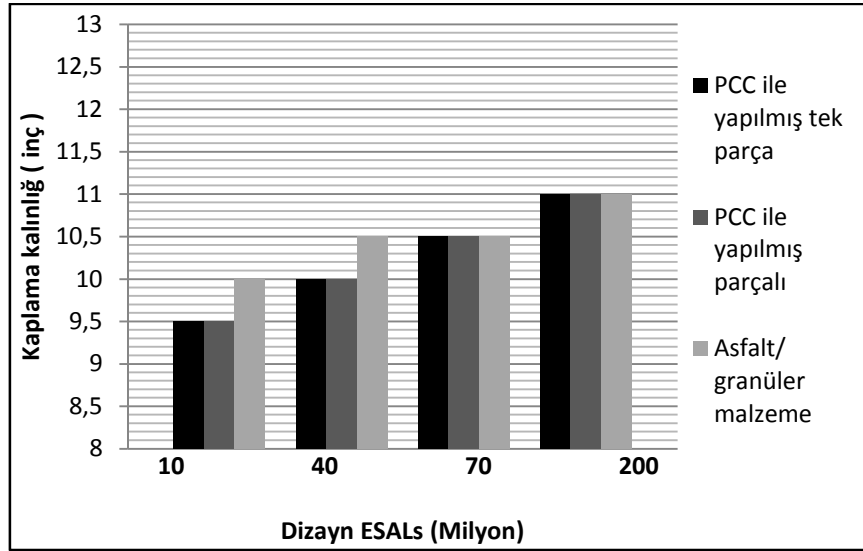
Şekil 5.4. 30 yıl dizayn ömrü, % 50 dizayn güvenirliliği, 50 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu



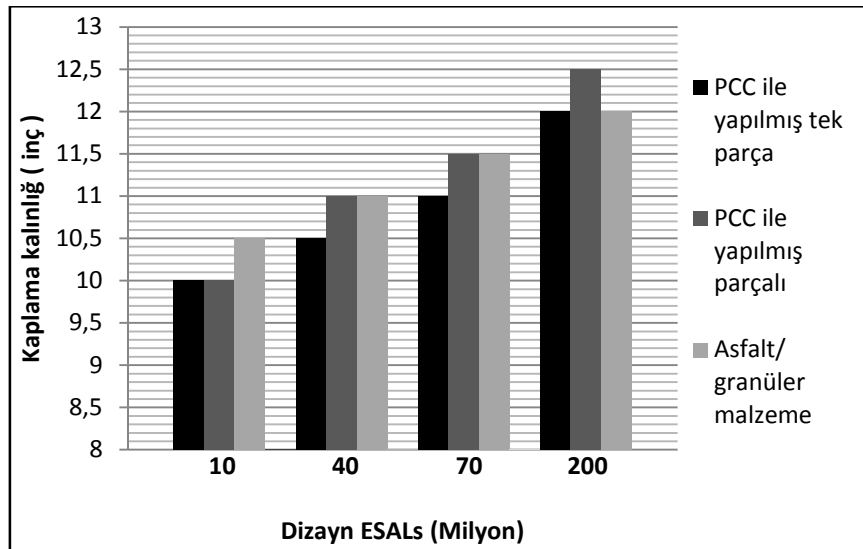
Şekil 5.5. 30 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenirliliği, 50 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

5.2.2. Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 100$ psi/in)

Şekil 5.6. ve 5.7. ye bakılacak olursa dizayn güvenirliliği değişimlerinin kaplama kalınlıklarına etkisi fark edilebilir.

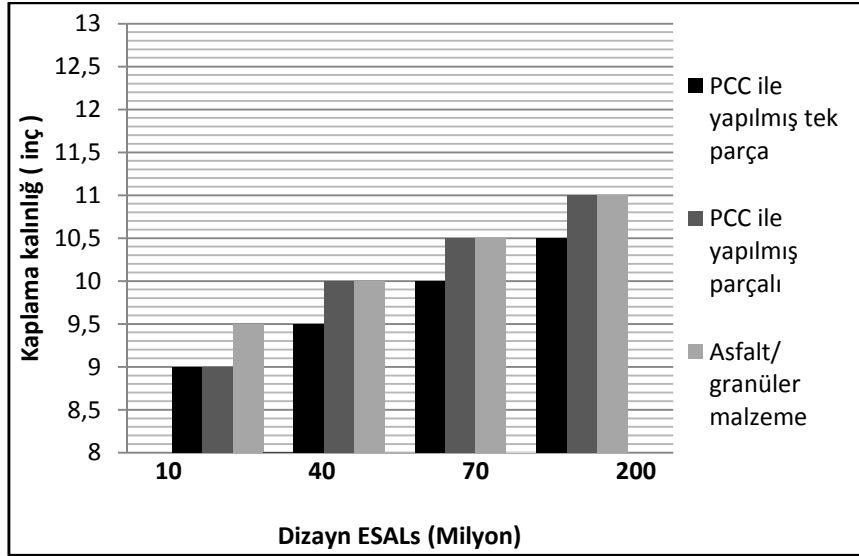


Şekil 5.6. 20 yıl dizayn ömrü, % 50 dizayn güvenirliliği, 100 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

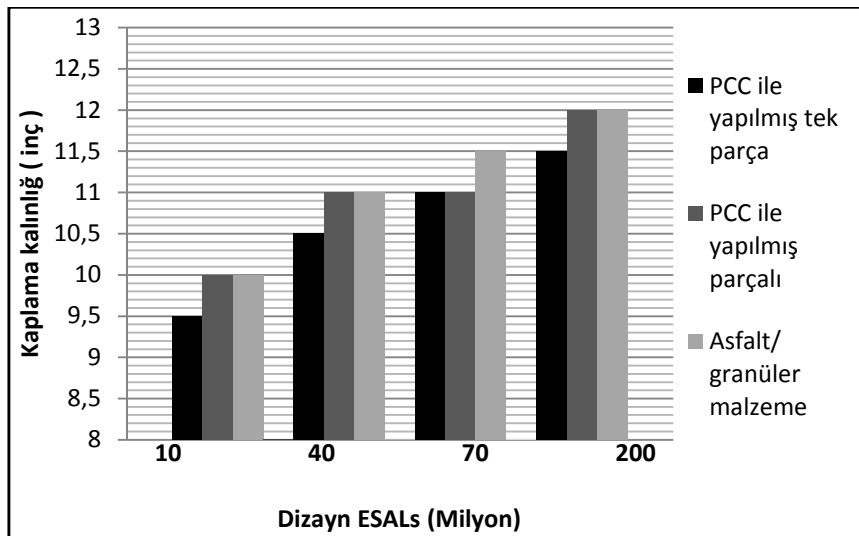


Şekil 5.7. 20 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenirliliği, 100 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

30 yıl dizayn ömrü en fazla seçim yapılacak süre olacaktır. Şekil 5.8. ve 5.9. 'da dizayn güvenilirliği değişkenlerine göre 30 yıla ait kaplama kalınlıkları incelenebilir.



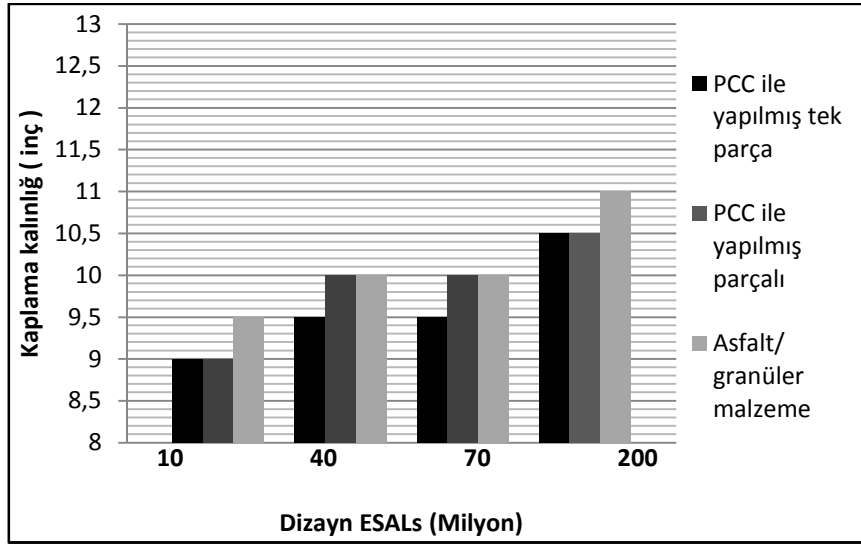
Şekil 5.8. 30 yıl dizayn ömrü, % 50 dizayn güvenilirliği, 100 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu



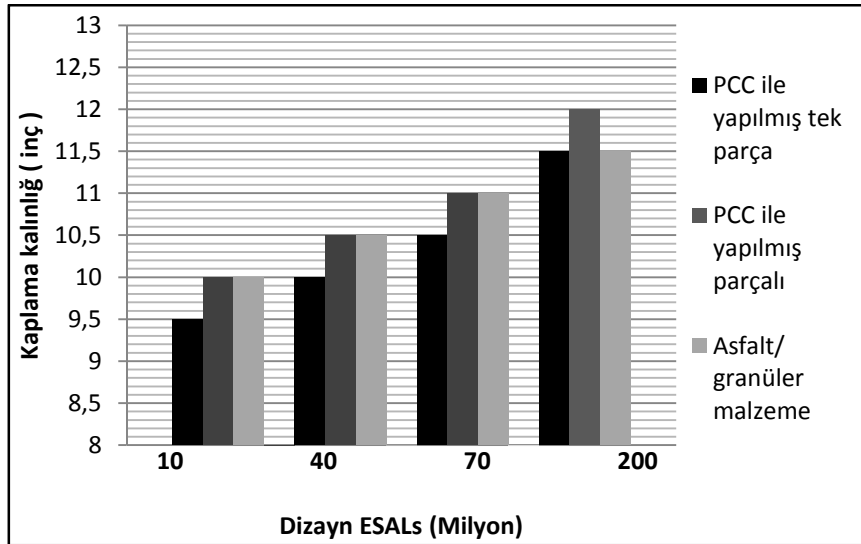
Şekil 5.9. 30 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenilirliği, 100 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

5.2.3. Zemin reaksiyon modülü ($k_d = 200$ psi/in)

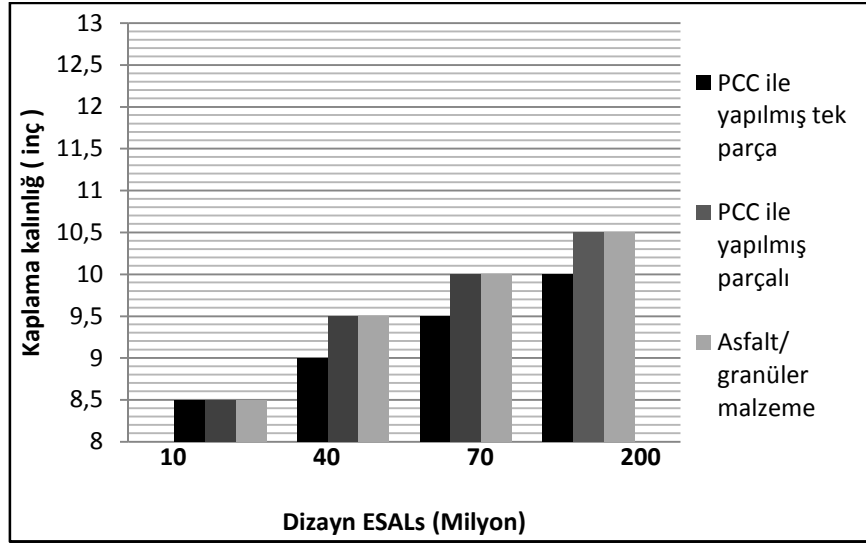
Zemin güçlendikçe ihtiyaç duyulacak kaplama kalınlığı azalmaktadır. 100 psi/in ve 200 psi arasındaki farklar incelenebilir (Bkz Şekil 5.10.).



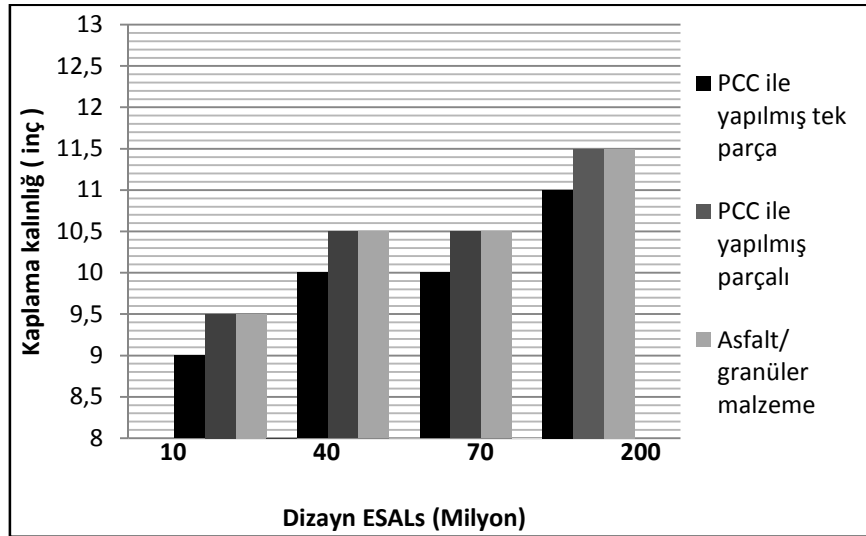
Şekil 5.10. 20 yıl dizayn ömrü, % 50 dizayn güvenirligi, 200 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu



Şekil 5.11. 20 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenirligi, 200 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu



Şekil 5.12. 30 yıl dizayn ömrü, % 50 dizayn güvenirliliği, 200 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu



Şekil 5.13. 30 yıl dizayn ömrü, % 95 dizayn güvenirliliği, 200 psi/in. zemin reaksiyon modülüne göre kaplama kalınlıkları tasarım tablosu

Genel anlamda tüm şekiller birbirleri arasında kıyasa tabi tutulursa, zemin reaksiyon değerinin ve dizayn güvenirliliğinin artmasıyla kaplama kalınlığı ihtiyacının azaldığı, yıl ihtiyacı artışı ile kalınlığın arttığı gözlemlenebilir.

6. KYB' NİN CRCP TİPİ BETON YOL YAPIMINDA KULLANIMI

Beton yol üretiminde birçok metot ve araç gereç mevcuttur. Kayar kalıp uygulaması, katı beton serimi, klasik döküm, prefabrik uygulamalar üretim metotlarına örneklerdir. Gerek uygulamadaki kolaylık gerekse homojenlik özelliği fazla kaliteli beton elde etmedeki avantajı sebebiyle KYB kullanımını ile döküm günümüzde iyi bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır.

1990'lı yıllarda yeni nesil süper akışkanlaştırıcıların ortaya çıkmasıyla su-çimento oranının 0,40 ve daha düşük değerler almasıyla birlikte, kendiliğinden yerleşen betonlar elde edilmiştir. Yüksek oranda su kesme yeteneğine sahip bu akışkanlaştırıcılar, aynı zamanda taze betonun işlenebilirliğini artırır ve ayrışmayı azaltacak yapıdadırlar.

KYB ile üretimin birçok avantajına karşılık dezavantaj olarak fiyatındaki küçük miktardaki fazlalık, şantiyedeki uyulması gereken hassasiyetlerinin olması gibi konular karşımıza çıkabilmektedir. KYB hassas hesaplar ve kullanımında kurallar gerektiren bir beton türüdür. Döküm zamanı aşılırsa, taşıma mesafesi oldukça uzunsa, malzeme yapısında değişik karakteristikler varsa, kimyasal katkı tedarigi iyi sağlanmazsa, işçiler tarafından içeriğe müdahil olunursa, kolaylıktan ziyade zorluklar yaşanabilir. Fakat sistematik olarak iyi dengelenmiş bir şantiyede tüm bu dezavantajlar aşılabılır ve KYB konforu - kalitesi fazlasıyla görülebilir. KYB tasarımında toz nitelikli ince malzeme miktarı fazladır. Bu toz miktarı çimento ve uçucu kül miktarının artırılması ile sağlanmaktadır. Böylelikle işlenebilirliği yüksek beton elde etmenin yanında yüksek dayanımlı beton elde etmek de sağlanmış olur. Toz malzeme, akışkanlaştırıcının koparma etkisine karşı alınan bir önlemdir. Malzeme iletişimi kopmadan sürtünme değerlerinin azaltılması ile elde edilir. Genelde priz süresi normal betona göre fazla olup, işçilik süresinin kısalığı ile bu dezavantajını telafi etmektedir. Kür ihtiyacı tüm diğer betonlar kadar olup, yüksek çimento içeriği sebebiyle kür eksikliğinde hidrasyon çatlaklarına eğilim fazladır (Topçu, vd., 2008).

Üretimde önemli bir husus malzeme karakteristiğindeki farklı niteliklerdir. Şantiyede istiflenmiş agrega KYB 'nin yapısını bozabilen en önemli bileşendir. Granül boyutlarında oynama, agreganın tozluluk derecesi, ıslaklık miktarı, sıcaklık durumu, su emme niteliği gibi birçok etken, KYB fiziksel özelliklerinde farklılıklar doğurur. Tüm şartlar KYB 'ye göre ayarlanmış bir sistematığe sahip şantiyede, KYB'de davranış farklılıkları tüm dengeyi bozabilir.

6.1. KYB İçeriği, Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

KYB, tüm betonlar gibi ısıya, işlenmeye, malzemeye göre değişik karakteristikler gösterecektir. Tasarım olarak normal betona nazaran bağlayıcı ve puzolanik yapıda toz miktarı fazla olup, ince agrega miktarı fazla, kaba agrega miktarı kısıtlıdır. Buna karşılık 15 mm ve üstü kaba agrega miktarı oldukça az veya yoktur. Ayırışma ihtimal dâhilinde ise viskozite arttırıcı katkıları eklenebilir.

Klasik beton karışımından farklı olarak KYB' de kimyasal katkı, viskozite arttırıcı katkı ve çok miktarda inert veya puzolanik mineral katkının, tümünün veya bir kısmının kullanılması gerekmektedir (Topçu, 2006).

Çizelge 6.1. C30/ 37 dayanım sınıfında bir KYB reçetesi

Malzeme	Miktarı (kg/m ³)
Çimento (Cem I 42,5R)	345
Su	160
0 - 7 mm agrega	1.100
7 - 15mm agrega	415
15 - 22mm agrega	250
S.Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	5,5
U.kül	80

6.1.1. Çimento

Klasik betonda kullanılması uygun olan çimento tiplerinden çok farklı yapıda çimento şartı aranmamakla birlikte, kullanımı ile priz süresini kısaltacak yapıda Alüminyum oksit miktarı fazla çimentolar tercih edilmemelidir. Bu değer %10 değerini geçmemelidir.

Ayrıca klasik PÇ 32,5 yerine PÇ 42,5R tipinde bağlayıcılık dayanımı yüksek çimento tercihi ile toplam performans arttırılabilir. Bunların yanında yapılan araştırmalar TÇ 32,5 ve PZÇ 32,5 çimentolarının KYB de kullanılan diğer katkı türleriyle uyumsuzlukları gözlenmiştir (Topçu, 2006).

6.1.2. Su

Ph değeri ve organik içeriği değeri uçuk noktalarda olmayan, küf, pas, fazla miktarda klor vb. içermeyen ve içilebilir ve/veya içilebilirliğe yakın noktadaki sondaj ya da şebeke suyu kullanımı uygundur. Karışım suyu TS EN 1008 standardına uygun seçilebilir.

6.1.3. Agreg

Tasarımında geleneksel betonda kullanılan tarz agreganın kullanımında bir sakınca yoktur. Fakat bunun yanında kirlilik hususuna daha fazla özen gösterilmelidir. Ayrıca granülometri eğrisi klasik beton tasarımında kullanılan eğri aralığından farklıdır. İnce agreg miktarı fazlaşmış ve d_{max} boyutu azalmıştır. TS EN 12620 standardı sağlanmalıdır.

6.1.4. Kimyasal katkıları

KYB’de önemli bileşenlerden bir tanesi kimyasal katkılarıdır. Yakın gelecekte üretilmiş kimyasal katkıları yüksek dayanım ve işlenebilirliği bir arada sunabilmektedirler. KYB’ de yüksek oranda su azaltıcı/akışkanlaştırıcı polikarboksilik eter esaslı, betonda süre ile kıvam kaybını arttırmayan süper akışkanlaştırıcıları kullanılmaktadır. TS EN 934-2’ye uygun olmalıdır (Topçu, 2006).

KYB üretiminde viskozite artırıcı nişasta, doğal zambak, vinil, selüloz eter gibi katkıları kullanılabilir. Fakat şartlar ve tasarım iyi durumdaysa bu katkıları gerek kalmayacaktır.

6.1.5. Uçucu kül

Uçucu kül genelde kömür artığı olarak elde edilen bir malzeme olup inorganiktir. Puzolanik bir malzeme olan kül ince yapısıyla bağlayıcılığa etkisi ~ %20*PÇ kadardır. Bağlayıcılık katkısı yanında betona homojenize sağlayan bir etkisi olmakta ve beton taze haldeyken taneler arası hamur etkisi katmaktadır. Bu etkileri sayesinde rötre çatlakları azalmaktadır. Kül, TS EN 450 standardında olması gerekir (Topçu, 2006).

6.1.6. Mekanik katkıları

Betonun nihai basınç, eğilme vb. dayanımını yükseltmek, rötre çatlaklarını minimize etmek, ayrışmaya direnci arttırmak, yanmaya dirençli kalmak gibi etkileri sebebiyle mekanik katkıları kullanılmaktadır.

6.1.6.1. Çelik lifler

Çelik lifler bazal anlamda betonarmeleştirme, esnek davranışı ve çevresel etkilere dayanıklılığı sağlarlar ve en genel kullanım alanları zemin kaplamaları, barajlar, yollar, prekast elemanlardır. Çelik tellerin içeriğinde bulunduğu betonları karakterize eden en önemli özelliklerden biri, onun tokluğudur, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Basınç ve eğilme-çekme gerilmeleri, çelik tellerin rolünden ziyade, beton kalitesine bağlıdır. Ama tokluk, beton içindeki çelik tellerin rolüne bağlıdır (Yerlikaya, 2009).

Piyasada farklı markalarda satılan ve boyu ile çapı arasında yaklaşık 80 – 55 kat fark bulunan, uç kısımları iyi ankraj amacıyla kancalanmış, ya da katlı olarak (3d-4d-5d) kancalanmış, soğuk çekme ile üretilmiş, çekme dayanımı $R_m: 1.160 \text{ N/mm}^2$, Elastisite modülü: 210.000 N/mm^2 , 1kilogramında yaklaşık 3.000 tel bulunan ve $10 - 50 \text{ kg/m}^3$ aralığında dozajlanabilen bir lif çeşididir. Çelik liflerde l/d oranı narinliği verir ve narinlik değeri büyüdükçe performans katkı artar. İstenilen sınırdaki performans artışı için, narinlik değerinin artması sayesinde daha az dozajda kullanım mümkün olacaktır. Daha uzun lifler kullanılarak aynı iyileştirme daha az miktarda kullanımla sağlanabilmektedir (Şahin, vd., 2011). Çelik lifler bazal anlamda betonarmeleştirme sağlarlar ve en genel kullanım alanları zemin kaplamaları, barajlar, yollar, prekast elemanlardır. 20 kg ya da dökme imalat olarak satılmaktadır. İstiflenmesinde rutubete karşı önlem alınmalı ve kullanım öncesi pas kontrolü yapılmalıdır.

Çelik lifler betonun birim ağırlığını arttırmakta ve işlenebilirliğini bir miktar azaltmaktadır. Betonun basınç dayanımına etkileri azdır, fakat çekme ve eğilme karakteristiklerine etkileri büyüktür. Betona tokluk ve kompozitlik katmaktadır. Tutkal yardımıyla yapıştırılmış bütünler halinde olup suda çözünerek tekleşirler (Bkz. Şekil 6.1.). Çelik lifler beton dayanım değerlerini arttırdığı gibi, dayanıklılık değerlerine de olumlu etki etmektedir. Çelik tel kullanımındaki en gözde nokta, karıştırma süresinin yeterli tutulması, karışımın iyi sağlanmasıdır.

Yapılan testlerde dayanım artırma yönünden polipropilen liflerden daha iyi olan çelik lifler, aşınma deneylerinde de polipropilen liflerden oldukça yüksek performans göstermektedirler (Can, vd., 2009).



(a)



(b)

Şekil 6.1. a) Kullanımdan önce çelik lif, b) Beton içinde çözülerek tekleşmiş çelik lif

6.1.6.2. Polipropilen lifler

Polipropilen lifler püskürtme ve zemin betonlarında çelik donatı yerine donatı olarak kullanılırlar. Su altında veya suya maruz lokasyonlarda, çelik donatıda korozyon tehlikesine karşı kullanılabilirler. Dayanıklı bir malzeme olduğundan dolayı yer altı kullanımına uygundur. Beton mikserine katılması ve dozlanması kolaydır. Betona süneklik, doygunluk katarlar ve rötne çatlaklarını azaltırlar. Kullanım dozajları m³'te 1 – 8 kg arasında değişir.

Bu uç değişikliğin sebebi lif kalınlığı ve uzunluk çeşitliliğinin fazla oluşudur (Bkz. Şekil 6.3.) . Polipropilen lifler betona tokluk - doğunluk katar. Tokluk sayesinde taze beton halindeyken rötrelere karşı direnç, sertleşmiş beton halindeyken ise düşük miktarda dayanım artışının yanında betona monolitik yapı kazandırır (Bkz. Şekil 6.2.). Böylece betonun ileri yıllarda daha yavaş yaşlanması beklenir.



Şekil 6.2. Sertleşmiş betonda polipropilen lif

Polipropilen lifler beton karışımına su ve katkıdan sonra eklenmelidir. Homojen dağılım için minimum 2–3 dakika karıştırılmalıdır. Karıştırma ile beton içinde homojen dağılım toplam performans değerlerine etki edecektir. Eksik karıştırma sebebiyle olumlu beklenen performans davranışı, olumsuz görülebilir. Hatta bölgesel birikmeler sebebiyle betonda poroziteye sebebiyet verebilir. Bunun yanında kılcallık ile su taşıma etkisi görülebilecektir. Beton içindeki her bileşen gibi kullanımında, uyulması gereken hassasiyetleri mevcuttur.



Şekil 6.3. Polipropilen lifin şekli

6.2. KYB Tasarımı, Üretimi ve Kullanımı

KYB'nin avantaj sağlayabilmesi için tasarımı ve kullanımında özenli davranılmalıdır. Uyulması gereken kurallar ve incelenmesi gereken detaylar atlanmazsa KYB üretimi devamlılık ve niteliklilik özelliklerini korur. Aksi halde elde edilmesi güçleşir ve elde edilen hangi nitelikte beton olarak adlandırılırsa adlandırılırsın kullanımı klasik betona göre bile daha zor halde bir beton olur. Bu durumda avantajdan çok büyük bir dezavantaja dönüşecektir.

6.2.1. Tasarım aşaması

Karışım tasarım yöntemleri ve kendiliğinden yerleşebilirlik deney yöntemleri araştırmaları, KYB'yi standart betonlar statüsüne indirebilecektir. Yayılabilme özelliğini 65–80 cm sağlayabilmek, işlenebilmeyi en az 1 saat koruyabilmek, terleme ve katkı kasma durumlarını engellemek KYB tasarımının en büyük hedefi olmalıdır.

Hacim olarak, KYB' nin % 50'si harç ve % 50'lik ikinci kısım da agregadan oluşmalıdır. Harç kısmının ise % 30 civarı çimento, % 30'u su ve % 40'ı ince agregadan oluşmalıdır (Topçu, vd., 2008) [35].

Tasarımda, geleneksel betona göre agrega granülometrisinde, kaba-ince agrega oranı azaltılmalıdır. Bağlayıcı miktarı da arttırılmalıdır. Bundaki amaç, her agrega tanesinin, bir kat harç (çimento, kum ve su) ile sarılmasının sağlanması ve betonun kendi ağırlığı ile hareket edebilmesinin sağlanmasıdır. Tüm bileşenler hassasiyetle ve kullanılacak malzemenin karakteristiği göz önünde bulundurularak ayarlanmalıdır. Ek olarak unutulmamalıdır ki tüm bileşenler oranları hasebiyle bir etki doğurur ve tüm etkiler birbirlerini etkileşimdedirler. (Bkz. Şekil 6.4.).

KYB teknolojisinde çimento su birleşimi (pasta) agregaları bağlama görevinin yanında taşımak için de bir araç olmaktadır, böylelikle her agrega tanesi çimento pastasıyla sarılır ve etrafındaki çimento pastası ile betonun kendi ağırlığı sayesinde yerçekimi etkisiyle hareket sağlanmış olur. Eğer granülometri ayarsızlığı veya katkı uyumsuzluğu gibi sebeplerle hareket kabiliyeti sağlanamazsa viskozite artırıcı katkılardan faydalanılabilir. KYB tasarımı hususunda Avrupa KYB şartnamesine ait tasarım abağı tasarımcıya kılavuz olabilir (Bkz. Şekil 6.2.)

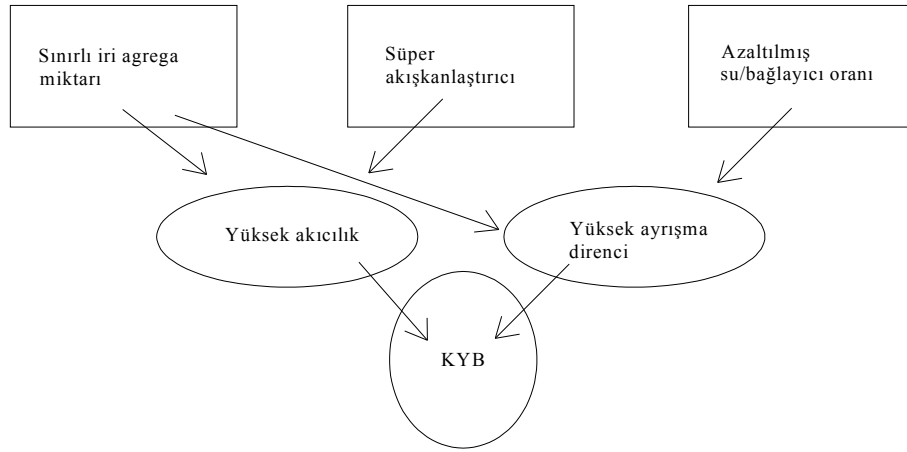
Çizelge 6.2. Avrupa KYB şartnamesi beton tasarım abağı (Duyar, 2006)

Bileşen	Kütlece ağırlık (kg/m³)	Tipik hacimsel ağırlık
Toz	380 – 600	300 – 380
Pasta		150 – 210
Su	150 – 210	270 – 360
Kaba agrega	750 – 1000	
İnce agrega	1m ³ 'te kalan hacmi doldurmalıdır. Toplam agrega miktarının % 48 - % 55 oranında olmalıdır.	
Su/toz oranı		0,85 – 1,10

Çizelge 6.3. Örnek teşkil edebilecek C35 KYB tasarım değerleri

Malzeme	Miktarı (kg/m³)
Çimento (Cem I 42,5R)	360
Su	160
0–7 mm agrega	1.130
7–15 mm agrega	410
15–22 mm agrega	300
Akışkanlaştırıcı kimyasal katkı	~ 5

KYB'nin tasarımında dikkate alınması gereken husus, her malzeme için farklı yapıda beton oluşacağıdır. KYB'de kullanılan malzemeler ve etkileri Şekil 6.4. 'de incelenebilir. Bu sebeple üretilip kullanılacak KYB'nin laboratuvar şartlarında defalarca test üretimi yapılmalıdır. Şartlara en uygun tip seçilmelidir.



Şekil 6.4. KYB bileşenleri ve etkileri (Topçu, vd., 2008)

6.2.2. Üretim aşaması

Kendiliğinden yerleşen beton santrallerde klasik bunkerler, bantlar, beton mikseri kullanılarak üretilebilir. Mühim konu kullanılacak malzemelerin uç değişiklik göstermemelerini sağlamaktır. Örneğin agreganın tozluluk oranı ve ıslaklık derecesi, ortam ve malzeme sıcaklık değişimleri önem verilmesi gereken önemli kalemlerdir. Uç değişiklikler olsa dahi, durum tespitleri yapılarak reçete müdahaleleri yapılmalıdır.

Üretim aşamasında klasik betonlara göre temel fark, katkının nitelik farkı ve reçetelerin farklılığıdır. Karıştırma süresi spesifik değildir. Karıştırma süresindeki hassas olunması gereken konu uzun süreli karıştırmadır. KYB fazla karıştırmaya duyarlıdır.

6.2.3. Kullanım aşaması

Kendiliğinden yerleşen betonun inşaat sektöründe birçok dalda kullanım alanı bulmaktadır. Özellikle dar kesitli elemanlarda, güçlendirme projelerinde, işçilik kusurlarının olabileceği işlenebilirlik kolaylığı sağlamayan inşaatlarda kullanılmaktadır. Bu alanların dışında günlük beton dökümü fazla olacak projelerde monolitik yapının sağlanması için kullanılmaktadır. Beton yollarda kullanımının düşünülmesinin sebepleri ise; KYB' nin kolay işlenmesi, işçilik hatalarını tolere etmesi ve klasik betonlara göre rötre çatlak değerlerinin az oluşmasıdır.

Genel olarak Kendiliğinden Yerleşen Betonun (KYB) kullanım nedenleri;

- *Kalıbı ve sık donatılarının arasını boşluksuz doldurma yeteneği
- *Segregasyona karşı dirençli olması
- *Vibrasyona gerek olmadan kolayca yerleşebilmesi
- *İşçilik hatalarını tolere edebilmesi
- *Zamandan tasarruf sağlaması
- *Daha az rötre yapması
- *Yüksek aderans sağlaması
- *Erken yüksek dayanım sağlaması, olarak sıralanabilir.

Kendiliğinden yerleşen beton kullanımında kalıp mutlaka yapışmaya karşı yağlanmalıdır. Betonun çıkışı ile kalıp arasında maksimum 1,5 m yükseklik kabul edilebilir. Bu değer daha fazla olacak ise huni, ilave boru vb. ekler ile mesafe kısaltılmadır. Aksi halde iri agregalarda ayrışma görülebilir. Beton dökümünde ilave vibratöre gerek yoktur fakat küçük alanlarda çok gerekirse destek alınabilir.

Beton katmanlar halinde jelleşme olmadan dökülmedir. Katman arası döküm süresi 20 – 40 dk. arasında mevsime göre değişiklik gösterir. Katmanlı döküm kalıbın bel vermesi, şişmesi, patlaması ihtimallerine göre alınabilecek bir önlemdir. Eğer kıvamda istenen performans şantiyede elde edilmemiş ise, ya da gelen beton taşıma esnasında ya da tasarım esnasında değişikliğe uğramışsa; beton geri gönderilebilir ve tekrar müdahale istenebilir.

Eğer taşıma mesafesi ve müdahale için gereken süre taze beton ömrünü dolduracak ise yani anlık müdahale şart ise, eser miktarda katkı ve su ilavesi basamak basamak denemelerle verilebilir. Fakat bu müdahale belli sınırlardan sonra sonlandırılmalıdır.

Yol ve zemin kaplamalarında Kendiliğinden yerleşen beton dökümünden önce kalıp sağlamlığı kontrol edilmeli ve çok sıcak havalarda kalıp ve zemin serinletme amaçlı sulanmalıdır. Mastarlama ve kimyasal kür işlemlerinden sonra mutlaka şilte bezler, talaş, gerekirse toprak ile yüzey kapatılmalı ve sabah serin saatler ile akşam serin saatler arası mutlaka sulama işlemi zeminde kaymalara neden olmayacak ölçüde yapılmalıdır.

6.3. KYB Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen betonun kalite standardını belirlemek için yapılan taze ve sertleşmiş beton deneyleri mevcuttur. Sertleşmiş beton deneyleri, normal betonda yapılmakta olan sertleşmiş beton deneylerinden farksızdır. Fakat taze beton aşamasında kıvam ölçümlerinin hassas olması şartından ötürü farklı deneylere tabii olmaktadır.

Bu deneylerin en pratik ve öngörü verici olanı çökme ile yayılma deneyidir. Slump hunisi ters tutulur ve çekilmesi ile birlikte düz tablaya dökülen betonun davranışı izlenir.

Mümkün olduğunca yuvarlak bir dağılım gözlenmeli ve sınır değerler sağlanmalıdır. Detaylar bir sonraki başlıkta verilecektir. V hunisi ve L kutusu deneyleri ile KYB' nin geçebilirlik ve doldurabilme kapasiteleri hakkında bilgi sahibi olunur.

Sertleşmiş beton deneylerinden farklı olarak, taze beton deneyleri tasarım, üretim, kullanım esnalarında yapılmalıdır. KYB' nin genel manada spesifik işlerde kullanıldığı düşünülürse, geriye dönüşsüz hatalardan sakınmak için, özellikle kullanımdan hemen önce taze beton deneyleri yapılmalı ve istenen değerler aranmalıdır.

Kaplama üretiminde kullanılacak KYB hem boşlukları doldurabilmeli, hem mekanik katkıları taşıyabilmeli (çelik lif, polipropilen lif vb.), hem de ani yükleri alacağı ve çevresel etkilerle baş başa kalacağı düşünüldüğünde kompozitliğinden ödün vermeden, yani ayrışma yaşamadan yayılabilme özelliğine haiz olmalıdır. KYB kullanımından hemen önce davranışları kontrol edilmesi gereken bir beton türüdür. Yapılması gereken bazı deneyler Çizelge 6.4. de verilmiştir.

Çizelge 6.4. KYB' de yapılması gereken bazı deneyler (Topçu, vd., 2008)

SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ	TAZE BETON DENEYLERİ
Küp basınç deneyi	Slump – yayılma deneyi
Birim ağırlık deneyi	
Yüzey sertliği deneyi	V Hunisi deneyi
Ultras ses geçiş hızı deneyi	
Kiriş eğilme dayanımı deneyi	L Kutusu deneyi
Levha yükleme deneyi	
Silindir ile yarmada çekme deneyi	

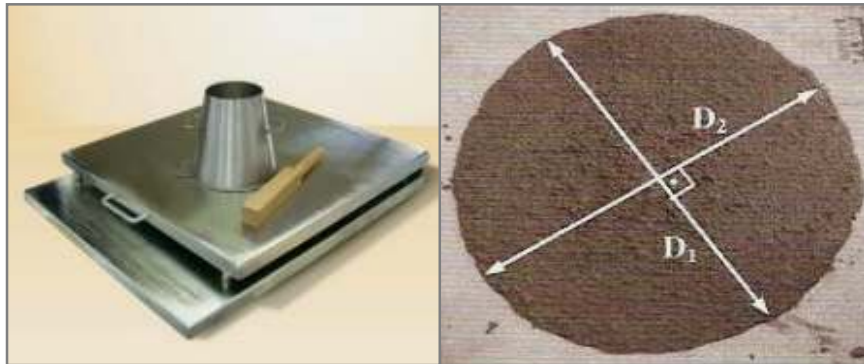
6.3.1. Taze Beton Deneyleri

Taze betonların işlenebilmesinin belirlenmesinde, klasik işlenebilme deneyleri yetersiz kalmaktadır. Bu parametrelerin ölçülmesi için bazı deney yöntemleri geliştirilmiştir.

6.3.1.1. Slump – yayılma deneyi

Taze KYB'nin şekil değiştirme hızının gözlenmesini ve numunenin kendi ağırlığı ile yayılarak oluşturacağı çapın ölçülmesini içerir. Deney aparatı olarak çökme (Abrams Konisi) hunisi ve 80 x 80 cm boyutlarında bir tabla kullanılır. Betonun “doldurma yeteneğini” ölçmek için kullanılan en yaygın yöntemdir.

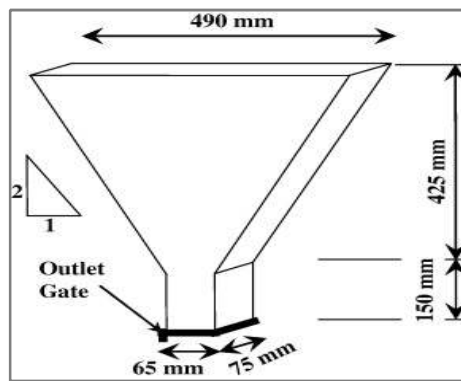
Yayılma tablası üzerine konulan Abrams Konisi içerisine, beton şişleme yapılmadan doldurulduktan sonra, Abrams Konisi yukarıya çekilerek betonun herhangi bir sarsma yapmadan kendi ağırlığı ile yayılması beklenir. Yayılma çapları iki farklı noktadan ölçülür. Bir betonun KYB olarak kabul edilebilmesi için Abrams Konisinde deney yapılarak elde edilen yayılmasının 550 ile 850 mm arasında olması gerekmektedir. European Federation of National Associations Representing for Concrete (EFNARC) 'e göre bu yayılma değeri 650 ile 800 mm arasında olmalıdır. (Topçu, vd., 2008).



Şekil 6.5. Denede kullanılan test tertibatı ve betonun yayılmış hali

6.3.1.2. V hunisi deneyi

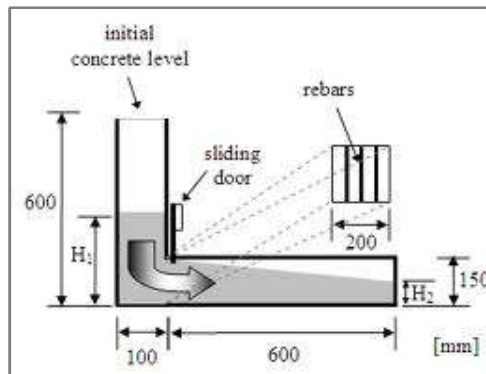
KYB'nin zaman içindeki yayılma durumunu değerlendirir. Betonun kesit değişikliği engeline karşı boşluklardan geçebilme yeteneğini ölçmek için yapılan kendiliğinden yerleşebilirlik deneyidir. Şekil 6.6 'da gösterilen özel huni içine beton doldurulur ve kapak hızla açılarak, haznedeki betonun alttaki kovaya dolma süresi ölçülür. Bahsi geçen süre 6 – 12 sn arasında kalmalıdır (Topçu, 2006).



Şekil 6.6. V hunisi deneyinde kullanılan huni boyutları

6.3.1.3. L kutusu deneyi

Taze KYB'nin kendiliğinden yerleşme yeteneğinin, doldurma yeteneğinin, geçiş yeteneğinin ve ayrılmaya karşı direncinin, L şeklindeki bir kutu içerisinde gözlenmesini içerir (Bkz. Şekil 6.7.) . Kutunun alt ortasında sürgülü bir kapak ve aynı zamanda engel oluşturan demir çubuklar bulunmaktadır. Sürgülü kapak çekilerek betonun diğer bölüme 20 cm ve 40 cm ilerleme süreleri ölçülür. İki taraftaki yükseklik farkı belirlenir.



Şekil 6.7. L kutusu deney tertibatı

6.3.2. Sertleşmiş Durum Deneyleri

Kendiliğinden yerleşen beton için yapılan sertleşmiş beton deneyleri klasik beton deneylerinden farksızdır. Küp basınç dayanım deneyi, Birim ağırlık deneyi, schmidt çekici deneyi, Ultrases geçiş hızı deneyi, Kiriş eğilme dayanımı deneyi, Levha yükleme deneyi, Silindir yarmada çekme deneyi, bazı sertleşmiş beton deneyleridir.

6.3.2.1. Küp basınç dayanım deneyi

15x15x15 cm boyutlarında numune olarak alınmış beton numuneleri, 7 ve 28 gün kür gördükten sonra numune kabından çıkartılır ve yan çevrilerle, üst tablası sabit alt tablası basınçlı yağ ile hareket edebilen basınç test cihazında yüke tabi tutulur. 225 cm² lik taşıma alanının taşıdığı yük okunduktan sonra N/mm² değeri bulunur. Mpa değeri küp dayanımına karşılık gelen silindir değerine çevrilir ve beton sınıfı elde edilmiş olur.

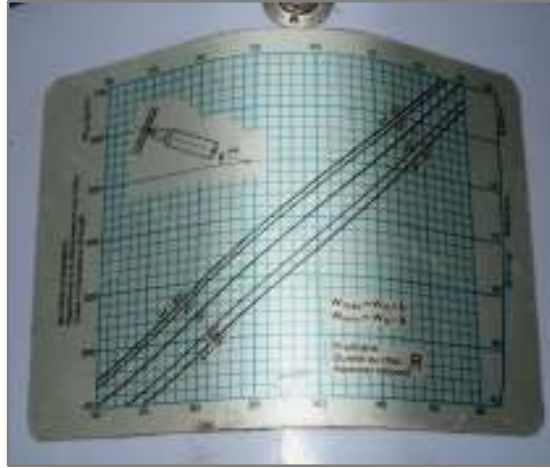
6.3.2.2. Birim ağırlık deneyi

Birim ağırlık birim hacimdeki ağırlık değeridir. Birim hacim değişken olduğundan birime göre ağırlık gibi düşünölmeli ve hangi hacmin temsil edildiğı unutulmamalıdır. Betonda t/m³ en çok kullanılan birim ağırlık birimidir.

Tasarım reçetesinde amaçlanan birim ağırlık değerinin elde edilip edilmediğinin ek kontrolü olarak yapılmalıdır. Basınç deneyinden hemen önce küplerin kuru tartımı ile elde edilir. Bir adet küp numune 0,003375 m³ hacindedir, tartıda okunan değer 3,375 ile bölünerek t/m³ birimine erişilir.

6.3.2.3. Yüzey sertliği deneyi

Bu deney Schmidt çekici olarak adlandırılan alet ile yapılmaktadır. Bu alet sayesinde tam değer elde edilemez fakat öngörü sahibi olunabilir. Alette geri tepkime şiddetine göre tanımlanmış kalibrasyona has okuma grafiği tablosu vardır. Bu pencerede okunan değer aletin kalibrasyonuna göre hazırlanmış bu abakta karşılık bulur. Bu çalışmada basınç deneyinden hemen önce numuneye 1t kadar yük uygulanarak zeminle 0° açı ile 3 adet çekiçleme yapılarak ortalaması ile alet abağından karşılık gelen dayanımlar okunmuştur (Bkz. Şekil 6.8.) .



Şekil 6.8. Schmidt çekici abağı

6.3.2.4. Ultrases geçiş hızı deneyi

Özel ses frekansına sahip iletişim alıcı ve vericilerinin değerleri ile aletin ekranından değerler okunur. Ultrases hesabında makineden okunmuş değerler mikro saniye değerleridir. 10 cm de x mikro saniyede geçerse, km/sn ye ulaşmak için [elemanın mm değeri / Makinede okunan değer] yeterlidir. Ses ne kadar zor geçerse dayanım o denli yüksek olacaktır şeklinde bir öngörü doğrudur. Test esnasında alet alıcı ve vericileri ince bir katman yağlanabilir.

Tek bir numunenin tek bir cephesinde okunan değer eğer beklentilerin altında veya şüphe doğurucu ise aynı elemanın farklı cephelerinden test tekrarlanabilir. Ultrases geçiş hızı testi eski bir yöntem olup, taşıyıcı elemanlara zarar vermeden bir öngörü oluşturma amaçlı yapılır (Bkz Şekil 6.9.).

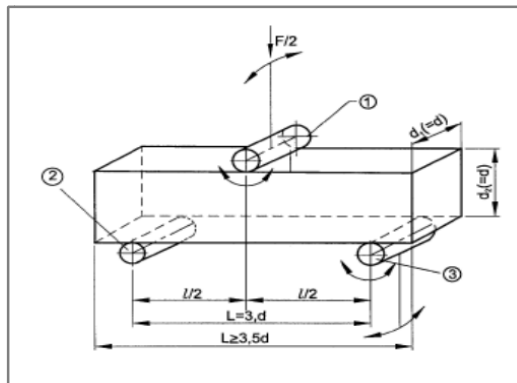


Şekil 6.9. Ultrases geçiş hızı testi

6.3.2.5. Kiriş eğilme dayanım deneyi

Hidrolik sistemle çalışan ve okuma değeri veren özel araç ile yapılmaktadır. Okunan değer kg olup Mpa değerine aşağıdaki formül ile çevrilebilir (Topçu, 2006). Düzeneğin yapısı çizimle belirtilmiştir (Bkz. Şekil 6.10.).

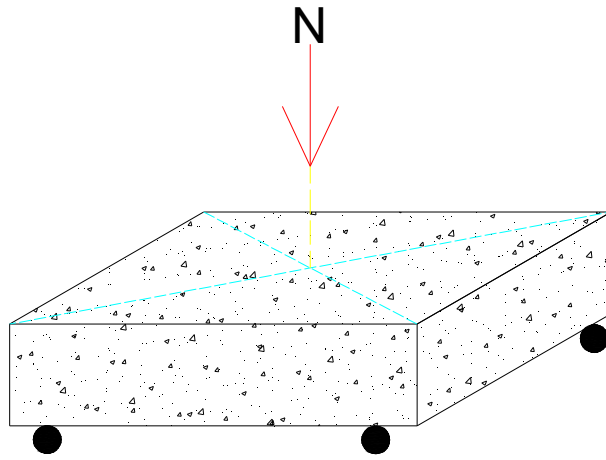
$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{\frac{PxL}{4}}{\frac{bxh^2}{6}} \quad 6.1$$



Şekil 6.10. Kiriş eğilme dayanımı mekanizma çizimi

6.3.2.6. Levha yükleme deneyi

Kalınlığı belirli levha numunenin ortasına yük uygulayarak yapılır. Levhanın burulması için 4 köşesine yükseltici mesnetler konulmalıdır (Bkz. Şekil 6.11.). Bu deney kıyaslama amaçlı yapılan bir deneydir. Kaplamada kullanılacak betonların zımbalama etkisine karşı gösterecekleri performans değerleri daha belirgin kıyaslanabilmektedir.



Şekil 6.11. Levha Yükleme deneyi

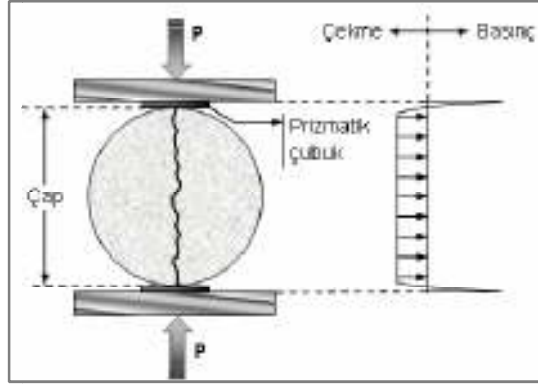
6.3.2.7. Silindir varma da çekme deneyi

Basınç dayanım deneyi aletinde yapılabilmektedir. 7 veya 28 gün 20 °C – 22 °C sıcaklık aralığındaki su havuzunda kürlenmiş 15 cm çaplı, 30 cm yüksekliğindeki beton numune, yan yatırılır ve yükün çizgisel etkimesi için 1cm' lik prizmatik metal çubuklar altına ve üstüne tam ekseninde yerleştirilir (Bkz. Şekil 6.12. ve Şekil 6.13.).

$$\text{Çekme gerilmesi (Mpa)} = \frac{2P}{\pi LD}$$

6.2

Bu deneyde numune alt ve üstüne yerleştirilen çelik çubuklar, uygulanan kuvvetin çizgisel olarak etkimesini sağlayacaktır. Böylece içsel gerilmeler yüksek oranda çekme gerilmeleri niteliğinde oluşacaklardır (Bkz. Şekil 6.12.). Uygun tasarımda numune iki eşit parçaya bölünmektedir (Bkz. Şekil 6.14.).



Şekil 6.12. Numunede oluşan içsel gerilmeler



Şekil 6.13 Deney tertibatı



Şekil 6.14. Testi bitmiş silindir numune

6.4. CRCP’de Kullanılabilecek Lifli Ve Uçucu Küllü KYB Deneyleri İle Sonuç Tabloları

KYB üretimi klasik beton malzemeleri ile yapılmıştır. Klasik betondan farklı olarak hiperakışkanlaştırıcı Sika-Viscocrete PC-15 katkısı kullanılmıştır (Bkz Şekil 6.15.). Polikarboksilik eter bazlı bu hiperakışkanlaştırıcı yüzey adsorpsiyon ve sterik etki ile çalışan bir katkıdır. Üretim denemeleri Selka Hazır Beton üretim tesislerinde yapıldıktan sonra, elde edilen aranan niteliklere haiz KYB kıyas betonu ile diğer üretim ve deneyler Eskişehir Osmangazi Üniversitesi beton laboratuvarında yapılmıştır.



Şekil 6.15. Kullanılan kimyasal katkı

Her bir deney kombinasyonundan 3adet 15x15cm küp, 1adet 30x30x10cm levha (Bkz. Şekil 6.16), 2 adet 10x10x50 cm prizma (Bkz. Şekil 6.17.) ve 2 şer adet Ø15x30 cm silindirik numuneler (Bkz. Şekil 6.18.) alınmıştır. Tüm numune döngüsünde, 1 tanesi kıyas üretimi olmak üzere 22 adet farklı kombinasyon için değerler elde edilmiştir (Bkz. Şekil 6.19.). Bu kombinasyonlar sabit çimento, mıcır, su miktarları altında, uçucu kül, polipropilen katkı, çelik lif katkısı miktarlarının değişimleri ile elde edilmiştir (Bkz. Ek-1).



Şekil 6.16. Levha numuneler



Şekil 6.17. Prizma (kiriş) numuneler



Şekil 6.18. Silindir numune örnekleri



Şekil 6.19. Alınan tüm numune serisi

Deneyleerde birim ağırlık, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, schmidt çekici okumaları, çekme ile yarma, eğilme, tekil yük (levha numune) sertleşmiş beton deneyleeri yapılmıştır. KYB'ye ulaşma amaçlı olarak yapılan deneme üretimleri esnasında ise taze beton testleri yapılmıştır. Özellikle kıvam ve doldurma yeteneğini ölçme amaçlı olan yayılma değeri, L kutusu geçiş hızı deneyleeri yapılmıştır. Numune alımı sırasında ve sonrasında TS EN 206 – 1 kalite standardına uyulmuştur.

Yapılan çalışma süresi üretim ve kırım olarak iki ayrı safhada düşünebilir. Üretim aşamasında görülen en önemli ayrıntı liflerin kullanımı ile kıvam kaybının yaşanmış olmasıdır. Yayılma deneyleerinde % 10 gibi bir süre uzaması gerçekleşmiştir. Özellikle polipropilen lif kullanımı beton işlenebilirliğini azaltmıştır.

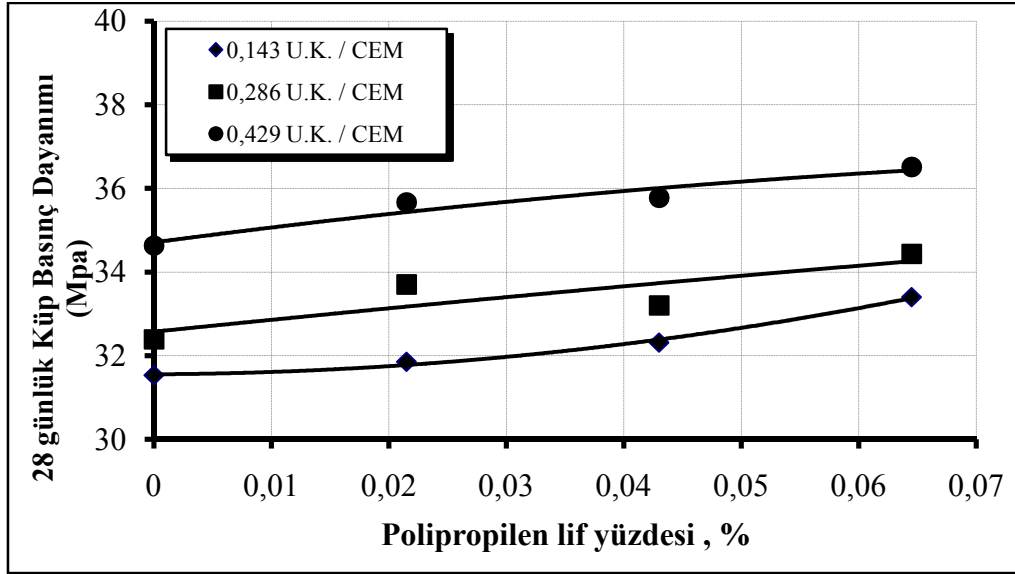
Katkılardan biri olan uçucu kül kullanımı ile kıvam kaybı yaşanmıştır. Tüm deneylerde kıyas betonundaki su ve çimento miktarları sabit tutulduğundan dolayı bu şekilde bir kusur ile karşılaşmıştır. Çelik lif kullanımında ise L kutusu geçiş testlerinde süre uzatımı gerçekleşmiş, fakat yayılma çapı ve süresinde mühim değişiklik gözlemlenmemiştir.

Genel olarak hem lif, hem de kül kullanımı hangisi olursa olsun; dayanım değerlerini az veya çok iyi yönde etkilemiştir. Liflerden en performanslı olanı çelik liflerdir. Fakat bilindiği üzere polipropilen liflerin kullanımı rötre çatlakları ve monolitik yapı kurma performansında daha iyi sonuç vermektedir.

6.4.1. Sonuç Tabloları ve Yorumlar

Bu çalışmada 22 adet farklı kombinasyon üretilmiş ve test edilmiştir. Kombinasyonların hepsinde değişik miktarlarda olsa da mutlaka uçucu kül kullanılmıştır. Bunun sebebi uçucu külün beton ömrüne olan olumlu katkısıdır. Uçucu kül miktarı $50 \text{ kg/m}^3 - 100 \text{ kg/m}^3 - 150 \text{ kg/m}^3$ dozajlarında değişirken, çelik lif oranları ve polipropilen lif oranları değişken tutulmuştur. Her iki lif beraber kullanılmamıştır. Bunun sebebi KYB'nin fiziksel özelliklerinin etkileneceği düşüncesidir. Nitekim sadece $1,5 \text{ kg/m}^3$ polipropilen kullanımı bile yayılma performansını olumsuz etkilemiştir.

Çalışmada alınan 66 adet küp, 44 adet silindir, 44 adet prizmatik (kiriş), 22 adet levha numuneler üzerinde yapılan tüm deneylerin sonuçları Çizelge 6.4. de dökümlenmiştir ve tez çalışmasının sonuna eklenmiştir. Çizelge 6.4. deki veriler kullanılarak, çoklu sergi özelliği olan 12 adet grafik hazırlanmıştır. Grafikler sayesinde değerlerin anlamları daha rahat anlaşılacaktır. Bu bölüm devamında Çizelge 6.4. ve değerlere ait grafikler irdelenmiştir.

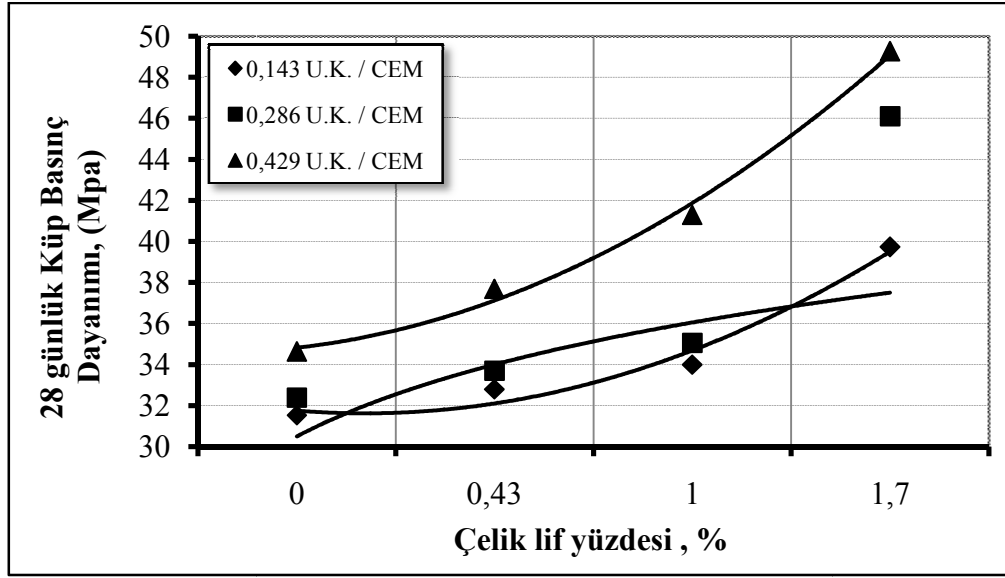


Şekil 6.20. Polipropilen lif kullanım oranının basınç dayanımına etkisi

Lif kullanımı betonun basınç dayanımını arttırmaktadır. Hangi lif olursa olsun artış Şekil 6.20. ve Şekil 6.21.'den net şekilde görülmektedir. Çelik lif kullanımıyla 35 Mpa değerinden, 50 Mpa değerine ulaşılmıştır (~% 42). Şekil 6.20. de polipropilen liflerin etkisinin doğrusal olduğu ve pozitif katkı miktarının sınırlı da olsa mevcut olduğu anlaşılır.

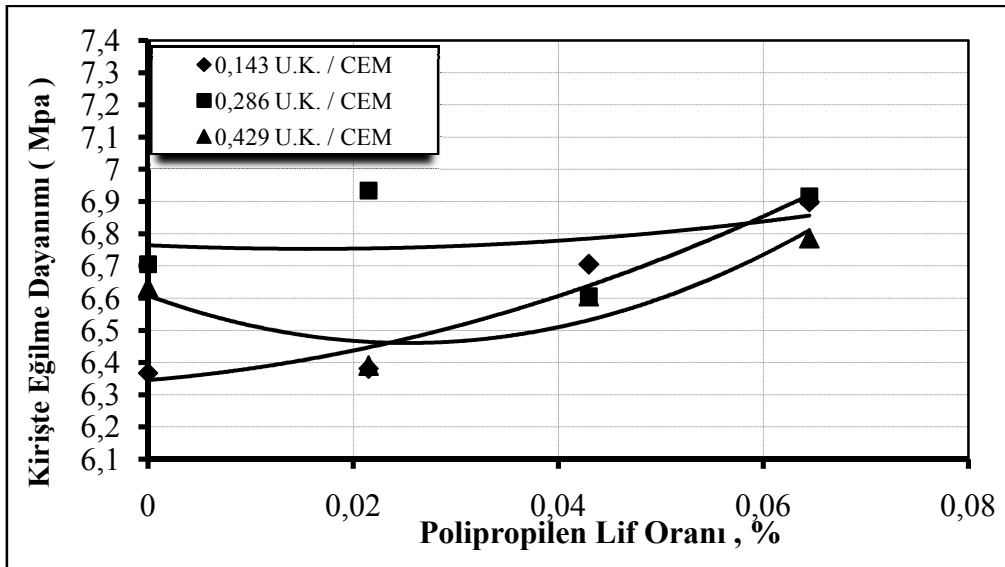
Çelik lif sonuçlarında ise lif kullanımı ile özellikle ağırlıkça 0,43 oranından sonra kayda değer miktarda basınç dayanımına etkinin olduğu savunulabilir. Bu durum çelik liflerin esnekliğe daha fazla katkı yapmasından oluşmaktadır. Çelik lifler polipropilen liflere nazaran daha esnek yapıdadırlar. Böylece beton içindeki kullanımında da esnekliğe ve dayanım artışına katkısı olmaktadır.

Şekil 6.21.'de görüleceği üzere 0,429 oranında UK ilavesinin olumlu katkısı yanında, çelik lifin %1,7 oranındaki kullanımında 50 Mpa dayanımına yakın değerler elde edilmiştir ki, bu değer standart değerlerin üstünde kalmaktadır.



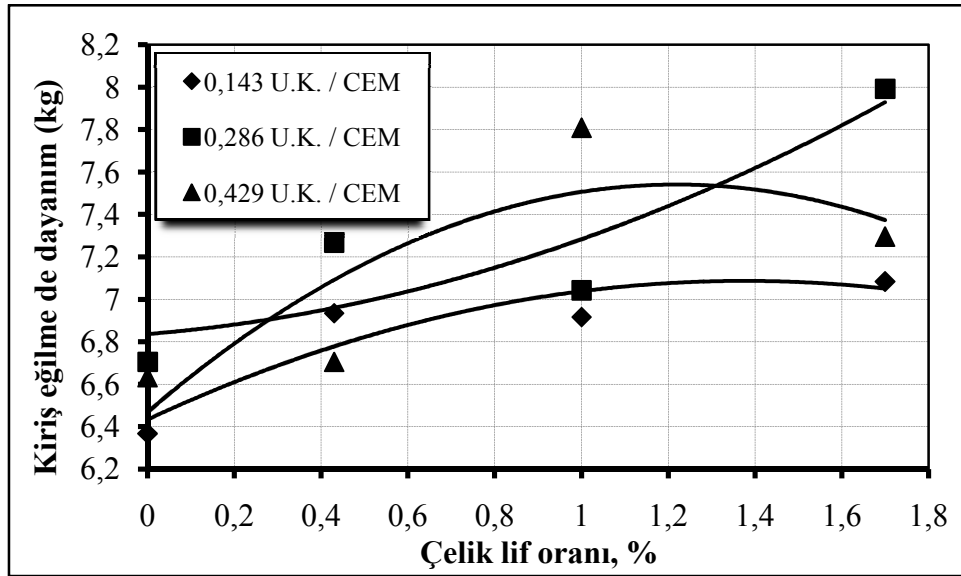
Şekil 6.21. Çelik lif kullanım oranının basınç dayanımına etkisi

Kısa boyutlardaki elemanlarda esneklik gerekliliğinin az olduğundan, daha büyük boyutlu elemanlarda çelik lif kullanımı daha yüksek yüzdelerde olumlu katkı sağlayacaktır. Küp numunelerde sağlanan iyileşme miktarının daha yüksek oranlı olanları silindir numunelerde alınan çekme gerilmesi değerleridir. Küp numunelerde % 30 civarı elde edilen iyileşme, silindir numunelerde % 45 oranlarına yakındır.



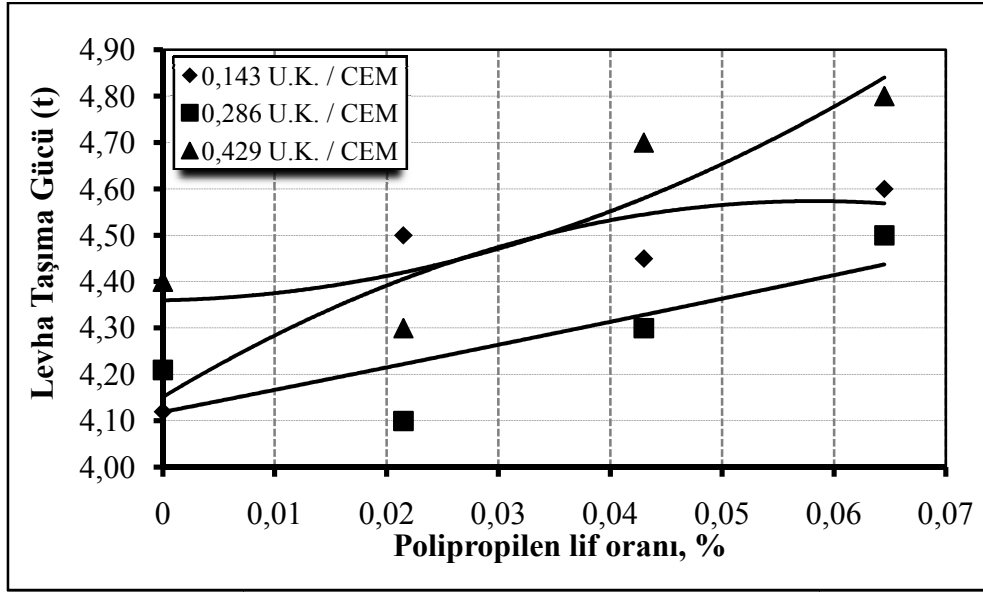
Şekil 6.22. Polipropilen lif kullanım oranının eğilme dayanımına etkisi

Numune kırılmalarından anlaşıldığı üzere, esnekliğe katkı için lif kullanımı çözüm olabilir (Bkz. Şekil 6.22. – 6.23.). Lif kullanımı sayesinde prizmatik numunelerde numune kırılma dahi dağılma olmamıştır. Liflerin bağ olarak çalışmasından dolayı bu olumlu durum gözlenmiştir. Eğilme dayanımı zemin desteğini yitirmiş bölgelerde kaplamanın kiriş olarak çalışacağından önemli bir kıstastır. Beton basınç dayanımı artışına paralel olarak eğilme dayanımı değerleri de lif kullanımı ile artış göstermiştir.



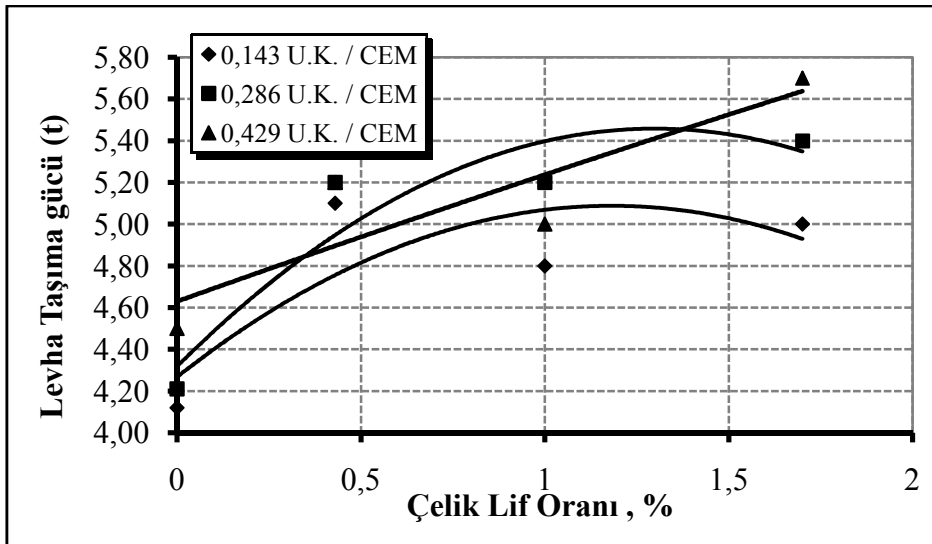
Şekil 6.23. Çelik lif kullanım oranının eğilme dayanımına etkisi

Eğilme dayanımı zemin desteğini kaybetmiş alanlarda, beton plağın kiriş olarak çalışması durumundan dolayı belirleyici bir özelliktir. CRCP tipi kaplamalarda eğilme dayanımını sağlama amaçlı betonarme çeliği kullanılmaktadır. Aynı şekilde çelik lifler beton elemanın esnekliğini artırma amaçlı ve dolaylı olarak dayanım değerlerini yükseltme amaçlı kullanılırlar. Şekil 6.22. polipropilen liflerin eğilme dayanımına katkısını göstermektedir. Bu liflerin eğilme dayanımına önemli etkileri olmadığı görülebilir. Şekil 6.23. de görüleceği üzere çelik lifler eğilme dayanımına olumlu katkıda bulunmuşlardır. En az değişim gösteren 0,143 UK değerli numunelerde dahi %10 iyileşme gözlemlenebilir.

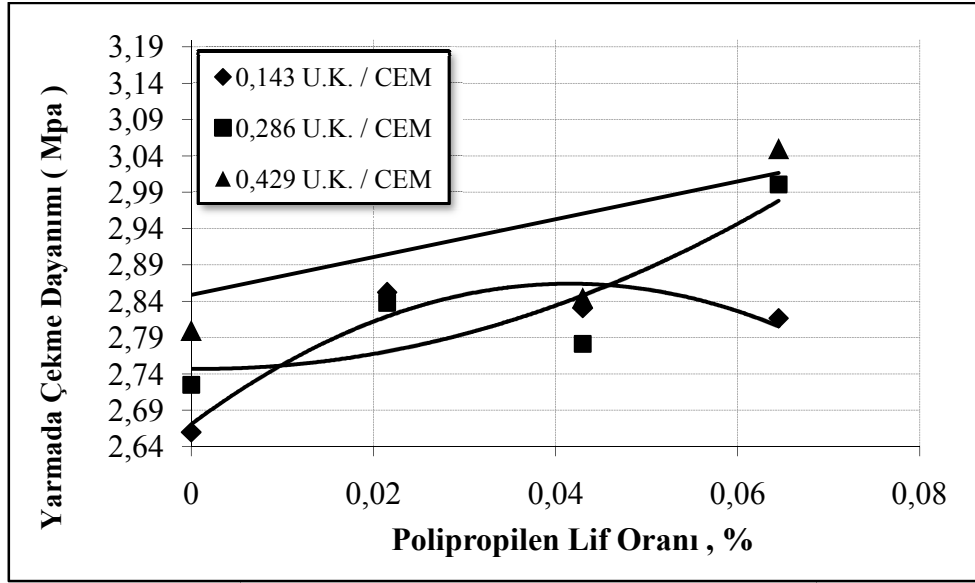


Şekil 6.24. Polipropilen lif kullanımının levha taşıma gücüne etkisi

Şekil 6.21. ve 6.22. 'ler de görülen kapasite artışı Şekil 6.24. ve 6.25. 'lerde de görülebilir. Çelik lif kullanımının %1 ile %1,5 arasında uygun değer olacağı düşünülebilir.

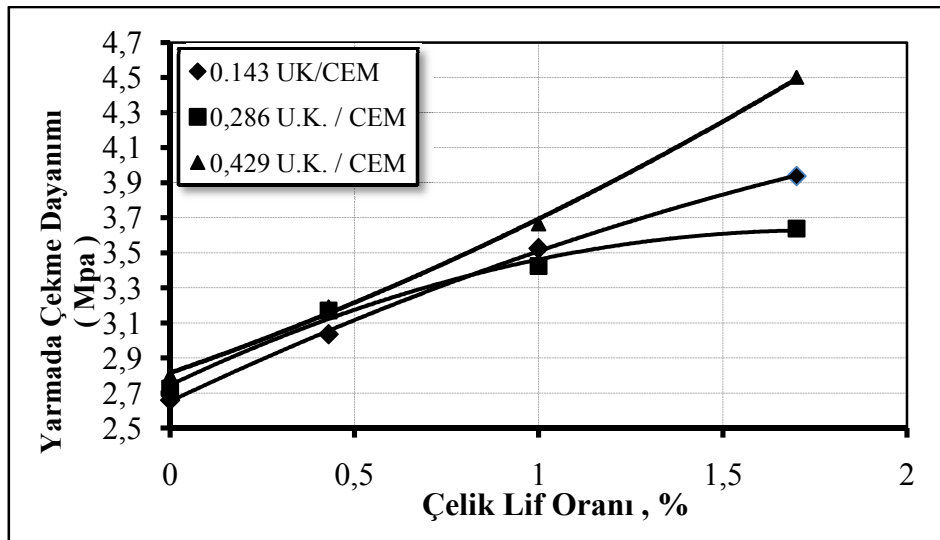


Şekil 6.25. Çelik lif kullanımının levha taşıma gücüne etkisi

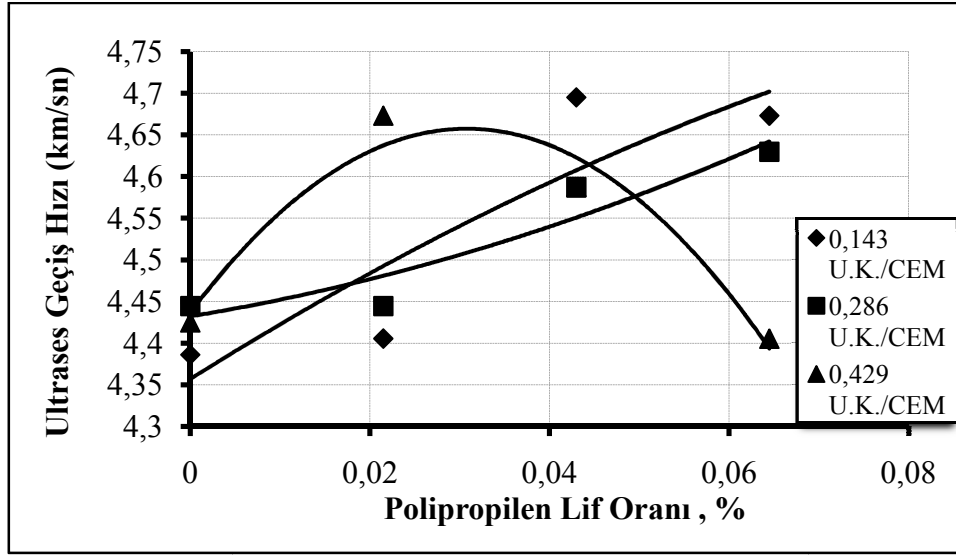


Şekil 6.26. Polipropilen lif kullanımının çekme dayanımına etkisi

Çekme dayanımına katkıları kıyaslandığında çelik liflerin daha kararlı davranışlar verdiği izlenebilir (Bkz. 6.26 ve Şekil 6.27.). Yine % 1'e kadar olan kullanımlarda, tüm UK oranlarında standart davranış gözlenebilir.

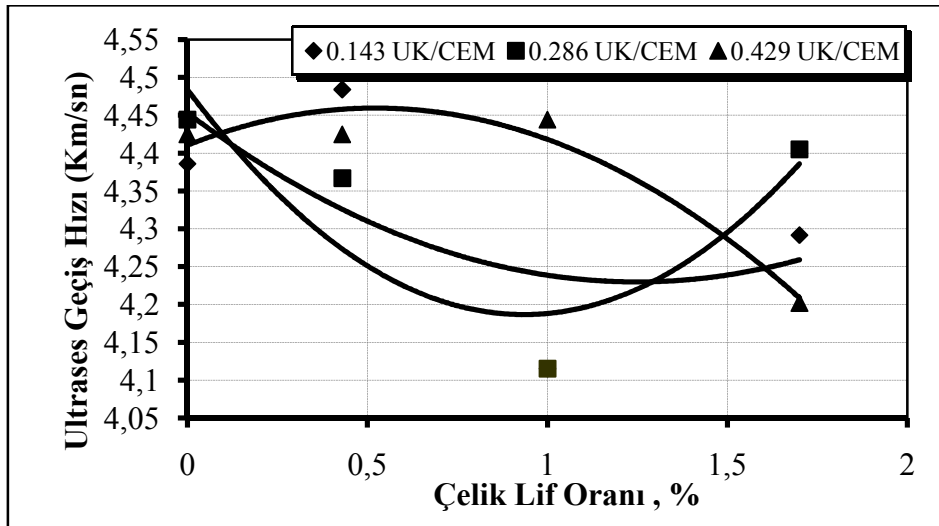


Şekil 6.27. Çelik lif kullanımının çekme dayanımına etkisi

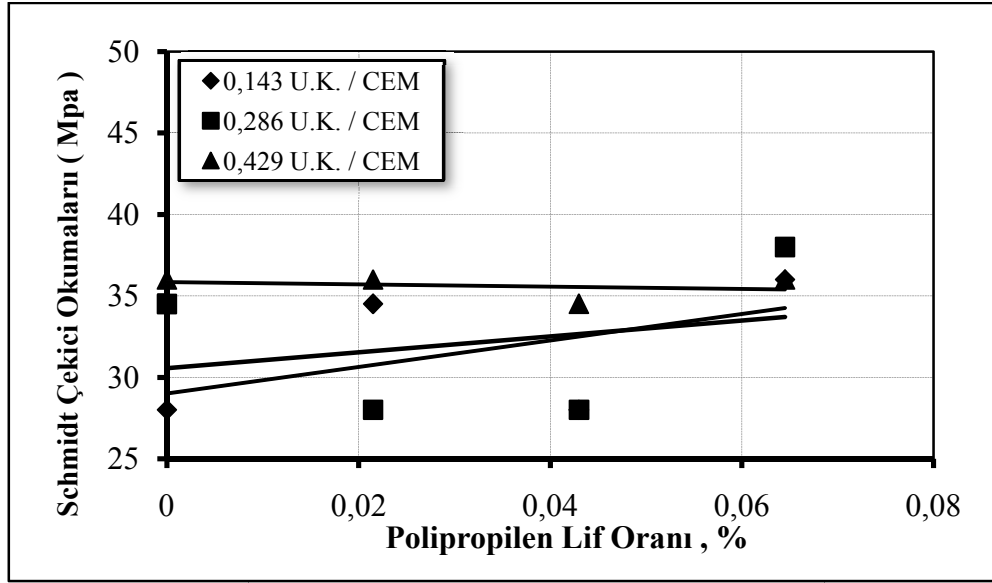


Şekil 6.28. Polipropilen lif kullanımının Ultrases geçiş hızına etkisi

Şekil 6.28. ve 6.29. incelendiğinde çelik lif kullanımı ile ses dalgalarının geçiş hızlarının azaldığı, polipropilende ise daha hızlı olduğu görülür. Çelik lif kullanımı ile daha tok, daha ağır beton elde edileceği düşünülmelidir. Çelik lif kullanım oranının en verimli aralığı yine %1 ile %1,5 arasında kalmıştır.

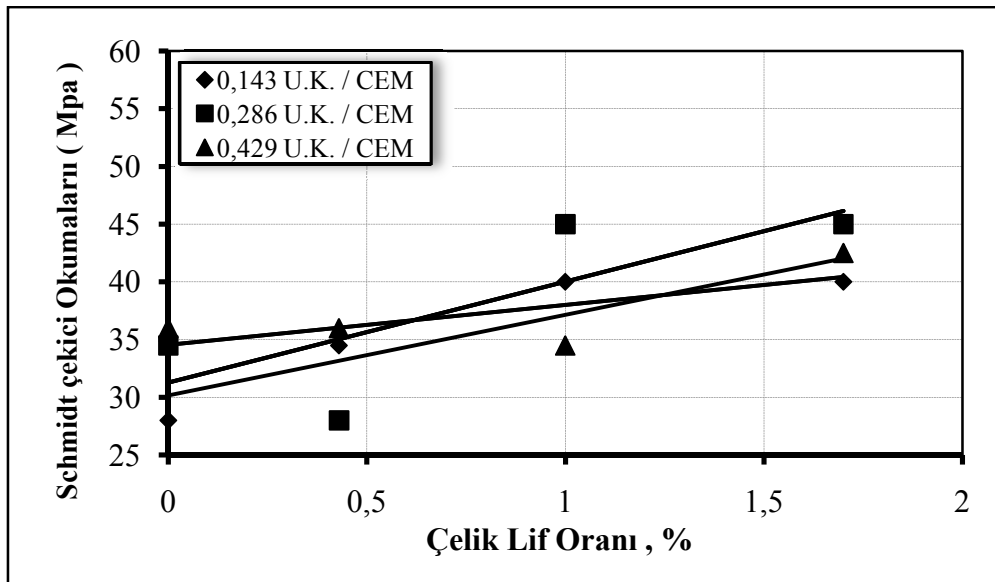


Şekil 6.29. Çelik lif kullanımının Ultrases geçiş hızına etkisi



Şekil 6.30. Polipropilen lif kullanımının yüzey sertliği değerlerine etkisi

Basınç dayanımı, Çekme dayanımı, Schmidt vuruşları, teorik olarak birbirine bağlı niteliklerdir. Deney sonuç grafiklerinde de, özellikle çelik lif kullanımı ile oluşan bu paralellik bağları net izlenebilir. (Bkz. Şekil 6.27. 6.30. ve 6.31.)



Şekil 6.31. Çelik lif kullanımının yüzey sertliği değerlerine etkisi

6.4.1.1. Lif kullanımının etkileri

Tüm grafikler incelenirse, lif kullanımının tüm yönlerden faydalı olduğu anlaşılır. Beton basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı gibi betonun karakteristik özellikleri tüm şartlarda iyileşmiştir. Çelik liflerde kanca boyları, tel uzunlukları ve narinlik değerleri, Polipropilen liflerde ise yine adet uzunluğu, çapı gibi etkenler davranışa katkıların büyüklüklerini değiştirecektir. Çelik liflerde boy artarsa esneklik artacak, narinlik değerinin artması dayanımı arttıracaktır (Şahin, Köksal., 2010). Polipropilen liflerde ise uzunluk artışı çok büyük katkılar getirmemekle beraber, işlenebilirliği arttıracaktır. Polipropilen liflerde çap kalınlığının artışı, etkileri arttırabilir.

Basınç dayanımında polipropilen lif kullanımı sayesinde % 5 - % 11 arasında artış kaydedilmiştir. Düşük UK kullanımında % cinsinden verim daha yüksek olmuştur. Sabit çimento oranında, uçucu kül ya da lif ilavesi kullanımında bir noktadan sonra dayanım değerinin sabite yakın kalacağı unutulmamalıdır. Dayanımın en önemli artışı çimento kullanımı ile oluşmaktadır. Basınç dayanımında çelik lifler ise birim hacimde işlenebilirliği fazla etkilemedikleri için daha fazla kullanılabilirdiklerinden daha fazla artışlara sebep olmuştur.

Grafiklerden yola çıkılarak, çelik lif kullanımının beton basınç dayanımına polipropilen liflerden daha fazla katkıda bulunduğu düşünülebilir. Bu dolaylı etki ile doğruya ulaşan bir yargıdır. 1m^3 betonda aynı % değerinde kullanımında polipropilen lif daha yüksek değerler verecektir. Fakat işlenebilirlik gibi sebeplerden dolayı çelik lif daha yüksek yüzdelerde kullanabildiğinden daha yüksek dayanım elde etmeye yardımcı olmaktadır. Yani 1m^3 betonda daha fazla kullanılabilirdiğinden dolayı, çelik lif basınç dayanımını daha fazla katkıda bulunmaktadır.

Lif kullanımının önemli etkilerinden bir tanesi de, kırılmış ya da çatlakla beraber iletimi kopmuş olması gereken yerlerde kopmayı, ayrışmayı azaltmasıdır, yük taşıma kapasitesi bitmiş olsa da elemanların ayrılmaması avantajdır (Bkz. Şekil 6.33.).



Şekil 6.32. Lifsiz elemanın kopmuş - ayrılmış hali



Şekil 6.33. Çelik Lif kullanılmış, kopmaya direnmiş kiriş numunesi

Lif kullanımı büyük ölçüde, bütünlük sağlayıcıdır. Bütünlük ve monolitik davranışı arttırması sebebiyle, genelde elemanların taşıma kapasitelerini karakterlerini iyi yönde etkilemektedirler.

Çelik lif kullanımında pas payı kavramı farklı bir anlam kazanacaktır. Döküm esnasında paspayı uzaklıkları sağlıklı sağlanamayacağından, toplam hacimde kullanılacak miktardan, paspayı derinliğinde kalan hacimdeki miktar yok sayılabilir. Bu hesap, önlem olarak yapılabilecek ek bir katkıdır. Yapı önemine göre göz ardı edilebilir.

Lifler zemin betonları, kütle betonlar vb. gibi iyileştirme istenen betonlarda rahatça kullanılabilirler. İnce hesap gereken elemanlarda kullanılmadan önce iyi analiz gerektirirler.

6.4.1.2. Uçucu kül kullanımının etkileri

Uçucu küller (UK) betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır ve çoğunlukla kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, sönmüş kireçle hidrasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşirler. UK'lar elektrik üreten termik santrallerden elde edilir. Genellikle endüstride kullanılmayan düşük kalorili kömürlerin çok ince öğütülerek termik santral fırınında yakılması sırasında yukarıya yükselen UK'lar, bacanın üst kısmında elektro filtreler veya siklon adı verilen toz tutucularda, elektrostatik veya mekanik yöntemlerle tutularak depolanırlar. Küllerin parçacıkları küresel olup çapları 1–300 µm mertebesindedir. Araştırmalar ağırlıkça % 20 oranında UK kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir. Bunun yanında UK kullanılması ile betonun erken yaştaki basınç ve eğilme dayanımları düşmekte (Li, vd., 2002), (Naik, vd., 2002), prizi geciktirmektedir (Wang, et all., 2002).

Çimento yerine, ağırlık olarak % 20Ç - % 40Ç arası UK kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve UK miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır (Topçu., 2010). Fakat bu çalışmalarda var olan standart çimento dozajına ilave olarak 50, 100, 150 kg / m³ miktarlarında ilave Uçucu Kül kullanılmıştır. Bu sebeple puzolanik yapısı ve bağlayıcı karakteri sayesinde, dayanım değerlerine önemli katkısı olmuştur. 150 kg / m³ ilave kullanım sayesinde % 22 leri aşan dayanım arttırma etkisi görülmüştür.

Beton basınç dayanımına olumlu katkıları, ucuz oluşu ve kaplama betonlarındaki rötre çatlaklarını lif kullanımı ile beraber azaltmaya yardımcı olması uçucu kül kullanımının cazibesini arttırmaktadır. Uzun soluklu ve hacimce büyük işlerde UK tedarigi ve ulaştırması sıkıntı olarak karşımıza çıkabilmektedir. Fazla UK kullanımı sebebiyle dayanımın geç kazanılması, yolun hizmete açılması süresini uzatıp uzatmayacağı ya da uzatsa dahi ne kadar süre uzatımına sebebiyet vereceği detaylandırılmalıdır.



Şekil 6.34. Uçucu kül

Maliyet analizinde çimento yerine % 20 UK kullanılması ile beton birim maliyetinde ortalama % 10'luk, % 40 UK kullanılması ile de % 18'lik bir ekonomik kazanç elde edilmektedir. Ayrıca endüstriyel bir atık olması sebebiyle UK'nın betonda kullanılması ile bu atığın depolanması maliyeti de düşecektir (Topçu, vd., 2001).

6.4.2 CRCP kaplamalarda KYB için yorum ve öneriler

CRCP tipi yol imalatında KYB kullanımı avantaj sağlayacaktır. Klasik beton kullanımına kıyasla, işlenebilirlik fazla olduğundan işçilik maliyeti ve kusurları azalmış olacaktır. Klasik betona nazaran daha güvenli tasarımlar üretilecektir. Bunun en büyük sebebi işçilik kusurları ile doğacak dezavantajları, KYB ile egale etmiş olmaktadır. Ayrıca; birim imalata gereken sürede azalma olmasından dolayı, eğer beton temininde aksaklıklar oluşmazsa, günde yapılan üretim miktarı artacaktır. Bir yapıda, döşeme ve düşey elemanların üretimi geleneksel betonla üretime göre, KYB ile 1/5 oranında daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Semioli, 2001).

KYB yüksek çimento dozajı gerektirmektedir. Genelde daha yüksek dayanımlar ortaya koyan bu beton tipi sayesinde maliyet yükselmiş olsa da daha güvenli imalat gerçekleşmiş olacaktır. Geçirimsizliğin düşük olması nedeniyle daha uzun ömürlü yapı elde edilmiş olacaktır. KYB döküm ihtiyaçlarını sağlayacağından ve dozajlarla oynamak sakınca doğuracağından, işçilerin betona su katması gibi bir risk yaşanmayacaktır.

KYB kullanmak için kalıp tertibatı ve önlemleri titizlikle alınmalıdır. Kalıp kurulumu, boyutlandırılması, akmaya karşı geçirimsizliği, tıkanıklılığa karşı düzgünlüğü gibi durumlara özen gösterilmelidir. Betonun akıcılığı ile beraber kalıptaki ufak boşluklardan dahi akma ihtimali bulunmaktadır. Yol yapımında kalıp kontrolü, düzeltilmesi çok daha kolay yapılabilir. Fakat yol kotlamasında dikkat edilmelidir. Kurplarda verilecek dever miktarlarını KYB kullanımı ile sağlamak zor olacaktır. Kendiliğinden üst terazisini sıfırlayan bu betonu eğimli dökmek, zorluk teşkil edebilir. Bu lokasyonlar da KYB kullanımından ödün verilmelidir. Düzlüklerde kotlamada sağladığı avantajın yanında bu durum dezavantaj olarak addedilebilir

Çizelge 6.5. CRCP tipi kaplamalarda KYB kullanımı avantaj ve dezavantajları

CRCP' de KYB kullanım avantajları	CRCP' de KYB kullanım dezavantajları
Hızlı imalatla süre kazanma	Kalıp alma süresi uzaması
Monolitik karakter ile tasarıma sadakat	Deverlerin verilme zorluğu
Kaliteli beton ile uzun ömür	Üretimde ve kullanımda gereken titizlik
Düzlüklerde otomatik kotlama	Farklı bir katkı kullanımına karşı hassasiyet
İşçilik maliyetlerinin azalması	
İşçilerin müdahale riskini engellemek	
Çevresel şartlara dayanıklılık	

CRCP tipi kaplamalar sürekli donatılandırılmışlardır. Lif kullanımı ile donatı kullanımına gerek kalmayabilir. Genelde içsel gerilmeleri ve az miktarda yük etkisini karşılamaya yararlar. CRCP tipi kaplamalarda, derz bırakılmadığından, donatılandırma önem arz eder. Çelik lif içsel gerilmeleri karşılamaya ve hatta yük etkilerini absorbe etmeye yeterli yapıdadır. Yete ki proje yoğunluğu, zemin, proje ömrü, çevresel etkiler iyi seçilerek tasarım iyi yapılarak dozaj iyi belirlensin. Lifli KYB kullanımı ile donatı bağlama, taşıma, hazırlıklar gibi zaman ve maddi kayıplar azaltılmış olacak, işin daha hızlı ilerlemesi ve beton kaplamanın aşınmaya karşı direnci oldukça artırılmış olacaktır. Sadece kalıba lifli KYB dökümü ile tüm iş bitirilmiş olacaktır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ekonomik kaynakların dikkatli ve sınırlı kullanılması gereken ülkemizde yatırımların oldukça verimli yapılması büyük gerekliliktir. İhtiyaçlar giderilirken kaynakların zorlanmaması, zorlanacaksa da, verimi yüksek, ileriki yıllarda yatırım bedelinin geri dönüşünün kayda değer olduğu yatırımlarda zorlanması beklenir.

Bir ülke için ulaştırma kavramının gelişmişlik düzeyinin göstergesi kabul edildiği ve ayrıca ulaştırma rahatlığı ve ağ fazlalığı sayesinde, ulaştırmanın gelişmeye katkıda bulunacağı bilinmelidir. Bu açılardan bakıldığında beton yollar, uzun ömürlü oluşu, uygun tasarımla yakalanabilecek konfor düzeyi, bakım masraflarının azlığı, yapımında iç kaynakların kullanılması gibi özellikleriyle, esnek üst yapılardan ekonomiklik açısından öne çıkmaktadır. Beton yollar yapım aşamasında her ne kadar maliyetli görünse de, yıllar içinde fayda/maliyet ya da fiyat/performans oranlarının yüksekliği ile kârlı yatırım olarak karşımıza çıkmaktadır. Servis ömrü boyunca bakım-onarım masrafları dikkate alındığında iyi tasarlanmış beton kaplamalı yolların, asfalt kaplamalı yollara nazaran daha ekonomik olduğu yönünde yorumlar yapılabilir. Beton teknolojisinin gelişmesi ile ileriki yıllarda beton yolların daha da ekonomik bir hal alacağı aşikârdır. Yerli malzemenin kullanımıyla yapılan beton yollar, bu açıdan Türkiye için önemli konumdadır.

Klasik tipler ve üretim metotlarına ek olabilecek lif ilaveli KYB ile üretilen yollar hem üretim kolaylığı hem de maliyete pozitif katkı ile karşımıza çıkmaktadır. Bu düşünceyle yola çıkılan bu çalışmada kendine has olarak, çelik ve polipropilen lif katkılı ve uçucu kül değişenli Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) üretimi yapılmış olup, yol kaplaması olarak kullanılması için tavsiye edilebilecek beton cinsi ve malzeme oranları saptanmıştır. CRCP tipi kaplama özellikleri, avantajı, tasarımı, kaplamada kullanılacak taze beton özellikleri, sertleşmiş beton karakteristikleri, lif kullanımının etki ve katkıları, üretimde dikkat edilmesi gereken hususlar bu çalışmada detaylandırılmıştır.

Deneyleerde tasarımı incelik ve ustalık isteyen KYB içine lif kullanımı betonun taze durumdaki özelliklerini etkileyebilmektedir. Tam karışım dengesine ilave edilen lifler doğaldır ki özellikle betonun hareketliliğini sınırlandırma etkisi yapmaktadırlar. İnce yapısı ve adet/kg değeri yüksek olan polipropilen lifler uçucu kül ile kullanımda rötre çatlaklarına karşı dayanıklılık sağlamaktadır, fakat işlenebilirlik özelliğini kötü etkilemektedirler. Kullanılan 1,5kg/m³ değeri işlenebilirliği etkileme sınır değeri olarak algılanabilir. Çelik liflerde KYB yapısına etkiler daha azdır. Yine de sınırların bir nebze daha zorlanabileceği bilinerek, 150kg /m³ değeri işlenebilirliğe etkinin başladığı sınır değere yakın bir değer olarak kabul edilebilir.

Yapılan araştırma ve çalışmalar sonucunda öneriler;

- Uçucu kül kullanımının artışı ile dayanım değerlerinde de olumlu artışlar gözlenmiştir.
- Uçucu kül ile birlikte kullanılan Çelik lif sayesinde basınç dayanımı dâhil, özellikle eğilme dayanımı gibi tüm değerlerde kayda değer iyileşme görülmüştür.
- Uçucu kül ile birlikte kullanılan polipropilen lifler dayanıma katkıda bulunmuşlardır, fakat basınç dayanımı dâhil olmak üzere iyileşme miktarları %9 - %11 'i geçmemiştir. Polipropilen lifler dayanıma katkılarından ziyade, karakteristiğe olan katkılarından tercih edilmelidirler. Taze betonda priz esnası ve sonrasında oluşan rötre çatlaklarına karşı olumlu etkileri, tokluğa katkıları, aşınmaya karşı gösterilecek dirence olumlu katkıları ve atık malzemenin değerlendirilmesi gibi pozitif katkıları uçucu kül kullanımını zorunlu hale getirebilir.
- Beton içindeki toz malzeme miktarının artışının, karışım anından sonra kıvam kaybı öncesi geçebilecek süre miktarını azalttığı gözlemlenmiştir. Bağlayıcı madde ne kadar artarsa beton o denli denetimli ve kısa sürede dökülmelidir.

- Kaplamalarda önem arz eden en büyük kavram eğilme dayanımıdır. Çelik lif kullanımı sayesinde eğilme dayanımlarında iyileşmeler görülmüştür. 40 kg Çelik Lif + 100 kg UK kullanımı ile bu durum pik yapmıştır. Bağlayıcılığı olan UK ün katkısı yadsınmaz. Lif ilaveli KYB kullanımı düşünülecekse ilk akla gelen çelik lifler olmalıdır, uçucu kül ve az miktarda polipropilen lifli beton kullanılması faydalı olacaktır.
- CRCP tipi kaplamalarda UK ilavesi ve Çelik lif kullanımı KYB'nin taze özellikleri ile yüksek uyumlu olarak verim sağlamaktadır.
- Taze beton safhasında yüksek bağlayıcı toz miktarı ile priz süresinin kısaldığı söylenebilir. Bu duruma kullanım aşamasında dikkat edilmelidir.
- Bileşen sayısı fazla olan her malzeme gibi lifli KYB üretimi ve dökmeden önceki denetimi sıkı yapılmalıdır.
- KYB ile CRCP üretilecekse, güzergâhta bulunan kurplarda verilecek deverlerde dikkatli davranılmalıdır. Yapısı gereği yatayda ki teraziye kendisi sağlayan KYB dever hassasiyetinde sorun yaşatabilir. Aynı şekilde su drenajı için % 2 olarak uygulanan yol eksenindeki balıksırtı eğim imalatında da KYB ile zorluk yaşanabilir.
- Polipropilen ve çelik lifler beton mikserine şantiyede ilave edilerek kullanılabilirler. Kıyaslama yapılacak olursa liflerin dökümden hemen önce eklenip, özenle karıştırılarak kullanılması beton üretim sahasında eklenmesinden daha etkili olacaktır. Mümkünse lifler şantiyede eklenmelidir.
- Çelik liflerde de, polipropilen liflerde de boyutlar ve nitelikler değişebilmektedir. Böylelikle kullanılacak çok sayıda lif çeşidi mevcuttur. Bu durumdan dolayı kullanılacak liflerle mutlaka deneme üretimi laboratuvar ortamında yapılmalıdır.

Ek-3, Ek-4, Ek-5 ve Ek-6'da 2013 birim fiyatları ve piyasa araştırmalarına dayanarak alt yapı masrafları dahil edilmeksizin kaplama tiplerinin maliyetleri çıkartılmıştır. Maliyet kıyaslamalarına göre beton yollar uzun servis ömrü düşünülürse oldukça mantıklı olacağı görülür. İlk yatırım maliyetleri fazla olan beton yollar BSK tipi kaplamalara göre 3 kat daha uzun servis ömrü sunmaktadırlar.

Sonuç olarak; CRCP tipi derzsiz kaplamalarda donatı yerine lifler kullanılabilir. Betonun KYB olarak seçilmesi ile işçilik maliyetleri oldukça düşecektir. Ayrıca; beton kaplamalarda hem artık olan malzemenin değerlendirilmesi, hem rötre çatlaklarının azaltılması, hem ekonomi sağlanması amacıyla uçucu kül mutlaka kullanılmalıdır. Taze betonun işlenebilirliğine az etki eden yapısı, dayanımlara yaptđı olumlu etki sayesinde elik lif kullanımı avantajlı bir seçenektir. Yapılan araştırmalara dayanarak polipropilen lif kullanımının beton tokluğunu ve aşınmaya karşı direnci arttırdđı bilinmektedir. Deneysel çalışmalarda polipropilen lif kullanımının fazlaşmasıyla işlenebilirlik azalmıştır.

Betonun tasarımı malzeme, evre, ekonomi etkileri düşünülürse mutlaka defalarca deneyler yapılarak ihtiyaç ve imknlara göre yeniden yapılmalıdır. Lifli KYB, kullanımdan hemen önce testlere tabi tutulmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

Amerikan yol kaplamaları sitesi.

<http://pavementinteractive.org>

<http://www.pavementinteractive.org/article/reinforcing-steel-placement/>.

http://pavementinteractive.org/index.php?title=PCC_Pavement

Ağar, E., Sütaş, İ., Öztaş, G., 1998, “Beton Yollar”, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Ağar,E., Öztaş G. ve Sütaş,İ., 1998, “Esnek yol ust yapıları ile rijit yol ust yapılarının teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması”, Teknik Rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi.

Bolat, H., ve Diğerleri., 2010, “Beton Yolları Bekleyen Tehlikeler” Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 1, (30-37).

[37] Can,Ö., ve Durmuş, G., veSubaşı, S., ve Yıldız, K., ve Arslan M., 2009, ‘ ‘The Effects Of The Concrete Mixed Fibrous Material On The Wearing Strength s. 3 – 4.

Duyar, O., 2006, “Avrupa Kendiliğinden Yerleşen Beton Şartnamesi Işığında Tanımlar, Dizayn Yöntemi, Deney Metotları ve Mühendislik Özellikleri”, THBB Hazır Beton Dergisi, Sayı 75, s.52.

Ecevit,O.,2007, “Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları Ve Tasarımı” İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 418 s.

Elias K. Sudoi, Hnd., B.S. 2008, “Devamlı Betonarme Yol Kaplamalarında Yatay Çatlakları Etkileyen Faktörler (Crcp) ” Prepared For The Degree Of Master Of Science University Of North Texas.

Florida Department Of Transportation Pavement Management Office - Rıgıd Pavement Design Manual .

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Fu, X., Wang, Z., Tao, W., Yang, C., Hou, W., Dong, Y. and Wu, X., 2002, “Studies on Blended Cement with Large Amount of Fly Ash”, Cement and Concrete Research, Vol. 32.

Gazi Üniversitesi internet sitesi, İnşaat Mühendisliği, “Kaplama ve Dizayn Malzemeleri, Esnek Üst Yapı Kalınlıklarının Tayini”,
<http://www.websitesi.gazi.edu.tr/hikmetb/Dosyaindir>

Giriş, Ü., 2007, Esnek Üstyapılar İle Rijit Üstyapıların Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara 202 s.

İyınam,Ş., Ağar,E., “ Karayollarında Hazır Beton ” İ.T.Ü., 10s.

<http://www.dogateknik.com.tr/Teknik-Belgeler/Karayollarinda-hazir-beton.pdf>

Karayolları 91. Şube Şefliği Web sitesi.

<http://www.karayollari91sube.gov.tr/page.asp?id=40>

(<http://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Istatistikler/DevletliYolEnvanter/SatihYolAgiUzunlugu.pdf>)

Keifer, O., 1988. Corps of Engineering Experience with RCC Pavements, Roller Compacted Concrete II, ASCE.

Kunt, M.M., Otoyolların Bakım Maliyetini Azaltmaya Bir Çözüm: Sürekli Donatılı Beton Yollar, Doğu Akdeniz Üniversitesi, Gazi Mağusa, K.K.T.C.

Li, B., Liang, W. and He, Z., 2002, “Study on High-Strength Composite Portland Cement with a Larger Amount of Industrial Wastes”, Cement and Concrete Research, Vol. 32, pp. 1341–1344.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Matthew Beyer Ve Jeffery Roesler ., 2009, ‘‘ Mechanistic-Empirical Design Concepts For Continuously Reinforced Concrete Pavements In Illinois ’’ Illinois Center For Transportation Series No. 09-040 Research Report ICT-09-040 Nisan sy 3-25.

McCullough, B.F., 1982, Criteria fort he design, Construction and Maintenance of Continuously Reinforced Concrete Pavement Eleventh ARRB Conference, Melbourne, Australia.

Naik, T.R., Singh, S.S. and Ramme B.W., 2002, ‘‘Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete’’, Journal of Materials in Civil Engineering, pp. 417–426.

Özgan, E., Serin, S., Ertürk, S., Hastürk, C., Metin E., 2010, Karayolu esnek üstyapısının projelendirilmesi; D100–11 karayolu örneği, MYO-OS 2010- Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu.

http://www.myo-os.duzce.edu.tr/dosya/cd/pdf/MYO_OS_9030.pdf

Prof. Yeğınobalı,A.,09.2001, ‘‘Niçın Beton Yol?’’, T.Ç.M.B., Ar-Ge bölümü,28 s.

Rens,E., Eylül 2009, ‘‘ Beton Yollar : Akıllı Ve Sürdürülebilir Çözüm’’ EUPAVE European Concrete Paving Associatio, 32s.

<http://www.tcma.org.tr/images/file/eupaveturkcebasim.pdf>

Sanjay S., 2006, ‘‘Sensitivity Analysis of Aashto’s 2002 Flexible and rigid pavement design methods’’ B.E. Mumbai University,, A thesis for master degree Spring Term.

Sezgin, H., 2003, ‘‘Karayolları Esnek Üstyapılarında Alttemel Tabakasının Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi’’, S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi, 105s. Isparta.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Şahin, Y., Köksal, F., 2010, “Çelik Tel ve Matris Dayanımlarının Betonların Kırılma Enerjisine Ortak Etkisi ” Bozok Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh.Bölümü, Yozgat/ Türkiye.

TÇMB web sitesi.

(<http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=28>)

TMH., 2003, Türkiye Mühendislik Haberleri dergisi SAYI 427–2003/5.

Topçu, İ.B., 2006 “Beton Teknolojisi”, Eskişehir, s317.

Topçu,İ.B., ve Bilir, T., ve Baylavlı, H., 2008, “ Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim. Fak. Dergisi CXXI.

Topçu, İ.B., Canbaz, M., 2001,“Uçucu Kül Kullanımının Betondaki Etkileri” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi MMF dergisi, ss 3 – 12. Eskişehir/ Türkiye.

Tunç,A., 2007, “Yol Tasarımının Esasları ve Uygulamaları” Ankara.

Türel, Ö., 2002, “Antalya ve çevre illerdeki bölgesel devlet yollarının mevcut üstyapı uygulamalarının incelenmesi, ‘rijit üst yapı’ formunda yeniden çözülmesi, maliyet karşılaştırmalarının araştırılması” Antalya. [Yüksek lisans tezi].

Uçar, S. ve Konrapa, U., 2002, “ Yol Üstyapıları Maliyetleri Araştırması.”

Umar, F., Açar, E., 1991, “Yol Üstyapısı”, İ.T.Ü. Rektörlüğü, İstanbul.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

Velasco, M.G. and McCullough, B.F., Summary report for 1978 CRCP Condition survey in Texas, Araştırma Raporu 177-20, Center for Transportation research, OCAK 1981, Sy. 144.

Yeğınobalı, A., 2009, ‘‘Türkiye’nin ilk beton karayolları’’ TCMB Ar-Ge Yayını, Ankara.

Yerlikaya, M., 2010, ‘‘Çelik Tel donatılı Zemin Betonları Tasarım ve Yapım İlkeleri’’ Beksa Çelik Kord San ve Tic A.Ş.

Ek - 1

Numune	ÖZELLİKLER	KÜP BASINÇ DAYANIMLARI (Mpa)			Küp dayanım ort (Mpa)	KÜPLERİN AĞIRLIKLARI 15*15*15cm (Kg)			SCHMIDT ÇEKİCİ 5 Vuruş ortalaması dik vuruş 0 derece	ULTRASES Okunan Değerler milisaniye		Ultrases Geçiş Hızı (Km/sn)	KİRİŞ Makine Karılma Yüklü 2 adet ortalaması kg	KİRİŞ Eğilme Dayanımı (Mpa)2 adet ortalaması	LEVHA YÜKLEME		SİLİNDİR YARMA (t)	SİLİNDİR Yarma için uygulana n p	SİLİNDİR de çekme (Mpa)
		1	2	3		1	2	1		2									
1	KIYAS BETONU(-C25)	30,10	29,61	32,30	30,67	7,92	7,85	7,89	33 ortalama ile 28 Mpa	31,8	21,20	x	1438	6,47	4,1	18,6	18,9	18,75	x
2	50kg U.K.	31,70	32,27	30,62	31,53	7,86	7,89	7,79	33 ortalama ile 28 Mpa	34,2	22,80	4,386	1415	6,37	4,12	19,1	18,5	18,80	2,66
3	100 kg U.K.	32,08	33,90	31,20	32,39	7,98	7,82	7,90	36 ortalama ile 34,5 Mpa	33,75	22,50	4,444	1490	6,71	4,21	19,4	19,1	19,25	2,73
4	150 kg U.K.	34,60	35,70	33,60	34,63	7,86	7,83	7,83	37 ortalama ile 36 Mpa	34,578	22,60	4,425	1474	6,63	4,50	20,1	19,5	19,80	2,80
5	10kg ÇELİK + 50 kg U.K.	32,60	33,70	32,10	32,80	7,88	7,90	7,89	36 ortalama ile 34,5 Mpa	34,119	22,30	4,484	1541	6,93	5,10	21,2	21,7	21,45	3,04
6	10kg ÇELİK + 100 kg U.K.	33,70	34,65	33,3	33,70	7,85	7,89	7,94	33 ortalama ile 28 Mpa	35,037	22,90	4,367	1615	7,27	5,20	23,2	21,6	22,40	3,17
7	10kg ÇELİK + 150 kg U.K.	37,40	37,30	38,40	37,70	7,96	7,90	7,95	37 ortalama ile 36 Mpa	34,578	22,60	4,425	1490	6,71	5,20	22,7	22,4	22,55	3,19
8	25kg ÇELİK + 50 kg U.K.	34,90	33,30	33,80	34,00	7,90	7,89	7,89	39 ortalama ile 40 mpa	37,179	24,30	4,115	1537	6,92	4,80	24,6	25,2	24,90	3,52
9	25kg ÇELİK + 100 kg U.K.	34,40	36,80	34,00	35,07	7,90	7,90	7,92	42 ortalama ile 45 Mpa	37,179	24,30	4,115	1565	7,04	5,20	23,8	24,6	24,20	3,43
10	25kg ÇELİK + 150 kg U.K.	40,01	42,80	41,10	41,30	7,98	7,99	7,95	36 ortalama ile 34,5 Mpa	34,425	22,50	4,444	1735	7,81	5,00	26,2	25,6	25,90	3,67
11	40kg ÇELİK + 50kg U.K.	38,70	38,90	41,60	39,73	8,01	7,99	7,90	39 ortalama ile 40 mpa	35,649	23,30	4,292	1574	7,08	5,00	28,3	27,4	27,83	3,94
12	40kg ÇELİK + 100kg U.K.	44,60	46,11	47,60	46,10	7,97	8,03	7,99	42 ortalama ile 45 Mpa	34,731	22,70	4,405	1776	7,99	5,40	22,5	28,9	25,70	3,64

Numune	ÖZELLİKLER	KÜP BASINÇ DAYANIMLARI (Mpa)			Küp dayanım ort (Mpa)	KÜPLERİN AĞIRLIKLARI 15*15*15cm (Kg)			SCHMİDT ÇEKİCİ 5 Vurusu ortalaması dik vuruş 0 derece	ULTRASES Okunan Değerler milisanıye		Ultrases Geçiş Hızı (Km/sn)	KİRİŞ Makine Kiralama Yüklü 2 adet ortalaması	KİRİŞ Eğilme Dayanımı (Mpa)2 adet ortalaması	LEVHA YÜKLEME	SİLİNDİR YARMA (t)		SİLİNDİR Ort. Yarma için uygulanması	SİLİNDİR de çekme (Mpa)
		1	2	3		1	2	1		2									
13	40kg ÇELİK + 150kg U.K.	48,40	50,13	51,78	49,27	7,98	8,01	8,05	41 ortalama ile 42,5 Mpa	KÜP 15cm	23,80	4,202	1621	7,29	5,70	31,4	32,2	31,80	4,50
14	0,5kg POLİPROP + 50kg U.K.	32,1	30,80	32,90	31,85	7,81	7,81	7,90	36 ortalama ile 34,5 Mpa	KÜP 15cm	34,504	4,405	1418	6,38	4,50	19,8	20,5	20,15	2,85
15	0,5kg POLİPROP + 100kg U.K.	32,4	33,60	34,20	33,90	7,83	7,87	7,87	33 ortalama ile 28 Mpa	KÜP 15cm	34,2	4,444	1541	6,93	4,10	18,8	21,3	20,05	2,84
16	0,5kg POLİPROP + 150kg U.K.	36,10	35,80	35,10	35,67	7,90	7,88	7,81	37 ortalama ile 36 Mpa	KÜP 15cm	32,528	4,673	1420	6,39	4,10	21,3	21,6	21,45	3,04
17	1 kg POLİPROP + 50kg U.K.	31,93	32,00	33,00	32,31	7,80	7,79	7,82	33 ortalama ile 28 Mpa	KÜP 15cm	32,376	4,695	1490	6,71	4,40	19,8	20,2	20,00	2,83
18	1 kg POLİPROP + 100kg U.K.	34,20	33,9	32,20	33,20	7,79	7,80	7,74	33 ortalama ile 28 Mpa	KÜP 15cm	33,136	4,587	1468	6,61	4,30	18,5	20,8	19,65	2,78
19	1 kg POLİPROP + 150kg U.K.	35,00	36,7	36,15	35,58	7,85	7,84	7,79	36 ortalama ile 34,5 Mpa	KÜP 15cm	33,136	4,587	1468	6,61	4,70	18,8	21,4	20,10	2,85
20	1,5kg POLİPROP + 50kg U.K.	33,30	32,4	33,50	33,40	7,71	7,80	7,82	37 ortalama ile 36 Mpa	KÜP 15cm	32,528	4,673	1533	6,90	4,60	20	19,8	19,90	2,82
21	1,5kg POLİPROP + 100kg U.K.	34,60	34,90	33,80	34,43	7,81	7,90	7,92	38 ortalama ile 38 Mpa	KÜP 15cm	32,832	4,630	1537	6,92	4,50	21,5	20,9	21,20	3,00
22	1,5kg POLİPROP + 150kg U.K.	36,50	35,70	37,33	36,51	7,72	7,81	7,83	37 ortalama ile 36 Mpa	KÜP 15cm	33,44	4,405	1508	6,79	4,80	21,2	21,9	21,55	3,05

EK – 2 Kritik gerilmelerin (alt-üst) hesabında kullanılan abak

Critical Tensile Stresses from ISLAB2000 Analysis ($h_{FCC} = 11$ inches)

C.S/RRS	LTE _s %	1		15		40		65		90		99	
		σ_x	σ_b	σ_x	σ_b	σ_x	σ_b	σ_x	σ_b	σ_x	σ_b	σ_x	σ_b
0.6187	1	144.8	100.8	102.0	126.9	53.9	161.9	29.6	181.4	16.8	191.9	13.8	194.2
0.6187	30	145.4	101.2	114.7	121.3	71.6	151.2	44.2	170.8	25.9	184.1	20.8	187.6
0.6187	50	143.1	102.5	115.8	122.1	70.1	151.0	50.0	168.8	32.3	178.8	27.1	180.9
0.6187	80	129.9	105.2	117.5	123.0	74.3	149.9	53.5	165.5	40.0	169.5	36.9	165.0
0.6187	95	106.8	85.3	79.3	109.4	54.5	130.9	39.1	144.2	26.8	149.5	27.9	143.6
0.6187	99	83.9	71.7	48.4	83.7	27.3	102.0	14.6	113.7	7.3	120.2	6.7	119.9
1.2367	1	133.4	107.2	111.3	118.3	60.3	130.4	60.9	149.3	40.0	157.0	45.5	159.8
1.2367	30	127.3	109.0	111.6	116.5	87.1	129.1	69.8	138.8	57.0	148.4	53.0	148.6
1.2367	50	118.1	108.5	105.3	115.0	84.8	125.6	69.4	133.3	57.7	138.7	53.7	140.1
1.2367	80	90.3	96.1	80.8	101.6	65.3	111.1	53.9	117.8	45.4	121.3	42.1	121.6
1.2367	95	82.2	74.3	54.0	78.5	40.0	90.7	31.5	95.6	26.4	100.2	23.0	101.0
1.2367	99	55.2	61.9	47.3	68.9	34.8	75.9	25.5	82.8	18.5	87.6	17.8	88.8
1.8542	1	108.8	111.6	97.3	114.6	80.3	119.9	70.0	124.3	62.6	127.7	60.5	128.7
1.8542	30	98.7	108.0	90.5	108.6	77.8	112.6	68.5	115.2	61.3	117.6	59.0	118.3
1.8542	50	86.0	101.3	80.3	102.8	60.3	105.3	62.0	107.4	66.7	100.0	63.4	100.6
1.8542	80	62.6	83.3	57.6	84.9	49.6	87.7	44.0	89.9	36.8	91.5	38.4	91.9
1.8542	95	50.9	68.6	46.2	70.2	38.7	73.1	33.6	75.4	30.0	77.1	28.9	77.6
1.8542	99	49.8	61.1	46.1	62.7	37.7	65.6	32.0	67.9	28.9	69.7	27.8	70.3
2.4757	1	82.1	101.9	75.8	102.1	68.4	102.9	60.1	104.0	55.8	105.0	54.3	105.3
2.4757	30	70.3	94.1	65.9	94.0	58.9	94.3	53.8	94.7	48.8	95.2	48.5	95.4
2.4757	50	59.5	85.9	56.0	88.0	50.4	86.3	48.3	88.7	43.0	87.1	41.9	87.3
2.4757	80	44.2	71.2	41.2	71.4	36.7	71.8	33.0	72.4	31.4	72.9	30.7	73.1
2.4757	95	40.1	61.2	37.2	61.4	32.8	61.9	29.7	62.4	27.5	62.9	26.8	63.0
2.4757	99	40.0	55.4	37.1	55.7	32.6	56.2	29.6	58.7	27.3	57.2	26.7	57.3
3.7126	1	39.7	73.0	38.1	72.9	35.4	72.8	33.5	72.8	32.1	72.9	31.7	72.9
3.7126	30	30.3	64.0	29.3	64.0	27.7	64.7	26.4	64.7	25.4	64.0	25.1	64.0
3.7126	50	24.7	58.8	23.9	58.8	22.6	58.7	21.6	58.7	20.9	58.8	20.6	58.8
3.7126	80	20.3	49.7	19.5	49.7	18.2	49.7	17.2	49.7	16.6	49.7	16.3	49.7
3.7126	95	20.0	43.6	18.1	43.6	17.8	43.5	16.8	43.5	16.1	43.6	15.9	43.6
3.7126	99	20.0	38.0	10.2	38.8	17.3	38.8	16.9	38.8	16.1	38.8	15.9	38.8

^a σ_x = critical top of slab tensile stress (44 inches from the edge of the slab)
^b σ_b = critical bottom of slab tensile stress (100 inches from the edge of the slab)

ÖRNEK MALİYET ANALİZİ

1 kilometre <u>40Kg dramix içerikli beton yol</u> yaklaşık maliyet analizi iki yönlü 2 şeritli						
						Maliyetler
1	KYB Beton		<i>135TL/m3</i>			
	1.doğrultu	0,3	7	1000		
					2100	
	2.doğrultu	0,3	7	1000		
					2100	
					Toplam	4200m3
						567.000 TL
2	Dramix		<i>3300TL/t</i>			
		1	0,04	4200		
					168	
					Toplam	168 ton
						554.400 TL
3	Kalıp hazırlanması		<i>27,9 TL/m2</i>			
	1.doğrultu	0,3	2	1000		
					600	
	2.doğrultu	0,3	2	1000		
					600	
					Toplam	1200m2
						33.480 TL
Maliyet analizinde kabullere dayalı miktarlar kullanılmıştır. Birim fiyatlar KGM, MSBve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatları ile piyasa araştırması değerleridir. (2013)						GENEL TOPLAM 1.154.880TL/km

ÖRNEK MALİYET ANALİZİ

1 kilometre <u>klasik beton yol</u> yaklaşık maliyet analizi iki yönlü 2 şeritli						
						Maliyetler
1	Klasik Beton(C30)		<i>125 TL/m³</i>			
	1.doğrultu	0,3	7	1000		
					2100	
	2.doğrultu	0,3	7	1000		
					2100	
					Toplam	4200m³
						525.000 TL
2	Ankraj (sehpalı)		<i>15 TL/adet</i>			
		(adet/m) 4	(yol genişliği) 14	(derz sayısı)160		
					8960	
					Toplam	8960 adet
						134.400 TL
4	Derz bandı		<i>13,85 TL/m</i>			
		1	14	160		
					2240	
					Toplam	2240 m
						31.024 TL
5	Derz kesimi ve dolgusu		<i>7,11 TL/m</i>			
		1	14	160		
					2240	
					Toplam	2240 m
						15.926,4 TL
6	Kalıp hazırlanması		<i>27,9 TL/m²</i>			
	1.doğrultu	0,3	2	1000		
					600	
	2.doğrultu	0,3	2	1000		
					600	
					Toplam	1200m²
						33.480 TL
Maliyet analizinde kabullere dayalı miktarlar kullanılmıştır. Birim fiyatlar KGM, MSBve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatları ile piyasa araştırması değerleridir. (2013)						
						GENEL TOPLAM
						739.830,40 TL

EK - 5

ÖRNEK MALİYET ANALİZİ

1 kilometreBSK(asfalt) yol yaklaşık maliyet analizi iki yönlü 2 şeritli						
						Maliyetler
1	Alt temel		<i>21,27TL/t</i>			
	1.doğrultu	0,6	7	1000		
					4200	
	2.doğrultu	0,6	7	1000		
					4200	
						8400m3
		1	8400	1,8		
					15120	
					Toplam	15120t
						321.602 TL
2	Temel tabakası(14cm)		<i>14,06TL/m2</i>			
		2	7	1000		
					14000	
					Toplam	14000 m2
						196.840 TL
4	7cm Binder tabakası		<i>8,17 TL/m2</i>			
		2	7	1000		
					14000	
					Toplam	14000 m2
						114.380 TL
Maliyet analizinde kabullere dayalı miktarlar kullanılmıştır. Birim fiyatlar KGM, MSBve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatları ile piyasa araştırması değerleridir. (2013)						
GENEL TOPLAM						632.822,00 TL

KAPLAMA MALİYETLERİ KIYASLAMA ÇİZELGESİ	
Tip	Maliyet (TL/km)
1) Bsk Kaplama	632.822 TL/km
2) Klasik Beton Yol	739.830,4 TL/km
3) CRCP tipi çelik lifli KYB'li yol	1.154.880 TL/km
Maliyet hesapları kabullere göre yapılmıştır. Fiyat analizlerindeki birim fiyatlar KGM, MSB, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gibi kuruluşlara aittir.	