

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETON YOLLARDA YENİ TEKNOLOJİLER
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILAN BETON**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oktay ÇETİN

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Ulaştırma Mühendisliği

HAZİRAN 2009

**BETON YOLLARDA YENİ TEKNOLOJİLER
SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILAN BETON**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Oktay ÇETİN
501041413**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Mayıs 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 2 Haziran 2009**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Murat ERGÜN (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Osman Nuri ÇELİK (SÜ)
Yrd. Dç. Dr. Şükriye İYİNAM (İTÜ)**

HAZİRAN 2009

ÖNSÖZ

Bu çalışmada; rijit üstyapıların, teknik ve ekonomik üstünlükleri üzerinde durulmuş ve geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olan Silindir ile Sıkıştırılan Betonun yol inşaatlarında kullanılma olasılığı araştırılmıştır.

Tez çalışmasının tüm aşamalarında göstermiş olduğu sabırlı yaklaşım ve yardımları sebebiyle sayın Hocam Doç Dr. Murat ERGÜN'e ve her zaman yanımda olarak bana güç veren eşim Nihan ÇETİN'e teşekkür ederim.

Bu konu ile ilgili çalışmaların faydalı olmasını dilerim.

Haziran 2009

Oktay Çetin
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖNSÖZ | iii |
| İÇİNDEKİLER | v |
| KISALTMALAR | vii |
| ÇİZELGE LİSTESİ..... | ix |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xi |
| ÖZET..... | xiii |
| SUMMARY..... | xv |
| 1. GİRİŞ ve ÇALIŞMANIN AMACI | 1 |
| 2. RİJİT ÜSTYAPILARIN TARİHÇESİ | 3 |
| 3. ÜSTYAPI TİPİ SEÇİM ESASLARI..... | 7 |
| 3.1 Üstyapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler..... | 7 |
| 3.2 Üstyapı Tipi Seçiminde Ekonomik Ölçütler..... | 11 |
| 3.3 Rijit Üstyapı - Esnek Üstyapı Karşılaştırması | 16 |
| 4. DÜNYADAKİ ve ÜLKEMİZDEKİ RİJİT ÜSTYAPI UYGULAMALARI...25 | |
| 4.1 Fransa..... | 28 |
| 4.2 Avusturya..... | 29 |
| 4.3 Almanya..... | 30 |
| 4.4 Hollanda..... | 32 |
| 4.5 Belçika | 33 |
| 4.6 Amerika Birleşik Devletleri..... | 35 |
| 4.7 Türkiye..... | 35 |
| 4.7.1 Adana'da ilk rijit üstyapı uygulamaları..... | 36 |
| 4.7.2 Afyonkarahisar'daki rijit üstyapı uygulamaları..... | 38 |
| 5. RİJİT ÜSTYAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER | 41 |
| 5.1 Çimento Bağlayıcılar..... | 41 |
| 5.1.1 Çimentonun Özellikleri | 42 |
| 5.1.1.1 Çimentonun fiziksel özellikleri | 42 |
| 5.1.1.2 Çimentonun mukavemet özellikleri..... | 43 |
| 5.1.1.3 Çimentonun rötre özellikleri | 45 |
| 5.2 Agregalar | 47 |
| 5.3 Çelik Donatılar | 55 |
| 5.4 Karma Suyu | 56 |
| 5.5 Katkı Maddeleri | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 5.6 Beton Koruma (Kür) Malzemeleri | 58 |
| 5.7 Derz Dolgu Malzemeleri | 59 |
| 6. RİJİT ÜSTYAPI TİPLERİ..... | 61 |
| 6.1 Derzli Donatısız Tipteki Rijit Üstyapılar | 61 |
| 6.2 Derzli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar..... | 62 |
| 6.3 Sürekli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar | 63 |
| 7. SİLİNDİR İLE SIKIŞTIRILAN BETONLAR | 65 |
| 7.1 SSB Üretiminde Kullanılan Malzemeler | 68 |
| 7.2 SSB Karışım Tasarımı | 71 |
| 7.3 SSB Kaplamalar İçin Tasarım Yöntemleri | 73 |
| 7.3.1 Karıştırma ve taşıma | 74 |
| 7.3.2 Serme | 75 |
| 7.3.3 Sıkıştırma | 75 |
| 7.3.4 Derzler | 76 |
| 7.3.5 Kür işlemi..... | 76 |
| 7.4 Üstünlük ve Sakıncaları | 76 |
| 7.4.1 Üstünlükleri..... | 76 |
| 7.4.2 Sakıncaları | 80 |
| 8. SONUÇLAR..... | 81 |
| KAYNAKLAR | 83 |
| ÖZGEÇMİŞ..... | 85 |

KISALTMALAR

| | |
|-------------|--|
| AC | : Asphalt Cocnrete |
| ATB | : Asphalt Treated Base |
| CBR | : California Bearing Ratio |
| CRCP | : Continuously Reinforced Concrete Pavements |
| CTB | : Cement Treated Base |
| JPCP | : Jointed Plain Concrete Pavements |
| JRCP | : Jointed Reinforced Concrete Pavements |
| KGM | : Karayolları Genel Müdürlüğü |
| PCA | : Portland Cement Association |
| PCC | : Portland Cement Concrete |
| SSB | : Silindirle Sıkıştırılan Beton |

ÇİZELGE LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 3.1 : Teknik parametrelere göre üstyapı seçimi | 11 |
| Çizelge 3.2 : Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi | 16 |
| Çizelge 3.3 : Rijit esnek üstyapı kıyaslaması | 23 |
| Çizelge 4.1 : AB ülkeleri ve ülkemizde karayolu varlığına ilişkin bazı göstergeler | 26 |
| Çizelge 4.2 : Avusturya karayollarının üstyapı tiplerine göre yol uzunlukları. | 29 |
| Çizelge 5.1 : Çimento bileşiklerinin yaydıkları hidrasyon ısıları | 44 |
| Çizelge 5.2 : Beton agregalarının özellikleri | 49 |
| Çizelge 5.3 : Beton agregasında maksimum yabancı madde miktarı (TS 706) | 53 |
| Çizelge 5.4 : Beton çelik çubukları ve çelik hasırları sınıflandırma ve özellikler | 56 |
| Çizelge 7.1 : SSB ve geleneksel beton kaplaması üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması | 69 |
| Çizelge 7.2 : Agregada gradasyon sınırları | 70 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> | |
|--------------------|---|----|
| Şekil 2.1 : | 1920 ile 1930'lu yıllarda rijit üstyapı uygulamaları | 3 |
| Şekil 2.2 : | Kayar kalıp sistemi ile rijit üstyapı uygulaması | 5 |
| Şekil 3.1 : | Esnek ve rijit yol üstyapılarında yük dağılımı | 8 |
| Şekil 4.1 : | Berlin yakınlarında 1930'lu yıllarda inşa edilen Alman otobanı rijit üstyapısı | 31 |
| Şekil 4.2 : | Dreve de Lorraine Karayolu, Brussels; 1925 yılında boyuna derz olmadan inşa edilmiş olan derzli rijit üstyapı | 34 |
| Şekil 4.3 : | Adana Mavi Bulvar (Yapım yılı: 1986, 2x2 şerit) | 36 |
| Şekil 4.4 : | Adana Turgut Özal Bulvarı (Yapım yılı: 1986/1987, 2x3 şerit) | 37 |
| Şekil 4.5 : | Adana Adnan Menderes Bulvarı (Yapım yılı: 1987, 2x2 şerit) | 37 |
| Şekil 4.6 : | Adana Özdemir Sabancı Bulvarı (Yapım yılı: 1994, 2x2 şerit) | 37 |
| Şekil 4.7 : | Adana İncirlik Hava Üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü | 38 |
| Şekil 6.1 : | Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar | 62 |
| Şekil 6.2 : | Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar | 63 |
| Şekil 6.3 : | Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar | 64 |
| Şekil 7.1 : | Willow Creek Barajı | 66 |
| Şekil 7.2 : | Agrega gradasyonu karşılaştırması | 72 |
| Şekil 7.3 : | Kaplama maliyetlerinin karşılaştırılması | 77 |
| Şekil 7.4 : | Beton asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri | 78 |
| Şekil 7.5 : | Beton asfalt ve beton kaplamalarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi | 79 |
| Şekil 7.6 : | Beton asfalt ve beton kaplamalarda gece görüşü | 79 |

BETON YOLLARDA YENİ TEKNOLOJİLER SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILAN BETON

ÖZET

Bu çalışmada, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olan Silindir ile Sıkıştırılan Beton kaplama yöntemi ortaya konmuştur.

Sıkıştırılmış beton; hızlı inşa edilebilir, sağlam ve devamlı bir beton olarak kullanıldığı baraj inşaatı teknolojisinden uyarlanmıştır. Yol inşaatlarında, silindirle sıkıştırılmış beton genel olarak temel tabakalarında taşıma tabakası olarak kullanılmakla beraber kaplama tabakası veya kaplama tabakasının bir katmanı olarak da kullanılabilir.

Karayollarında, kaplama tabakası çimento betonundan yapılan rijit üstyapı, kaplama tabakası asfalt betonu olan esnek üstyapı ve bu iki yapının beraber kullanıldığı kompozit üstyapı olmak üzere değişik tipte üstyapılar bulunmaktadır. Çalışmada, ara tipler ihmal edilerek birbirinden tamamen farklı olan esnek ve rijit üstyapılar, çeşitli seçim ölçütleri çerçevesinde karşılaştırılmıştır. Bu seçim ölçütleri temel anlamda teknik ve ekonomik ölçütler olmak üzere ayrılmış ve üstyapı tipi seçimi yapılırken bu ölçütlerle beraber ülke koşullarının da dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Gelişmiş ülkeler dahil hemen her ülkede yolcu ve yük taşımada karayolu taşımacılığının önde olduğu görülür. Çalışmada, dünyadaki ve ülkemizdeki rijit üstyapı uygulamaları örnekler verilerek ortaya konmuş ve beton yolların Türkiye’de özellikle ağır trafik yükü olan, zayıf zemin özellikleri gösteren, sıcak iklimli bölgelerde tercih edilen bir üstyapı tipi olabileceği öngörülmüştür.

Rijit üstyapı tipleri ve rijit üstyapılarda kullanılan malzemeler hakkında bilgi verilen çalışmada ideal bir beton için mukavemet, işlenebilirlik ve durabilitenin aynı anda sağlanması gerekliliği ortaya konmuştur.

Çalışmanın geri kalan bölümleri geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılan silindirle sıkıştırılmış betonun oluşumu, tabaka inşası, mekanik özellikleri ve uygulama alanları hakkında bilgi verecektir. Silindirle sıkıştırılmış betonun geleneksel beton kaplamaya göre düşük çimento, uçucu kül ve su oranına sahiptir, ancak SSB’de ince agrega oranı yüksektir.

Ülkemizde kaçınılmaz bir gereklilik olan rijit üstyapıların gerek kaynak gerekse mühendislik (uygulama) açısından son derece avatajlı olduğu ve yeni bir rijit üstyapı tipi olan Silindir ile Sıkıştırılan Beton kaplamanın havaalanı pist ve taksi yolları, lojistik depolar, konteyner yükleme sahaları, tank park alanları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu düşük hızlı ve ağır taşıt trafiğine sahip yollarda uygun bir seçim olacağı sonucuna varılmıştır.

NEW TECHNOLOGIES IN RIGID PAVEMENTS ROLLER COMPACTED CONCRETE

SUMMARY

Roller Compacted Concrete pavement, which is a new pavement technology compared to conventional Rigid pavements are presented in this study.

Roller concrete has been adopted from dam-building technology, where it is used as a rapidly constructed and durable solid concrete. In road construction, roller compacted concrete is predominantly used in foundations, as a supporting layer. For surfacing or as a layer of surfacing.

There are different types of pavements for highways such as rigid pavements bonded by cement concrete, flexible pavements bonded by asphalt and composite pavements includes both type. Rigid pavements and flexible pavements which are completely different from each other are compared by various criterions. These criterions are divided basicly as technical and echnomical measurements and it`s emphasized to take the conditions of the country into consideration while the type of pavement is being choosen.

Even in developed countries highway transportation is the first choice for both passenger transportation and freight business. Rigid pavement applications from our country and from the different sides of world are presented in this study and it has been foreseen that rigid pavements can be a selection in our country specially under heavy traffic loads and at regions with lean base and warm climates.

Rigid pavement types and the materials used for this pavement type are displayed at this study and it has been observed that for an ideal concrete three characteristics; high workability, high strength, and high durability should be provided.

The rest of the study will give information about the composition and the layer construction, as well as about the mechanical properties, execution and application areas of roller compacted concrete pavement, which is a new pavement technology compared to conventional rigid pavements. Roller compacted concrete contains lower cement, water and fly ash content but relatively small grain diameter compared to conventional concrete

It has been observed that rigid pavements which has unavoidable necessity in our country has advantages both on material sources and on engineering applications and it has been concluded that the new rigid pavement technology Roller Compacted Concrete pavement is an adequate selection for low speed, heavy traffic applications such as airport runway and taxi roads, logistic depots, container loading areas, tank parking areas.

1. GİRİŞ ve ÇALIŞMANIN AMACI

Yol üstyapıları imal edildikleri malzemeye bağlı olarak, esnek yapılar ve rijit yapılar olmak üzere ikiye ayrılır.

Esnek yol üstyapıları, yüzey tabakaları bitümlü malzeme, temeli bitümlü ya da granüler malzeme olabilen, alttemeli daima granüler malzeme olan üstyapılardır.

Rijit üstyapılar ise yüzey tabakası Portland çimentosu betonu olan ve bazen granüler bir alttemel tabakası üzerine oturan kaplamalardır.

Portland çimentosu günümüzde dünyadaki bir çok yapıda tercih edilen madde olarak ortaya çıkmıştır. Bunun sebebi betonarme yapıların inşa, malzeme ve bakım maliyetlerinin düşük olmasına bağlanabilir. Betonun dayanıklı olması ve kısa sürede inşa edilebilmesi gibi iki önemli çekici etken düşünülünce, beton teknolojisinde sürekli gelişmeler olması yadırganamaz.

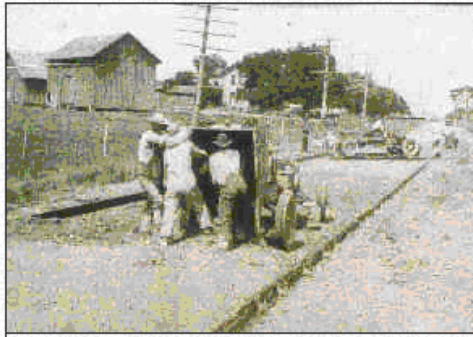
Ülkemiz karayollarında 1950 yılından bu yana uygulanmaya devam eden bitümlü kaplamaların; dünyada petrol fiyatlarındaki artışın beraberinde getirdiği bitümlü malzeme fiyat artışları ve ülke trafiğinde ağır taşıt oranının toplam trafik içinde %50'nin üzerinde pay alması sebebiyle yola verdikleri yıpranma zararı hesaba katıldığı vakit mevcut yol ağımızı oluşturan esnek yol üstyapılarının yeni teknolojilerle desteklenmesi gereği aşikardır.

Bu çalışmada; rijit üstyapıların, teknik ve ekonomik üstünlükleri üzerinde durulmuş ve geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olan Silindir ile sıkıştırılan beton (SSB) kaplamaların yol inşaatlarında kullanılma ihtimali araştırılmıştır.

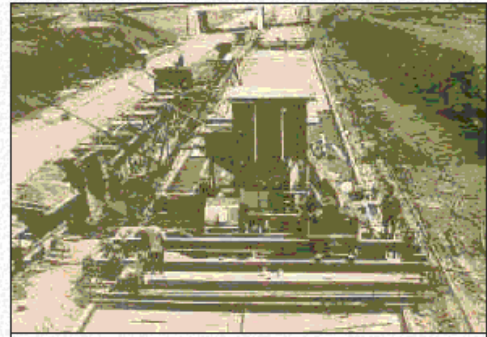
2. RİJİT ÜSTYAPILARIN TARİHÇESİ

Eski çağlarda kireç-puzolan harcı ile bağlanmış taş ve agregalardan oluşan yol kaplamalarının kullanıldığı bilinmektedir. Belgelemiş olan ilk rijit üstyapı Amerika Birleşik Devletleri- Ohio Bellefontin kasabasında George Batholomew tarafından 1891 yılında inşa edilmiştir. George Batholomew bu proje girişiminden önce yapacağı üstyapının en az 5 yıl dayanacağına dair 5000 dolarlık garanti bedeli yatırmak zorunda kalmıştır. Ancak yapacağı üstyapının 100 yıldan daha uzun bir süre için hizmet vereceğini düşünmemiştir veya rijit üstyapılar adına sahip olduğu düşüncenin dünyanın her bir yanına yayılacağını bilememiştir. 12 Kasım 1991'de Batholomew'in torunları, kasaba halkı ve ilgili resmi devlet daireleri Amerika'da rijit üstyapıların doğuşunun yüzüncü yılını kutlamak için bir araya gelmişlerdir. [8]

1920 ile 1930 yılları arasında rijit ve diğer tip üstyapıların taşınma, yerleştirme, sıkıştırma ve tamamlama işlemleri elle yapılan iş gücüne dayanmaktaydı.



1920'li yıllarda ABD'de sabit-kalıp ile beton kaplama uygulaması



1930'lu yıllarda Almanya'daki mekanik beton kaplama uygulaması

Şekil 2.1 : 1920 ile 1930'lu yıllarda rijit üstyapı uygulamaları. [8]

Amerika Birleşik Devletlerinde motorlu taşıt kullanımının artışı ile rijit üstyapılar için belirli koşulların belirlenmesi gereği ortaya çıktı. Bundan dolayı, daha iyi yol yapım metotları ile tanışılmış olundu ve mekanik kaplama doğmuş oldu.

Beton yolların yaygınlaşması 20.Yüzyılın ortalarına doğru hız kazandı. Yüzyılın ilk yarısında A.B.D.'ye ilaveten Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar yapılmıştır. 1930' lu yıllarda 2. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4000 km'yi bulmuştur. 1945-1975 yılları arasında İngiltere'deki rijit üstyapıların çoğu, kaplamanın her iki yanına yerleştirilmiş olunan raylar üzerinde ilerleyen mekanik kaplayıcılar aracılığı ile yapılmaya başlanmıştır. A.B.D. de 1957 yılında başlayan "Eyaletlerarası Otoyol Sistemi" tamamlandığında önemli bölümü beton kaplama olarak 60 000 km'den fazla yol yapılmıştır. Bu gün A.B.D. de bazı büyük şehirlerin çevre yolları da beton kaplamadır. Son 50 yıl içerisinde Belçika, Fransa, Almanya ve Avustralya' ya ilaveten Avusturya, İspanya, İngiltere, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde beton yollar yapılmıştır. Son yıllarda Hindistan ve Çin'de büyük beton yol projeleri başlatılmıştır. [9]

Zamanla yüksek verimlilik ve uygulanabilirlik özelliğinden dolayı kayar-kalıp sistemi ile kaplama işlemi en çok kullanılan metot haline gelmiştir. Kayar-kalıp tipli kaplayıcılar kenar kalıplarına ihtiyaç duymadan hazırlanmış alt-temel üzerinde hareket ederek gerekli sıkıştırma ve düzeyeleme işlemini aynı anda gerçekleştirebilirler.

Kayar-kalıp sistemi, Iowa Eyaleti Karayolları komisyonunda malzeme mühendisi olarak çalışan J. W. Johnson tarafından geliştirilmiştir. [8]

Günümüzdeki mekanik kaplama araçları eskiye göre daha karmaşık hale gelmiş ve otomatikleştirilmiştir. Bu tip araçlar birden fazla şeridi tek bir geçişte yerleştirebilmektedirler.



Şekil 2.2 : Kayar kalıp sistemi ile rijit üstyapı uygulaması [8]

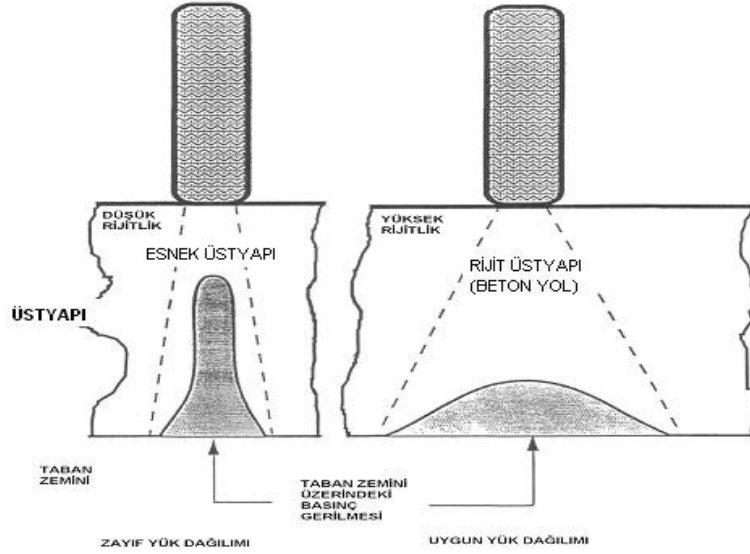
3. ÜSTYAPI TİPİ SEÇİM ESASLARI

Günümüzde, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, yeni karayolu yapmaktan çok, mevcut karayolu üstyapılarının gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde yenilenmesi önem kazanmaktadır. Gerek yeni karayolu yapımında, gerekse üstyapı yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Zira karayollarında üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konu özelliği taşımaktadır. Seçim yapılırken, üstyapı tipleri teknik ve ekonomik bakımdan karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak, karara varılmalıdır.

3.1 Üstyapı Tipi Seçiminde Teknik Ölçütler

Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi

Yol üstyapısını, esnek ve rijit olmak üzere iki esas gruba ayırmak olanaklıdır. Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme ve tahrip olma şekilleri yönünden farklılık göstermektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Esnek ve rijit yol üstyapılarında yük dağılımı [3]

Alttemel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapılar, altyapının deformasyonlarına kolayca uyabileceğinden, zayıf ve sıkışabilir taban zeminleri için uygun gibi görünmektedir. Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibi olmakta, yani, tekerlek yükleri altında esnek üstyapı, deforme olmakta ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Böylece, taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olmaktadır. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri, yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilmektedir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşmaktadır. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise, beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılmaktadır. Beton plağın elastisite modülü taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu bakımdan beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Taban zemini ile sürekli temas halindeyken, beton yol zemine oturan elastik kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı olmayacaktır. Bu nedenle, rijit üstyapılar zayıf taban zeminleri üzerinde esnek

üstyapılara nazaran daha iyi sonuç vermektedir. Çek Cumhuriyeti, Avusturya, Hollanda, ABD ve İngiltere gibi birçok ülkenin teorik çalışmaları ve deneyimleri de bu hususun doğruluğunu ortaya koymuş bulunmaktadır. [1]

Trafik

Trafik hacmi ve yıllık trafik artış oranı yüksek, ayrıca trafik içindeki ağır taşıt miktarı yüksek olan yollar için rijit üstyapı daha uygun olmaktadır. Çelik lif takviyeli beton yollar ve sürekli betonarme yollar, normal beton yola nazaran daha pahalı olmakla birlikte, son yıllarda ABD’de ve çok az sayıda Avrupa ülkesinde (Belçika’da) yoğun trafik yükleri taşıyan yolların kaplanması ve onarımında kullanılmaktadır. Beton yollar, endüstrileşme düzeyi ne olursa olsun, bütün bölgelerde uygulanabilir bir teknolojiye sahip bulunmaktadır. Düşük trafik artışları halinde ise, kademeli inşaata elverişli esnek üstyapı ile gelişen trafiğe cevap vermek mümkün olabilmektedir. [1]

İklim

Mevsimler arasında büyük sıcaklık farklılıkları bulunan, kara ikliminin hakim olduğu bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması nedeniyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi güç olmaktadır. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak bu durumda, beton plaklar arasındaki derzler kışın çok açılacaktır. Bu da pompaj olayını kolaylaştırmaktadır. Derz boşluklarını uygun malzeme ile doldurmak, kayma demiri kullanmak ve beton plak ile taban zemini arasına granüler malzemedan “kaplama altı” tabakası oluşturmak suretiyle pompaj olayı sakıncası giderilebilmektedir. [1]

Malzeme

Asfalt betonunda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm, termoplastik bir malzeme olup, sıcaklığa bağlı olarak gevrek elastik, elasto-plastik, viskoelastik ve viskoz olmak üzere değişik reolojik hallerde bulunmaktadır. Bitümün bu özelliği asfalt betonunun özelliklerine de yansımaktadır. Bu nedenle, asfalt betonunun plente hazırlanması, yola serilmesi ve yolda sıkıştırılması sırasında, şartnamede belirtilen sıcaklık değerlerine titizlikle uyulması gerekmektedir. Beton yolda bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun özellikleri sıcaklığa bağlı olmadığından, bu sakınca bulunmamaktadır.

Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkileri, yükleme hızının ve sıcaklığın fonksiyonu olduğundan, çimento betonu gibi sabit bir elastisite modülü ve Poisson oranı bulunmamaktadır. Üstyapı projelendirme yöntemleri genellikle elastik varsayımlara dayandığından, esnek üstyapıların projelendirilmesi, rijit üstyapıya göre daha karmaşıktır. Bu güçlük yolun takviyesi sırasında da kendini göstermektedir.

Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapımından birkaç yıl sonra, bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin ortamdaki uzaklaşması ve bağlayıcının okside olması ile bozulmaktadır. Bitümlü bağlayıcıların “yaşlanması” adı verilen bu olay, bağlayıcının sertleşmesi, daha az uzaması, agregaya adezyonun azalması şeklinde kendini göstermektedir.

Rijit üstyapılarda, sıcaklık ve nem farkı ile, trafik yüklerinden ileri gelen gerilmeler altında beton plak çatlayabilmekte, bu bakımdan, çatlamayı önlemek ve çatlakların belirli yerlerde oluşmasını sağlamak amacıyla derzler yapılarak, kaplamayı serbest hareket eden plaklar halinde bölmek gerekmektedir. Diğer taraftan, ani sıcaklık değişimleri beton plağın altı ve üstü arasında sıcaklık farkı doğurmakta, plağın kamburlaşmasına, eğilme gerilmelerinin artmasına yol açmaktadır. Nem farkı da benzer etkiler yaratmaktadır. [1]

Onarım ve Bakım Kolaylığı

Beton yolun trafiğe açılabilmesi için, betonun prizini tamamlamasını beklemek gerekmektedir. Bu ise, yapım ve onarım sırasında yolun kısmen veya tamamen trafiğe kapatılmasını gerektirmektedir. Yolu trafiğe tamamen kapatma halinde, servis yolu yapılmakta ve bu da doğal olarak ek bir maliyete neden olmaktadır. Buna karşılık, bitümlü kaplamaların yapım ve onarımında, bitümlü bağlayıcının kurummasına yetecek kadar bir zaman geçmesi üzerine, yani yapımdan birkaç saat gibi kısa bir zaman sonra yolu trafiğe açmak mümkün olabilmektedir. Ancak, bitümlü kaplamalar, çimento betonu yollara nazaran daha kolay bozulmakta, dolayısıyla da daha sık bakım ve onarım gerektirmektedir. [1]

Konfor ve Güvenlik

Her iki kaplama türü, ilk yapıldığında, güvenli, konforlu ve zevkli bir seyir sağlamaktadır. Beton yollar açık renkleri nedeniyle, gece koşullarında kolay görünmekte, siyah renkli asfalt betonu yollarda ise, durum tam tersi olmaktadır.

Üstyapı seçimini etkileyen teknik parametreler Çizelge 3.1’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.1 : Teknik parametrelere göre üstyapı seçimi. [3]

| Üstyapı Tipi Teknik Parametre | Esnek Üstyapı (Kaplama tabakası asfalt betonu-BSK) | Rijit Üstyapı (Kaplama tabakası çimento betonu) |
|--|--|---|
| Taban zemini taşıma değeri (CBR) 20 > CBR > 6 CBR < 6 | + - | + + |
| Trafik Büyük trafik hacmi Yüksek yıllık artış oranı Düşük yıllık artış oranı Yüksek ağır taşıt oranı | ++ - + - | ++ ++ - ++ |
| Yüksek sıcaklık (ve farkı) | - | ++ |
| Onarımdan kaynaklanan gecikme | - | + |

Çizelgede (+ veya ++) işareti uygun olma durumunu, (-) işareti ise, elverişsiz olma durumunu göstermektedir.

3.2 Üstyapı Tipi Seçiminde Ekonomik Ölçütler

Ekonomik karşılaştırma yapılabilmesi için, farklı zamanlarda yapılan harcamaların aynı yıla dönüştürülmesi, güncellenmesi gerekmektedir. Güncelleme için, faiz ve iskonto hesaplarından faydalanılmaktadır. Üstyapı tipi seçiminde göz önüne alınacak ekonomik ölçütler dört başlık altında toplanmaktadır:

1- Toplam Ekonomik Maliyet

Üstyapı tipi seçiminin en önemli ölçütü, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk yapım maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle ortaya çıkacak kullanma açısından gecikme maliyetlerinin toplamı olmaktadır. [1]

• İlk Yapım Maliyeti

Bir üstyapının ilk yapım maliyeti hesaplanırken, aşağıda belirtilecek bazı çalışmaların yapılması gerekmektedir. Bunlar:

- Kullanılacak malzemelerin cins, miktar ve kaynaktaki maliyetlerinin tespiti,
- Malzemelerin taşıma maliyeti,
- İşçilik giderleri,
- İnşaat makineleri ile ilgili masraflar ve
- Sabit masraflar

olarak sıralanabilir.

Beton yolların ilk yapım maliyeti genellikle asfalt yollardan yüksektir. Ancak, asfalt üretiminde kullanılan ham petrolün çok büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bugün çimento üretimi bakımından Dünyanın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemizde 5 adet rafineriye karşılık, ülkenin bütün bölgelerine dağılmış ve uluslararası standartlara uygun çok sayıda çimento fabrikası ve hazır beton üretim tesisi bulunmaktadır. Bu bakımdan beton yollar asfalt yollara göre, malzeme bakımından, daha avantajlı görünmektedir.

• Bakım-Onarım Maliyeti

Trafik ve iklim koşulları yolun bozulmasına neden olan iki önemli etkidir. Bu etkilere karşı koymak, düzenli bakım yapmak suretiyle sağlanabilmektedir. Optimum bir bakım programında en önemli husus, üstyapının durumunun iyi bir şekilde bilinmesi olmaktadır.

Rijit üstyapılar, 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmektedir. Beton yollarda yüzey yenileme ve takviye işlemlerine gerek duyulmamaktadır. Projelendirme ve yapım işlemlerinin uygun şekilde gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirmektedir. Beton kaplamaların zor ve pahalı onarımlara neden olabilecek projelendirme ve yapım hatalarına esnek üst yapılardan daha duyarlı olması nedeniyle, başlangıçtan itibaren yüksek projelendirme ve yapım standartlarına göre yapılması gerektiği vurgulanması zorunlu bir husus olmaktadır.

Diğer yandan, beton yollarda, derzi oluşturan iki komşu beton plak arasına konmuş olan bağlantı demirleri, bu plakların birbirine kıyasla düşey yönde hareket etmesini önlemektedir. Gerek trafik yükü etkisi, gerekse ısı koşulları nedeniyle, plakların yatay yönde gözle seçilemeyecek düzeyde yer değiştirmeler yapması kaçınılmaz olup, esasen bu durum, dilatasyon derzinin de yapım amacını oluşturmaktadır. Derz dolgu maddesi, zaman içinde meydana gelen sürekli genleşme ve büzülme etkisiyle, istenen niteliğini kaybetmekte, ayrıca komşu plakların derze bitişik kenar ve köşeleri de zamanla aşınmakta veya kırılmaktadır. Böylece, derz bölgesi, beton yolun içine ince malzemelerin girmesine yol açan ve su geçişine izin veren zayıf bir kesit haline gelmektedir. Bu durumda, önce derz boşluğu tamamen boşaltılıp, beton kenarlar ve yüzeyleri tel fırçalarla iyice temizlenmekte ve temiz hale gelen derz boşluğu, alt dolgu malzemesi olan dilatasyon latası konduktan sonra dökülen mastik asfalt ile doldurulmaktadır. Hava kabarcıklarının çıkmasından sonra da üst yüzey kum ile örtülmektedir.

Genellikle 20 yıllık bir süre için projelendirilen esnek üstyapılar, rijit üstyapılardan oldukça farklı bir bakım ve onarım ömrüne sahiptir. Esnek üstyapılı yollarda görülen yerel bozuklukların her kış mevsimi sonunda bakımı dışında, ilk 5 yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilme, 10. yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi ve pürüzlendirilmesi gerekmekte, bir 5 yıl daha geçtikten sonra, ilk 5. yıldaki gibi yüzey yapısını restore etmek gerekmektedir. 20 yıl sonunda ise, esnek üstyapılı yol tasarım ömrünün sonuna geleceğinden, yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi zorunlu olmaktadır. Bunların dışında, temel ve alttemel tabakalarının onarım ve değiştirilmesi gibi çok önemli bakım çalışmaları gerekli olabilmektedir.

- ***Yolu Kullananlara Maliyet***

Normal durumlarda, lastik eskimesi, yağ, yakıt tüketimi gibi işletme masrafları, her iki üstyapı tipinde eşit durumda bulunmaktadır. 20-30 yıllık hizmet ömrü süresinde, yol bakım çalışmalarının yol açtığı gecikmeler esnek üstyapılarda büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır. Beton yollarda bu sakınca yok denecek kadar azdır. [1]

2- Ülkede Mevcut Yolların Üstyapı Durumu

Mevcut bir yol üstyapısının takviyesi için beton yollar ekonomik olmamaktadır. Bu nedenle, ülkedeki yolların üstyapısının esnek olması halinde, takviyenin asfalt kaplama ile yapılması uygun olmaktadır. Üstyapının temel ve kaplama tabakalarının değiştirilmesinin gerekli olduğu yenileme çalışmalarında ancak rijit üstyapı seçeneği de dikkate alınabilmektedir.

3- Finansman Kaynakları ve Güncelleme (İskonto) Oranı

Üstyapı tipinin seçimi, bu yapım işinin finanse edilme şekli de etkilenmektedir. Bu açıdan, yalnızca yapım giderlerinin finanse edildiği durumlarda rijit üstyapılar tercih edilmektedir. Bunun tersine, artan trafiğe cevap verebilmek için art arda tabakaların yapılması gibi bir kademeli inşaat stratejisi gerektiren, sınırlı yatırım kaynakları ve yüksek iskonto oranı gibi durumlarda, esnek üstyapıları kullanmak daha avantajlı olmaktadır. Ancak, bu tip stratejilerde üstyapıyı sürekli olarak yeterli bir hizmet düzeyinde tutmak için yüksek bakım fonları gerekmektedir. [1]

4- Enerji Tüketimi

Enerji sorunlarının ciddilik düzeyi, zamana ve ülkelere göre değişkenlik göstermektedir. Buna ek olarak, yol yapımında kullanılan enerji, bu yolları kullanan taşıtların yakıt tüketimi yanında genellikle az kalmaktadır. Buna karşılık, kaplama yapım stratejisinin seçiminde, en önemli ölçütler olan yapım ve bakım giderlerinin yanı sıra, problemin enerji yönü de dolaylı olarak seçimi etkileyebilmektedir.

Fransa'da yol yapım, bakım ve onarım çalışmalarında harcanacak enerji miktarlarının, esnek ve rijit üstyapılar için hesaplanıp karşılaştırılması sırasında, malzemelerin elde edilmesi, taşınması, yol için gerekli karışımların hazırlanması, yola serilmesi için tüketilen enerji miktarları dikkate alınmıştır.

Karşılaştırma sonunda bulunan sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilmektedir.

- Asfalt enerji veren bir madde olarak alınır, günlük ortalama trafiğin 3000'in üstünde olması halinde, rijit üstyapıların yapımı esnek üstyaplardan daha az enerji gerektirmektedir. [1]
- Asfalt, enerji vermeyen bir malzeme gibi düşünülürse, rijit üstyapılarda esnek üstyapıdan fazla enerji kullanıldığı görülmekte, trafik hacmi düştükçe bu fark artmaktadır. [1]
- Yüksek trafik hacmi halinde, 25 yıllık bir periyot için, beton yolların bakımında esnek yollardan daha az enerji tüketildiği ortaya çıkmakta, düşük trafik hacmi halinde ise, iki üstyapı tipinin bakım masrafları birbirine yaklaşmaktadır. [1]
- Günlük ortalama trafiğin 750'nin üstünde olması halinde ilk yapım ile 25 yıllık bakım için tüketilen enerji miktarı, beton yollarda esnek tipten daha az olmaktadır. [1]

Ülkemiz koşullarına göre yapılan hesaplamalarda da benzer sonuçlar bulunmuştur.

Üstyapı seçimini etkileyen ekonomik parametreler Çizelge 3.2'de özetlenmiştir.

Teknik ölçütlere göre seçim yapılması durumunda, taşıma gücü zayıf taban zemini, büyük hacimli trafik, yüksek yıllık trafik artış oranı, yüksek ağır taşıt miktarı, yüksek sıcaklık durumlarında rijit üstyapılar, büyük trafik hacmi, düşük yıllık trafik artış oranı durumlarında esnek üstyapılar uygun olmaktadır.

Ekonomik ölçütlere göre üstyapı seçimi yapıldığı takdirde, ömür boyu toplam maliyet, çimento, cüruf, uçucu külün bol ve kolay bulunması ve enerji azlığı durumlarında rijit üstyapılar, ülkedeki ilk yapım maliyeti ve iskonto oranının yüksek olması halinde ve takviye çalışmalarında esnek üstyapılar uygun olmaktadır.

Çizelge 3.2 : Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi. [3]

| Üstyapı Tipi Ekonomik Parametre | Esnek Üstyapı (Kaplama tabakası asfalt betonu-BSK) | Rijit Üstyapı (Kaplama tabakası çimento betonu) |
|--|---|---|
| İlk yapım maliyeti | + | - |
| Ömür boyu toplam maliyet (ilk yapım+bakım+gecikmeler) | - | + |
| Çimento, cüruf, uçucu külün bol ve kolay bulunması | - | + |
| Mevcut üstyapıların esnek olması | + | - |
| Yüksek iskonto oranı | + | - |
| Enerji azlığı | - | + |

Çizelgede (+) işareti uygun olma durumunu, (-) işareti de elverişsiz olma durumunu göstermektedir.

Ancak, üstyapı tipi seçiminde, teknik ve ekonomik ölçütlerin birlikte dikkate alınması uygundur. Ölçütlerin tek olarak değerlendirilmesi, en uygun çözüm için yeterli olmamaktadır.

3.3 Rijit Üstyapı - Esnek Üstyapı Karşılaştırması

Gerek karayolu yapımında, gerekse üstyapı yenileme çalışmalarında, üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Çünkü karayollarında üstyapı seçimi, değişik ölçütlere dayandırılması gereken kapsamlı bir konudur. Bu seçim yapılırken üstyapı tiplerini teknik ve ekonomik yönden karşılaştırmak ve ülke koşullarını da dikkate almak gerekir. Günümüzde motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artış ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında çabalar, yeni karayolu yapmaktan çok mevcut karayolu üstyapılarının, gelecekte yoğun ve ağır trafiğe yanıt verebilecek şekilde yenilenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Karayollarında, kaplama tabakası çimento betonundan yapılan rijit üstyapı, yarı-rijit üstyapı (karışık üstyapı) ve kaplama tabakası asfalt betonu olan esnek üstyapı olmak üzere değişik tipte üstyapılar kullanılmaktadır. Konuda, ara tipler ihmal edilerek, birbirinden tamamen farklı yapıda olan esnek ve rijit üstyapılar, teknik, ekonomik, çevresel ve estetik yönler dikkate alınarak şöyle karşılaştırılabilir:

- 1- Mevcut üstyapılar, beton asfalt kaplamalı olup bunlarda sadece kaplamanın değişmesi şeklinde bir onarım gerekiyorsa, bu takviye çalışması için yine beton asfalt kaplama uygulaması daha uygundur. Fakat onarım, temel ve kaplamanın değişmesi şeklinde yapılacaksa bu takdirde beton yol uygulaması seçeneğinin de göz önünde bulundurulması gerekir. Nitekim kaplamanın beton asfalt ile takviye ile yenilenmesi durumunda yol, yine eski durumuna getirilmiş olunacak, fakat rijit plak yapımında o yolun kalitesi, belirgin bir şekilde yükselmiş olacaktır. Bu husus, teknik ve ekonomik parametrelerin kıyaslanacağı ciddi bir fizibilite çalışması gerektirir.
- 2- Beton asfalt kaplamalar, serilip sıkıştırıldıktan birkaç saat sonra trafiğe açılabilir. Buna karşılık rijit üstyapıların trafiğe açılması için en az 7 gün beklenmesi ve betonun belirli bir dirence ulaşım süresinin geçmesi gerekmektedir. Ancak bu husus, beton içine yapım sırasında katılan prizi ve sertleşmeyi çabuklaştırıcı katkı maddeleri ile giderilmekte ve rijit üstyapının trafiğe açılabilme süresi azaltılabilmektedir. Esasında bu tarz uygulama, rijit üstyapı zorunlu sayılır. Çünkü gecikme sonucu rijit üstyapı uygulaması olan yerlerde trafiğe yol vermek amacı ile servis yollarına gerek duyulmakta, bu da ek masrafa yol açmaktadır.
- 3- Rijit üstyapılar demir donatı kabul eden tek üstyapı tipidir. Gerektiği zamanlarda, derzlerde, sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, çatlamalara karşı plak üst yüzeyine yakın yerlerde çelik donatı kullanılmaktadır. Maliyeti artıran bir husus olmakla beraber çelik donatının kullanılabilir olması, rijit üstyapı ömrünü daha da arttıran bir avantaj sayılır.
- 4- Beton asfalt kaplamalı üstyapılarda her türlü onarım, kolay bir şekilde hatta trafik altında dahi yapılabilir. Nitekim beton asfalt kaplama çok kolay bir şekilde yama tutabilen bir malzemedir. Rijit üstyapılarda ise bu onarım çok daha zahmetli olup plağın kırılması ve yerine yeni plağın dökülmesi gerekir. Betonun demir donatının bulunması ve bunun da kesilip yeniden yapım zorunluluğu, ayrıca yeni dökülen betonun da belirli bir süre bekletilmesi gereği, bunun yaratacağı gecikme ve yolun o kısmının yine de zayıf kalabilecek olması gibi hususlar

rijit üstyapının esnek üstyapılara karşı zayıf yönleridir. Fakat rijit üstyapılar, çok daha dayanıklı bir kaplama türü olup, çok az bakım ve onarım gerektirir bu nedenle uzun vadede dikkate alındığında, onarımı çabuk ve kolay olmasına karşılık çok sık periyotlarda onarım gerektirecek olması, esnek üstyapıların rijit üstyapılara karşı zayıf yönünü ortaya çıkarmaktadır.

- 5- Gerek esnek üstyapılarda, gerekse rijit üstyapılarda, yüzeydeki kayma sürtünme katsayıları hemen hemen aynıdır ve 0.60 ile 0.90 arasında değişmektedir. Fakat her iki üstyapının da ıslak koşullar altında olduğu durumlarda, rijit üstyapı yüzeyindeki kayma sürtünme katsayısındaki azalma, esnek üstyapıya kıyasla çok daha azdır. Bu da rijit üstyapıların, güvenlik yönünden çok önemli bir üstünlüğünü oluşturur. [1]
- 6- Esnek üstyapılar, üzerlerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletirler. Kaplamadan temele, temelden alt temele ve nihayet alt temelden taban zeminine iletilen yükler, her bir tabaka geçişinde gittikçe yayılmakta ve daha geniş bir alana dağılmaktadır. Dolayısı ile, her bir tabakada kullanılan malzemenin mekanik özellikleri de, tabakalardan aşağı azalan gerilme değerlerine paralellik gösterir. Taban zemini zayıfsa ve çeşitli gerilmeler altında beton asfalt kaplama da deforme olan bu profili izlemekte ve sonuçta yolun en üst düzeyinde çeşitli ondülasyonlar veya oturmalar gözlenmektedir. Rijit üstyapı plağı ise, elastik bir zemine oturan bir kiriş gibi çalışır ve üzerine gelen yükleri çok daha geniş bir alana yayarak taban zeminine iletir. Rijit üstyapının taşıma gücü, taban zeminin direncine bağlı değildir. Bu nedenle rijit üstyapılar, zayıf taban zeminleri üzerinde, esnek üstyapılara kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir. Çekoslovakya, Avusturya, Hollanda, Amerika, İngiltere gibi birçok ülkedeki teorik çalışmalar, bu konunun doğruluğunu ortaya koymuştur. Bunun bir sonucu olarak ağır trafik altındaki yollarda, rijit üstyapı uygulaması, dayanıklılığı sebebiyle çok daha iyi ve uygun sonuçlar verir. [2]

- 7- Yapım ilerleme hızları yönünden esnek üstyapılarda uygulama hızı, plent kapasitesine, plent ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm ve sıkıştırmadaki çabukluğa bağlıdır. Rijit üstyapılarda aynı konu, transmikserlerin kapasitesine ve sayısına, imalat yeri ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm sırasındaki vibrasyon ve perdahlama işlerinin çabukluğuna bağlı kalmaktadır. Burada ilerleme hızı yönünden esnek üstyapılar, zamanla meydana gelecek ısı kaybının yaratacağı sorunlar da dikkate alınarak, daha çabuk uygulanmak zorundadırlar.
- 8- Petrol üreten veya petrol gereksinmelerinde herhangi bir sorunu bulunmayan ülkelerde esnek üstyapılar ekonomik olmakta, buna karşılık çimento üretimi yönünden ileri düzeyde bulunan ülkelerde, rijit üstyapıların daha rantabl olduğu görülmektedir.
- 9- Her iki kaplamanın sıkıştırılmasında büyük farklılıklar bulunmamaktadır. Esnek üstyapıların kaplamalarının belirli bir ısıda iken (125 °C) dökülmesi ve sıkıştırılması gerekir. Bu ısı değerindeki düşmelerde, sıkıştırma iyi bir şekilde gerçekleşmemekte ve belirli bir ısının altındaki asfalt betonu, yumuşaklığını kaybetmekte, kaplamada da boşluk yüzdesi artmaktadır. Bu da sonuç olarak, nitelik yönünden istenen düzeyin altında bir kaplama tabakası ile sonuçlanır. Rijit üstyapılar ise vibratörle sıkıştırılmakta olup ısı kaybı gibi bir sorun, kaplamalar için söz konusu değildir.
- 10- Bir alt temel, temel ve beton asfalt kaplamadan oluşan esnek üstyapının toplam kalınlığı, rijit plak ve altında kumlu yastık tabakasından oluşan rijit üstyapının toplam kalınlığına kıyasla çok daha fazladır. Bütün tabakalarda ana-malzeme, agregadan oluşmaktadır. Bu nedenle sonuçta, eşdeğer niteliklere sahip olsalar dahi, esnek üstyapı yapımı için gereken agrega miktarı, rijit üstyapıya göre daha fazla olmaktadır. Agreganın kalitesi yönünden ise, esnek üstyapılar için çok kaliteli agreganın kullanılması zorunludur. Buna karşılık rijit üstyapılarda, daha düşük kalitedeki agreganın da kullanımına olanak bulunmaktadır.

- 11-** Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapı dışındaki diğer rijit üstyapılarda belirli aralıklarla derz yapılması zorunludur. Gerek rijit plakta oluşabilecek çatlakların gelişigüzel yayılmasını önleyip bir kesite toplayan, gerekse rijit plağın genişmesine ve büzülmesine olanak veren bu derzler, buna karşılık rijit kaplamanın zayıf noktalarını oluşturmakta, belirli zamanlarda kontrol ve bakım gereksinmesi göstermekte ve sonuç olarak da ek bir maliyeti beraberinde getirmektedir. Bunun yanı sıra, hele istenen düzeydeki kalitede yapılmamışlarsa belirli bir gürültüye ve konfor eksikliğine de neden olan bu derzler, esnek üstyapılarda yapılmaz ve esnek kaplama olması nedeniyle kendi bünyesi içinde genişip büzülebilen asfalt yollarda bu durum, belirli bir avantaj sayılır.
- 12-** Her iki kaplama türü de iyi bir şekilde uygulanma koşulu ile hemen hemen aynı konfora sahiptir. Fakat açık rengi sebebiyle rijit üstyapılar, gece karanlığında da görülebilmekte, esnek üstyapılar gece karanlığında, herhangi bir çizgileme veya reflektörlü sınır taşları yapımı uygulanmamışsa, far ışığı altında dahi yeterli görülememektedir.
- 13-** Esnek üstyapılarda bağlayıcı olarak kullanılan asfalt malzemesi, bünyesinde çeşitli uçucu maddeleri içermekte ve bu uçucu maddelerin zamanla kaybolması sonunda da kaplamada yaşlanma adı verilen bir tür gevrekleşme ve eskime görülmektedir. Bu yaşlanma ile niteliklerinin ve özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeden esnek üstyapılar ayrıca benzin, motorin, fuel oil, yağ, tuz gibi maddelerin yol üzerine dökülmesi ile de kimyasal yapılarında değişmeler gösterir. Kaplamanın olumsuz yönlerde değişmesine yol açan bu durum çok kere yol güvenliği açısından da büyük tehlikeler yaratabilecek boyutlara ulaşmaktadır. Rijit üstyapılarda ise kullanılan bağlayıcı çimento olup herhangi bir uçucu madde içermemektedir. Bu nedenle sözü edilen yaşlanma olgusu, rijit kaplama için söz konusu değildir. Bunun yanı sıra, yukarıda sayılmış olan ve eritici özelliği bulunan kimyasal maddelerin beton yol üzerine dökülmesi durumunda da rijit üstyapının hiçbir özelliğinde değişme görülmemektedir.

- 14- Üst yüzeyi atmosfere açık olan rijit plağın alt yüzeyi ise taban zeminine oturmaktadır. Bu nedenle belirli bir kalınlığa sahip olan bu plağın alt ve üst yüzeyleri arasında belirgin ısı farkları veya ani ısı değişiklikleri olduğunda, plağın alt ve üst düzeylerinde farklı gerilmelerin oluşturacağı farklı genleşmeler görülebilir. Bu da, çekme direnci fazla olmayan rijit plağın çatlamasına yol açabilmektedir.
- 15- Esnek kaplamaların yapım ve uygulama aşamalarında, ısıtma ve kurutma işlemlerinin bulunması nedeniyle çevre kirliliğinin ortaya çıktığı görülmüştür. Rijit üstyapı yapımının ve uygulamasının hiçbir aşamasında böyle bir sorunla karşılaşılması söz konusu değildir.
- 16- Beton asfalt üretimi, daha pahalı santraller (plantler) gerektirmektedir. Ayrıca esnek üstyapılar rijit üstyapılara kıyasla daha fazla enerji harcanması sonunda yapılır. Enerji sorunun bulunduğu yerlerde rijit üstyapı uygulaması daha uygun ve ekonomik sayılmaktadır.
- 17- Petrol damıtan rafinerilerin sayısının az olduğu ülkelerde, esnek üstyapıların bağlayıcısı olan asfaltın, çeşitli plant veya santrallere taşınması ve nakledilmesi, yüksek bir ulaşım maliyetini de beraberinde getirmektedir. Aynı sorun çimento üreten fabrika sayısının azlığı durumunda da yaşanır. Çimento fabrika sayısının yüksek ve dağılımının da yaygın olduğu ülkelerde taşıma ve ulaşım maliyeti büyük ölçüde düşmektedir.
- 18- Esnek kaplamalarda taban zeminindeki nem oranının en çok %2 olması istenir. Bunu üzerindeki bir değerde nem oranına sahip olan taban zeminlerinde, esnek kaplama uygulaması son derece sakıncalı olup bu durum, üstyapının özellikle de kaplamanın ömrünü büyük ölçüde azaltır. Rijit üstyapılarda ise böyle bir sorun bulunmamakta ve hatta iyi bir kenetleme için taban zemininde nemlilik, hatta ıslaklık aranmaktadır.
- 19- Malzeme olarak esnek kaplamalar, sıcaklıkla çok yakın ilişki içindedir. Plantte veya santralde yapımının belirli bir ısı değerinin üzerinde gerçekleşmesi zorunluluğu, sonra da yüksek ısıda korunup döküm yerine iletilme, dökülme ve ısı kaybı olmadan da sıkıştırma zorunluluğu, aynı

zamanda iyi ve uygun iklim koşullarına gereksinme gösterir. Nitekim, bir esnek kaplamanın yapımı ve uygulanması için hem kuru hem de sıcak bir hava gerekmektedir. Bu koşullar, uygulaması iklime bağlı olan esnek kaplamaların yapım zamanını ve süresini büyük ölçüde kısıtlar. Rijit üstyapılar için böyle bir sakınca söz konusu değildir. Aşırı yağışın ve aşırı derecede bir soğuk havanın (5 ⁰C'nin altında) olmadığı her zamanda rijit üstyapı uygulaması yapılabilmektedir. Bu nedenle rijit üstyapıların, yıl içindeki uygulama süresi toplamı, esnek üstyapılarınkine kıyasla çok fazladır.

- 20-** Rijit üstyapı uygulamasında, esnek üstyapı uygulamasına kıyasla daha fazla sayıda kalifiye elemana ihtiyaç duyulur. Rijit üstyapının ekonomik yönü, gerekse yapımında daha fazla özen gerektirmesi yönü açısından rijit üstyapı aleyhine gibi görünen bu husus, aslında rijit üstyapı lehinde büyük bir kalite avantajını beraberinde getirmektedir. Daha fazla sayıdaki kalifiye eleman gereksinmesi, daha yüksek düzeydeki bir kalite anlamına gelir. Bu nedenle rijit üstyapı seçiminin bir kalite seçimi olduğu unutulmamalıdır.

Yukarıda 20 madde içinde belirtilmiş olan rijit-esnek üstyapı kıyaslaması, Çizelge 3.3'te özetlenmiştir. Bu çizelgeden de anlaşılacağı gibi her iki üstyapı türü için de avantajlı ve uygun olan durumların yanı sıra uygun olmayan ve sakıncalı olan durumlar da sıralanmıştır. Tamamen artılardan oluşan tek bir kaplama türünün uygulanması, bu koşullarda olanak dışıdır, çünkü birçok parametre birbiri ile çelişmektedir bu nedenle üstyapı seçiminde, o yoldan beklenen performans ve ülkenin çeşitli koşulları (ekonomi, iklim, trafik, teknik olanaklar, kalite tercihi vs.) dikkate alınmak ve optimum sonuca ulaşmak zorunluluğu doğmaktadır.

Çizelge 3.3 : Rijit-Esnek üstyapı kıyaslaması. [2]

| Parametreler | Esnek Üstyapı | Rijit Üstyapı |
|--|----------------------|----------------------|
| - Trafîğe çabuk açılabilme | ++ | - |
| - Demir donatı kullanabilme | - | + |
| - Onarım sıklığı | - | ++ |
| - Dayanıklılık | + | ++ |
| - Islak halde kayma sürtünme katsayısı | - | + |
| - Zayıf taban zemininin bulunması | -- | + |
| - Yapım sırasında ısı kaybının yol açacağı sorunlar | -- | + |
| - Kaliteli agrega gereksinimi | - | + |
| - Derz yapma zorunluluğu | + | - |
| - Seyir konforu | ++ | + |
| - Gece seyirde görüş olanakları | - | ++ |
| - Yaşlanma ve kimyasal maddelerden etkilenme | -- | + |
| - Yapım sırasında çevre kirliliğini artırıcı etki | - | + |
| - Enerji azlığından etkilenme | - | + |
| - Taban zeminindeki ıslaklık | - | + |
| - İklim koşullarına bağımlılık | -- | ++ |
| - Trafikte yüksek yıllık artış oranı | - | ++ |
| - Trafikte düşük yıllık artış oranı | + | - |
| - Trafikte yüksek ağır taşıt oranı | - | ++ |
| - Üstyapı kaplama takviyesi | + | - |
| - Üstyapı temel+kaplama değişimi | + | + |
| - Yüksek iskonto oranı ve sınırlı yatırım kaynakları | + | - |

++:çok avantajlı, çok uygun; +: avantajlı, uygun; -: sakınca yaratır, uygun değil; --:çok sakıncalı, hiç uygun değil

4. DÜNYADAKİ ve ÜLKEMİZDEKİ RİJİT ÜSTYAPI UYGULAMALARI

Yolcu ulaşımında başlangıç ve varış noktaları, yük taşımacılığında ise üretim ve tüketim noktaları arasında aktarmasız bir ulaşım olanağı vermesi, taşıma kapasitesi ve güzergah seçiminde esneklik sağlaması, parça yüklerin daha kolay ve belli mesafelere kadar daha hızlı taşınabilmesi karayolu taşımacılığının başlıca özellikleridir. Bu özellikleri yanında, genelde aktarmalı taşımının söz konusu olduğu demiryolu, denizyolu ve hava taşımalarında tamamlayıcı bir tür olması sebebi ile tüm dünyada karayolu taşımacılığı diğer taşıma türlerine göre daha hızlı bir gelişme göstermiştir.

Taşıma istatistikleri incelendiğinde, gelişmiş ülkeler dahil hemen her ülkede yolcu ve yük taşımada karayolu taşımacılığının önde olduğu görülür. Nitekim AB ülkelerinde 2000 yılı itibarıyla yolcu taşımada karayolunun payı %79,0, ABD’de ise %89,1’dir. Oran Türkiye’de %95,2’dir. Yük taşımacılığında ise kısa mesafeli kıyı deniz taşımada da nazara alınırse karayolunun payı AB ülkelerinde %45,0, ABD’de %69,4, Türkiye’de ise %76,1’dir. Boru hattı taşımada nazara alınmazsa oran Türkiye’de %92,2’ye varmaktadır. [10]

Karayolu taşımada belirtilen avantajlarına karşılık petrole dayalı enerjiyi kullanmasından kaynaklanan hava kirliliğine sebep olması, ayrıca hemen her ülkede yaşanan trafik kazalarının getirdiği büyük maddi ve manevi kayıplar, kentlerde yaşanan trafik tıkanlıkları, karayolu ulaşımının başta gelen olumsuzluklarıdır. Bugün dünyadaki toplam CO₂ emisyonunun %25’i, CO emisyonunun %80’i, NO_x bileşenlerinin %50’si karayolu ulaşımından kaynaklanmaktadır. Trafik kazalarında tüm dünyada ölenlerin sayısı yılda 600.000 dolayında olup bir kısmı sakatlıkla sonuçlanan 15 milyon dolayında yaralanma meydana gelmektedir. OECD ülkelerinde ölüm, yaralanma ve mal hasarı olarak trafik kazalarının maliyeti bu ülkelerin gayri safi milli hasıllarının %1 ile %2’si arasında değişmektedir. Diğer yandan karayolu taşımada petrole dayalı enerji kullanımı yanında yolcu-km ve ton-km başına tüketilen enerji diğer türlere göre önemli miktarda fazladır.

Dünyadaki gelişmenin benzeri ve daha belirginini ülkemizde görülmektedir. Yani, yukarıda verilen sayılardan da anlaşılacağı üzere, toplam yolcu ve yük taşımalarında karayolu taşımasının payı diğer taşıma türlerine göre çok yüksektir. Bu durum, ülkemizin enerji olanaklarına ters düşmesi yanında karayolu ağının kısa sürede bozulmasının ve çevre kirlenmeleri ile kazalar açısından yaşanan olumsuzlukların başlıca sebebidir.

Gerçekte ülkemizdeki karayolu altyapısı; km²'ye düşen yol uzunluğu, ayrıca standartları bakımından gelişmiş ülkelere ve girmek istediğimiz AB ülkelerine göre oldukça zayıftır (Çizelge 4.1). Ancak, demiryolu ve denizyolu taşımasının altyapı ve işletmecilik olarak karayolundaki gelişmeye göre çok geride kalması, bu durumu, yani taşıma türleri arasındaki dengesizliği yaratmış, hem yolcu hem de yük taşımasında karayolu çok belirgin şekilde öne çıkmıştır.

Çizelge 4.1: AB ülkeleri ve ülkemizde karayolu varlığına ilişkin bazı göstergeler.[10]

| Ülke | 1000 km ² 'ye düşen karayolu uzunluğu (km) | 10000 nüfusa düşen karayolu uzunluğu (km) |
|---------------|---|---|
| BELÇİKA | 4.702 | 141,1 |
| DANİMARKA | 1.654 | 136,6 |
| ALMANYA | 1.799 | 79,0 |
| İSPANYA | 676 | 87,0 |
| FRANSA | 1.763 | 166,2 |
| YUNANİSTAN | 715 | 77,6 |
| İTALYA | 1.018 | 53,5 |
| İRLANDA | 1.313 | 257,8 |
| LÜKSEMBURG | 1.962 | 124,4 |
| HOLLANDA | 2.622 | 70,6 |
| PORTEKİZ | 718 | 66,6 |
| İNGİLTERE | 1.504 | 62,9 |
| AVUSTURYA | 1.267 | 132,2 |
| FİNLANDİYA | 230 | 151,8 |
| İSVEÇ | 302 | 153,7 |
| TÜRKİYE | 489 | 60,9 |
| AB ORTALAMASI | 1.476 | 117,4 |

Türkiye Cumhuriyeti, Osmanlı İmparatorluğu'ndan 14.000 km'si bozuk ve bakıma muhtaç durumda olan 18.365 km'lik karayolu ağı devralmıştır. Cumhuriyetin ilk yıllarında demiryolu yapımına ağırlık verilmesi ile 1950'li yıllara kadar karayolu ağında kayda değer bir iyileştirme olmamıştır. Bu dönemde çıkarılan Yol Kanunu ile Nafia Vekaleti bünyesindeki Şose ve Köprüler Reisliği'nin çalışmaları olmuşsa da dünya ekonomisindeki durgunluk, ayrıca 2. Dünya Savaşı'nın getirdiği sıkıntılar

sonucu yeterli mali kaynak ayrılamamış olması, bu dönemde karayolu yapımında gelişmeyi önlemiştir.

Karayolu altyapısında görülen sıçrama, konuya yeni bir bakış açısı ile yaklaşılması ve 1 Mart 1950 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulması ile başlamıştır. İlk dönemlerde “tekerlek dönsün” düşüncesi ile kısa sürede büyük yerleşme merkezlerinin birbirlerine bağlanması amaçlanmış, kazma-kürek yani insan gücü ile inşaat yerine makineli inşaatın öne çıkması sonucu kısa sürede büyük başarılarla ulaşılmıştır. Bugün mevcut olan devlet ve il yollarının büyük kısmı bu dönemde oluşturulmuştur. [10]

1970'li yıllarda ekonomide başlayan canlanma, ayrıca otomotiv sanayinin başlaması ile motorlu taşıt ve özellikle yük taşıtlarındaki hızlı artışın sonucu olarak, 1950'li yıllarda bir an önce erişilebilirliği sağlama düşüncesi altında, ayrıca kıt kaynaklarla oluşturulan yol ağında hem kapasite, hem de yapısal olarak yetersizlikler görülmeye başlanmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda İstanbul'da Boğaziçi Köprüsü ve Çevre Yolu işletmeye girmiş, yüksek standartlı yol olarak İstanbul-İzmit arasında ekspres yol inşaatı başlamıştır. 1980'li yılların başında hızla artan karayolu trafiğinin ülkemize getirdiği olumsuzluklar ve taşıma türleri arasındaki dengesizliğin gittikçe belirginleşmesi üzerine, ulaşım altyapısının bir plana bağlı olarak geliştirilmesini hedefleyen 1983-1993 Ulaşım Ana Planı hazırlanmışsa da plan uygulanma fırsatı bulamadan gündemden kalkmış ve otoyol ağırlıklı karayolu yapımı benimsenmiştir. Bugün itibariyle kullanımda 1.881 km otoyol bulunmaktadır. Bu konudaki son gelişme, gereksinim duyulan kesimlerde daha düşük maliyetli bölünmüş yolların yapılmasıdır. Hükümet karayolu ağındaki 15.000 km'lik kesimi bölünmüş yola dönüştürmeyi planlamış olup bunun 1.600 km'lik kısmının tamamlandığı ifade edilmektedir.

Konuya taşımacılık açısından bakıldığında, daha önce de vurgulandığı gibi, karayolu taşıması pek az ülkede rastlanabilecek şekilde çok etkin olmasına karşılık, gerek yolcu ve gerek yük taşımacılığında verim düşüktür. Kapasite fazlalığı vardır. Trafik güvenliği zayıftır. Bunun önde gelen sebeplerinden biri, taşımacılıkta kurumsallaşmanın özellikle yük taşımacılığında olmak üzere çok düşük düzeyde olmasıdır. Kamyoncu esnafının hakim olduğu bu sektörde, taşımalar gelişmeyi önleyici yıkıcı bir rekabet ortamında yapılmaktadır. Benzer durum yolcu taşımacılığında da söz konusudur.

Uluslararası yolcu ve yük taşımacılığının daha düzenli bir ortamda yapıldığı ifade edilebilir. Bunun sebeplerinden biri özellikle AB ülkelerine yapılan taşımalarda bu ülkelerce kullanılacak taşıtlar, ayrıca sürücülerin çalışma koşulları hakkında birtakım standartların konmuş olmasıdır. Diğer önemli sebep ise, burada da firma sayısı ve taşıma kapasite fazlası olsa da, taşımacıların önemli kısmının kurumsallaşmış, ayrıca örgütlenmiş olmalarıdır.

Temmuz 2003'de yürürlüğe giren Karayolu Taşıma Kanunu'ndan, taşımacılık sektörünü disipline etme ve kurumsallaşmayı hızlandırma yönlerinde olumlu beklentiler vardır. Bu arada, uluslararası taşımacılıkta AB ile uyum çerçevesinde yapılması gerekenler olup bu yönde çalışmalar başlatılmış bulunmaktadır.

Aşağıda rijit üstyapı uygulamaları açısından önde gelen ülkelerde ve Türkiye'de rijit üstyapılara ilişkin tasarım, malzeme ve ülkeden ülkeye değişim gösteren inşaat metodları gözlemlenen bazı proje bölgeleri de göz önüne serilerek ele alınmıştır.

4.1 Fransa

Rijit üstyapıların inşaatı, Fransa'daki ağır trafiğe sahip bazı otoyol ve havaalanlarında, 40 yıl önce başlamış ve bugün halen sürmektedir. Fransızlar, uzun yıllardır, rijit üstyapıların tasarımını inşaatını ve rehabilitasyonunu geliştirmek için çok yoğun çalışmalar yapmaktadırlar. Yük transfer yöntemleri, sürekli donatılı rijit üstyapılar için dikdörtgen donatı, alt drenaj, düşük gürültülü-yüksek sürtünme dirençli yüzey, şerit genişletme ve trapezoidal enkesit tasarımları gibi birçok yenilikçi fikirler bu yıllar boyunca geliştirilmiştir. Tasarım ve inşaat pratiğine gerçek etkisi olan araştırma programlarıyla elde ettikleri başarının üzerinde; kamu ve özel kuruluşların bir araya getirilerek yapılan, rijit üstyapılardaki olası problemlerin çözümüne yönelik çalışmaların büyük etkisi vardır.

Fransızlar, rijit üstyapı tekniklerine ilişkin bakım ve rekabet edebilirlik konularının başarısının, endüstri ile işletme otoriteleri arasındaki ortak çalışmaların sonucunda ortaya çıkan sürekli yeniliklere göre değişim göstereceğini belirtmişlerdir. Fransa'nın rijit üstyapı teknolojilerini geliştirmek adına yoğun çaba gösterdiği gözlemlenmiştir.

Rijit üstyapı seçimi, 25-30 yıllık bir periyot için yapılan hizmet ömrü boyunca toplam maliyet analizinin bir sonucudur. Rijit üstyapı, yerel agregaların

kullanılabildiği beton ile inşa edilebildiği zaman; çoğunlukla asfalt betonundan daha ucuzdur.

Standart tasarım kataloglarında verilen üstyapılar eşdeğerdir ve aynı hizmet ömrünü sunarlar. Bununla birlikte, yapıda beklenenden önce oluşan çatlamları önlemek için gerekli bakım miktarı ve memnun edici yüzey özelliklerinin sağlanabilmesi farklılık göstermektedir. Rijit üstyapıların bir avantajı da daha az bakıma ihtiyaç duymalarıdır. Bu nedenle üstyapıların karşılaştırmasına ait genel analizlerde, bakım maliyetlerinin de göz önüne alınması gerekir.

Bugün Fransa'da, yeni rijit üstyapıların tasarımı yapılırken, yüzeyin sürtünme ve pürüzlülük karakteristiklerini geliştirmek için ortaya çıkarılmış agrega yüzey yöntemi başta olmak üzere, yüzey üzerine stone-mastic asfalt veya yüzey iyileştirilmesi yapılır. Paris'te çok az bir alanda kar görülür; bundan dolayı stone mastic asfaltta veya poröz asfaltta bozulma görülmez. Aynı zamanda, ortaya çıkarılmış agrega yüzeyli, iki tabakalı üstyapılar da iyi performans göstermektedir.

Fransız ücretli otoyollarının mühendislik felsefesi, kullanıcıya sağlamaya çalıştıkları yüksek kalitedeki hizmet nedeniyle çok etkileyicidir. Mükemmel kalitedeki üstyapılar göze çarpmaktadır.

Nantes LCPC araştırma laboratuvarı, iki sebepten dolayı rijit üstyapıdan uzun bir ömür (30 yıldan fazla) beklenebileceği belirtmiştir: trafiğe karşı mekanik direnç (tekerlek izi oluşumu yoktur ve yorulma çatlakları kontrol altındadır) ve çevresel etkenlere direnç gösterebilme yeteneği.

4.2 Avusturya

Avusturya 1940 yılından beri rijit üstyapılar inşa etmektedir ve inşa edilen rijit üstyapı tipleri derzli-donatısız ve derzli-donatılı tipteki rijit üstyapılardır. Avusturya'da bugün çoğunluğu 30 yaşını ve bazıları 50 yaşını geçmiş birçok üstyapı mevcuttur. Çizelge 4.2 Avusturya'nın ana karayollarında rijit üstyapıların boyutlarını göstermektedir. [4]

Çizelge 4.2 : Avusturya karayollarının üstyapı tiplerine göre yol uzunlukları. [4]

| Üstyapı Tipi | Km | Yüzde |
|---------------|------|-------|
| Asfalt Betonu | 834 | 54 |
| Rijit | 698 | 46 |
| Toplam | 1532 | 100 |

Bununla birlikte; daha eski üstyapılarda, çivili tekerlek lastiklerinin 2-3 mm'lik tekerlek izlerine sebep olmaları nedeniyle, Avusturya çeşitli rehabilitasyonların uygulanmasını gerektiren birçok kesime sahiptir. Çivili tekerlek lastiklerinin rijit üstyapılara verdiği zararın onarılması amacıyla, birçok eski üstyapının kamyon şeritlerinin üzerine ince bir polimerize asfalt tabaka konur. Ancak bu tabakanın ömrü sadece 4-6 yıldır.

Avusturya 1950'li yıllardan itibaren ağır kamyon trafiği altında çok iyi performans gösteren birçok derzli-donatısız ve donatılı rijit üstyapılar inşa etmektedir. Çivili tekerlek lastiklerinin kamyon şeritlerinde meydana getirdiği zarar, kamyon şeritlerinde ince, polimerize asfalt betonu tabakaların yerleştirilmesini gerektirmiştir. Eski üstyapılar mükemmel beton durabilitesine sahiptir.

Yeni veya yeniden inşa edilmiş olan üstyapılar için mevcut tasarım; rijit banketlerle bağlı, kısa aralıklarla derzlendirilmiş kayma donatılı derzli-donatısız tipteki rijit üstyapılar ve plak ile granüler veya çimento ile işlenmiş temel arasındaki asfalt betonu tabakadan ibarettir. Rehabilitasyon, faylanmış (kırıklanmış) plakların üzerine bağlanmamış derzli-donatısız tipteki rijit kaplamaları ve asfalt betonu kaplamaları içermektedir. Bugün yaygın olarak en çok kullanılan teknik eski bir üstyapının geri kazanılarak 11,5 m genişliğinde yeni bir üstyapı elde edilmesidir.

Avusturya'daki karayollarında gürültü seviyesinin azaltılması çok büyük önem taşımaktadır. Ortaya çıkarılmış agrega yüzey ile birlikte iki tabakalı (üst tabaka küçük ve sağlam agrega içermektedir) plakların kullanımı ile gürültü değerinde kayda değer bir azalma ve yüksek sürtünme elde edilebilmektedir.

Avusturya Çimento Araştırma Enstitüsünden, Dr. Sammer bir şeyin yürürlüğe konulması için gereken çabanın, önceki araştırma çabalarından daha büyük olması gerektiğini ifade etmiştir. Araştırmacıların prosedürler geliştirilinceye kadar saha yürütmelerine rehberlik etmelerinin yararlı olacağına inanmaktadır.

4.3 Almanya

Almanya 1920'li yıllardan beri, daha çok otoyol sistemlerinde ve havaalanlarında olmak üzere, birçok rijit üstyapı inşa etmiştir. Berlin'de otobüs duraklarının rijit üstyapılar kullanılarak inşa edildiği gözlemlenmiştir. Oldukça bozuk ve büyük rehabilitasyon altında olmalarına rağmen, orijinal rijit üstyapılar bugün ağır trafiği

taşıyabilmektedirler. 50 yıl boyunca hiç bakım yapılmaması bu rijit üstyapıları kötü koşullarda bırakmıştır ve Almanya; ekonomik gelişimlerinde hayati önem taşıdığına inandığı karayollarını, ülkenin her yerine bağlantı sağlamak için, yeniden inşa etme adına büyük gayret göstermektedir. [4]

Şekil 4.1’de Münih’ten Berlin’e yaklaşırken, otoyolun bir kesimindeki 50 yaşını geçmiş olan bir derzli rijit üstyapı görülmektedir.



Şekil 4.1 : Berlin yakınlarında 1930’lu yıllarda inşa edilen Alman otoyol rijit üstyapısı. [4]

Almanya’da 10900 km’lik otoyolların yaklaşık olarak 4168 km’si rijit üstyapılarla inşa edilmiştir. 1970 yılından önceki üstyapılar derzli-donatısız ve derzli-donatılı tipte inşa edilmiştir. 1970 yılından sonra ise, sadece kayma donatılı derzli-donatısız tipteki rijit üstyapılar inşa edilmiştir. Almanya’da; buzlanmayı önleyici tuzların kapsamlı olarak kullanımının getirdiği, donatılı rijit üstyapılarda potansiyel korozyon etkisi nedeniyle, kayma donatılı derzli-donatısız tipteki rijit üstyapılar benimsenmiştir. Yıllar geçtikçe Almanların rijit üstyapı tasarımı oldukça değişmiştir. Bununla birlikte mevcut derzli-donatısız tipteki rijit üstyapı tasarımı; 1970’li yılların başından itibaren, hem yeni üstyapıların inşaatında hem de eski rijit üstyapıların kaplanması kullanılmıştır.

Rijit üstyapıların malzeme, inşaat ve tasarımının geliştirilmesi için “Ulusal Karayolları Araştırma Enstitüsü (Federal Highway Research Institute-BAST)” ve “Münih Teknik Üniversitesi” tarafından kapsamlı bir araştırma ve geliştirme

programı Almanya'da sürdürülmektedir. Birçok mükemmel teknik makale, bu araştırmalardan elde edilebilmektedir.

Almanya'da, rijit üstyapılar havaalanlarında da kullanılmaktadır. Örneğin; 1992 yılının mayıs ayında hizmete açılan 2 milyon m²'den daha fazla alana sahip olan Münih II Uluslararası Havaalanı'nın pistleri, taksi yolları ve apronları 36 cm'lik kayma donatılı derzli-donatsız tipteki rijit üstyapılarla inşa edilmiştir.

Almanya'da 1970 yılından sonra inşa edilen derzli-donatsız tipteki rijit üstyapıların performansları sadece olağanüstü derecede iyi olarak tanımlanabilir. Mevcut tasarımla ilgili oldukça az problem vardır ve bu tasarım asfalt üstyapılarla ekonomik bakımdan rekabet edebilecek düzeydedir.

Bu olağanüstü iyi performansı ortaya çıkaran etkenler şunlardır:

- Değişken şekilde aralıklandırılan kayma donatılı derzler
- Erozyonun, ara yüzdeki pompajın ve bükülmelerin azaltılması için; çimento ile işlenmiş veya zayıf beton temel ile beton plak arasında sağlanan aderans.
- Erozyona karşı dirençli yüksek kalitedeki bir temel.
- Özellikle yüzeyde olmak üzere; beton içinde yer alan iyi kalitedeki agregalar
- Taban zemini üzerinde yer alan kalın granüler tabaka
- Yapım sırasında özen gösterilen hava boşluk kontrolünden dolayı, betonun donma-çözülme etkilerine karşı olan direnci
- İki-kanallı yüzey ve yüzey altı drenaj sistemi.

4.4 Hollanda

Hollanda'nın kuzey kesimlerinde ciddi oturmalar olması nedeniyle, çoğunlukla kuzey kesimlerinde olmak üzere uzun yıllardır rijit üstyapılar inşa edilmektedir. Rijit üstyapılar; vilayete ait karayolları, otoyollar ve havaalanlarında inşa edilmektedir. Bisiklet yollarının çoğunun betonla inşa edildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, rijit blok kaplayıcılarının, Hollanda'daki kentsel alanlarda kapsamlı olarak kullanıldığı gözlemlenmiştir. [4]

Gözlemlenen en eski rijit üstyapı 1950 yılında inşa edilmiştir. Hollanda'da, liman şehirlerinden Avrupa'nın geri kalanına kargo taşıyan kamyonların kullandığı önemli

karayollarının bulunması nedeniyle, bu rijit üstyapıların çoğu ağır trafiğe hizmet etmektedir.

Bu üstyapıların tamamına yakını derzli-donatısız tipteki rijit üstyapılar kullanılarak inşa edilmiştir. Son zamanlarda birkaç kesimdeki otoyollarda sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapıların da kullanılmaktadır. Bunun yanında; Amsterdam yakınlarındaki Schipol Havaalanındaki bazı kesimlerde önerilmeli rijit üstyapılar da mevcuttur.

Şu anda Hollanda'da, rijit üstyapılarla ilgili olarak üzerinde durulan başlıca konu; tekerlek/üstyapı gürültü karakteristikleridir. Düşük gürültülü bir yüzeyle birlikte aynı zamanda yeterli sürtünme ve hizmet ömrüne sahip yüzeylerin elde edilebilmesi için, büyük saha ve laboratuvar çalışmaları sürdürülmektedir.

Hollanda beton blok kaplayıcılardan kapsamlı bir şekilde yararlanmaktadır. Her yıl yaklaşık olarak 20 milyon m²'lik beton blok kaplayıcısı yerleştirilmektedir. Beton blok kaplayıcıları ile 1950'li yıllarda tanışılmıştır ve şu anda dahili yol üstyapılarından endüstriyel yol üstyapılarına kadar oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptirler.

Şu anda, Hollanda'da; daha önceki yıllara göre, rijit üstyapılar daha çok tercih edilmektedir. 1950'li yıllarda ortaya çıkan ana problem, kayma donatısı kullanılmaması sebebiyle derz faylanmasıdır (kırıklanma). Alman kayma donatılı, derzli-donatısız tipteki rijit üstyapı tasarımının benimsenmesiyle bu problem ortadan kalkmış ve düşük bakımla uzun süreli performans sağlanabilmiştir. Hollanda'da yeni fikirlerin denenebilmesi için büyük bir istek bulunmaktadır.

Rijit üstyapılarla ilgili olarak üzerinde durulan başlıca konu; tekerlek/üstyapı gürültüsünün azaltılabilmesidir. Kayda değer araştırmalar sürdürülmektedir ve birkaç teknik, değerlendirme altındadır. Poröz beton veya poröz asfalt yüzeyle gürültü seviyesinin azaltılabileceği belirtilmiştir. Deneyimler göstermiştir ki poröz beton yüzey ile gerekli gürültü absorpsiyonunun, durabilitenin ve dayanımının elde edilebilmesi mümkündür.

4.5 Belçika

Belçika uzun yıllardır rijit üstyapılar inşa etmektedir. Şekil 4.17'de görülebileceği gibi, 1925 yılında Brussels'in güneyinde inşa edilen derzli rijit üstyapı hala iyi durumdadır. Otoyolların yaklaşık olarak %40'ı rijit üstyapılar kullanılarak inşa

edilmiştir. Bu rijit üstyapıların çoğunluğu sürekli-donatılı tipte olmakla birlikte, aynı zamanda birçok derzli-donatısız tipteki rijit üstyapılar da mevcuttur. Örneğin; 1957 yılında Eindhoven ile Brussels arasında inşa edilen kayma donatılı derzli-donatısız tipteki rijit üstyapı bugün hala iyi durumdadır. Rijit üstyapı; 15 cm'lik işlenmemiş kum tabaka ve 15 cm'lik çimento ile işlenmiş kum tabaka üzerine 20 cm'lik beton bir plakla meydana getirilir. Belçika devleti, düşük bakım ihtiyacı nedeniyle sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapıları tercih etmiştir. Bu tipteki üstyapılar, 1970 yılından beri eski rijit veya asfalt üstyapı kaplaması olarak ve yeni üstyapıların yapımında kapsamlı olarak kullanılmaktadır.



Şekil 4.2 : Dreve-de-Lorraine Karayolu, Brussels; 1925 yılında boyuna derz olmadan inşa edilmiş olan derzli rijit üstyapı. [4]

Belçika, 1980'li yıllarda geliştirdiği ve kapsamlı olarak kullandığı, yuvarlanma gürültüsü ve vibrasyon düzeyini azaltıp, bununla birlikte yüksek sürtünmeli bir yüzey sağlayan; ortaya çıkarılmış agrega tekniğiyle çok iyi bilinmektedir.

Belçika'daki rijit üstyapıların, özellikle sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapıların, performansı sadece olağanüstü iyi olarak tanımlanabilir. Önceki tasarımla elde edilen mükemmel performansa etki eden başlıca unsurlar:

- Sürekli-donatılı tipteki rijit plağın üstünden 6 cm derinliğe yerleştirilen % 0.85 oranındaki donatı,
- Aşınmaya karşı direnç amacıyla kullanılan yüksek çimento içeriği,

- Erozyonun azaltılması için, sürekli-donatılı tipteki rijit plakla zayıf beton tabaka arasında aderans sağlayan 6 cm'lik asfalt betonu ara tabaka,
- Taban zemininin üzerindeki kalın granüler tabaka,
- Yüksek dayanımlı beton ve bunun donma-çözölmeye karşı yüksek direnci.

Dar çatlak aralıkları ve erozyonun olmaması nedeniyle düşük bakıma ihtiyaç duyan, 30 yıl veya daha uzun süreli bir hizmet ömrü beklenmektedir.

Son zamanlarda, donatı içeriğinin % 0.67'ye indirilmesini, donatının 9 cm derinliğe yerleştirilmesini ve asfalt betonu ara tabakanın elimine edilmesini içeren tasarımlar ortaya konmuştur. Bu üstyapı tasarımı daha önceki sürekli-donatılı tipteki rijit üstyapı tasarımı gibi iyi bir performans göstermemiştir; çatlaklar daha geniştir ve plak ile zayıf beton tabaka arasında erozyon oluşumu gözlemlenmiştir. Şu anda asfalt betonu ara tabakanın yeniden kullanılmaya başlandığı rapor edilmiştir.

4.6 Amerika Birleşik Devletleri

Rijit üstyapılar ABD'deki yüksek sınıftaki millerce yolun yalnızca %15'ini (219.487 km) oluşturur. Ancak, rijit üstyapılar yol ağının en yüksek hacimli, yüksek hız ve ağır taşıt trafiğinin taşındığı kısmı olan eyalet içi sistem nedeni ile ulusal yol şebekesinde, %50'nin üzerinde bir değerle, hayati bir rol oynar. Rijit üstyapılar ayrıca kent kesimi ve havaalanlarında çokça kullanılır.

Rijit üstyapılar ABD'de mükemmel performans göstermişlerdir. Bir çoğu tasarım trafiklerinden çok daha fazla yüklenmişler, ancak 20 yıldan fazla hizmet vermişlerdir. Bu üstyapılara etkili yenilemeler yapılmış ve hizmet ömürleri 10 yıl veya daha fazla uzatılmıştır. Geçmiş deneyimlere dayanarak, az miktarda tasarım değişiklikleri yapıldığında, derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar (ve derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar ve sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar)'ın ömürleri daha da uzatılabilir.

4.7 Türkiye

KGM 1950 yılında kurulmuştur. Kuruluşundan günümüze dek yeni karayolları ve otoyollar inşa ederek, mevcut yolların bakım ve onarım işlerini kusursuz bir şekilde yaparak hizmet vermektedir. Ancak, nedense 63.000 km. şehirlerarası yolun tamamı

asfalttır. Bu süre içerisinde elle yapılan birkaç beton yol da zayıf dizayn ve işçilikten dolayı fazla hizmet verememiştir. Günümüzde Türkiye karayolu taşımacılığına ağırlık verdiği için mevcut yollardaki trafik yükü düzenli olarak artmaktadır. Türkiye Avrupa'nın en büyük TIR filosuna sahiptir. Sonuç olarak asfalt yollarda, ciddi trafik sıkışıklıklarına sebep olan bakım ve onarım işleri daha çok ve sık gerekmektedir.

4.7.1 Adana'da ilk rijit üstyapı uygulamaları

1985-1990 'lı yıllarda Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından başlatılan Yeni Adana Projesi kapsamındaki Planlı Şehirleşme uygulamalarında bir çok bulvar Beton Yol olarak yapılmıştır. Günümüze kadar herhangi bir bakım ve onarım gerektirmeden hizmet veren bu yolların daha da uzun yıllar hizmet vereceği görülmektedir. Başta Adana Büyükşehir Belediyesi olmak üzere diğer çevre Belediyeler de beton yolların yapımı konusunda yeni projeler üretmeyi planlamaktadırlar. Adana Büyükşehir Belediyesi 'nin 1985-1990'lı yıllarda yapımını gerçekleştirdiği Beton Yollar 'ın mevcut görüntüleri aşağıda verilmiştir. [7]



Şekil 4.3 : Adana-Mavi Bulvar (Yapım yılı: 1986, 2x2 şerit) [7]



Şekil 4.4 : Adana-Turgut Özal Bulvarı (Yapım yılı: 1986-1987, 2x3 şerit) [7]



Şekil 4.5 : Adana-Adnan Menderes Bulvarı (Yapım yılı: 1987, 2x2 şerit) [7]



Şekil 4.6 : Adana- Özdemir Sabancı Bulvarı (Yapım yılı: 1994, 2x2 şerit) [7]



Şekil 4.7 : Adana- İncirlik Hava Üssü çevre güvenlik yolu beton dökümü. [7]

4.7.2 Afyonkarahisar'daki rijit üstyapı uygulamaları

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ülkemizde beton yolu tanıtmak ve beton yol uygulamalarını başlatmak amacı ile çeşitli etkinliklerde bulunmuştur. Bunların arasında konu ile ilgili yayınlar çıkarmak, ulusal ve uluslararası sempozyumlar düzenlemek sayılabilir. Bu konudaki en önemli gelişme ise kuşkusuz 9 Nisan 2002 tarihinde Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) ile imzalanan protokol olmuştur. [11]

Protokol'e göre TÇMB deneme amaçlı olarak iki ayrı güzergahta beton yol yapımını üstlenmiştir. İstanbul'daki beton yol Hasdal Kavşağı- Kemerburgaz yolunun 3.5 km lik bir bölümünde, Afyon'daki beton yol ise Afyon-Emirdağ yolunun 2 km'lik bir bölümünde yapılmıştır. Her iki yolda temel tabakalarının yapımı KGM, beton plakların yapımı da TÇMB tarafından gerçekleştirilmiştir.

TÇMB rijit üstyapı projelendirme metodu ile rijit kaplama yapımı teknik şartnamesinin hazırlanmasında KGM'ne yardımcı olacak, beton yol konusunda KGM teknik personeline kurs / seminer verilmesini ve yurt dışında inceleme yaptırılmasını sağlayacaktır. Afyon'daki yolun bakım ve onarımı yapımından sonra 5 yıl süre ile TÇMB'ye ait olacaktır.

Türkiye'deki ilk beton karayolu TÇMB tarafından finanse edilmiş ve bir Türk müteahhit firması tarafından başarı ile inşa edilmiştir. Beton yolun ilk maliyetinin asfalt yola yakın olması beton yolların yapımının Türkiye için de uygun olduğunu göstermiştir. KGM bölünmüş yolun diğer kısmının asfalt betonu yapacağını

bildirmiştir. Bu sayede çimento betonu ve asfalt betonu yolların aynı şartlar altında karşılaştırılması mümkün olacaktır.

1950 yılındaki kuruluşundan günümüze dek KGM sadece asfalt yollar yapmıştır. KGM personeli ve karayolu müteahhitleri asfalta alıştığından dolayı, beton yol yapımı gibi yeni bir teknolojiye karşı biraz da çekingenlik ve kararsızlık oluşmuş bulunmaktadır. Bu psikolojik etkinin yanı sıra beton yolun asfalttan daha pahalı olduğu yönündeki yanlış düşünce bugüne kadar ülkemizde beton yolların yapımını engellemiştir. Afyon'daki beton yol yapıldıktan ve denedikten sonra beton yolların Türkiye'de de özellikle ağır trafik yükü olan, zayıf zemin özellikleri gösteren, sıcak iklimli bölgelerde tercih edileceği umulmaktadır.

Sonuç olarak Afyon'da ilk beton karayolunun yapılmasının ülkemizde inşaat mühendisliğinin bu alanında gerçekten önemli bir gelişmenin başlangıcı olarak sayılabileceğine inanılmaktadır. [11]

5. RİJİT ÜSTYAPILARDA KULLANILAN MALZEMELER

Rijit üstyapı tasarımını sağlıklı olarak gerçekleştirilebilmesi için üstyapının kaplanmasında kullanılacak betonun ve betonu meydana getiren bileşenlerinin özelliklerinin çok iyi bilinmesi gereklidir.

Beton genel olarak hava, agrega ve çimento hamurundan ibarettir. Çimento hamuru, su ve çimentonun belirli bir oranda karıştırılması ile elde edilir. Su ve çimento kimyasal reaksiyon yaparak sertleşmekte ve agrega danelerini bağlayarak karışımı yapay bir taş haline getirmektedir. [1]

İdeal bir beton için aşağıdaki üç husus aynı anda sağlanmalıdır:

- Mukavemet
- İşlenebilirlik
- Durabilite

Bu temel özellikleri sağlayan en ekonomik üstyapı betonunun üretilmesi esastır.

5.1 Çimento Bağlayıcılar

Çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve nihayet sertleşen ince taneli malzemedir. Çimento hamuru, katılaşması sırasında agrega danelerini birbirine bağlamak ve zamanla sertleşme yeteneğinden dolayı mukavemet kazanma özelliğine sahiptir. Betonun mukavemeti çimento tarafından sağlandığından çimentoya ait özelliklerin de iyi bilinmesi gerekir.

5.1.1 Çimento Özellikleri

Çimentonun; fiziksel özellikleri, mukavemet ve rötre özellikleri rijit kaplamalar için büyük önem taşımaktadır.

5.1.1.1 Çimentonun fiziksel özellikleri

Aşağıdaki bölümlerde, genel hatlarıyla çimentolarda aranan fiziksel özellikler verilmiştir:

- **İncelik:** Çimentonun bağlayıcılık özelliğini kazanabilmesi için klinkerlerin çok ince olarak öğütülmesi gereklidir. Çimento ne kadar çok öğütülürse;
 - Hidratasyon hızı artarak özellikle ilk 7 günde mukavemet artışı hızlanır,
 - Hidratasyon ısısı artarak çatlama ve rötre fazlaşır,
 - Aynı ağırlıktaki çimentonun tane sayısı artacağından agregayı sarma miktarı artarak daha güçlü aderans sağlanır.

Sonuç olarak klinker çimentonun mukavemeti için yeterince öğütülmeli fakat hidratasyon ısısını artırmamak için fazla öğütülmemelidir. Çimentonun inceliği, belirli elekler üzerinde yüzde kalan miktarlar ve özgül yüzey alanının bulunması ile tayin edilir.

- **Hacim Genleşmesi:** Çimentonun hacimce genleşme miktarı, sertleşmiş çimentonun dayanıklılığının göstergesidir. Prizden sonra sertleşen çimentonun hacimce genleşmesi arzulanmaz. Zira fazla genleşme, çimentodaki serbest kireç ve MgO miktarının fazla olduğunu göstermektedir. Bu maddeler suda çözüldüğünden betonun mukavemeti ve durabilitesi üzerinde olumsuz etkiler yaratmaktadır. Betonun genleşmesine neden olan serbest oksitler, çimento hamurunun genleşmesi ile ölçülür ve belirli bir değeri geçmemesi istenir.
- **Priz Süresi:** Çimentonun prize başlaması ne çok erken ve prizini tamamlaması da ne çok geç olmalıdır. Aksi halde çimento normal hidratasyonunu yapamayacaktır. Her ne kadar priz başlangıç süresi klinkere katılan alçı taşı (jibs) ile ayarlanabilirse de priz sonu süresi ise tamamen çimentonun kalitesi ile ilgilidir. Priz başlangıcı, çimento kıvamının değişime başladığı anı ve priz sonu ise plastikliğini yitirdiği anı ifade etmektedir.

Belirli bir çimentonun priz süresine etki eden başlıca faktörler;

- Sıcaklık
- w/c oranı
- çimentonun kullanmadan önce uzun süre bekletilmesi

olarak sayılabilir. Ortam ısı arttıkça kimyasal bir reaksiyon olan hidrasyonun da artmasına neden olduğundan priz süresi kısalmaktadır. Çimento katılan su miktarı arttıkça priz süresi de uzar. Çimento kullanılmadan önce uzun süre bekletilmişse rutubet kaparak prizin geç başlamasına neden olmaktadır. Genel olarak, priz başlangıcı 1 saatten az ve priz sonu ise 8-10 saatten fazla olmamalıdır.

- **Kızdırma (Isıtma) Kaybı:** Kızdırma kaybı miktarı her ne kadar çimentonun kimyasal özelliğini yansıtsa da çimentonun fiziksel olarak uygun olmayan bekletilme sonunda rutubet kapmış olmasının tespit edilmesinde de yararlıdır. Bunun için çimento numunesi 900°C ile 1000 °C de sabit ağırlığa erişene kadar kızdırılır ve ağırlık kaybı tespit edilir. Eğer bu kayıp fazla ise çimentoda rutubetlenme ve karbonatlaşma olduğunu gösterir. Kızdırma kaybı standartta belirtilen üst sınırdan fazla olmamalıdır.
- **Özgül Ağırlık ve Yoğunluk:** Portland çimentolarının özgül ağırlığı genel olarak 3,15 iken katkı çimentolarda ise 2,90'nın üzerindedir. Yoğunluk ise gevşek halde 830 kg/m³ iken vibrasyon ile konsolide edildiklerinde 1650 kg/m³ olup hesaplamalarda 1800 kg/m³ olarak alınmaktadır.
- **Çözünmeyen Kalıntı:** Çözünmeyen kalıntı çimento hammaddelerinin pişme derecesi, gayri safi maddelerin miktarı, mineral katkıların oranı, vb. konularda bilgi verir. Çözünmeyen kalıntı miktarı standartta belirtilen üst sınırdan fazla olmamalıdır.

5.1.1.2 Çimentonun mukavemet özellikleri

Çimento su katılarak elde edilen plastik kıvamdaki hamur zamanla katılaşı ve daha sonra sertleşmeye yani mukavemet kazanmaya başlar. Çimentonun mukavemet kazanma olayı;

- Hidrasyon (çimentonun suyla yaptığı reaksiyon veya kimyasal olay)
- Katılma (fiziksel olay- priz süresi)
- Sertleşme (mekanik olay-mukavemet artış hızı)

olmak üzere 3 evreden meydana gelir.

- **Hidratasyon:** Kimyasal bir olay olan hidratasyon aşağıdaki özelliklere sahiptir;
 - Çimentonun suyla tam olarak hidratasyon yapabilmesi için klinkerin çok ince olarak öğütülmesi gerekir.
 - Hidratasyon olayı zamanın bir fonksiyonu olduğundan çimentonun ana bileşiklerinin suyla yaptığı reaksiyonu çok uzun hatta senelerce sürer. Suyla temas eden betonlarda sürekli bir mukavemet artışı olmaktadır.
 - Hidratasyon sırasında kimyasal reaksiyonlar ile ısı açığa çıkar. Buna hidratasyon ısı denir. Hidratasyon ısı başlangıçta daha çok iken daha sonraları azalmakta ancak yayılan toplam ısı zamana bağlı olarak artmaktadır.
 - Silikatlar suyla reaksiyon yaptıktan sonra serbest kireç açığa çıkarılır daha sonra alüminantlar bu serbest kireçte reaksiyona girerek jelleri meydana getirirler. Özellikle C_3A çok hızlı hidratasyon yaptığından büyük bir ısının açığa çıkmasına ve priz çabuklaşmasına neden olur. Bu nedenle, klinkere jibs (alçı taşı) katılarak ani priz (flash) olayı geciktirilir.

Hidratasyon olayına etki eden en önemli faktörler;

- Çimentonun aşırı ince öğütülmesi,
- Çimento ana bileşiklerinden C_3A ve C_2S 'i aşırı olması sayılabilir. Çizelge 5.1'de çimentonun yaydığı hidratasyon ısı görülmektedir.

Çizelge 5.1 : Çimento Bileşiklerinin Yaydıkları Hidratasyon Isıları [1]

| Ana Bileşik | Hidratasyon Isısı, Kalori/g | |
|-------------|-----------------------------|---------------------|
| | 48 Saatte | Hidratasyon Sonunda |
| C_3A | 150 | 207 |
| C_3S | 100 | 120 |
| C_4AF | 40 | 100 |
| C_2S | 10 | 62 |

Hidratasyon ısı en fazla alüminli çimentolarda ve en azda katkılı özellikteki yüksek fırın cürüflü çimentolarda rastlanır. PÇ 42.5 ve 52.5 tipi çimentolar daha çok öğütüldüklerinden PÇ 32.5'a göre fazla hidratasyon ısı yayarlar.

- **Priz (Katılma):** Çimento hamurunun katılmaya başlaması ile plastikliğini kaybetmesi arasında geçen süreye priz denilir. Beton priz başlangıcından önce kalıbına konup yerleştirilmeli ve priz süresince aşırı su kaybını önlemek için kür (koruma) uygulanmalıdır. Sıcaklık, su miktarı, çimentonun kullanılmadan önce

- bekletilmesi gibi hususlar priz süresi üzerinde önemli rol oynarlar. Alkali agrega reaktivitesine yol açan alkali oksitlerin (Na_2O ve K_2O) çimentoda fazla olması prizın çabuk başlamasına neden olur.

- **Sertleşme (Mukavemet Kazanımı):** Priz olayından sonra meydana gelen hidrate elemanlar çok boşluklu olup sertleşme sırasında meydana silikat hidrate kristalleri zaman içinde büyüyerek kılcal boşlukları doldurması ile çimento mukavemet kazanmaya başlar ve başlangıçta hızlı daha sonraları yavaş bir şekilde mukavemet artar. Çimentoların mekanik mukavemeti hidrasyon hızına bağlıdır. Dolayısıyla hidrasyon olayını etkileyen tüm faktörler çimentonun mukavemeti üzerinde de etkin olurlar. Mukavemete etki eden hususlar;

- Zamana bağlı faktörler,
- Kür şartlarına bağlı faktörler,
- Çimento özelliklerine bağlı faktörler

olarak sayılabilir. Bunlardan ilk iki faktör beton konusunda detaylı olarak ele alınacaktır. Çimento özelliklerinin mukavemete olan etkileri ise aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Çimentonun hidrasyonu ne kadar hızlı ise mukavemet artışı da o kadar hızlıdır.
- Hidrasyon olayı, çimentonun inceliğine ve hızlı hidrasyon yapan bileşiklerin miktarına bağlıdır. Bundan dolayı, farklı cins çimentoların mukavemetleri farklı olabileceği gibi aynı tip çimentoda da farklılıklar olabilir.
- Isı ve rutubet ne kadar fazla ise mukavemet artışı da o kadar fazladır.

5.1.1.3 Çimentonun rötre özellikleri

Rötre hacim büzülmesi olayı olup donatı ile betonun aderansını artırması nedeni ile faydalı iken betonda çatlamalara neden olduklarında sakıncalıdır. Rötre;

- Termik
- Plastik (çabuk)
- Hidrolik

olmak üzere ele alınacaktır. Eğer sadece rötre denilirse hidrolik rötre anlaşılmalıdır.

- **Termik Rötre:** imento hidratasyonu sırasında çıkan hidratasyon ısısı beton kütlesinin ısısını artırmakta ve betonun hava ile temas eden yüzeyi ise soğumaktadır. Soğuyan kısım bzlmeye çalışırken sıcak olan iç kısım tarafından büzülme engellenmektedir. Bu da çekme gerilmelerini yaratarak betonun çatlamasına neden olacaktır. Bu nedenle, yüksek hava sıcaklıklarında beton dökülmemeli veya bir takım tedbirler alınmalıdır.

- **Plastik (abuk veya Erken) Rötre:** Henüz taze betonun prizi sırasında meydana gelen plastik rötre beton dökümünü takip eden günde üstteki donatılar boyunca oluşan kılcal çatlaklar ile kendini gösterir. Özellikle işlenebilirliği düşük katı betonlar yada işlenebilirliği çok yüksek ama yeterince kohezyonu olmayan betonlar kalıba yerleştirildikten sonra vibrasyon etkisi ile terleme (imento şerbetinin dışa ve agregaların dibe okmesi olayı) meydana gelir. Kütlenin dış kısmında (hava ile temas eden veya kalıpla temas eden yüzeylerde) terleme ile biriken su buharlaşma ile veya kalıp tarafından emilerek süratle yok olur ve hızlı bir büzülme meydana gelir. Bu da betonda çatlamalara ve donatı ile iri agrega altlarında boşluklar oluşmasına neden olarak aderansın azalması hatta yok olmasına yol açmaktadır. Bu nedenle, işlenebilirlik ne az ne de çok olmalı terlemenin kontrolü için kohezyonu yüksek beton üretilmelidir.

- **Hidrolik Rötre (Kuruma Büzülmesi):** Buna sertleşmiş beton rtresi veya kuruma rtresi adları da verilmektedir. Hidrolik rötre beton üretiminden hemen sonra başlar ve 5-6 ay hatta 1 yıl devam eder. Hidrolik rötrenin nedeni ile ilgili birçok hipotez ne sürülmüş ise de tam olarak nedeni belirlenememiştir. Ancak imento hamuru su kaybettikçe bzlmeye çalışacak ve rijit malzeme olan agrega bu büzülmeyi engellemeye çalışacaktır. Beton-harç-hamur'a ait tipik rötre miktarı 1-3-7 olarak alınabilir. Görüldüğü gibi, beton içindeki farklı büzülmelerin yaratacağı iç gerilmeler betonun çatlamasına neden olacaktır.

Plastik rötre betondan ve termik rötre ile hidrolik rötre ise çimentodan kaynaklanır. Harç (ince kısım) ve özellikle agrega hacim daralmasına karşı koyar. Dolayısıyla agrega daneleri ne kadar sağlam ise çimentonun daralmasına o kadar karşı koyabilecektir. Dolayısıyla betonda agrega arttıa imento miktarı azalacağından dolayı rötrenin de azalması beklenmelidir.

Genel olarak;

- ısı, rüzgar arttıkça ve rutubet azaldıkça yani su kaybı arttıkça
- çimentonun C_2S miktarı, inceliği, hidrasyon ısı ve dozajı arttıkça
- w/c oranı ve karma suyu ihtiyacı arttıkça

rötre miktarı artmaktadır.

5.2 Agregalar

Agrega yol kaplamasının stabilitesinden sorumlu olduğu kadar miktar olarak da önemli bir paya sahiptir. Çünkü bağlayıcısız temel ve alttemel tabakalarının tamamı, rijit üst yapıların ağırlıkça %70-80'i ve hacimce %60-75'i agregadan sağlanır. Hem kaplamanın stabilitesine olan büyük katkısı hem de çok büyük miktarda gereksinim duyulmasından dolayı agreganın çok önemli bir yol malzemesidir.

Agregalar sınıflandırılırken göz önünde bulundurulması gereken özellikleri şunlardır;

- Mineralojik yapıları,
- Boyut,
 - Kaba agregalar
 - İnce agregalar
 - Filler
- Gradasyon
 - Kesikli gradasyon
 - Yoğun-sürekli gradasyon
 - Boşluklu-sürekli gradasyon
 - Tek boyutlu gradasyon
- Biçim
 - Yuvarlak
 - Yarı yuvarlak
 - Yarı açısız (yarı köşeli)

- Açısal (köşeli)
- Yüzey yapısı
- Çok pürüzlü
- Pürüzlü
- Düzgün
- Cilalı

Beton Agregalarının Özellikleri

Betonda kullanılan agregaların sahip olduğu özellikler, betonun tüm özellikleri üzerinde etkin bir rol oynar. Bunlar;

- Betonun mukavemeti; agrega mukavemeti, dane şekli ve yüzey yapısı, maksimum dane boyutu, gradasyon, kil içeriği.
- Betonun yoğunluğu; agreganın özgül ağırlığı, dane şekli, maksimum dane boyutu, gradasyon, yoğunluk.
- Betonun durabilitesi; agreganın porözitesi, cilalanma direnci, don direnci, aşınma direnci, dane şekli, yüzey yapısı.
- Betonda rötre; agreganın maksimum boyutu, gradasyon, dane şekli, kil içeriği olarak ele alınacaktır. Beton agregalarında aranılan temel özellikleri, amaçları ve aranılan şartlar Çizelge 5.2’de özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 : Beton Agregalarının Özellikleri [1]

| ÖZELLİKLER | AMAÇ | ARANILAN ŞARTLAR |
|--|--|---|
| Özgül ve Birim Ağırlık | Miks-Dizayn | Beton mukavemeti için her ikisi de büyük olmalı |
| Dane Biçimi ve Yüzey Pürüzsüzlüğü | İşlenebilirlik ve Aderans | Yassı ve ince kısımlar olmamalı, işlenebilirlik için cilalı ve aderans için pürüzlü olmalı |
| Absorbsiyon ve Rutubet | Karma suyunun ayarlanması | Absorbsiyon, karma suyunu azaltması bakımından zararlı ama aderans için faydalıdır |
| Islatma Suyu | Miks-Dizayn | Islatma suyu ihtiyacı az olmalı |
| Agrega-Çimento Aderansı | Agrega ile çimento hamuru arasındaki bağ | Eğilme mukavemeti için aderans yüksek olmalı |
| Yabancı Maddeler: Kil ve Silt Organik madde Yumuşak maddeler Yanıcı madde No.200' den geçen kısım | Durabilite, İşlenebilirlik Durabilite, Priz gecikme Durabilite Mukavemet, Durabilite Aderans, İşlenebilirlik | Olmamalı Olmamalı Olmamalı Olmamalı Son derece az veya olmamalı |
| Dayanıklılık | Aşınma Direnci | Yüksek olmalı |
| Don Dayanıklılığı | Don Direnci | Yüksek olmalı |
| Çevre Etkilerine Dayanıklılık | Durabilite | Yüksek olmalı |
| Porözite | Mukavemet, Don Direnci, Durabilite | Porözite az olmalı |
| Dane Şekli ve Yüzey Pürüzlülüğü | Mukavemet, Su ihtiyacı, Boşluk oranı | Dere malzemesi; boşluk oranı daha az, su ihtiyacı daha az, işlenebilirlik daha fazla Kırmataş; boşluk oranı daha fazla, su ihtiyacı daha fazla, işlenebilirlik daha az. Mukavemet; hemen hemen aynı |
| Alkali-Agrega Reaksiyonu | Hacim Stabilitesi | Olmamalı |
| Alkali-Karbonat Reaksiyonu | Durabilite, Aderans | Olmamalı |
| Granülometri | Mukavemet Durabilite Ekonomi İşlenebilirlik Segregasyon | İşlenebilirliği sağlayacak kadar yoğun gradasyon, segregasyonu önleyecek kadar d_{max} , mukavemeti artıracak kadar büyük d_{max} , durabiliteyi artırmak için düşük boşluk oranı, ekonomi için minimum dozaj, optimum w/c oranı, mukavemeti artırmak için maksimum yoğunluk gerekir. |

- **Özgül Ağırlık ve Birim Ağırlık:** Agregaların özgül ağırlığı sahip olduğu minerallere bağlı iken birim ağırlık değeri daha ziyade dane şekline bağlıdır. Normal beton agregalarının özgül ağırlığı 2,50 ile 2,80 genellikle 2,60 ile 2,70 arasında değişir.

Agregalar su ile dolabilen ve dolamayan boşluklar ile boşluksuz (katı) hacimlere sahip olduğundan dolayı zahiri, hacim ve doygun-kuru yüzey olmak üzere üç farklı özgül ağırlık değerine sahiptir. Ancak miks-dizayn (karışım hesapları) için betonlarda doygun-kuru yüzey özgül ağırlık kullanılır.

Doygun-kuru yüzey özgül ağırlık, agrega danelerinin beton karma suyu ile doymuş hale geldiği ağırlığı ifade ettiğinden beton içindeki boşluksuz (mutlak) hacminin tayininde kullanılır.

Birim ağırlık, kuru agrega ağırlığının boşluklu hacmine oranı yani yoğunluğudur. Özgül ağırlık ve birim ağırlık ne kadar fazla olursa beton mukavemeti de o denli yüksek olmaktadır. Ayrıca birim ağırlık fazlaştıkça boşluk oranı fazlaştığından ince kum ve çimento hamuru ihtiyacı da azalacaktır. Bunlara ilaveten beton agregalarının bir kompasite (C) değeri vardır. Agreganın kompasitesi ne kadar düşük olursa;

- Betonun mukavemeti azalır
 - Boşluk miktarı artacağından çimento ihtiyacı artar
 - Permabilite artar
 - Betonun durabilitesi azalır
- **Absorbsiyon, Porözite ve Rutubet:** Absorbsiyon agreganın suyu emme kabiliyeti iken porözite ise agrega danelerinin suyu emebilecek boşluk miktarıdır. Dolayısıyla agreganın absorpsiyon porözitesinin de bir göstergesidir.

Porözitenin küçük olması agrega danelerinin yüksek mukavemetli olmasını gösterir. Bu da beton mukavemetinin artmasına neden olacaktır. Fakat agreganın porözluğu, agrega-çimento aderansını artırmaktadır. Yüksek mukavemetli betonların mukavemeti, çimento hamurunun mukavemetinin yanı sıra agrega mukavemetinin de yüksek olmasını gerektirdiğinden dolayı porözitenin %5'ten fazla olmaması önerilmektedir.

Agreganın porözitesi ile absorbe edilen su beton karma suyunu azaltacağından betonun işlenebilirliği de azalacaktır. Beton karma suyu agrega tarafından absorbe edilecek su miktarı kadar artırılmalı ve eğer agrega rutubet (serbest su) ihtiva ediyorsa bu miktar kadar da azaltılmalıdır.

Agreganın bu özellikleri arasında en önemli porözitedir. Zira porözite, agreganın mukavemeti için bir gösterge olduğu gibi donma-çözülme ve ıslanma-kuruma direnci için de önemlidir. Agreganın porözitesi ne kadar az ise durabilitesi de o kadar fazla olacaktır. Fakat absorpsiyonun bir miktar fazla olması halinde çimento hamuru ile agregan aderansı artacağından betonun da mukavemeti artacaktır.

- **Dane Şekli ve Yüzey Pürüzlülüğü:** Yüksek çekme ve basınç mukavemeti gerektiren betonlarda kırmataş agregaya kullanılmalıdır. Yani rijit kaplamalarda (özellikle hava alanı) kullanılacak beton agregaları mutlaka kırmataş olmalıdır. Agregaların yuvarlak ve pürüzsüz yüzeyli olması halinde işlenebilirlik artmakta ve sıkışma direnci ile içsel sürtünme açısının az olması nedeni ile daha kolay sıkışarak boşluk miktarı azalmaktadır. Halbuki kırmataş agregaya yuvarlak olmadığından dolayı köşeli ve pürüzlü bir yapıya sahiptir. Bu nedenle, daneler arasında kilitleme ve boşluk miktarında artış olur.

Agrega danelerinin pürüzlülüğü arttıkça işlenebilirlik özelliği azalacağından daha çok karma suyuna ihtiyaç gösterecektir. Agregada yuvarlak danelerin yüzdesi arttıkça boşluk oranı da önemli ölçüde azalmaktadır. Kumun toplam yüzey alanı çakıllara nazaran çok daha fazla olduğundan beton karma suyu ihtiyacı artacaktır. Bu nedenle, uygun bir gradasyona sahip olmak kaydı ile kum miktarı az olan agregalar daha uygundur. Kırmataş kumdan yapılan beton kaplamaların yüzeyi ne kadar iyi perdah yapılırsa yapılırsa dere malzemesi kuma nazaran daha pürüzlü olmaktadır. Bu da taşıtlar için yüksek sürtünme yaratacağından sürüş emniyeti açısından avantaj yaratmaktadır.

- **Agregaların Su İhtiyacı:** Beton karma suyu ihtiyacı, çimentonun hidratasyonu için yaklaşık çimento ağırlığının %24'ü kadar ve agregaya danelerinin ıslanması için yaklaşık agregaya ağırlığının %3-5'i kadar ve porözite ile buharlaşma için gerekli bir miktar suyun toplamına eşit olacaktır.

Agregaların su ihtiyacı;

- Agreganın porözitesi
- Agreganın dane şekli ve yüzey yapısı
- Maksimum dane çapı
- Boşluk oranı vb.

özelliklere göre değişim gösterir.

Kırmataş agregalar, yuvarlak ve cilalı yüzeyli dere malzemesi agregalara nazaran daha fazla boşluk oranı, daha fazla yüzey alanı ve daha fazla poröz olduklarından dolayı daha fazla ıslatma suyu gerekecektir.

İslatma suyunun bir kısmı çimento ile reaksiyona girmekte ama büyük bir kısmı da beton sertleştikten sonra buharlaşıp kaybolduğundan dolayı beton içinde boşluk bırakmaktadır. Bu nedenle, ıslatma suyu mümkün olduğu kadar az işlenebilirliği sağlayacak kadar da fazla olmalıdır.

- **Çimento Hamuru-Agrega Aderansı:** Çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans kuvveti, özellikle çekme ve eğilme mukavemeti için önemlidir. Agregada danelerinin yüzey pürüzlülüğü ve porözluğu arttıkça ve mineralojik homojenliği azaldıkça aderans artmaktadır.
- **Durabilite (Dayanıklılık-Aşınma Direnci):** Agregaların durabilitesi beton kaplamanın kalitesi hakkında önemli bir göstergedir. Özellikle yol ve hava alan beton kaplamaları, ağır yüklere maruz otoparklar, yükleme-boşaltma sahalarındaki kaplamalar, vb. yerlerde yapılacak betonlar için kullanılan agregaların aşınma direnci de yüksek olmalıdır. Ayrıcı aşınma direnci yüksek olan agregaların basınç mukavemetleri de yüksektir.
- **Don Dayanıklılığı (veya Direnci):** Agregaların don dayanıklılığı;
 - Porözite,
 - Absorbsiyon,
 - Permabilite

özelliklerine bağlıdır. Agregada danelerinin bünyesindeki boşluklarına nüfus eden suyun donma-çözülme periyotlarında yaratacağı ilave gerilmeler agreganın yorulma mukavemetini aşarak parçalanmasına neden olacaktır. Zira agregada daneleri içindeki boşluklarda bulunan su donma sonunda genişleyerek agregada üzerinde ilave gerilmeler yaratmaktadır. Özellikle beton kaplamalarında donma-çözülme periyotlarında kaplamanın altında başlayan çatlaklar zamanla yüzeye çıkmaktadırlar.

Çevre Etkilerine Dayanıklılık: Agregaların donma-çözülme periyotlarındaki hacim genişlemelerine ilaveten,

- ısı değişimleri
- ıslanma-kuruma
- buz çözücü maddeler gibi

olumsuz etkilere de karşı dayanıklı olması gerekir. Aksi takdirde betonda küçük tip kusurlardan (oyulma, soyulma, çatlaklar, yüzeysel aşınma, vb.) tehlikeli parçalanmalara kadar büyük hasarlar meydana gelebilir.

Bünyesinde kir ve sülfat mineralleri içeren agregalar çevre etkilerine dayanıklı değildir. Agregada daneleri içindeki boşlukların boyutu ne kadar küçükse o kadar fazladır.

- **Zararlı Maddeler:** Beton agregalarında bulunacak yabancı madde miktarı, Çizelge 5.4'te belirtilen değerden fazla olmamalıdır.

Çizelge 5.3'te verilen yabancı maddeler adersansın azalması, priz süresine olumsuz etkisi, çimento ile zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açması, mukavemeti düşürmesi, vb. nedenlerden ötürü zararlıdır.

Çizelge 5.3 : Beton Agregasında Maksimum Yabancı Madde Miktarı (TS 706) [1]

| Yabancı Madde | Ağırlıkça Maksimum Miktar, % | |
|---------------------------|------------------------------|-------------|
| | İNCE AGREGA | KABA AGREGA |
| Kil Topakları | 1,00 | 0,25 |
| Yumuşak Daneler | - | 5,0 |
| Kömür ve Linyit | 1,00 | 1,00 |
| No.200'den geçen kısım | - | 1,00 (2) |
| a. Aşınmaya Maruz Betonda | 4,00 (1) | - |
| b. Tüm Betonlarda | 5,00 (1) | - |

Not: 1. No.200'den geçen kısım taş tozu (mineral) ise %2 artırılabilir.

2. No.200'den geçen kısım taş tozu (mineral) ise %0,5 artırılabilir.

Agregaların Termal Özellikleri: Beton içindeki agregada miktarına ve ısıl genişleme katsayısına bağlı olarak agreganın ısı ile genişmesi sonucu betonda da genişleme olacaktır. Ancak agreganın ısı ile genişmesindeki esas problem, kaba agreganın ısıl genişleme katsayısı ile çimento hamurunun ısıl genişleme katsayısının birbirlerinden çok farklı oluşudur. Büyük ısı değişimleri sırasında genişleme katsayılarının birbirlerinden çok farklı olması nedeni ile farklı genişmelerden ötürü agregada ile çimento hamuru koparak ayrılabilir. Aynı şekilde soğuk havalarda agregada ile çimento hamuru farklı büzülme gösterdiğinden benzer problem doğmaktadır. Eğer agregada ve çimento hamurunun ısıl genişleme katsayıları arasındaki fark, $5,5 \times 10^{-6}$ °C den fazla ise donma-çözülme periyotlarında beton önemli ölçüde etkilenmektedir.

- **Granülometri (Dane Dağılımı, Gradasyon, Derecelenme):** Granülometri granüler danelerin boyut dağılımını ifade eder. Diğer bir deyişle dane çaplarının dağılım eğrisi yani granülometrisi agrega içindeki farklı dane boyutlarının hangi oranlarda olması gerektiğini ortaya koyar. Eğer agreganın granülometrisi şartname sınırları içindeyse mukavemetli, dayanıklı ve ekonomik bir beton elde edilir. Çünkü ideal agrega granülometrisine bir beton karışımında;

- optimum w/c oranında yeterli işlenebilirlik
- çimento dozajında azalma
- mukavemet ve durabilitede artış

sağlanabilmektedir.

Belirli bir w/c oranında hazırlanan bir betonun mukavemeti agreganın granülometrisinden bağımsızdır. Ancak granülometrinin;

- işlenebilirlik
- ekonomi
- segregasyon (ayrışma)

üzerindeki etkisi büyüktür. Gerekli granülometri için;

- agreganın toplam yüzey alanı
- agreganın toplam hacmi veya daneler arasındaki boşluk

esas alınmalıdır. Çünkü toplam yüzey alanı agreganın ıslatma suyu ihtiyacını belirlerken agreganın toplam hacmi ise işlenebilirlik özelliğini belirlemektedir.

Agreganın maksimum dane boyutu, çimento hamuru miktarı, w/c oranı ve döküm yüksekliği betonun segregasyonunu etkiler. Gerekli çimento hamuru ekonomiyi etkilerken w/c oranı ise mukavemet üzerinde etkin bir rol oynar. Betondaki boşluk (hava) miktarı ise durabiliteyi etkiler. Dolayısıyla ideal bir beton için üç temel şart (mukavemet, durabilite, ekonomi) ve ayrıca taze beton için iki temel şart (işlenebilirlik, segregasyon) üzerinde granülometrinin önemli etkisi açıkça görülmektedir.

5.3 Çelik Donatılar

Klasik betonarmede, eğilme momentleri nedeniyle yapı elemanı üzerinde oluşan çekme gerilmelerinin beton yerine donatı ile karşılanması öngörülür. Betonun kusur olarak kaydedilebilecek olan özelliği, çekme gerilmeleri altında direncinin basınç gerilmeleri altındaki direncinden çok küçük olmasıdır. Basit çekme altında betonun direnci, basit basınç altındaki direncinin 1/10-1/12'si düzeyindedir. Kırılma birim boy değişimleri de basınç altında 0,002 ve basit çekme durumunda yine bunun 1/10'u kadar yani 0,0002 mertebesinde. Betonun bu sakıncalı davranışı, taşıyıcı bir yapı elemanının kesitinde meydana gelen çekme gerilmelerini alacak şekilde taşıyıcı sisteminin çekme bölgelerini çelik çubuklarla donatmak suretiyle giderilmiş ve betonarme olarak tanımlanan cisim oluşturulmuştur. Beton ile çeliğin aralarındaki aderans nedeni ile beraber çalıştığı bu karma cisimde, çekme gerilmelerinin tamamı donatı tarafından, basınç gerilmelerinin tümü veya önemli bir kısmı beton tarafından alınmaktadır. Bu genel ilkenin yanı sıra, yol betonlarında kullanılan diğer önemli bir işlevi de betonun rötresinden kaynaklanan şekil değiştirmelerin ve kılcal çatlakların, beton ve donatı arasındaki aderans yardımı ile uniform olarak dağıtılmasıdır. Bu durumda yüksek aderans sağlayan donatı tipleri seçilmelidir.

Beton yol inşaatında diğer bir donatı kullanma alanı da derzlerin kuvvetlendirilmesidir. Beton plakların kesikliğe uğradığı yerlerde düşey yük transferinin sağlanması için kayma demirleri kullanılır. Bu demirlerin çapları plağın kalınlığına bağlı olarak 20 mm'den fazla seçilir. Boyları genellikle 80-100 cm'dir. Demirin yüzeyi kaymayı sağlamak için nervürlü olmalıdır. Sertleşmiş betonun içinde plağın genleşmeden kaynaklanan şekil değiştirmesine engel olmamak için gres yağı, plastik veya bitümlü bir film tabakası ile kaplanmış olurlar. Derzlerin veya çatlakların zamanla açılıp genişlemelerini önlemek amacı ile kullanılan bağlantı demirleri yüksek aderanslı donatı tipinden olup genellikle 12 mm çaplı ve 60-80 cm uzunluğunda tasarlanırlar. Sürekli betonarme yol tekniğinde kullanılan plak donatıları da yüksek aderanslı türden seçilirler. Kullanılan demir çapları 12 mm-16 mm'dir. Firkete boyları genellikle 12 m-18 m'dir. Beton yol tekniğinde kullanılan diğer bir donatı türü de kaynak ile çubukları bağlanmış prefabrike hazır demirlerdir.

Çizelge 5.4 : Beton Çelik Çubukları ve Çelik Hasırları Sınıflandırma ve Özellikler

[1]

| Ürün | Beton çelik Çubukları | | | | Beton Çelik Hasırları | | | |
|---|-----------------------|-------------------|---------------|---------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|
| | Düz | Nervürlü-Profilli | | | Düz | Profilli | Nervürlü | |
| Tipleri | BÇIa | BÇII Ia | BÇIIIb | | BÇIV | BÇIV | BÇIV | BÇIV |
| Simgeleri | | | | | | | | |
| Anma Çapı ϕ (mm) | 5-28 | 5-28 | 5-12 | 14-28 | 4-12 | 4-12 | 4-12 | 6-16 |
| Minimum Akma Sınırı kgf/cm ² (N/mm ²) | 2200 (220) | 4200 (420) | 4200 (420) | 4200 (420) | 5000 (500) | 5000 (500) | 5500 (550) | 5000 (500) |
| Maksimum Akma Sınırı kgf/cm ² (N/mm ²) | 3200 (320) | 5700 (570) | - | - | - | - | - | - |
| Minimum Çekme Direnci kgf/cm ² (N/mm ²) | 3400 (340) | 5000 (500) | 5000 (500) | 5000 (500) | 5500 (550) | 5500 (550) | 5500 (550) | 5500 (550) |
| Minimum Birim Kopma Uzaması (%) | 18 | 12 | 10 | 10 | 5-8 | 5-8 | 5-8 | 8 |

5.4 Karma Suyu

İçilebilir nitelikteki her su, beton karma suyu olarak kullanılabilir. Ancak karma suyu için aşağıdaki hususlar göz önünde tutulmalıdır;

- Asidik özellikte olmamalıdır. Yani $pH \geq 7$ olmalıdır.
- % 0,04'den fazla SO_3 ihtiva etmemelidir.
- Madeni tuzlar ihtiva etmemelidir.
- Sodyum karbonat çabuk prize ve bikarbonat (HCO_3) ya prizi hızlandırma yada prizi yavaşlatmaya neden olduklarından dolayı kullanılmamalıdır.
- %2'den fazla yağ içeren sular beton mukavemetini %20'den fazla azalttığından test edilmeden kullanılmamalıdır.
- Deniz suyu yukarıdaki şartları sağlıyorsa ve içme suyu ile yapılan betona göre %90'dan fazla mukavemet veriyorsa kullanılabilir.
- Korozyona neden olduğundan dolayı sodyum klorit ihtiva etmemelidir.
- Betonun bozulmasına neden olan sodyum sülfat (SO_4) ve alkali oksitler maksimum %1 olmalıdır.
- Kil, silt, organik madde vb. maksimum %0,2 olmalıdır
- Şeker ve şekerli maddeler ihtiva etmemelidir.

5.5 Katkı Maddeleri

Beton katkı maddesi beton karışımı sırasında farklı amaçlar için uygun miktarlarda katılan kimyasal maddelerdir.

Beton katkı maddeleri;

- Taze beton için:
 - Su miktarını artırmadan işlenebilirliği artırmak
 - İşlenebilirliği azaltmadan su miktarını azaltmak
 - İşlenebilirliğin süreye bağlı kaybını azaltmak
 - Segregasyonu önlemek
 - Terlemeyi önlemek ve/veya azaltmak
 - Pompalamayı kolaylaştırmak
- Sertleşmiş beton için:
 - Mukavemeti artırmak
 - Hidratasyon ısısını azaltmak
 - İlk günlerdeki mukavemet artışını hızlandırmak
 - Durabiliteyi artırmak (geçirgenliği azaltmak, tuz-çözücü maddelerin ve zararlı kimyasalların zararlı etkilerini azaltmak, don direnci artırmak, vb.)
 - Genleşmeleri kontrol altına almak
 - Donatıların korozyonunu önlemek
 - Aderansı artırmak
 - Mekanik özelliklerini iyileştirmek (aşınma, çarpma tesirleri, büzülme)
 - Ekonomi sağlamak

gibi amaçları vardır.

5.6 Beton Koruma (Kür) Maddeleri

Gerçekleştirilen deney ve gözlemlerden, sertleşme sırasında betonun çok çabuk kurumaktan korunması gerektiği sonucuna varılmıştır. Betonun priz aşamasında korunmuş olması aşınma ve eğilme direnç değerlerini artırmaktadır. İlk üç gün ıslak tutulan betonun kırılma modülü %20, aşınma direnci %35 oranında artırılmış olur. Islak tutma süresi 7 güne çıkarıldığında anılan değerler sırası ile %30 ve %40 mertebesine ulaşırlar. Karşıt olarak ilk 72 saat süresince betonun kurumuş olması direnç değerlerini çok düşürmektedir. O halde dikkat edilecek husus, betonun hidrasyon suyunun ortamdan kaybolmasına engel olunmasıdır. Yüzey perdahlama işlemi tamamlandıktan sonra en iyi beton koruma yöntemleri şunlardır:

- Yüzeyin, devamlı ıslak tutulan branda bezi ile örtülmesi
- Yüzeyin, üzerinde su tabakası oluşturacak şekilde sürekli sulanması,
- Havanın nemini tutucu nitelikteki tuzların (en çok kullanılanı kalsiyum klorürün) karma suyuna katılması veya yüzey işlemlerinin bitmesinden sonra serpilmesi,
- Bitmiş yüzeye sodyum silikat, ham kauçuk, katbek asfaltlar veya su geçirmez kraft kağıdı döşenmesi.

Islak saman, ot veya toprak gibi koruyucular da denenmiştir. Ancak bu tür koruyucular kuruyunca rüzgar etkisiyle çevreyi kirletici etken olmaktadır. Suyun bol bulunduğu yörelerde ve platform eğiminin fazla olmadığı kesimlerde en iyi koruma yüzeyde su tabakası oluşturulmasıdır. Nemli iklimlerde 24 saatlik (kısa süreli) su korunmasından sonra kalsiyum klorürlü koruma uygulanabilir. Bu tuz karışımına katılacak ise, 1 torba çimentoya 1 kg kalsiyum klorür eklenmelidir. Bu koruyucunun daha sonra yüzeye serpilmesi yöntemi tercih edilmiş ise metrekaresine 1-1,5 kg pul malzeme serilir. Havası çok kuru bölgelerde bu yöntem kullanılamaz. Sodyum silikatın (su camı) eriyik halinde beton yüzeyine sürülerek buharlaşmayı kısıtlayıcı bir rol üstlenmesi istenir. Metrekareye 500 gr kadar koruyucu kullanılmaktadır. Katbek asfaltlar veya su geçirmez kraft kağıdı da buharlaşmayı azaltıcı etkenlerdir. Yüzeye püskürtülen katbek asfaltlar koyu renkli olduklarından güneşli havalar da tercih edilmezler. Dokusu fiberle pekiştirilmiş parafinli kağıt örtüler yüzey tesviye

işlemleri biter bitmez uygulanır ve koruma süresi sonuna kadar, zaman zaman ıslatılarak yerinde bırakılır.

5.7 Derz Dolgu Malzemeleri

Beton plaklarda değişik nedenlerden dolayı bırakılan derzler, kaplamanın kritik bölgelerini oluşturur. En azından ortamda süreksizlik oluşturdukları için bunların dolgu maddeleri ile doldurulup tıkanmaları gerekir. Bu malzemelerin plak hareketlerine uygun davranmaları gerekeceğinden, betonun genişleme ve büzülmesine olanak sağlamalı, tabanın yumuşamasına, betonun yerinden oynamasına ve don kabarmasına yol açacak suların sızmasına engel olmalı, derzlere taş parçalarının girmesine mani olmalı, düzgün bir yüzey sağlamalıdır. Beton plakta tüm tabaka derinliğince oluşturulan derz boşluğunun alt ve üst kısımları farklı dolgu maddeleriyle doldurulur.

I. Alt Dolgu Malzemeleri: Bunlar derz imali için önceden hazırlanmış sıkışabilen malzemeden istenilen kalınlık ve derinlikte yapıp genişleme derzlerinde beton dökülürken yerleştirilirler. Üst dolgu maddelerine destek görevi de yüklenen bu maddeler yumuşak tahtadan, su geçirmez preslenmiş plaklar, mantar veya gözenekli lastikten imal edilirler. Alt dolgu malzemelerinin elastik olmaları, taze betonun suyunu almamaları, su etkisiyle bozulmamaları gerekir.

II. Üst Dolgu Malzemeleri: Derz örtme malzemesi olarak, toz, toprak ve suyun derze girmesini önleyici görev yaparlar. Aranılan başlıca özellikleri, betona iyi yapışmaları, çatlama uzayabilmeleri, sıcak havada akmaya karşı direnç sağlamaları, toz ve toprağın girmesine karşı direnç oluşturmaları, dayanıklı ve uzun ömürlü olmalarıdır. Bu malzemelerin çoğu ısıtılarak erimiş halde derze dökülür. Derz üst dolgu malzemeleri kış ve yaz aylarında kıvam özelliklerini fazla değiştirmemelidirler. Lastik-bitüm karışımları, oksitlenmiş bitüm bileşikler, damıtma ürünleri olan bitüm bileşikler, reçineli bileşikler, örtme karışımlarının, beton yol derzlerinde yaygın olarak kullanılan ve iyi sonuç veren türlerindedir.

6. RİJİT ÜSTYAPI TİPLERİ

Beton yollar; çimento betonu ile yapılan ve üzerinden geçen dingil yüklerini tabana ileten bir kaplama türü olup, üstyapı tabanı üzerine yerleştirilen alttemel tabakası, zayıf beton tabakası veya bitümlü tabaka üzerine serilmiş beton plaktan oluşmaktadır.

Rijit üstyapılar üç farklı şekilde inşa edilebilmektedir:

- Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar
- Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar
- Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar

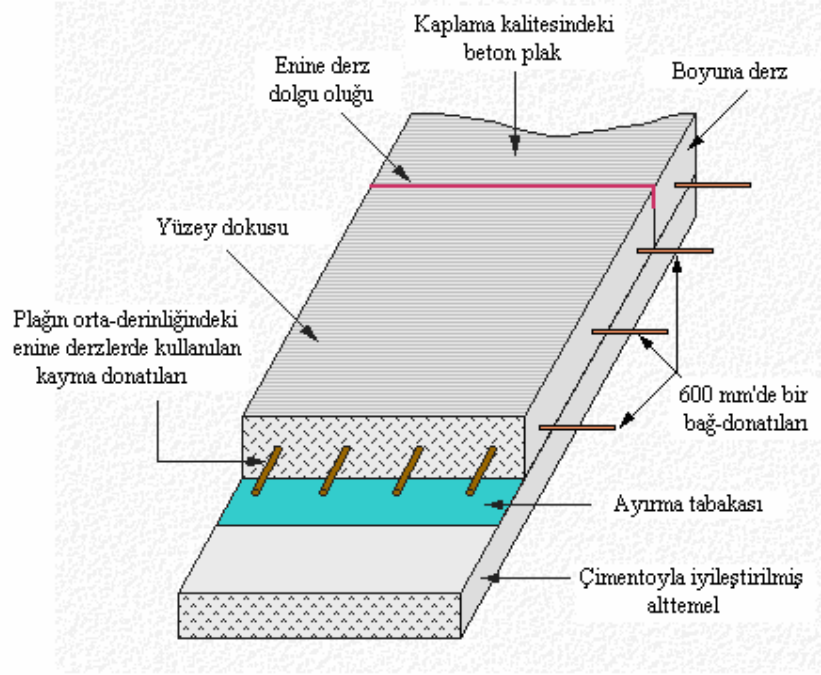
6.1 Derzli Donatısız Tipteki Rijit Üstyapılar

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, 3-6 m. uzunluğunda kısa anolardan oluşur. Bloklar 125-350 mm. kalınlığında olup donatı çeliği içermezler. Derzler zayıflatılmış yüzey kasılan tipte olup geçmeli veya geçmesiz olabilirler. Anolar genel olarak granüler malzeme, çimento veya bitümlü tabakalar üzerine inşa edilir.

Zayıf beton ve sıkıştırılmış kaba agregadan inşa edilen temeller, halen bazı eyaletlerde kullanılmaktadır. Temel tabakası kalınlıkları 100-200 mm. olabilir.

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılarda kısa derz aralığı, ano ortası çatlamayı asgariye indirmek ve derz açıklıklarını nispeten küçük tutmak için kullanılır. Aynı sebepten dolayı bağlanmış boyuna derzler de buna dahildir. Derzlerde bağlantı yükü transferinde, malzeme kenetlenmesinden yararlanır. Ağır trafik taşıyan yollarda, özellikle nemli bölgelerde, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya daha ziyade stabilize temel tabakası kullanılır. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar genellikle, Amerika Birleşik Devletlerin tüm iklim alanlarında, hava alanı döşemelerinde, otoyollarda ve şehir içi caddelerde kullanılır. [8]

Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alttemel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlakların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur. (Şekil 6.1)



Şekil 6.1 : Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar [8]

6.2 Derzli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, uzunlukları 8-30 mt.lik anolardan oluşur. Blok kalınlıkları 150-350 mm. olup, ortalarında donatı çelik ağı geçmektedir. Temel tabakası kalınlığı 100-200 mm. dir.

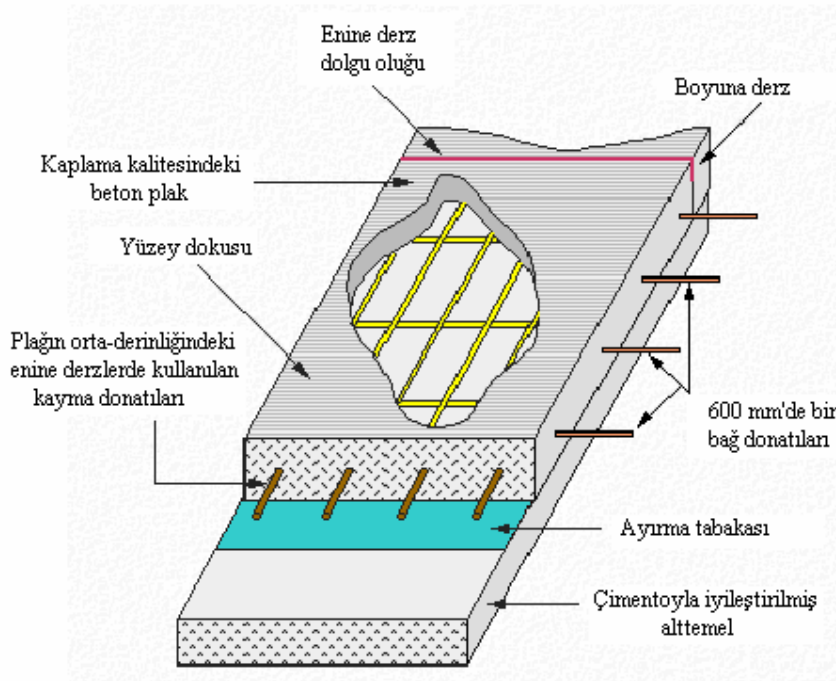
Daha uzun derz aralığı verildiğinde kurumadan dolayı büzölmeye ve ısıdan dolayı kıvrılmaya bağlı olarak bu tür kaplamada çatlaklar oluşur. Donatı çeliği kullanılmasının amacı da bu ano ortası çatlaklarının oluşmasını engellenmesidir. Çatlakları sıkı tutarak, yük transferinin sağlanması çelik tarafından yapılır. Burada çelik, beton bloğun esneklik kapasitesini artırmak için kullanılmamaktadır.

Daha uzun derz aralığı kullanılması ayrıca daha büyük derz açıklıklarına neden olur. Dolayısı ile derzler arası yük transferini sağlamak için donatı çubukları kullanılır.

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, donma ısısındaki bölgelerde ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derz aralıklarının artırılmasına olanak tanıyan donatılar dışında derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar ile benzerdir.

Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alttemel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur.



Şekil 6.2 : Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar [8]

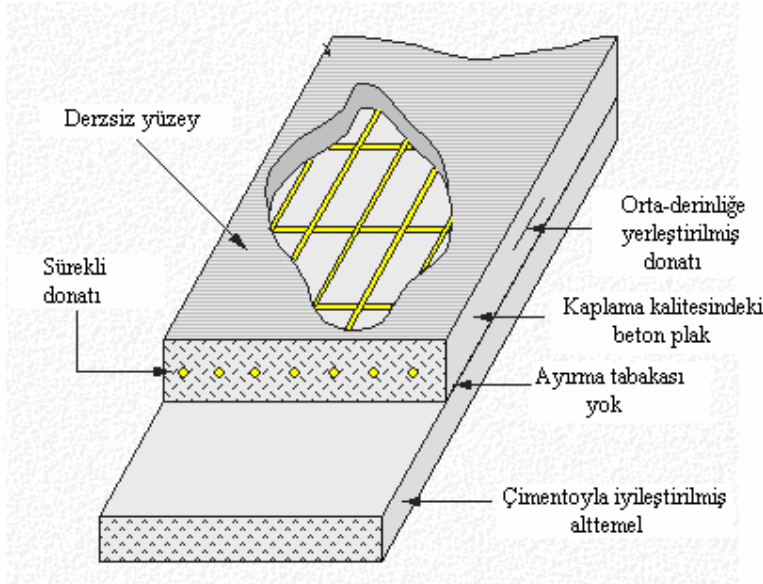
6.3 Sürekli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar

Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derzler olmaksızın döşenen beton bir plaktan oluşur. Yüksek donatı içeriği buna olanak tanır ancak diğer tüm betonarme yapılarda olduğu gibi, donatılar çatlakları önlemez sadece kontrol altında tutar. Çelik donatı plak boyunca sürekli olarak vardır ve derzler yalnızca hergün iş bitiminde konulur. Plak kalınlıkları 150-250 mm olur. Bu tür kaplamalarda derzli donatılı tipteki rijit üstyapılardan oldukça fazla çelik vardır. Genel olarak kesit alanının %5-%7'i kadardır.

Uzun derz aralıklarının bir sonucu olarak, bu tür kaplamalarda kaplama ömrünün ilk birkaç yılı boyunca 0.6-2.4 mt. lik aralıklarla enine çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar plak içindeki donatı çeliği sağlam olduğu sürece sıkıca kapalı kalırlar. Eğer çelik yüksek çekme gerilmelerine karşı koyamayacak durumda ise, enine çatlaklar açılarak bozulabilirler. Uzunlamasına çatlaklarla birleşen bozulmuş çatlak bölgeleri, ciddi kaplama bozulmasına işaret eden, yüzeysel oyulmalara (zımbalama etkisi) yol açabilir. Plak desteğini artırmak ve tekerlek yükleri altındaki ano gerilmelerini azaltmak için bu kaplama ile birlikte genellikle bir stabilize temel kullanılır.

Bu kaplama türünün yaygın olarak kullanılmasına karşılık toplam beton kaplamaya oranı oldukça düşüktür.

Derzli donatısız ve derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda görülen ayırma membranı, beton temel ile alt-temel arasında daha yüksek bir düzeydeki sürtünmenin elde edilebilmesi için sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılarda çıkarılmıştır. Alt-temel ile sağlanan desteklik üstyapı sonundaki oynamaları azaltmaktadır ve istenilen çatlama modelini korur. Plaktaki süreksizliklerin, kabarıp dökülme riski ile birlikte birbirine yakın aralıklı çatlamalara olanak tanınması nedeniyle, mümkün olan her yerde önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı rögarların ve su yollarının bu tipteki rijit üstyapı plaklarının dışında bulundurulması gerekmektedir.



Şekil 6.3 : Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar [8]

7. SİLİNDİR İLE SIKIŞTIRILAN BETONLAR (SSB)

Yol üstyapısı, esnek ve rijit olmak üzere iki gruba ayrılır. Esnek üstyapılarda, temel ve alt temel üzerine beton asfalt kaplama inşa edilir. Temel ve alt temel genellikle granüler malzeme ile yapılmaktadır. Rijit üstyapılarda ise, çimento betonu ile hazırlanmış kaplama ile taban zemini arasında temel veya alt temel tabakalarından biri kullanılmaktadır. Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/çimento oranına sahip olan SSB kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. SSB kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. SSB ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. SSB kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür. SSB kaplamalar; genellikle düşük hızlı ağır trafiğe sahip olan yol kesimleri ile havaalanı pist ve taksi yolları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu yerlerde kullanılmaktadır. [5]

Sıkıştırılmış beton; hızlı inşa edilebilir, sağlam ve devamlı bir beton olarak kullanıldığı baraj inşaatı teknolojisinden uyarlanmıştır. 1985 senesinden 90'lı yılların sonuna dek geçen zamanda silindirle sıkıştırılmış beton kullanılarak inşa edilen veya edilmekte olan 15 m.'den yüksek baraj sayısı 7'den 160'a yükselmiştir. Günümüzde baraj inşasında silindirle sıkıştırılmış beton bütün dünyada kabul edilir bir yöntem olmakla beraber yoğunlukla uygulanan ülkeler Japonya, A.B.D., Brezilya ve İngiltere'dir.

Silindirle sıkıştırılmış betonun uygulamasının 2. Dünya Savaşı'nın öncesinde başladığı bilinmektedir. O zamanlarda hava alanları apronları ve otoyolların temelaltı tabakasını kuvvetlendirmek amacıyla kullanılan silindirle sıkıştırılmış beton uygulamasının izine daha sonra 1964 yılında İtalya'da yapılan bir baraj inşaatında

rastlanmıştır. Ancak tamamı SSB tekniği ile inşa edilen ilk baraj ABD'nin Oregon eyaletinde 1982 yılında inşasına başlanan Willow Creek Barajı olmuştur. (Şekil 7.1) [13]



Şekil 7.1 : Willow Creek Barajı. [13]

Silindirle sıkıştırılmış beton tekniği ile inşa edilen bu baraj şantiyesini inşaat sırasında 15 ülkeden 1000'den fazla mühendis inceleme ziyaretleri yapmıştır. Başlangıçta kaya dolgu olarak projelendirilen Willow Creek Barajı'nın, kaya dolgu olarak inşa edilmesi halinde 25,6 milyon dolara mal olacağı hesaplanmıştır. Silindirle sıkıştırılmış beton yöntemi ile inşa edilen barajın maliyeti, 14,2 milyon dolar olmuştur. Planlanması ve tamamlanması 3 yıl alan barajın yapımında SBB kullanılması, inşaat sürelerinde en az 1 yıl tasarruf sağlamıştır. Bunun yanında geleneksel betonun fiyatı m^3 başına 85 dolar olarak hesaplanmış olup SSB karışımı m^3 başına 25 dolara mal olmuş ve 4 kat daha az malzeme kullanılmıştır. [14]

90'lı yıllarda çoğu ülkenin silindirle sıkıştırılmış betona olan ilgisi takip eden yıllarda düşmüştür. Yol inşaatında kullanılan normal ekipmanın kayar kalıplı finişer olması ve normal betonun yüksek kalitesi bu ilgi azalmasına yol açmıştır.

Silindirle sıkıştırılmış beton kullanımı sadece İskandinav ülkelerinde tercih edilmiştir. Beton; yüksek kaliteli agrega, yüksek çimento oranı, kimyasal katkı maddeleri etkisiyle oluşturularak yüksek mukavemet ve aşınma dayanımı ve de özellikle iyi donma dayanımına sahip olması sağlanmıştır. Çok yüksek ısı farkları (gündüz-gece) olmayan diğer ülkelerde bu uygulama tercih edilmez (Almanya dışında) .

Silindirle sıkıştırılmış beton, otoyollar ve kent içi yollarda iyi bir alt temel alternatifidir ancak güçlü bir temele ve iyi bir beton asfalt üstyapıya ihtiyacı vardır.

Kayar kalıp finişer kullanmaya gerek kalmaksızın silindirle sıkıştırılmış betonun uygulanabilmesi avantajlarından bir başkasıdır. Yüksek petrol fiyatları ve artan dingil yükleri sebebiyle asfalt üstyapıların tamiri ve yenilenmesinde de daha çok tercih edilen bir metot olmaktadır.

Silindirle sıkıştırılmış betonda genelde yetersiz uygulamalardan ötürü aşınma ve sertleşme tabakasında sorunlar yaşanır. Uygulama sırasından yapılan hataları tamir etmek güç olduğundan kusursuz bir uygulama ve kalite kontrolü gereklidir. [6]

İlk geleneksel beton kaplama 1865 yılında İskoçya'da inşa edilmiştir. Aradan yaklaşık 50 yıl geçtikten sonra, 1910'lu yıllarda bir çok ülkede silindirle sıkıştırılan beton kaplamalar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda inşaat mühendisliğinin bir çok alanında sıkıştırmalar titreşim uygulanarak yapılmasına karşın, titreşimli sıkıştırma kadar iyi kalite sağlayabilecek silindir bulunmadığı için sıkıştırmada silindir kullanılmamıştır. Silindir, yalnızca çimento içeren temel tabakalarının yapımında kullanılmıştır. 1970'li yıllardaki petrol krizi nedeniyle bitümlü bağlayıcı fiyatlarının yükselmesi, SSB kaplamalarının gündeme gelmesini sağlamıştır.

SSB kaplamaların bilinen ilk modern örneği 1970 yılında, İspanya'da, düşük hacimli trafiğe sahip olan bir yolda uygulanmıştır. Ağır trafik taşıyan diğer bir SSB kaplama uygulaması da 1976 yılında Kanada'da yapılmıştır. 1980 yılından sonra, Fransa, Almanya, Norveç, İsveç, Finlandiya, Danimarka, Almanya, Avusturya, Arjantin ve Japonya gibi ülkelerin her birinde 100.000 m² den fazla SSB inşa edilirken, Şili, Uruguay, Meksika, Kolombiya, Ekvator ve Güney Afrika gibi ülkelerde çok az veya deneme yolu olarak kullanılmıştır. Uygulanan SSB miktarı 1990 yılının sonunda toplam 12.000.000 m² yi aşmış olup SSB uygulamasının yarısı İspanya'da yapılmıştır. Otoyollarda kullanılan 1.500.000 m² SSB üzerine, yüzey düzgünlüğü sağlamak için beton asfalt aşınma tabakası yerleştirilmiştir. Geriye kalan 10.500.000 m² SSB kaplama, ikinci sınıf yol, sanayi ve askeri alanlar gibi düşük hızlı trafiğin olduğu yerlerde kullanılmıştır.

Bu kadar geniş alanda kullanılması, özel bir ekipmana ihtiyaç duyulmamasından ve beton asfalt kaplamaların yapıldığı makinalarla inşa edilebilmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte; yapım kolaylığı, çalışan eleman sayısını

azaltması ve yüksek üretim hızı ve bunlara bağlı olarak maliyetinin düşmesi de büyük oranda kullanılmasının nedenleri olarak sıralanabilir. Ayrıca, SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre daha kısa bir sürede trafiğe açılabilir.

7.1 SSB Üretiminde Kullanılan Malzemeler

SSB’de geleneksel betonlarda kullanılan kaba ve ince agregalar, çimento, uçucu kül, katkı maddeleri ve su kullanılmaktadır. Karışımlarda su/çimento oranı, 0,20 ile 0,40 arasında olmaktadır. Diğer beton türlerinde olduğu gibi, SSB’nin ekonomikliğini ve kalitesini belirlemedeki en önemli faktörlerden biri, uygun agrega kaynağının seçilmesidir. SSB kaplama karışımlarının hacminin %70-80’ini agregalar oluşturmaktadır.

Kaba agrega; kırılmış veya kırılmamış çakıl, yeniden kullanılan beton, kırmataş veya karışımından oluşmaktadır. Kırmataş veya kırılmış çakıldan yapılmış SSB’lerin sıkıştırılması, yuvarlak çakıldan yapılmış SSB’lerden daha zor olmasına karşılık, taşıma ve yerleştirme sırasında daha az ayrışma ortaya çıkmaktadır. İnce agregalar, doğal kum, kırılarak üretilen kum veya her ikisinin karışımından meydana gelmektedir. Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren kumlar, mineral filler olarak görev yaptığı gibi ihtiyaç duyulan çimento gereksinimini de azaltmaktadır. Bunun aksine, yüksek oranda kil içeren ince agregalarla yapılmış olan karışımlarda kullanılan su miktarı artmakta, büzülme ve çatlama oluşmakta, dolayısıyla mukavemet azalmaktadır. Bu yüzden karışımda kullanılacak kumların su emme kabiliyeti ve özgül ağırlıklarının belirlenmesi gerekmektedir.

SSB ve geleneksel betonda kullanılan agregalar arasındaki en önemli farklılıklardan biri agrega gradasyonudur. SSB’de maksimum tane boyutunun 25 mm veya daha az olduğu görülmektedir. Çizelge 7.1’de SSB ve geleneksel beton kaplaması üretiminde kullanılan malzemeler karşılaştırılmıştır. [16]

Çizelge 7.1: SSB ve geleneksel beton kaplaması üretiminde kullanılan malzemelerin karşılaştırılması. [16]

| | Mutlak Hacim | |
|-------------------|--------------|--------------------------|
| | SSB | Geleneksel Beton Kaplama |
| Bağlayıcı | % 9 | % 10 |
| Su | % 10 | % 15 |
| İnce Agrega | % 34 | % 23 |
| İri Agrega | % 44 | % 46 |
| Hava | % 3 | % 6 |
| Toplam | % 100 | % 100 |
| Çimento Hamuru | % 22 | % 31 |
| W/C Oranı | 0.35 | 0.48 |
| İnce Agrega Oranı | 0.44 | 0.33 |

Ayrışmalardan sakınmak, karıştırma işlemini kolaylaştırmak ve yüzey düzgünlüğünü sağlamak amacıyla tane boyutu yüksek seçilmemektedir. Bazı ülkelerde, ince ve kaba agrega bileşimlerinin gradasyon sınırları belirlenmiştir. Fransa ve İspanya’da kabul edilen gradasyon eğrileri bağlayıcıları da (çimento+uçucu kül) kapsamaktadır.

Silindirle sıkıştırılmış beton yollara ilişkin PCA (Portland Çimento Birliği) tarafından hazırlanmış şartnamede belirtilen agrega gradasyonu Çizelge 7.2’de verilmiştir. [15]

Çizelge 7.2 : Agrega gradasyon sınırları. [15]

| Elek Boyutu, mm | Elekten Geçen, % |
|------------------------|-------------------------|
| 1" (20 mm) | 100 |
| 3/4" (19 mm) | 90-100 |
| 1/2" (12,5 mm) | 70-90 |
| 3/8" (9,5 mm) | 60-85 |
| No.4 (4,75 mm) | 40-60 |
| No.16 (1,18 mm) | 20-40 |
| No.100 (150 µm) | 6-18 |
| No.200 (75 µm) | 2-8 |

Yeni sıkıştırılan malzemede yeterli stabiliteyi sağlamak için büyük miktarda kırılmış malzeme kullanılmaktadır. Agregalar en azından iki grubun karışımından oluşmalıdır, örneğin 0/5 mm ve 5/20 mm. Kaplama düzgünlüğü fazla önemli değilse, kaba ve ince agregalar önceden harmanlanıp tek bir grup olarak depolanabilmektedir. Takviye tabakası çalışmalarında, agrega seçimindeki en önemli faktör, karışım sıkıştırıldığı anda yüksek iç dayanıma ulaşabilme yeteneğidir. SSB, fazla gecikme oluşmadan trafiğe açılabilir. Stabilite, anlık (immediate) taşıma gücü testi ile ölçülmektedir. Test, CBR testinde kullanılan aynı ekipmanlarla, yeni sıkıştırılmış numuneler üzerinde uygulanmaktadır. Anlık taşıma gücü indeksi 65'in üzerinde çıktığında, SSB'nin yeterli kapasiteye sahip olacağı ileri sürülmüştür. Kırılmış kaba agrega kullanıldığında, bu sınır belirgin bir şekilde aşılmaktadır.

SSB'de Tip I (normal) ve Tip II (sülfata direnci arttıran) portland çimentosu kullanılmaktadır. Çalışma süresinin kısa olması gereken yerlerde erken priz yapan Tip III çimentolarının kullanılması önerilmektedir. Çimento oranı, kuru karışım toplam ağırlığının %10 ile %17'si arasında olup m³ de 300±30 kg kullanılmaktadır. Bağlayıcı (çimento+uçucu kül) malzemelerin %25 ile %40'ını C veya F sınıfı uçucu küller meydana getirmektedir.

Fransa ve İspanya'da birbirine karıştırılmış çimentolar (blended cement) kullanıldığı gibi, çimento ve uçucu kül karışımı kullanılmaktadır. Uçucu kül içeren çimentolar geleneksel Portland çimentosundan ucuzdur ve priz işlemini belirgin şekilde geciktirmektedir. Ayrıca uçucu kül SSB'nin işlenebilirliğini arttırmakta ve karışımının çatlama davranışını önemli derece etkilemektedir. Uçucu kül kullanımı, özellikle sıcak havalarda yol yapımı sırasında avantaj sağlamaktadır. İklimin soğuk olduğu bölgelerde ise uçucu kül ilave edilmesi donma-çözülme dayanıklılığını

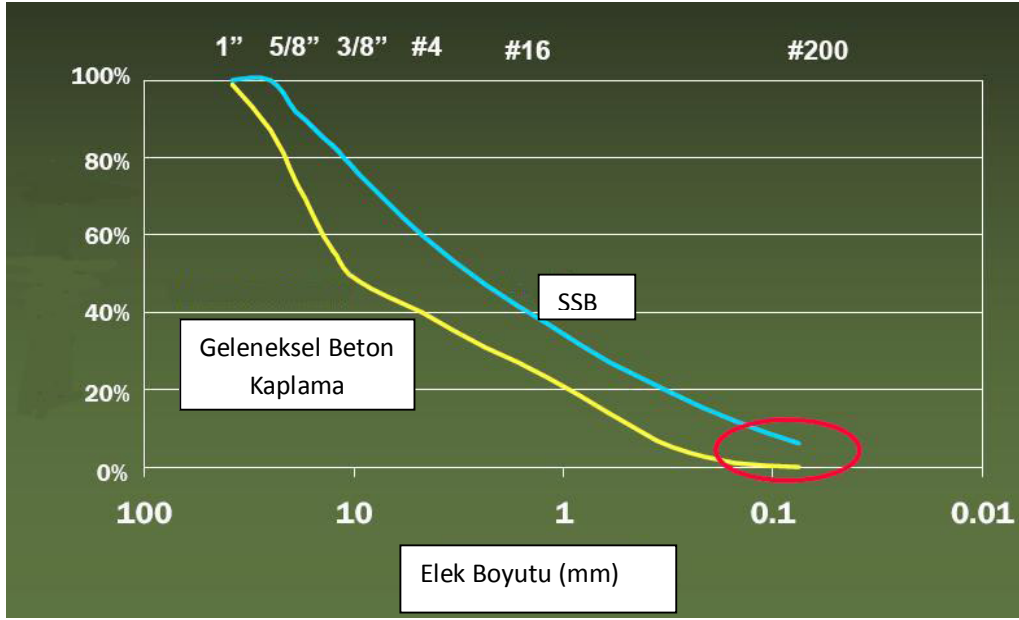
azaltılmaktadır. Bu yüzden, kış aylarının sert geçtiği bölgelerde uçucu kül kullanılmamalıdır. Bu gibi bölgelerde, bağlayıcı ağırlığının %10'u üzerinde silis dumanı (silica fume) kullanılması, mukavemet ve dayanıklılığı arttırmaktadır.

Prizi geciktiriciler ve plastikleştiriciler (plasticizers) bazı ülkelerde, şartnamelerde belirtilen işlenebilirlik süresini elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Katkı maddesi ile sağlanan gecikme süresinde bağlayıcı prizi başlamadığı için, karışım iç yapısı bozulmadan sıkıştırılabilmektedir. Hava sürükleyici katkı maddeleri, SSB kaplama karışımlarında sınırlı olarak kullanılmaktadır. Laboratuvar araştırmaları homojen bir şekilde hava dağılımı sağlandığında, don nedeniyle meydana gelecek zararların azaltılabileceğini göstermiştir.

7.2 SSB Karışım Tasarımı

Kıvamlilik testlerini içeren karışım oranlarını belirleme yöntemleriyle; su oranı, bağlayıcı malzeme oranı veya agrega oranı gibi karışım parametreleri belirlenmektedir. Daha sonra da serme ve sıkıştırma için gerekli olan kıvamı elde edebilmek için parametrelere biri değiştirilmektedir. Geleneksel beton ve SSB'nin karışım bileşim oranlarını saptama işlemleri aynıdır.

Karışım bileşim oranlarını saptama işlemlerindeki küçük farklar, taze SSB'nin kıvamının yüksek olmasından, geleneksel gradasyon dışında gradasyon kullanılmasından ve sıkıştırma işlemlerinden kaynaklanmaktadır. SSB'nin, geleneksel betondan farklı özellikleri şunlardır: SSB, hava kabarcıklı beton değildir, SSB, düşük su oranına sahiptir, SSB, düşük çimento, uçucu kül ve su oranına sahiptir, SSB'de ince agrega oranı yüksektir. SSB ile geleneksel beton kaplama arasındaki agrega gradasyonu karşılaştırması Şekil 7.2'de gösterilmiştir. [16]



Şekil 7.2 : Agrega gradasyonu karşılaştırması. [16]

Çimento ile karıştırılmış granüler malzeme için kullanılan su oranı, kuru karışımın ağırlıkça % 4,5 ile %6'sı arasındadır. Su oranını belirlemek için iki yaklaşım kullanılabilir. Geliştirilmiş Proktor testi veya Kango titreşimli çekiç ile değişik su oranlarına sahip numuneler sıkıştırılarak hazırlanmaktadır. SSB'nin yoğunluğu ve su oranı arasındaki ilişki saptanır. Optimum su oranı, su-yoğunluk eğrisinde, maksimum yoğunluğu veren su oranıdır. Kıvam testlerinden biri olan geliştirilmiş vibrasyon testiyle (geliştirilmiş Vebe testi) optimum işlenebilirlik bulunmaktadır. Geliştirilmiş vibrasyon testinde taze malzeme üzerine yük konularak titreşim uygulanmaktadır. Bilindiği gibi vibrasyon metodunda kıvam ölçüsü, betonun tam olarak oturması için saniye olarak geçen titreşim süresidir. Laboratuvar çalışmaları, 22,7 kg yük altında, geliştirilmiş vibrasyon sürelerinin 30-40 saniye olduğunu, bunda SSB kaplama karışımlarına uygun olduğunu göstermiştir. Geleneksel vibrasyon testinde malzeme üstüne yük konulmamaktadır, SSB karışımlarında su oranı düşük olduğu için üzerine yük yerleştirilmektedir. Kıvam testlerinde kullanılan cihazlardan bazıları, numune yapımında veya su oranı-yoğunluk eğrisini elde etmek için de kullanılmaktadır. Proktor testi gibi sıkıştırma testlerinde, sıkıştırma darbe ile yapıldığından malzemeler zarar görebildiği halde, kıvam testleri kullanıldığında malzemeler zarar görmemektedir.

SSB karışımlarının işlenebilirlik süresini belirlemek için bazı test yöntemleri ileri sürülmüştür. Bu yöntemlerde genellikle ultrasonik cihazlar kullanılmaktadır. Priz işlemleri süresince bir numune içinden geçen ultrasonik atış yayılım süresindeki değişim, sürekli olarak gözlenmektedir. Yayılım süresi, %60 azaldığında, işlenebilirliğin bittiği anlaşılmaktadır. Bu işlemler genellikle Fransa'da uygulanmaktadır. İspanya'da geliştirilen diğer bir yöntem, atışların ultrasonik enerjisini ölçmekte olup daha kesin sonuçlar vermektedir. İşlenebilirlik sıcaklık koşullarına bağlı olduğu için, testler sıcaklık kabini içinde yapılmalıdır. Sertleşmiş beton üzerinde, mekaniksel dayanımların belirlenmesinin yanı sıra, kışları sert geçen ülkelerde, dona ve aşınmaya karşı direnç testleri de uygulanmaktadır. Mekaniksel dayanımlarla ilgili; basınç, eğilme ve yarmada çekme testlerinin kullanılabileceği belirtilmiştir. Fransa ve İspanya'da yarmada çekme dayanımının 3,3 MPa olması gerektiği, düşük hacimli yollar için ise 2,8 MPa'ın yeterli olacağı açıklanmıştır. Almanya'da SSB kaplamalar için önerilen yarmada çekme dayanımı 3,0 MPa, basınç dayanımı 40 MPa olup, SSB ile yapılmış temeller için yarmada çekme dayanımı 2,7 MPa ve basınç dayanımı 30 MPa'dır. Testlerin uygulanma zamanı genellikle 28. gündür. İspanya'da çimentolara büyük oranda uçucu kül gibi aktif madde katıldığı için 90. gün sonunda testler yapılmaktadır. İsveç'te SSB içine uçucu kül gibi aktif maddeler katılmadığı için, geleneksel betonlarda olduğu gibi sağlanması gerekli olan 28. gün basınç dayanımı 40 MPa'dır. Geleneksel testlerin donma direncini laboratuvarında doğru olarak belirleyemediğini düşünen araştırmacılar yeni test yöntemlerinin geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerse de ABD'nin kuzeyi, Kanada, İsveç ve Norveç gibi soğuk bölgelerdeki kaplamaların iyi performans gösterdiği görülmüştür. Kış mevsimlerinde çivili lastik kullanılan ülkeler için aşınma direnci çok önemlidir. Norveç'te yapılan bir çalışma SSB kaplamaların aşınmaya karşı, beton asfalt kaplamalardan daha dirençli olduğunu göstermiştir.

7.3 SSB Kaplamalar İçin Tasarım Yöntemleri

SSB'nin kullanıldığı birçok ülkede, SSB ile yapılan kaplamaların tasarımı, geleneksel betonlar için kullanılan yöntemlerle yapılmaktadır. ABD'de, Portland Çimento Birliği ve Mühendisler Kurulunun her ikisi de SSB kaplamaların tasarımı için, geleneksel beton kaplamaların tasarımında kullanılan yöntemleri yeniden

düzenleyerek geliştirmişlerdir. Mühendisler Kurulu yönteminde tasarım eğilme gerilmesi, boyuna yapım derzlerini ve çatlaklardaki yük transferini azaltmak için, geleneksel beton kaplamalarının tasarım eğilme gerilmesinden %25 büyük alınmıştır. Enine derzlerin daha uzun aralıklarda (15 ile 23 metre) 24 saati aşmadan yapılması gerektiğini de vurgulamıştır. Buna uyulmazsa SSB kaplamalarda düzensiz çatlaklar oluşacaktır. Fransa ve İspanya gibi ülkelerde kaplama tasarımı kataloğunda SSB'de yer almaktadır.

Yapım; karıştırma ve taşıma, serme, sıkıştırma, derzler ve kür işlemi olmak üzere 5 başlıkta incelenmiştir.

7.3.1 Karıştırma ve Taşıma

SSB karışımlar, hem kesikli hem de sürekli karıştırma tesislerinde üretilebilmektedir. Kesikli karışım tesislerinde daha iyi kontrol yapılabilmesine karşın, büyük projeler için yeterli üretimi sağlayamamaktadır. Karışıma bağlayıcı ilave edilmesini doğru şekilde kontrol edebilecek, yüksek üretim kapasitesine sahip olan sürekli karıştırma tesislerinin kullanımı tercih edilmektedir. Sürekli karışım tesisleri, kolayca taşınabilmekte ve kurulabilmekte olup kesikli karışım tesislerine göre birim zamanda daha fazla üretim sağlayabilmektedir. En çok kullanılan ve önerilen tesis, malzemeler için ağırlık kontrolüne sahip olan sürekli karışım tesisleridir. Tesisin üretimi hızlı ve kesintisiz olduğunda, serme işleminin sürekliliği de sağlanmış olacaktır. Özellikle İsveç gibi gelişmiş ülkelerde, serme işlemindeki sürekliliği sağlamak için, karışım hazır beton üreticileri tarafından üretilmektedir. Karıştırma tesisindeki işlemler sırasında, karışımın nem oranı kontrol edilmelidir. Karışımın düzenli olarak serilmesi ve sıkıştırılması bakımından nem oranının kontrolü çok önemlidir. Nem oranının kontrol altında tutulmasıyla istenilen yoğunluk sağlanabilecektir. Düzenlemelerin derhal yapılabilmesi için, uygulama alanı ile tesis arasında telsizle bağlantı kurulması gerekmektedir. Karışımın görünümüne bakılarak, düzeltmeler operatör tarafından yapılmaktadır. Değişen koşullar nedeniyle su katılmasında düzenlemeler gerekebilmektedir, (örneğin, gün boyunca hava koşulları değişmişse ve depolardaki agregaların nem oranı değişirse). Nem oranında oluşabilecek %0,1 veya %0,2'lik değişim, karışım üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Tesisin üretimi, sericinin yerleştirme ve sıkıştırıcının sıkıştırma hızıyla uygunluk göstermelidir. Tesis mümkün olduğunca uygulama alanına yakın

yerleştirilmeli, hiçbir durumda tesisle ile serici arasındaki taşıma süresi 15 dakikayı aşmamalıdır. SSB, tesisten uygulama alanına damperli kamyon ile taşınmaktadır. Kamyon, SSB'nin yağmur, aşırı soğuk veya sıcak gibi çevresel koşullardan etkilenmemesi için su geçirmez branda ile kaplanmalıdır. Beton, kamyonun sericiye doğrudan dökülmektedir. Tesisin durmamasını sağlamak için, tesislerde karışımın kamyonu aktarıldığı kısım ile kamyon arasına silo yerleştirilmelidir. Silo yerleştirilmediğinde, kamyon gelmeyecek olursa tesis durdurulacaktır. Tesisin her bir durumunda, üretime tekrar başlarken üretilen karışım özellikleri farklı olacaktır.

7.3.2 Serme

SSB karışımları, kaplama makinaları ile serilmelidir. Serici, istenilen kotta serim yapabilecek şekilde hassas cihazlarla donatılmış olmalıdır. Titreşimli master ve en az bir tokmağa sahip olan geliştirilmiş beton asfalt sericisi ile kabul edilir performans elde edilmiştir. Bu serici ön sıkıştırma yaptığı için, yolun yüzey düzgünlüğünü artırmaktadır. Betonun serilme işlemi başlamadan önce, SSB tabakasının altında oluşabilecek nem oranının azalmasını önlemek için temel veya alttemel tabakası su ile ıslatılmalıdır. Serme işleminde tabaka kalınlığının kontrolü doğru şekilde yapılabilmesi için, otomatik master kullanılmaktadır. Su agrega içine katıldıktan sonra 45 dakika içinde beton yerleştirilmeli ve sıkıştırılmalıdır. Yan yana yapılan şeritlerde birleşimi sağlayabilmek için kaplanmış şeritten en fazla 60 dakika sonra yandaki şerite beton yerleştirilmiş olmalıdır. Bu süreler hava koşullarına göre azalabilmektedir. Eğer bu süre sınırlamalarına uyulmazsa yapım derzleri ortaya çıkmaktadır. SSB, genellikle kaplama kalınlığı 250 mm olacak şekilde serilmektedir. Kaplama kalınlığı 250 mm'den fazla tasarlanmışsa iki tabaka halinde serilmektedir.

7.3.3 Sıkıştırma

İlk sıkıştırma titreşimli çelik bantlı silindir ile yapılmaktadır. 10 ton ağırlığa sahip çift tamburlu titreşimli silindir ile en az dört geçiş yapılmaktadır. Titreşimli silindirlerde manevra sırasında kesinlikle titreşim yapılmamalıdır. İlk sıkıştırma ardından, 20-30 tonluk lastik tekerlekli silindir ile iki veya daha fazla geçiş yapılmaktadır. Lastik tekerlekli silindir ile yapılan sıkıştırma sayesinde titreşimli sıkıştırma sonrasında ortaya çıkan kusurlar ve küçük boşluklar kapatılmaktadır. Titreşimli ve lastik tekerlekli silindirler sonrasında yolda silindir izleri varsa statik çift tamburlu silindirle bir geçiş yapılmaktadır. Kaplama yüzeyine zarar vermemek

amacıyla daha fazla sıkıştırma yapılmamalıdır. Sıkıştırma, serme işleminden sonra 10 dakika içinde başlamalı ve tesiste karıştırma yapıldığı andan itibaren 45 dakika geçmeden tamamlanmalıdır. Sıcak havalarda ise, karıştırmanın bitişi ile sıkıştırmanın bitişi arasında geçen süre 35 dakikayı aşmamalıdır. Fakat yüksek oranda aktif madde veya priz geciktirici kullanıldığında, bu süreler artırılabilecektir. SSB’de belirlenen yoğunluğu elde edecek kadar yeterli sıkıştırma yapılmadığında, kaplamanın dayanımı düşük olacaktır.

7.3.4 Derzler

Enine derzler, iklim koşullarına ve SSB’nin dayanımına bağlı olarak birkaç saat ile birkaç gün arasında kesilmektedir. Fransa, Almanya ve İspanya’da, kaplama tam olarak kurumadan kesilerek derzler yapılmaktadır.

7.3.5 Kür İşlemi

Kür işleminde, hidrasyon işlemi için gerekli nem sağlanmaktadır ve her beton türü gibi SSB kaplamanın performansı için de çok önemlidir. Hidrasyon, betonun serleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan kimyasal bir reaksiyondur. Bu yüzden kür işlemi oldukça önemli bir basamaktır. Yüzeyi her zaman nemli tutmak gerekmektedir. Çok sıcak ve rüzgarlı havalarda, sıkıştırma tamamlamadan toz halinde su püskürtülmelidir. Normal kür işlemine sıkıştırma sonrasında hemen başlamalı ve 7 gün boyunca devam etmelidir. Kür işlemi su püskürtülerek veya ıslak bezle yapılabilmekte olup genellikle sulama boruları ve su püskürtme başlıkları ile yapılmaktadır. Kür işlemi, SSB’ler için geleneksel betonlara göre daha önemlidir. Yetersiz kür işlemi sonunda, zayıf aşınma tabakaları elde edilmektedir.

7.4 Üstünlük Ve Sakıncaları

SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamaların beton asfalta kaplamalar üzerinde sahip olduğu üstünlüklere sahip olduğu gibi, geleneksel beton kaplamaların bazı sakıncalarını da yok etmektedir.

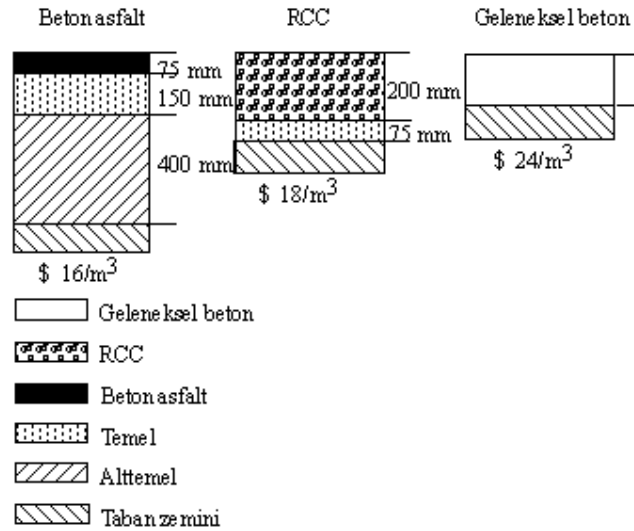
7.4.1 Üstünlükleri

Beton kaplamaların, beton asfalt kaplamalara göre üstünlükleri aşağıda verilmiştir.

- **Daha Yüksek Mukavemet ve Daha Uzun Ömür**

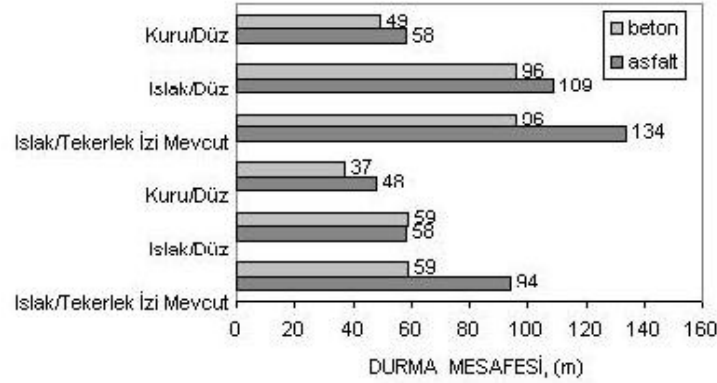
Beton kaplamaların bilinen en önemli üstünlüklerinden biri, yüksek mukavemet ve uzun ömre sahip olmasıdır. Bu yüksek mukavemeti ve uzun ömrü sayesinde, bakım masrafları ve bakım çalışmaları nedeniyle meydana gelebilecek gecikmeler azalmaktadır.

ERES Danışmanlık Şirketinin hazırladığı raporda, beton asfalt kaplamadan beklenen servis ömrünün 17 yıl, bir beton kaplamadan beklenen servis ömrünün ise 34 yıl olduğu açıklanmıştır. Bu raporda, beton asfalt kaplamaların her üç yıldan beş yıla bakım gerektirdiği ve başlangıçtan 17 yıl sonra sık sık büyük onarımlara ihtiyaç duyduğu, beton kaplamalarda ise servise açıldıktan 12 yıl sonra küçük bakımların gerektiği ve 18 yıl sonra da beton yüzeyinin yenilendiği belirtilmektedir. Bu yüzden, bakım ve onarım nedeniyle oluşan masraflar ve gecikmeler azalacak, ekonomiye katkı sağlanacaktır. Beton asfalt kaplama, geleneksel beton kaplama ve SSB kaplamalarının ilk yapım maliyetleri 7.3'de karşılaştırılmıştır. Beton asfalt kaplamanın ilk maliyeti düşük görünmesine rağmen beton kaplamaya göre daha sık bakım gerektirmesi toplam maliyetini artıracaktır. [5]



- **Kısa Duruş Mesafesi**

Beton kaplamanın yüzey pürüzlülüğü, kullanıcılar için sürüş güvenliği göz önüne alındığında önemlidir. Tekerlek izi oluşan kaplamalarda, yağışlar sırasında tekerlek izi içinde su birikir ve taban zemine geçebilir. Ayrıca soğuk havalarda tekerlek izi içine yerleşen su donabilir ve yol güvenliğini azaltabilir. Illinois Üniversitesi tarafından sunulan “ Beton asfalt yol yüzeylerindeki oyulmalar ve tekerlek izinin sürüş güvenliğine etkisi” isimli çalışmada, beton yüzeyindeki durma mesafesinin, beton asfalt yüzeyindeki durma mesafesinden daha kısa olduğunu (özellikle beton asfaltta ıslak ve tekerlek izi oluşmuş durumda), gösterilmiştir. Şekil 7.4’de verilen değerlerde taban zeminine su geçmesi hesaba alınmamıştır. Taban zeminine su geçirme etkisi göz önüne alındığında beton asfalt yüzeyde durma mesafesi daha da azalacaktır. [5]



Şekil 7.4 : Beton asfalt ve beton yollarda durma mesafeleri. [5]

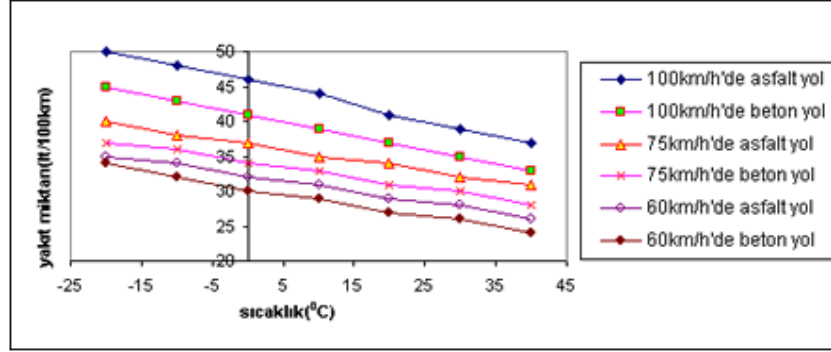
- **Tekerlek İzi Oluşumuna Karşı Direnç**

Ağır yükler nedeniyle, beton asfalt yollarda tekerlek izi oluşabilmektedir. Ağır taşıtlar, harekete başlarken veya frenlerken beton asfalt yüzeyinde oyulmalar oluşur. Özellikle kavşak ve otobüs duraklarında beton asfalt kaplamalarda tekerlek izi oluşumu artmaktadır. Beton kaplamalar, bu tip bozulmanın oluşmasını önlemektedir.

- **Ağır Taşıtlarda Enerji Tasarrufu**

Ağır taşıtlar, beton asfalt kaplamalarda beton kaplamalara göre daha büyük çökmeye sebep olurlar. Kaplamada oluşan deformasyon nedeniyle taşıt

hareket ederken enerjisinin bir kısmını kaybeder. Bu yüzden, beton asfalt kaplamalarda taşıtın hareketinin sağlanması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Beton kaplamalarda, yolda deformasyon oluşmadığı için enerji kullanımı azalmaktadır. (Şekil 7.5)



Şekil 7.5 : Beton asfalt ve beton kaplamalarda sıcaklığa bağlı olarak yakıt tüketimi.

[5]

- **Daha İyi Gece Görüşü**

Beton kaplamalar, sürücülerin gece görüşünü artırmaktadır. Beton kaplama daha açık renklidir ve daha koyu olan beton asfalt kaplamaya göre aracın ışığını daha fazla yansıtacaktır. (Şekil 7.6) [5]



Şekil 7.6 : Beton asfalt ve beton kaplamalarda gece görüşü [5]

- **Malzeme Geri Dönüşümü**

Silindirle sıkıştırılmış beton taneleri molozdan elde edilen kum, parçalanmış zift içermeyen asfalt molozu, parçalanmış taşlar ve beton moloz karışımları, parçalanmış tuğla molozları içerebilir.

Moloz taneleri içeren silindirle sıkıştırılmış beton minimum 300 kg/m³ çimento içermek zorundadır. 90 gün sonunda ortalama basınç mukavemetinin

30 MPa olmalıdır. Eklenen su muhtevası %4-7 yerine %10-12 mertebesindedir. Su oranının fazla olması doğal malzemeler ile elde edilen betonla karşılaştırıldığında büzülme (rötre çatlakları) miktarının %50-100 oranında fazla olmasına yol açar. Bu durumu önlemek için beton yüzeyin 6-8 cm altına 150*150*10'luk takviyeler konulması işe yarayabilir ancak genelde yetersiz kalır. Moloz malzeme oranını %50'lerde sınırlamak daha iyi bir çözümdür. [6]

7.4.2 Sakıncaları

Mevcut ekipmanlarla uygun yüzey düzgünlüğüne erişmek güç olduğundan, SSB kaplamaların yüksek hızlı trafik altında kullanılabilmesi için, birkaç santimetre beton asfalt ile kaplanması gerekmektedir. Ayrıca, SSB kaplamalar, hazırlanırken sahip olduğu nem değişimine ve yetersiz sıkıştırmaya, beton asfalt kaplamalardan daha hassastır.

SSB kaplamalar, beton asfalt kaplamalara göre daha çabuk trafiğe açılırlar. Ancak geleneksel betonla karşılaştırdığımızda daha kısa süre gerektirdiğini vurgulamak gerekir. [5]

8. SONUÇLAR

SSB, özel bir yapım ekipmanı gerektirmediği ve geleneksel beton kaplamaya göre maliyeti az olduğu için düşük hızlı trafiğe hizmet verecek kaplamalar için uygun bir teknik olmaktadır. Geleneksel betonda kullanılan malzemelerle daha iyi mühendislik özelliklerine sahip kaplama yapılabilmektedir.

Beton asfalt ile karşılaştırıldığında birçok üstünlüğe sahiptir. Ön sıkıştırma işlemini daha iyi yapabilecek sericilerin geliştirilmesiyle, silindir geçiş sayısı azaltılacak, sürüş konforu artırılabilecektir.

Türkiye petrolde dışa bağımlı bir ülke olmasına karşılık çimento sanayi çok gelişmiştir. Bir petrol ürünü olan asfalt çimentosu kullanılarak yapılan kaplamalar yerine SSB kaplama kullanımına başlanması ile daha ekonomik ve uzun ömürlü yollar inşa edilmeye başlanabilecektir. SSB karışımının gelişmiş ülkelerde olduğu gibi hazır beton üreticilerinden alınmasıyla, kaliteli bir kaplama elde edilebilecektir.

KAYNAKLAR

- [1] Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., 1998. Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları), İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [2] Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., 2001. Beton Asfalt Kaplama İle Beton Yol Karşılaştırması, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton Yollar Özel Sayısı, 48-51.
- [3] Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., 2001. Türkiye Karayollarındaki Üstyapı, Yapım ve Bakım Politikasının Değerlendirilmesi, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton Yollar Özel Sayısı, 44-45.
- [4] AASHTO, ACPA, FHWA, PCA, SHRP, TRB, 1992. Report On the 1992 US Tour Of European Concrete Highways.
- [5] Ağar, E., Taşdemir, Y., 2007. Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar, Türkiye Hazır Beton Birliği, www.thbb.org.
- [6] De Winne, E. , Heuninck, S., De Corte, W., Rens, L., and De Winne, P., 2004. *Roller Compacted Concrete, Faculty of Applied Sciences, Division Civil Techniques, Ghent University, Belgium .*
- [7] Uçar, S., Konraba, U., 2002. Yol Üstyapıları Maliyetleri Araştırması.
- [8] **The British In-situ Concrete Paving Association**, 2002. Cement&Concrete Association in Pavement Construction, BCA Crowthorne, Berkshire.
- [9] **Darter, M. I.**, 1993. Report on The 1992 U.S. *Tour of European Concrete Highways*, Federal Highway Administration, FHWA-SA-93-012, Washington, DC, January.
- [10] **Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Üstyapı Şubesi Müdürlüğü**, 2001. Beton Yollar Bilgi Notu.
- [11] **Yeğniboğalı, A., Başkoca, A.**, 2005. Afyonkarahisar'daki Yolun Hikayesi, Ar-Ge Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, Mayıs.
- [12] **T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü**, 2003. Karayolları Teknik Sözlüğü, Şubat.

- [13] **Demirci, İ.**, 1995. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlar, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [14] **Yıldız, D.**, 1991. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Teknolojisi, TMH 357, Mayıs.
- [15] **Portland Cement Association**, 2004. Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements, Haziran.
- [16] **Luhr, D.** 2008. RCC Applications for Pavements, Portland Cement Association.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Oktay ÇETİN

Doğum Yeri ve Tarihi: Erzincan 1980

Lisans Üniversite: Yıldız Teknik Üniversitesi