

TÇMB

TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ

TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ

Niçin Beton Yol?

TÇMB/AR-GE/Y 09.01

Prof. Asım YEĞİNOBALI

Temmuz 2009, ANKARA

1. BASKI

TÇMB / ARGE ENSTİTÜSÜ

Yerleşim Adresi:

Cyberpark, Cyberplaza C Blok Zemin, Kat 1 ve 2
Bilkent / ANKARA

Yazışma Adresi:

P.K. Bakanlıklar 06582 ANKARA
Tel: (0312) 444 50 57 • Faks: (0312) 265 09 06
www.tcma.org.tr • info@tcma.org.tr

FERSA MATBAACILIK

Ostim 36. Sokak 5 / C - D Yenimahalle, ANKARA
www.fersaofset.com • info@fersaofset.com

ISBN: 978-975-8136-28-5

Kaynak göstermek kaydıyla bu kitaptan alıntı yapılabilir.

NİÇİN BETON YOL?

Giriş

T.C. Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) 1 Mart 1950 tarihinde kuruldu. Kuruluşunda ve çalışmalarında A.B.D'deki karayolları teşkilatları ayrıntılı olarak örnek alınmıştı. Hiç unutmam, 1955 yılı ilkbaharında Robert Kolej Mühendislik Bölümü (şimdiki Boğaziçi Üniversitesi) İnşaat son sınıf öğrencisi iken bir gün Karayolları elemanları okula geldiler. Karayolları teşkilatını ve çalışmalarını tanıtan renkli broşürleri dağıtarak, bizlere Karayolları'nın genç mühendislerle ne kadar güzel olanaklar sağladığını anlattılar. O zamana kadar ülkemizde görmediğimiz (ancak A.B.D'de sürekli uygulanmakta olan) bu eleman kazanma yöntemi bizleri çok etkilemişti...

Karayolları'nın kurulduğu yıllarda A.B.D'deki Federal Karayolları İdaresi de Başkan Eisenhower'ın talimatı ile büyük bir projenin hazırlığına girişmişti. Bu projenin evveliyatı ise 1919 yılına, Eisenhower'ın genç bir subay olduğu döneme dayanır. O yıl askeri bir araç konvoyu Washington D.C.'den San Francisco'ya doğru yola çıkar. Kafilede Eisenhower'a ilaveten Henry Ford ve Good Year firmasının müdürü de bulunmaktadır. Bu iki kişinin amacı firmalarının ürettikleri askeri araçların ve lastiklerin performansını yerinde izlemektir. Yolların kötü durumu nedeni ile konvoy saatte ortalama 8 km ilerleyebilir ve San Francisco'ya ancak 62 günde ulaşır. Araçların ve lastiklerin performansı nasıldı bilmiyoruz. Ancak yolların kötü performansı Eisenhower'ı üzmüştü. Nitekim A.B.D. başkanı olduktan sonra Amerika'da eyaletler arasında üstün kaliteli bir otoyol şebekesinin yapımına başlanmasını istedi. Bunda İkinci Dünya Savaşı sırasında Almanya'daki beton otobanların bombardımanlardan fazla zarar görmeyip işlevlerini sürdürmelerini görekten etkilenmiş olması da rol oynamıştı. Gerçekten, Almanya'da o zamana göre çok geniş ve çoğunluğu beton olan otobanların yapımı Hitler'in savaş hazırlıklarının içinde yer almıştı. Bu yollar daha sonra güç savaş koşullarına rağmen askeri birliklerin ve ağır vasıtaların hızla yer değiştirmelerine ve hedeflerine ulaşmalarına yardımcı olmuştur.

A.B.D'de 1950'li yılların başında, "Eyaletlerarası Otoyol Sistemi" olarak adlandırılan bu yeni projenin hazırlıklarının devam ettiği dönemde, beton yollar bugünkü kadar yaygın değildi. Gene hatırlarım, çoğunluğu asfalt olan yollarda geceleri meydana gelen kazaların artması üzerine Ohio Eyaleti'nin valisi yolların kenarlarına beyaz çizgi çizdirtmiş ve 1957 yılında tekrar seçildiği seçim kampanyasında bunu önemli hizmetleri arasında saymıştı.

"Eyaletlerarası Otoyol Sistemi" 1956 yılında gerçekleştirmeye başladı. 1983 yılında son kesimi tamamlandığında önemli bölümü beton kaplama olarak toplam 67 200 km yol yapılmış oldu. Bu şekilde sanat yapıları ile birlikte beton kullanılan en büyük inşaat projesi de gerçekleşmiş oluyordu. Geçen süre içinde üstün performansları ve uzun ömürleri dolayısı ile beton yol kullanımı. A.B.D'de

özellikle yoğun trafiğe maruz şehirlerin çevrelerinde artış gösterdi. Los Angeles gibi bazı büyük şehirlerin çevre yollarında beton kaplama oranı %90'a yaklaşmaktadır.

Gerçekte A.B.D'de ilk beton yol 1891 yılında Ohio'nun Bellefontaine şehrinde yapıldı [1]. Avustralya'da Sydney şehrinin ağır trafik taşıyan caddeleri için beton kaplama yapılması ise 1880 yılına rastlar. Bu yolun en az 50 yıl hizmet vermiş olduğu anlaşılmaktadır [2].

Avrupa'da beton yol uygulamaları geçtiğimiz yüzyıl başlarından itibaren, Belçika'da 1920'lerden, Almanya'da yukarıda değinildiği gibi 1930'lerden sonra yaygınlaşmaya başladı. Belçika'da bugün köy yollarının bile %60'ı betondandır [3]. Fransa'da ise eski yolların yenilenmesinde ve yeni yollarda beton kaplamaya geçiş vardır. Avusturya köklü bir beton yol yapımı geleneğine sahiptir. Almanya'da yol ihalelerinde genellikle beton kaplama, asfalt kaplama'ya bir alternatif olarak ihale dosyalarında yer almaktadır [4]. Genelde Avrupa ülkelerinde, özellikle ağır trafiğe maruz yollarda zincir veya çivili lastik kullanımı gerektiren bölgelerde beton kaplama tercih edilmektedir. Güney Afrika Cumhuriyeti'nde yolların bir bölümü beton kaplamadır. Özellikle kırsal kesimlerdeki beton yolların yapımında yöre sakinleri de çalışıp beton işçisi olarak deneyim kazanmaktadır [5]. Asya'da Japonya ve Çin'de beton yollar yapılmaktadır. Halen Hindistan'da 1300 km uzunluğunda beton karayolu bulunmakta olup bir çok kesimde yenilenecek yollar beton kaplama olarak planlanmıştır [6]. Son yıllarda Azerbaycan'da ihale edilecek asfalt yol projelerinin büyük bölümü beton yola çevrilmiştir.

Bugün Türkiye'de yaklaşık 2.000 kilometresi otoyol ve 30.000 kilometresi devlet yolu olmak üzere toplam 63.000 kilometrelik bir karayolu şebekesi bulunmaktadır. Bu yolların hemen tümü asfalt yoldur. Sadece son yıllarda Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)'nin finansmanı ile toplam 5.5 km beton karayolu yapılabilmiş, buna daha sonra çeşitli kuruluşlarca yapılan bir kaç km daha ilave edilmiştir [7].

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kuruluşundan 50 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen ülkemizde niçin beton karayolu yapılmamıştır, niçin beton yola gerek duyulmamaktadır? Bu soruları cevaplandırmadan önce asfalt ve beton yollarla ilgili bazı bilgilere göz atalım.

Asfalt Yol - Beton Yol

Bir mühendislik yapısında kullanılabilecek malzeme arasında seçim yapmak gerektiğinde bir dizi teknik ve ekonomik faktör dikkate alınır. Son yıllarda çevre faktörü de önem kazanmıştır. Yapı türüne bağlı olarak bunlara estetik faktörü de ilave edilebilir. Teknik faktörler malzemenin servis ve çevre koşulları ile ilgili fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri, yapım kolaylığı ve süresi, dayanıklılığı ile kullanıcı güveni ve konforu gibi hususları içerir. Ekonomik faktörler arasında ilk maliyet ve yaşam döngüsü maliyeti yer alır. Burada sosyo-ekonomik faktörlerin ve ülke ekonomisine etkilerin de düşünülmesi gerekir.

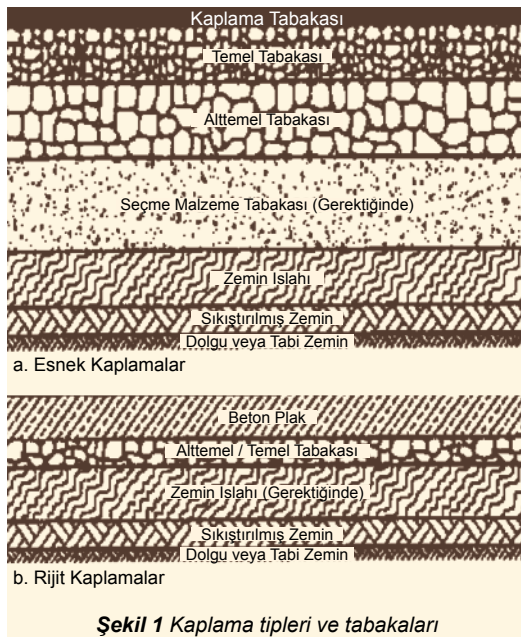
Bu yazıda karayolu üst yapı kaplamalarında en çok kullanılan iki malzeme: asfalt betonu (asfalt) ile çimento betonu (beton) yukarıdaki faktörler dikkate alınarak kısaca karşılaştırılacaklardır. Üst kaplama tabakasını oluşturan her iki malzemede de hacimce %60-95 oranlarında bulunan agrega ortak bileşen olduğundan karşılaştırmalarda asfalt yol ile beton yol deyimleri de kullanılır. Bu arada ülkemizde az bilinen beton yolların özellikleri üzerinde daha fazla durulacaktır.

Malzeme Olarak Asfalt ve Çimento

Bitümlü malzeme grubuna dahil olan asfalt, doğada serbest olarak nadiren bulunur ve genellikle ham petrolden elde edilir (Bu yazıda asfalt kelimesi, bitüm yerine de kullanılmaktadır). Rafinerilerde ısıtma derecelerine bağlı olarak nafta, benzin, gazyağı motorin ve madeni yağlar ayrıldıktan sonra kalan karışımdan fuel oil de ayrıştırıldıktan sonra geriye asfalt kalır. Bileşiminin hemen tümü hidrokarbonlardan oluşan, organik kökenli, koyu kahve ile siyah arası renklerde bir malzemedir. Oda sıcaklığı civarında yarı katı ve katı hallerde bulunduğundan ısıtılarak sıvılaştırıldıktan sonra uygulanır (sıcak karışım). Viskoelastik ve termoplastik bir malzeme olarak özellikleri yüklenme hızı ve süresi ile sıcaklığa karşı çok duyarlıdır. Katı asfaltlar penetrasyon ve viskozite değerlerine bağlı olarak sınıflandırılırlar. Asfalt, birtakım çözeltiler katılarak da sıvılaştırılabilir. Bu şekilde elde edilen katbek asfaltlar ve asfalt emülsiyonları soğuk olarak uygulanabilirler ve daha ziyade sathi kaplamalarda, astar tabakalarında ve onarım işlerinde kullanılırlar [8,9].

Portland çimentosunun ana hammaddeleri doğada bol miktarda bulunan kalker ve kildir. Gerekğinde alüminyum ve demir oksitler de katılarak belirli oranlarda birleştirilip öğütülen hammaddeler (farin) döner fırında pişirilirler. Fırından çıkan klinker az bir miktar alçıtaşı ile öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Portland çimentosu su ile karıştırıldığında ortaya çıkan hamur reolojik olarak bir "rijit jel" dir. Yani önce plastik halde iken zamanla katılaşarak (priz alarak) sertleşir ve bir süre dayanım kazanmaya devam eder. Asfalt ve diğer jel türleri gibi ısıtılınca veya karıştırılınca sıvılaşmaz. Hidrolik özelliği dolayısı ile su içinde de priz alabilir ve suya karşı dayanıklıdır. Ham madde karışım oranları ve tane incelikleri ayarlanarak değişik dayanım sınıflarında çimentolar elde edilir ve yüksek erken dayanım sağlanabilir. Ayrıca bu şekilde priz sürelerini, hidratasyon ısılarını ayarlamak ve sülfatlara karşı direnci arttırmak da mümkündür. Klinkerin -bir bölümü endüstriyel atıklar olmak üzere -çeşitli mineral katkılarla öğütülmesi sonucu elde edilen katkılı çimentolar yaygınlaşmış olup çeşitli teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar sağlamaktadırlar. Çimento betonu genellikle açık gri renktedir.

Esnek ve Rijit Karayolu Üstyapıları



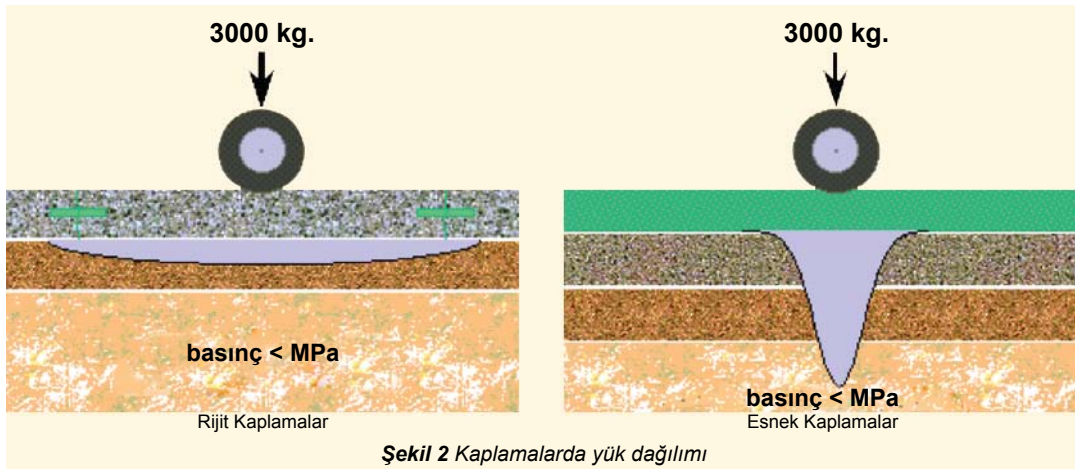
Şekil 1 Kaplama tipleri ve tabakaları

Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine ileten ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olan mühendislik yapılarıdır. Üst kaplama tabakasında bağlayıcı olarak asfalt kullanılanlara "esnek", çimento kullanılanlara ise "rijit" üstyapı denilir. Ayrıca her iki bağlayıcının birlikte kullanıldığı durumlarda kompozit üst yapılar ortaya çıkar. Üstyapılar trafik türü, mevcut ve ilerde beklenen trafik hacmi ile sürüş güvenliği ve konforu, zemin ve çevre koşulları gibi faktörlere bağlı olarak tasarlanırlar. Şekil 1'de görüldüğü gibi üstyapılar esnek veya rijit oluşlarına bağlı olarak farklı tabakaları içerirler [9]. Esnek olanlarda tabaka sayısı fazladır. Tabaka kalınlıkları üstyapı tipine ve tasarım yüküne bağlı olarak değişir. Alttemel tabakası üstyapıya gerekli drenajı sağlamak üzere geçirgenliği yüksek taneli malzemelerden

yapılır. Üst tabakalar kadar gerilmeye maruz kalmamakla beraber doğrudan temas halinde olduğu zemindeki muhtemel hacim değişimlerine karşı koyacak dayanım ve stabilitede olmalıdır. Rijit üstyapılarda ise ilaveten doğrudan altına yerleştirildiği beton kaplamaya düzgün ve stabil bir yüzey teşkil eder ve aynı zamanda temel tabakası işlevini görür.

Temel tabakası üst kaplama tabakası ve banketler için temel işlevini görür, yeterli drenajı sağlar. Bu amaçla uygun taneli malzemeler kullanılır. İstenilen stabilite düzeyine bağlı olarak bağlayıcısız veya bağlayıcı olarak (asfalt veya çimento hamuru ile karıştırılarak) yerleştirilir.

Üst kaplama tabakası trafikte sürüş güvenliği ve konforunu sağlayacak yüzeyi oluşturur. Trafik yükü ve çevre koşullarına doğrudan maruz kaldığı için yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olmalıdır. Esnek üst yapılar, şantiyede hazırlanan sıcak karışım asfalt (bitümlü sıcak karışım = bsk) ile aşınma ve binder tabakaları olarak uygulanır. Düşük standartlı yollarda ise sathi kaplama yapılır. Sathi kaplamada yola serilen asfalt, kırmataş (mıcır) ile yerinde sıkıştırılır. Rijit üst yapılarda beton kaplama betonun yüksek dayanımı ve elastisite modülü dolayısı ile rijit bir plak gibi çalışır. Esnek ve rijit üstyapılarda trafik yüklerinin üst kaplama tabakasından zemine intikali Şekil 2’de görüldüğü gibi birbirinden farklıdır [10].

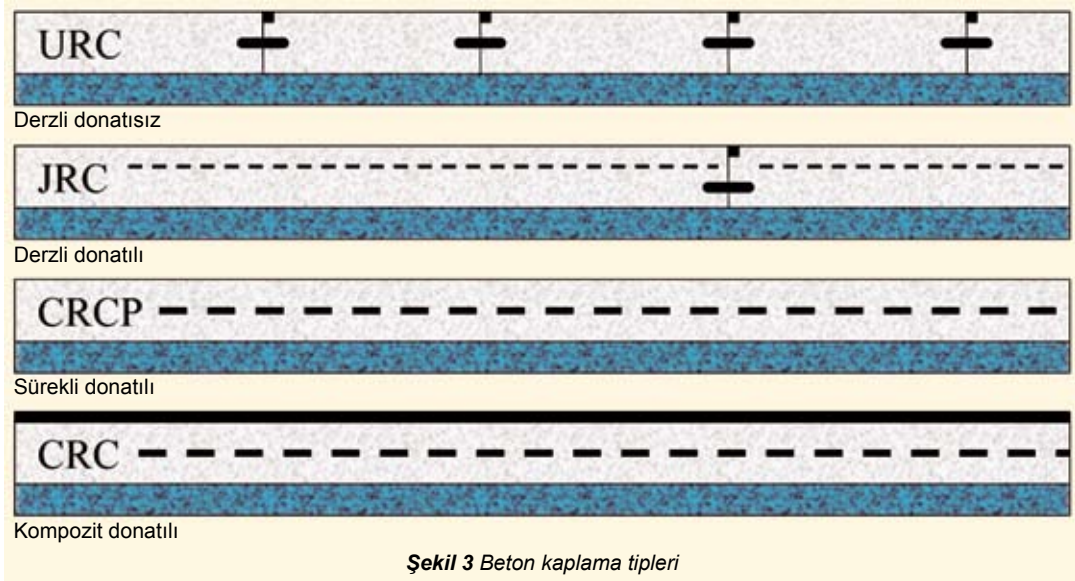


Şekil 2 Kaplamalarda yük dağılımı

Esnek üstyapılarda asfalt kaplama tabakasına gelen trafik yükü sırası ile temel ve alttemel tabakalarına yayılarak altyapıya, yani doğal zemine intikal eder. Bu nedenle yükün taşınmasında her tabaka önemlidir. Tabaka kalınlıkları yüke ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Aynı koşullarda esnek üstyapı toplam kalınlığı rijit üstyapınınkinden daha fazla olmak zorundadır.

Rijit üstyapılarda ise beton kaplama tabakası (beton plak) betonun yüksek elastisite modülü ve rijitliği sayesinde yükü büyük ölçüde karşılar. Doğal zemine göreceli olarak çok daha küçük gerilme intikal eder. Zemin özellikleri tabaka kalınlığının belirlenmesinde kritik bir rol oynamaz. Temel tabakası beton plak için düzgün bir taban oluşturulması ve yeterli drenaj sağlanması amacı ile hazırlanır.

Beton kaplamalar Derzli Donatısız (JPCP), Derzli Donatılı (JRCP), Sürekli Donatılı (CRCP) ve Kompozit Donatılı olarak dökülebilir (Şekil 3). Kompozit kaplamalarda beton plak üstüne asfalt tabaka veya asfalt kaplama üstüne beton tabaka uygulamaları yapılabilmektedir.



Şekil 3 Beton kaplama tipleri

Yapımla İlgili Hususlar

Esnek kaplamaların bağlayıcısı olan asfalt rafinerilerde büyük çoğunluğu yurt dışından ithal edilen ham petrolden elde edildikten sonra taşınır ve inşaat mahalline getirilir. Türkiye’de 5 rafineri faaliyet göstermektedir. Sıcak karışım (bsk) kaplamalar için asfalt ısıtılarak, özel araçlarla yola serilip sıkıştırılarak uygulanır. Zeminin kuru (veya en fazla %2 oranında nemli) olması, hava sıcaklığının düşük olmaması (15 °C üstü) gerekir. Bu da ülkenin birçok yöresinde asfalt yol inşaat mevsiminin kışalmasına neden olmaktadır. Çimento betonuna oranla asfalt betonunda kullanılacak agreganın da daha kaliteli olma zorunluluğu vardır [8,9].

Rijit kaplamalarda kullanılan beton, beton santralından damperli kamyon veya transmikser vasıtası ile inşaat yerine taşınır. Beton kaplama için sabit veya kayar kalıp kullanılmakta olup büyük projelerde kayar kalıp finişer kullanımı standard hale gelmiştir. Finişer betonu yola serip, sıkıştırıp kalıplar. Döküm tek veya iki tabaka halinde olabilir. Betonun bağlayıcısı olan çimento yurt düzeyine yayılmış 46 çimento fabrikası ve 18 öğütme tesisinde tamamen yerli hammaddelerden üretilmektedir. Hazır beton tesisleri de gittikçe yaygın hale gelmektedir. Zeminin ıslak oluşu beton için problem teşkil etmez. İnşaat mevsimi gerekli önlemleri alarak anormal hava koşullarını da içerecek şekilde uzatılabilir. Ancak her beton yapı için gerekli olan kür uygulamasının yapılması ve beton yeterli dayanım kazandıktan sonra yolun hizmete açılması gerekmektedir. Beton yollarda kür işlemi kaplama yüzeyine kür kimyasalı püskürtülmesi veya plastik bir örtü serilmesi yolları ile yapılır. Rijit kaplamalar çeşitli amaçlara göre tasarlanıp kullanılabilirler. Örnek olarak yollara ilaveten, sadece yaya trafiği taşıyan kaldırımlar ve 175 tonluk bir uçağın dinamik etkileri karşılayabilen hava meydanı pistleri verilebilir. Hizmet ömürleri 50 yıla kadar varan süreler için tasarlanabilmektedir.



Sürüş Güvenliği ve Konforu

Esnek veya rijit üstyapıların yapımında kaplama yüzeyinin geometrik düzgünlüğü ile pürüzlülük derecesi sürüş güvenliği ve konforu ile ekonomi yönlerinden önemlidir. Bu tür yüzey özelliklerini belirlemek amacı ile pürüzler (girinti-çıkıntılar) arası mesafe “dalga boyu” olarak ölçülür, düzlemde ortalama düşey sapmalar “genlik” olarak belirlenir. Böylece aşağıdaki tanımlamalar yapılabilir [8]:

	Dalga boyu	Genlik
Geometrik düzgünlük	50 - 0.5 m	20 - 0.1 cm
Megapürüzlülük	50 - 5 cm	50 - 10 mm
Makropürüzlülük	50 - 0.5 mm	10 - 0.2 mm
Mikropürüzlülük	< 0.5 mm	< 0.2 mm

Geometrik düzgünlükten sapmalar ve megapürüzlülük istenmeyen yüzey özellikleridirler. Diğer taraftan yüzeyde uygun ölçülerde makro ve mikro pürüzlülük bulunması özellikle sürüş güvenliği yönünden gereklidir [8]. Olumsuz yüzey özellikleri yalnız yapım sırasında değil, hizmet süreci içinde de ortaya çıkabilir. Burada kaplama malzemesinin (asfalt veya beton) özellikleri de rol oynar.

Kaplama betonunda sürtünme katsayısı 0.65 – 0.70 olarak asfalttakinden fazladır. Bu nedenle beton yollar daha dik eğimlere uygulanabilir [8].

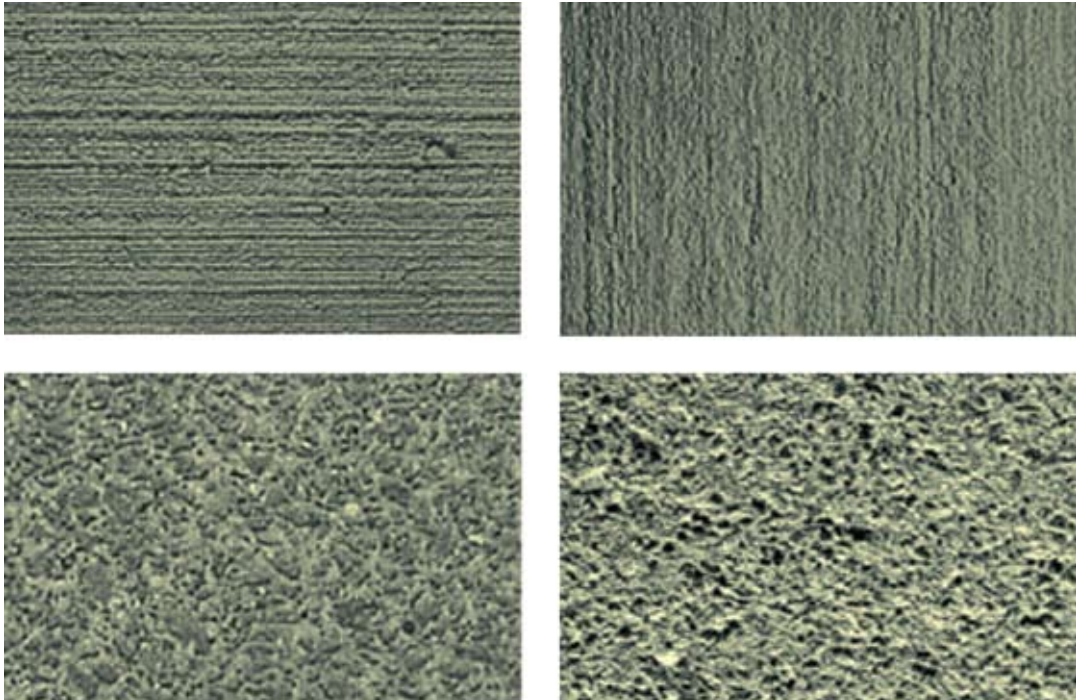
Olumsuz özellikleri olmayan (ve uygun pürüzlülükteki) asfalt ve beton kaplama yüzeyleri kuru halde iken sürüş güvenliği açısından problem yaratmazlar. Ancak, yağmur veya başka bir nedenle yol ıslandığında taşıt tekerlekleri ile kaplama arasındaki aderans azalır. Ayrıca tekerlekler ile kaplama yüzeyi arasında bir su filmi oluştuğunda “su kazağı etkisi” sonucu film kalınlığı ve taşıt hızı ile artan sürüş güvensizlikleri baş gösterir. Islak beton kaplamalarda sürtünme katsayısının küçülmesi asfalta oranla daha azdır, ayrıca düzgün yüzeylerinde sular kolayca akar ve su kazağı etkisi daha seyrek

oluşur. Kaplamaların yüzeyindeki mikropürüzlülük su filmi dağıtarak aderansı kuvvetlendirir. Makropürüzlülük bu konularda daha etkilidir ve ilaveten taşıtlardan su sıçramasını da azaltır [8,9].

Kaplama yüzeylerinde oluşturulan pürüzlülükler asfalta oranla betonda daha etkili ve kalıcıdır. Normal koşullarda genel olarak asfalt kaplamalar için 1.2 mm, beton kaplamalar için ise 0.8 mm derinlikteki pürüzlülük sürüş emniyeti bakımından yeterli olmaktadır. Aşağıdaki tablodan makropürüzlülüğün kayma direnci üzerindeki olumlu etkisinin beton yüzeylerde daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır [9].

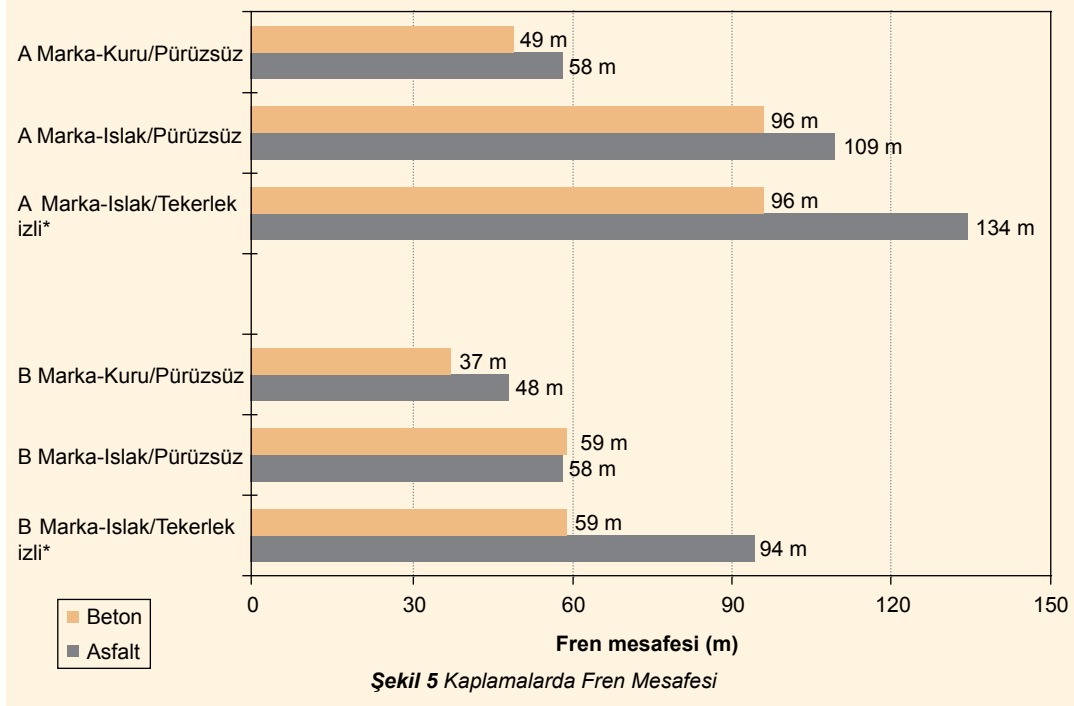
Kayma direncinde azalma (%)	Pürüzlülük derinliği (mm)	
Hız: 50 - 130 km/saat	Asfalt	Beton
0	2.0	0.8
10	1.5	0.7
20	1.0	0.5
30	0.5	0.4

Asfaltın ağır yükler ve/veya yüksek sıcaklıklarda kolay deforme oluşu ve yumuşaması pürüzlülük özelliklerini olumsuz etkiler. Ayrıca böyle koşullar altında asfaltta oluşabilen derin tekerlek izleri ve çukurlar geometrik düzgünlüğü de bozarak sürüş güvensizliği yaratır. Beton kaplamalarda ise pürüzlülük genellikle prizden önce beton yüzeyinde çeşitli yöntemlerle oluşturulur ve daha kalıcı olur. Bazı örnekler Şekil 4'de gösterilmiştir [11]. Taze beton yüzeyinde yiv açılması yöntemi son yıllarda yerini yüzeyde agrega tanelerini kısmen soyarak açığa çıkaran yöntemlere bırakmaktadır.



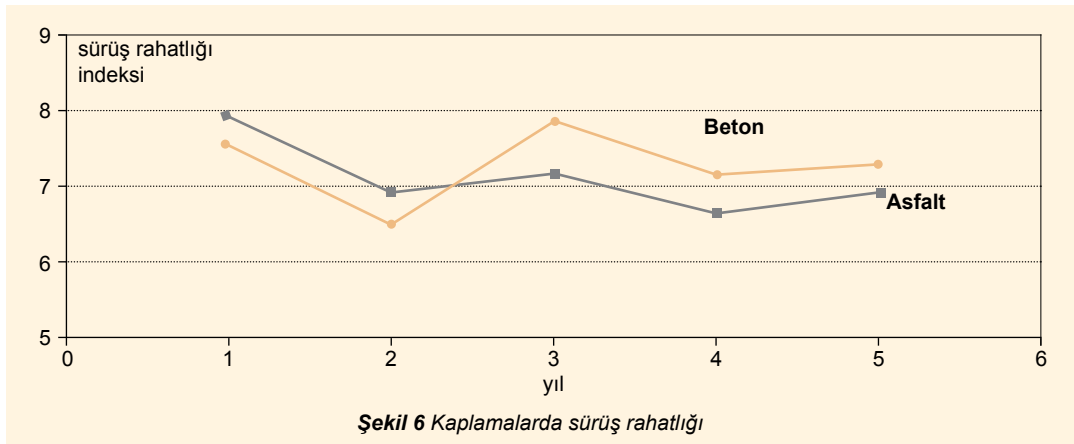
Şekil 4 Yüzey Pürüzlülükleri ESKİ

Illinois Üniversitesinde yapılan bir araştırmada farklı modellerde iki otomobilin saatte 100 km hızla giderken asfalt ve beton yollardaki fren mesafeleri karşılaştırılmıştır [12]. Denemelerde yolların kuru ve ıslak durumları ile asfalt kaplamalarda tekerlek izi bulunan haller kapsanmıştır. Şekil 5’de görüldüğü gibi beton kaplamada duruş mesafeleri genellikle daha kısa olmuştur.



Asfalt ve beton yollar üzerinde sürüş güvenliğine ilaveten sürüş rahatlığı, görüş kolaylığı ve gürültü seviyesi gibi kısaca “sürüş konforu” kavramı altında toplayabileceğimiz hususlar da karşılaştırmalı olarak araştırılmıştır.

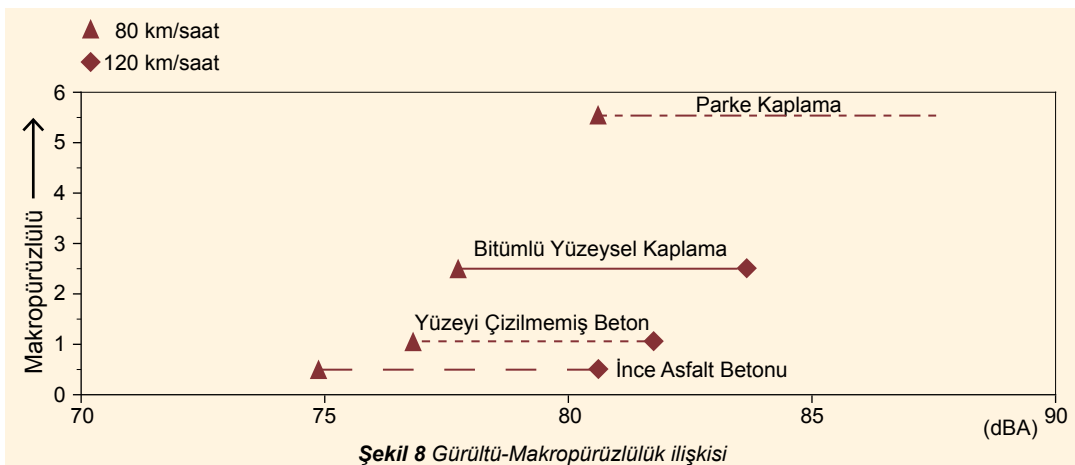
Kanada’nın Nova Scotia Eyaleti Ulaştırma ve Bayındırlık Bakanlığı tarafından beş yıl süre ile yürütülen bir araştırmada 104 numaralı otoyolun 1994 yılında yapılan ve biribirine komşu asfalt ve beton bölümleri üzerinde sürüş rahatlığı incelendi. Deneme sürüşlerinde toplanan bilgiler kaplama yüzeyinin geometrik düzgünlüğü ve oluşan bozulmalarla ilişkili bir “sürüş rahatlığı indeksi” ne çevrildi [13]. Şekil 6’da görüldüğü gibi, ilk iki yıl asfalt yolda sürüş daha rahat iken sonraki yıllarda üstünlük daha dayanıklı olan betona geçmiştir.



Doğal olarak daha açık renkli olan beton, taşıt farları veya yol lambalarından çıkan ışığı siyah renkli asfalttan daha iyi yansıtır ve geceleri çok daha iyi görüş kolaylığı sağlar (Şekil 7). Bu husus sürüş güvenliği ile de yakından ilgilidir. Kanada'nın Ontario eyaletindeki otoyollar üzerinde yapılan bir araştırmadaki ışık ölçümlerine göre 1 km uzunluğundaki yolun standard düzeyde aydınlatılabilmesi için asfalt kaplamada 20 lamba gerekirken beton kaplamada 14 lamba yeterli olmaktadır [14]. Güneşli günlerde ise beton yolların göz kamaştırma gibi olumsuz etkisi olabilir. Ancak burada güneş gözlüğü takmak gibi basit önlemler yeterli olmaktadır. Yağmurlu havalarda, ıslak yollarda makropürüzlülük taşıtlardan su sıçramasını ve görüş şartlarının bozulmasını önlemektedir [8]. Bu konuda makropürüzlülüklerini daha uzun süre koruyabilen beton yolların daha avantajlı olduğu söylenebilir.



Taşıt sürerken duyulan gürültü, tekerlek lastiklerinin yol kaplaması üzerinde yuvarlanırken çıkardıkları sesi de içerir. Bu ses taşıtın ağırlığı ve hızı, lastik ve kaplama yüzeyi özellikleri ile yüzeyin kuru veya ıslak olması gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Ayrıca beton yollarda derz bulunması ve derz dolgularının, plak bağlantılarının yetersiz olması durumlarında sürüş sırasında periyodik sesler oluşacaktır. Kaplama yüzeyinde sürüş güvenliğine yardımcı olan makropürüzlülük arttıkça lastiklerin çıkardığı gürültü de artar. Şekil 8'deki bilgilere göre beton kaplamalarda ince asfalt kaplamadan biraz daha fazla, bitümlü sathi kaplamaya kıyasla ise biraz daha az gürültü meydana gelmektedir [8].



Nova Scotia'daki 5 yıllık araştırmanın sonuçlarına göre beton yoldan çıkan gürültü asfalt yoldakinden ortalama 2-4 desibel daha fazladır. İlave bilgi olarak normal konuşma sesinin 60 -70 desibel, fısıltının ise 20 desibel olarak ölçüldüğüne yer verilmekte,

5 desibelden az farklılıkların önemli olmadığı bildirilmektedir [13]. A.B.D. Ulaştırma Bakanlığı'nın bir yayını asfalt ve beton yollar arasında gürültü faktörü yönünden önemli bir farklılık bulunmadığını belirtmektedir [15]. Wisconsin Karayolları İdaresi uygun yüzey pürüzlülüğü sağlayarak ve maliyeti artırmadan güvenli ve "vinlamayan" beton yolların kolayca yapılabileceğini bildirmektedir [16]. İngiltere'de yapılan bir araştırmada halk arasından seçilen 40 kişiye kontrollü laboratuvar koşullarında çeşitli asfalt ve beton yollarda trafiğin meydana getirdiği sesler dinletilmiştir. Uygun yüzey pürüzlülüğü olan beton yollar ile asfalt yollar arasında belirgin bir ses farkı işitilmemiş, bazı beton yollardan ise daha fazla gürültü çıktığı ifade edilmiştir [17]. Beton kaplama yüzeyinin kısmen soyulmuş ve 4 -8 mm boyutlarındaki agregalar ile pürüzlendirilmesi ses düzeyini 3 -4 desibel azaltarak asfalttan daha sessiz "fısıltı" betonları elde edilmekte ve birçok ülkede uygulanmaktadır [18,19,20,21].

Dayanıklılık

Diğer mühendislik malzemesinde olduğu gibi yol kaplamalarında kullanılan asfalt ve betonu yıpratıcı faktörler arasında sıcaklık ve nem değişimleri ve farklılıkları, donma-çözülme, aşırı yükler, tekrar eden yükler ve zararlı kimyasallar sayılabilir.

Termoplastik bir malzeme olarak asfalt sıcaklık değişimlerine karşı daha duyarlıdır. Yazın yumuşayarak tekerlek izi oluşturur, kışın da gevrekleşerek çatlayabilir. Rijit beton kaplamalarda sıcaklık değişimleri, plak içinde sıcaklık ve nem farklılıkları çatlama ve deformasyonlara neden olabilir. Önlem olarak derz sistemi ve/veya çelik donatı uygulanmaktadır. Soğuk ve yağışlı iklimlerde donma-çözülme etkisine karşı beton karışımına kimyasal katkılarla hava sürüklemek etkili korunma sağlamaktadır.

Malzeme olarak asfaltın zamanla "yaşlanması" söz konusudur. Bu olayda oksidasyon, uçucu madde kaybı ve polimerleşme gibi faktörler rol oynar. Yaşlanan asfalt sertleşerek bağlayıcılık özelliğini kaybetmeye başlar, agrega ile aderansı azalır, çatlar ve suda çözünürlüğü artar [8,9]. Betonda rastlanmayan bu olay asfalt kaplamalarda görece olarak yorulmaya karşı direncin az, faydalı ömrün kısa oluşunda önemli bir etkidir.



Buzlanmaya karşı, yollara dökülen tuzların her iki kaplama türünde de benzer olumsuz etkileri vardır. Uygun tasarım ve geçirgenliği düşük kaplama yüzeyi oluşturarak önlem alınabilir. Diğer taraftan, taşıtlardan dökülebilecek benzin, motorin ve yağ gibi maddeler asfaltın kimyasal yapısında değişikliklere neden olurlar [8].

Sonuç olarak beton yolların faydalı ömürleri asfalt yollardan birkaç kat daha fazla olmaktadır. Nitekim asfalt yollar genellikle en fazla 20 yıllık hizmet süreleri için projelendirilirken beton yollarda bu süre 40-50 yıla ulaşabilmektedir [8,11,12,22].

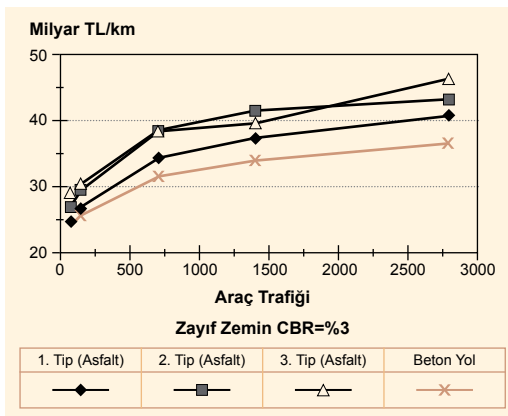


Yapım Maliyeti

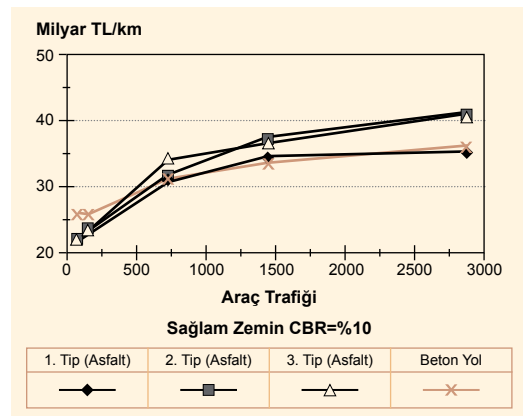
Esnek veya rijit yol üstyapılarının ilk maliyetlerinin karşılaştırılmaları, zemin ve trafik özelliklerine, hizmet sürelerine ve ülke koşullarına bağlı olarak farklılık gösterebilir.

Ülkemizde beton yolun ilk yapım maliyetinin asfalt yolunkinden daha fazla olduğuna dair yerleşmiş bir kanı vardır. Aşağıda özetlenen çalışmalar bunun genellikle doğru olmadığını göstermektedir.

Bu konuda İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyeleri tarafından yapılan bir çalışmada 1998 yılı birim fiyatları ve 20 yıllık hizmet ömrü esas alınarak zayıf ve iyi zemin (CBR %3 ve %10) üzerinde değişik proje trafiği değerlerine göre esnek ve rijit üst yapıların ilk maliyetleri karşılaştırılmıştır. Şekil 9 ve 10 da özetlenen sonuçlara göre taban zeminin zayıf olması durumunda beton kaplama düşük trafik hacimlerinde bile asfalt kaplamalardan daha ekonomik olmaktadır. Zeminin daha kuvvetli olması durumunda asfalt kaplama belirli bir trafik değerine kadar daha ucuza mal olmakta, yüksek trafik hacimlerinde ise gene beton kaplama daha ekonomik olmaktadır [2].



Şekil 9 Yol yapım ilk maliyetleri

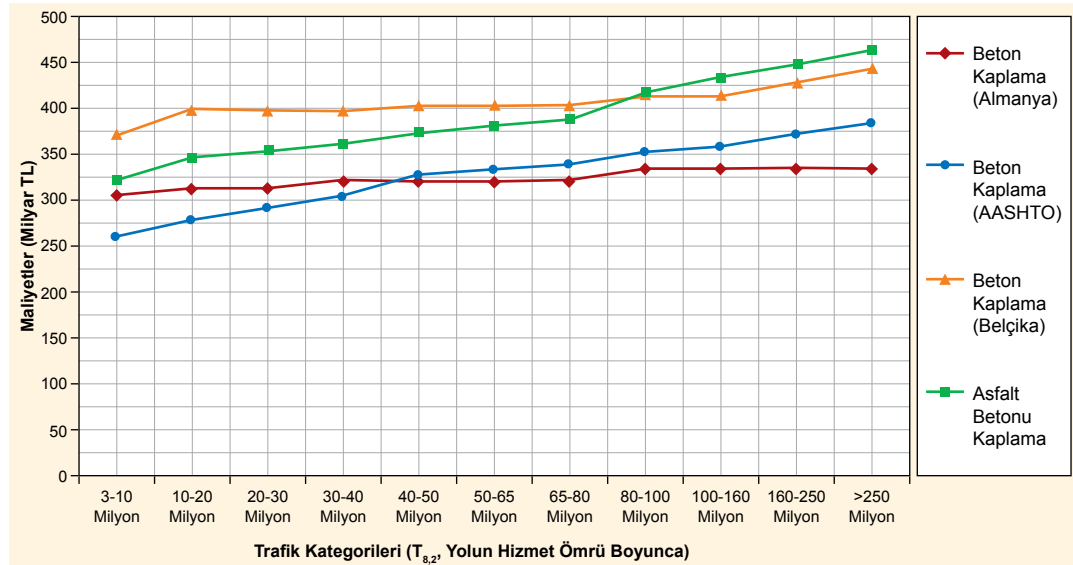


Şekil 10 Yol yapım ilk maliyetleri

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) tarafından yapılan kapsamlı bir çalışmada asfalt ve beton yol üstyapılarının yapım maliyetleri karşılaştırılmıştır [23]. Bu amaçla şerit genişliği 3.5 m olmak üzere 2 şeritli, platform genişliği 12 m olan tipik bir yol kesiti düşünülmüş, taban zemini için CBR değeri %10 kabul edilmiştir. Trafik yükü olarak 8.2 tonluk eşdeğer dingil yükünün tekerrür sayısına bağlı olarak 11 farklı trafik kategorisi ele alınmıştır.

Esnek üst yapı KGM tarafından uygulanan esaslara göre tasarlanmış, rijit üst yapının tasarımında ise Derzli Donatısız kaplama için üç farklı ülkede uygulanan yöntemler takip edilmiştir. Bunlar A.B.D. de uygulanan AASHTO yöntemi [24], Almanya'da uygulanan RstO yöntemi [25] ve Belçika'da uygulanan katalog yöntemidir [26]. Bu suretle üst yapı tabakaları, kalınlıkları ve kullanılacak malzeme nitelikleri belirlendikten sonra KGM, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (BİB), Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) tarafından 2002 yılında uygulanan birim fiyat ve rayiçler esas alınarak yolun 1000 m uzunluğu için birim yapım maliyetleri hesaplanmıştır.

Sonuçlar, göreceli maliyet değerleri olarak Şekil 11'de özetlenmiştir. Buradan rijit üst yapıların genel olarak esnek üst yapıdan daha düşük bir yapım maliyetine sahip oldukları görülmektedir. Sadece Belçika yöntemine göre tasarlanmış beton kaplamanın maliyeti belirli bir trafik yüküne kadar asfaltınkinden daha fazla, ağır trafik kategorilerinde ise gene daha az olmaktadır.



Şekil 11 Yol üstyapıları yapım maliyetleri karşılaştırması

THBB ve KGM uzmanlarınca yürütülen benzer bir çalışmada gene tipik bir yol ve 11 farklı trafik kategorisi ele alınmış, KGM esaslarına göre tasarlanan asfalt yolun yapım maliyeti ile AASHTO yöntemine göre tasarlanan Derzli Donatısız ve Sürekli Donatılı beton yolların yapım maliyetleri kıyaslanmıştır [27]. Sonuçlara göre, gene Derzli Donatısız Beton yolun yapım maliyeti asfalt yolunkinden daha azdır. Sürekli Donatılı beton yol Derzli Donatısız olana göre biraz daha pahalı, ancak çok ağır trafik kategorileri dışında asfalt yoldan daha ucuz olmaktadır. Çalışmada 2004 yılı birim fiyatları ve rayiçleri kullanılmıştır.

Asfalt ve beton yolun yapım maliyetlerinin karşılaştırılması konusunda en son bir çalışma Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) tarafından bu kez gerçek bir yol kesimi üzerinde yapılmıştır [28].

İstanbul'da Hasdal kışlası ile Kemberburgaz ayırımı arasındaki bölünmüş yolun yapımı 2006 yılında tamamlanmıştır. Yolun bir yönü asfalt kaplama, diğer yönü ise TÇMB finansmanı ile beton kaplama olarak yapılmıştır. Asfalt yol KGM tarafından tasarlanmış (A), beton yol ise TÇMB tarafından 27 cm kalınlığında beton plak ve altında 5 cm kalınlığında asfalt arayüzey ile Derzli Donatısız olarak tasarlanmış ve KGM tarafından onaylanmıştır (B1). İlaveten KGM, yolun bir bölümünde beton plak kalınlığının 32 cm yapılmasını ve asfalt arayüzey kullanılmamasını istemiştir (B2). Böylece benzer trafik yükünü taşıyan asfalt yol ile iki ayrı tasarımda yapılan beton yolların birim yapım maliyetlerini karşılaştırma imkanı bulunmuştur.

Yolun platform genişliği 10.5 m olup birim yapım maliyetleri için yolların 1000 m lik uzunlukları dikkate alınmıştır. Hesaplamalarda gene KGM, BİB ve DLH tarafından kullanılan analizler ve 2008 yılı birim fiyatları esas alınmış, bazı kalemler için 2009 yılı başı piyasa rayiç fiyatları kullanılmıştır. Hesaplanan yapım maliyetleri aşağıda belirtilmiş olup ayrıntılar Ek. 1'de sunulmuştur.

Asfalt Üstyapı (A) Birim Yapım Maliyeti	719.871 TL / km
Beton Üstyapı (B1) Birim Yapım Maliyeti	723.438 TL / km
Beton Üstyapı (B2) Birim Yapım Maliyeti	666.379 TL / km

Bu son çalışmaya göre asfalt ve beton yol ilk yapım maliyetleri arasında önemli bir fark yoktur, hatta tasarıma bağlı olarak aynı trafik yükünü taşıyacak beton yolun maliyeti daha az olabilmektedir.

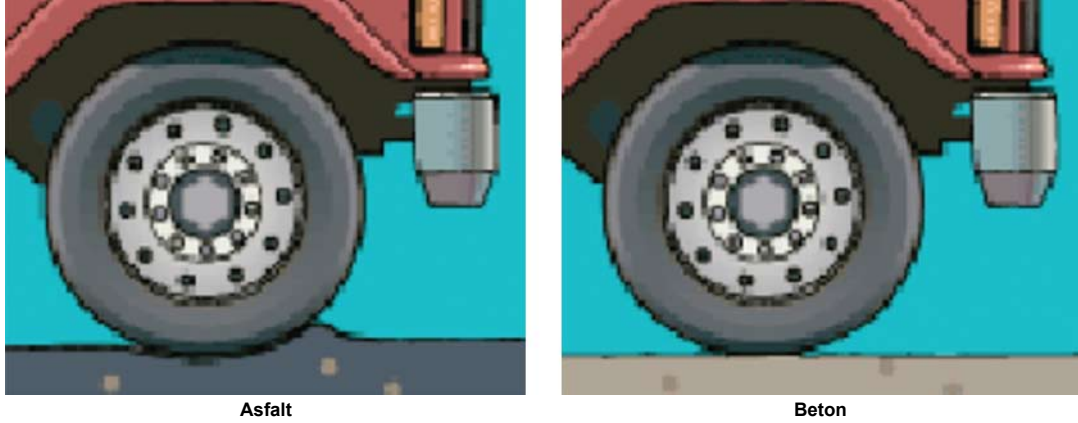
Yaşam Döngüsü Maliyeti

Mühendislik yapılarında ekonomik analizlerin yaşam döngüsü (veya hizmet ömrü) maliyeti esasına göre yapılması gerekir. Asfalt ve beton yolların böyle bir analizle karşılaştırılmalarında ilk maliyete ilaveten hizmet ömrü boyunca bakım ve onarım sıklıkları ile bunların teknik ve sosyal maliyetleri, aydınlatma masrafları, taşıtların yakıt sarfıyatı gibi hususlar ve çevresel etkiler itibara alınır. Bu amaçla yapılan çalışmalar özellikle trafik hacmi yüksek yollarda ilk maliyetin daha fazla olması durumunda bile hizmet ömrü sonunda beton yolların asfalt yollardan daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır. Günlük ticari taşıt trafiğinin 5.000'den fazla olması durumunda beton yol tercih edilmektedir [9].

Asfalt yollarda yapımlarından 3 -5 yıl sonradan itibaren bakım ve onarım çalışmalarına gerek duyulmakta, 10 yıl sonra kaplama yüzeyinin yenilenmesi yoluna gidilmektedir. Artan onarım çalışmaları ve maliyetleri 17 -20 yıl sonra ekonomik ömrün sonunu yaklaştırmaktadır. Toplam bakım ve onarım maliyetinin ilk maliyeti geçmesi de mümkündür. Sık yapılan bakım ve onarım işlemleri sırasında yolda trafiğin kısıtlanması, iş ve zaman kaybına neden olmakta, yakıt sarfıyatını ve dolayısı ile hava kirlenmesini arttırmakta, kullanıcı üzerinde olumsuz psikolojik etki yaratmaktadır [8,9,12,14,29].

Beton yollar hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler. Derz dolgularının 4-5 yılda bir kontrolü yapılır. Genellikle ilk ufak onarımlar 10-12 yıl sonra gerekebilir. Yüzey pürüzlülükleri 17-18 yıl sonra elden geçirilmektedir [8,9,12]. Beton yollarda onarımlar asfalt yollara göre çok daha seyrek yapılmakla birlikte onarım başına maliyet genellikle daha fazla olabilmektedir.

Yapılan araştırmalara göre asfalt ve beton kaplamalarda yuvarlanma direnci faktörleri sırası ile 0.12 ve 0.10 olarak belirlenmiştir. Bu da beton yolda giden bir taşıtın daha az yakıt sarfedeceğini göstermektedir. Şekil 12’de görüldüğü gibi özellikle ağır vasıta tekerlekleri esnek olan asfalt kaplamaya gömülerek sürüş sırasında zorlanmaktadırlar. Bu tür taşıtlar için beton kaplama ortalama %5-11 arası yakıt tasarrufu sağlamaktadır [12,30,31].



Şekil 12 Asfalt ve beton yolda ağır vasıta tekerleği

Kanada’nın Ontario eyaletinde asfalt ve beton yolları sosyo-ekonomik yönlerden karşılaştırarak değerlendiren bir araştırmada üzerinden günde ortalama en az 1500 kamyon geçen 4105 km’lik bir yol kesimi ele alınmıştır [14]. Sonuçlara göre yolun asfalt yerine betondan yapılması ile kamyonların yakıt gideri %11’e varan oranlarda azalmakta, aydınlatılacak kesimler için gerekli elektrik sarfıyatı ise %45 daha az olmaktadır. Bakım ve onarım işlerinin neden olduğu trafik sıkışıklıklarının kullanıcıya maliyetinin yılda 7 milyon Dolar daha az olacağı hesaplanmıştır. Beton yollarda toplam yakıt tüketimi ve dolayısı ile CO₂ ve No_x emisyonlarındaki azalmaların getireceği çeşitli yararların toplam değeri yılda 36 milyon Dolar olarak tahmin edilmiştir.



Asfalt ve beton yolların 50 yıllık bir hizmet süresi bazında yapılan karşılaştırılmalarında çevre ve enerji konularına ağırlık verilmiştir [29]. Asfalt ve çimentonun üretimi, yolun yapımı, bakımı ve onarımı için gerekli enerjiler ve ortaya çıkan sera gazı emisyonları dikkate alınmıştır. Maliyet olarak düşük trafik hacimli yolda asfalt %8, yüksek trafik hacimli yolda ise beton %13.8 daha ucuzdur. Yol için harcanan enerji yapım sırasında düşük ve orta trafik hacimli beton yollarda biraz daha fazla, yüksek trafik hacimli beton yolda daha azdır. Hizmet süresi bazında ise her türlü trafik için asfalt yol yapımı için gereken enerji beton yol için gerekenden %54'e varan oranlarda daha fazladır. Asfaltın enerji veren bir malzeme kabul edilmesi durumunda ise bütün aşamalarda asfalt yolun enerji tüketimi beton yolunkinin 2-3 katı olabilmektedir. Çalışmada her iki kaplama türü için yapım, bakım ve kullanım süreçlerinde meydana gelecek sera gazı emisyonları da CO₂ eşdeğeri "küresel ısınma potansiyeli" (KIP) olarak hesaplanmıştır. Hizmet süreci sonunda bu değer düşük trafik hacimli beton yolda asfalta göre %19, yüksek trafik hacimli yolda ise %2 daha fazladır. Ancak beton yollarda taşıt yakıt tüketiminde %5'lik bir azalma bile bu farkı kapatmakta ve yüksek trafik hacimli beton yollarda KIP değeri ihmal edilebilir düzeye inmektedir. Bu aynı zamanda bu tür beton yollarda maliyetin düşmesini de sağlamaktadır.

Beton Yolun Tasarımı

Beton yolun tasarımında en önemli husus beton kaplama kalınlığının belirlenmesidir. Toprak tabanı ve / veya temel tabakası üzerine oturan beton kaplamanın davranışı teorik olarak elastik zemin üzerine oturan rijit plakların davranışına benzer. Ancak gerçekte etki eden yüklerin çeşitliliği, (dinamik ve tekrar eden dahil), zemin özellikleri

(taşıma gücü: yatak katsayısı, CBR değeri, drenaj durumu,...), iklim (sıcaklık, yağış), beton özellikleri (elastisite modülü, basınç ve eğilme dayanımları,...) ve tasarlanan servis ömrü konuyu daha karmaşık hale getirir ve zorunlu olarak teorik yaklaşımın deneysel bulgularla desteklenmesini gerektirir.

Bu konuda yapılan deneysel çalışmaların en kapsamlısı 1958 -1960 yılları arasında Amerika'nın Illinois eyaleti Ottawa şehrinde yapılmıştır. Amerika Eyalet Yolları Çalışanları Birliği, AASHO, (sonraları AASHTO) tarafından yürütülen bu çalışmada yüklü kamyonlar oval pistler üzerinde sürekli dolaşarak yolu neredeyse servis ömrü boyunca karşılaşacağı bir trafik yüküne maruz bırakmışlardır. Pistin farklı bölgelerinde farklı tasarımlarla oluşturulmuş olan beton üst yapının ve kaplamanın durumu (yüzey düzgünlüğü, oturmalar, çatlamalar,...) sürekli ölçülerek belirlenmiştir. AASHO Yol Testi'nden elde edilen bilgileri temel alan AASHTO Tasarım Yöntemi bazı revizyonlara uğramakla birlikte bugün de yürürlükte olan ve yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir

[24]. Portland Çimentosu Birliği (PCA) tarafından geliştirilen bir tasarım yöntemi de A.B.D. de bazı eyaletler tarafından kullanılmaktadır.

Diğer ülkelerde ve Avrupada da benzer ampirik – analitik yöntemler geliştirilmiştir

[25,26]. Bu yöntemlerin uygulanması sonucu, belirli trafik yükü aralıklarında beton plak ve temel tabaka kalınlıklarının çok fazla değişmediği gözlenmiş ve mevcut yollar üzerindeki deneyimlerden de yararlanarak pratik olarak kullanılabilen "kataloglar" oluşturulmuştur. Bir katalogdan kaplamanın faydalı ömrü boyunca maruz kalacağı tahmini trafik yükü "trafik kategorisi", zemin tipi (CBR) ve iklim (don olasılığı) dikkate alınarak temel tabaka cins ve kalınlıkları ile beton plak kalınlığı doğrudan seçilebilmektedir. Trafik kategorisi, yoldan geçen çeşitli araçların farklı dingil yüklerinin tek bir

eşdeğer standard dingil yüküne çevrilmesi (örneğin, 8.2 ton) ve bu yükün yol üzerinde yıllık, ortalama günlük (YOGT) ve servis ömrü süresince tekrar sayısına bağlı olarak belirlenmektedir.

Tablo 1’de platform genişliği 12 m olan bir yolda 11 farklı trafik kategorisine göre tasarlanmış esnek ve rijit üst yapı kesit kalınlıkları gösterilmiştir. Esnek üst yapı Kara Yolları Genel Müdürlüğü tasarım esaslarına göre, rijit üst yapı ise AASHTO 93 Yöntemine göre Derzli Donatısız ve Sürekli Donatılı olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır [27].

Tablo 1. Üst Yapı Kesit Kalınlıkları

Esnek Üstyapı

Üstyapı (cm)	Trafik Kategorileri ($T_{8,2}$: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca)										
	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon	160-250 Milyon	>250 Milyon
Aşınma	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Binder	8	6	6	6	7	7	7	8	8	8	8
Bitümlü Temel	0	8	9	10	10	11	12	12	14	16	18
P. miks Temel	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Kırmataş Temel	25	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25

Derzli Donatısız Rijit Üstyapı

Üstyapı (cm)	Trafik Kategorileri ($T_{8,2}$: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca)										
	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon	160-250 Milyon	>250 Milyon
Beton Kaplama	19	22	23	25	25	26	27	30	33	36	38
Kırmataş Alttemel	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

Sürekli Donatılı Rijit Üstyapı

Üstyapı (cm)	Trafik Kategorileri ($T_{8,2}$: 8,2 tonluk eşdeğer standart dingil yükü tekrar sayısı - Yolun hizmet ömrü boyunca)										
	3-10 Milyon	10-20 Milyon	20-30 Milyon	30-40 Milyon	40-50 Milyon	50-65 Milyon	65-80 Milyon	80-100 Milyon	100-160 Milyon	160-250 Milyon	>250 Milyon
Beton Kaplama	18	20	22	24	25	25	26	28	31	35	36
Kırmataş Alttemel	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	25

Tabloda görüldüğü gibi, aynı trafik kategorisi için esnek üst yapıda daha kalın ve daha fazla sayıda temel tabakası bulunmaktadır. Aynı trafik kategorisinde Derzli Donatılı üst yapıdan Sürekli Donatılı üst yapıya geçildiğinde beton plak kalınlığı sadece birkaç santim (%5 - %10 kadar) azalmaktadır.

Uygulamada beton plak kalınlıklarının genellikle 20- 40 cm arasında değiştiği görülmektedir. Ağır vasıta geçmeyen düşük trafik yoğunluklu (köy yolları, iç yollar,...) yollarda kalınlık 15 -20 cm arasına düşmektedir.

Beton kaplamalarda kullanılan çelik donatı ile ilgili bazı tipik pratik değerler gelecek bölümde verilecektir.

Beton Yolun Yapımı Konusunda Pratik Bilgiler

Evvelce değinildiği gibi, beton kaplamalarda sıcaklık ve nem farklılıklarından ve diğer faktörlerden kaynaklanabilecek çatlamları en aza indirmek ve kontrol etmek amacı ile derz sistemleri ve / veya çelik donatı kullanılır.

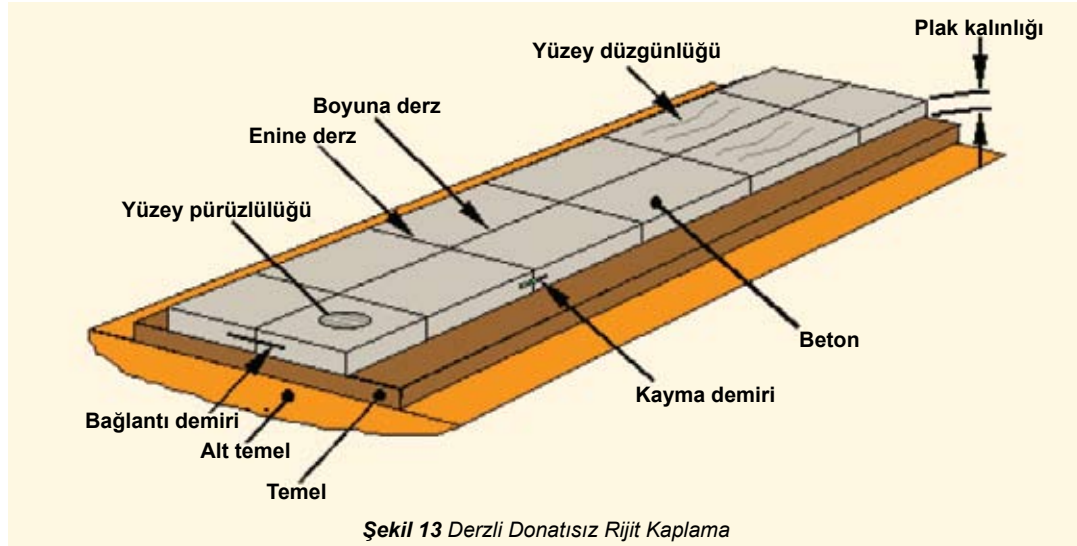
Derzler yol eksenine göre enine, boyuna veya çapraz olabilir. Tam derzler plak kalınlığı boyunca oluşturulurken, yarım derzler plak kalınlığının sadece bir bölümüne kadar açılırlar ve çatlakların zayıflatılmış kesitte toplanmasını sağlarlar. Tam derzler birlikte dökülmeyen plaklar veya kaplama ile diğer yapılar arasında yer alırlar. Gene tam derz olan genişleme derzleri sayesinde plaklar sıcaklık değişimlerinde serbest hareket edebilirler. Ancak, sıcak havalarda dökülen beton kaplamalar için genellikle genişleme derzine gerek duyulmamaktadır. Derzler yol yüzeyinde kesiklilik meydana getirirler ve alt tabakalara su sızmasına yol açabilirler. Bu nedenlerle ağızlarında pah açıldıktan sonra fitil ve elastik bir dolgu malzemesi ile doldurulup düzlenmeleri gerekir.



Derzli Donatısız beton kaplamalarda genellikle 5 -6 m aralıklarla enine derz kesilir. Yol genişliğine bağlı olarak gene benzer aralıklarla boyuna derz (ler) kesilmesi gerekebilir (boyuna derzlerin mümkün olduğu kadar trafik şeridi ortalarında olması, tekerlek altına gelmemesi tercih edilir). Özetle, derzlerin kaplama yüzeyinde kenarları 5 – 6 m civarında olan ve mümkün olduğu kadar kare şeklinde anolar oluşturması istenir (nadiren uygulanan çapraz derzlerde amaç, aracın iki tekerleğinin de aynı zamanda derz üzerinden geçmesini önlemektir). Derzler kaplamanın 1/3 derinliğine kadar kesilir. Bu tür kaplamalara "Donatısız" denilmesine rağmen derz bölgelerinde çelik çubuklar bulunur. Derze dik olarak, enine derzlerin altına düz "kayma demirleri", boyuna derzlerin altına nervürlü "bağlantı demirleri" yerleştirilir. Derzlerde kullanılan kayma ve bağlantı demirleri yükün plaktan plaka yayılmasını ve plakların, sürüş rahatlığı için, birlikte deforme olmasını sağlar. Bazı yarım derzlerde donatı bulunmayabilir. Şekil 13'de Derzli Donatısız



üstyapıda derzler ve donatı çubukları ile diğer özellikler gösterilmiştir [11]. Kayma demirleri, beton dökülmeden önce yol yüzeyine çakılı çelik sehpalara konularak istenilen yükseklik ve aralıklarla yerleştirilmeleri sağlanır. Sehpalara monte edilmiş çubukların ileri yönde hareketleri önlenmemelidir. Beton serilen bazı finişerlerde kayma demirlerini otomatik olarak yerleştiren mekanizma vardır. Bağlantı demirleri finişerin arkasından kalıplanarak çıkan beton kaplamanın kenarından içeriye istenilen aralıklarla yarı boylarına kadar el ile saplanır.



Şekil 13 Derzli Donatısız Rijit Kaplama

Derzli Donatılı beton kaplamalarda derz altlarındaki donatıya ilaveten sürekli donatı da bulunur. Bu tür kaplamalarda derzler, Derzli Donatılı kaplamalardakilerden daha uzun aralıklarla kesilir. Seyrek uygulanan bir kaplama türüdür.

Sürekli Donatılı beton kaplamalarda derz bulunmaz. Sürekli donatı olarak hasır çelik veya yol eksenine göre enine ve boyuna yerleştirilmiş donatı çubukları kullanılır.

Kompozit beton kaplamalarda asfalt ve beton birlikte kullanılarak her iki malzemenin olumlu özelliklerinden yararlanılır. Bu tür kaplamalar, faydalı ömrünü doldurmuş yolların iyileştirilmesi sonucu da ortaya çıkar. Örneğin, 40 - 50 yıl hizmet görmüş bir beton yolun yıpranmış yüzeyi ince bir asfalt tabaka ile, eskimiş bir asfalt yolun yüzeyi de beton kaplama (white topping = WT) ile yenilenebilir. Bazı hallerde bu amaçla çok ince, 5 - 10 cm kalınlığında, lifli beton tabakası (ultra thin white topping = UTWT) da kullanılmaktadır [8,11].

Son yıllarda uygulanan farklı bir "kompozit" kaplama, eskimiş asfalt yüzeyinin parçalanıp yerinde agrega ve çimento ile karıştırılıp beton kaplama olarak yenilenmesini içerir. Buna "yerinde yenileme veya iyileştirme" (full depth rehabilitation = FDR) deniliyor.

Derzli Donatısız beton kaplamalarda santraldan betonu getiren damperli kamyon veya transmiksör yapılmakta olan yol üzerinden gelerek betonu finişerin önüne boşaltır. Derzli Donatılı veya Sürekli Donatılı kaplamalarda yapılmakta olan yol şeridi üzerinde donatı serilmiş olduğundan bu mümkün olmaz ve bu araçların yola yandan yaklaşmaları ve betonun buradan genellikle bir kepçe vasıtası ile finişerin önüne aktarılması gerekir.



Bugün beton yollar büyük çoğunlukla kayar kalıp finişer kullanılarak yapılmaktadır. Bu uygulamada betonun kuru kıvamda olması gerekir. Kuru kıvamlı beton transmikserden zor boşaldığı için betonun damperli kamyonlarla taşınması yoluna da gidilmektedir. Burada önemli olan finişerin önünün betonsuz kalmaması dolayısı ile ilerlemesinin durmamasıdır. Finişerin bir süre beklemesi dökülen betonla dökülecek beton arasında meydana gelen farklılıklar dolayısı ile sonradan yolda ondülasyona neden olabilir. Bunu önlemek için finişerin betonu serme hızı, beton santralının kapasitesi, yola mesafesi ve gerekli kamyon veya transmikser sayısı gibi hususlar önceden dikkate alınmalıdır.

Kayar kalıp finişer kullanarak beton yol yapımı, uyumlu çalışması gereken bir ekip işidir.

Finişer ilerlerken gelen beton partilerinin periyodik kontrolü (çökme ve hava miktarı ölçümleri, numune alma) yapılır, önde kayma demirleri yerleştirilir, arkadan çıkan kalıplanmış beton yüzeyi önce perdelanır, daha sonra fırça ile pürüzlenir ve yüzeye kür kimyasalı püskürtülür veya plastik bir örtü örtülür. Bağlantı demirleri yan yüze yerleştirilir. Derzlerin kesilmesi için uygun zaman beton dökümünden sonraki 6 – 24 saat arasındadır.

Yol ve finişer genişliklerine bağlı olarak finişerin birden fazla geçişi gerekiyorsa enine eğime göre yolun alçak bölümünün (düz yolda ağır vasıta şeridi) önce serilmesi önerilmektedir.

İşin başlangıcında santraldan gelen beton istenilen özellikleri sağlamayabilir. Dolayısı ile, yolun ilk 50 m'lik kadar bir bölümünde beton karışımının ayarlanması ve diğer aksaklıkların giderilmesi gerekecektir. Tipik bir finişer dakikada 1 m gibi bir hızla ilerler ve normal çalışma saatleri içinde günde yaklaşık 600 m kadar uzunlukta bir yola beton sermiş olur.

Karayollarındaki beton kaplamalarda kullanılacak beton ve çelik donatı konularında bazı tipik değerler ve ilave yapım önerileri şöyledir [32-33]:

Yolu hizmete erken açmak amacı ile beton karışımında erken dayanımı yüksek (R tipi) 42.5 veya 52.5 dayanım sınıfı çimentoların kullanımı yararlı olur. Gereken erken dayanımın sağlanması kaydı ile mineral katkı çimentolar ile de özellikle dayanıklılık yönünden olumlu sonuç alınabilmektedir. Çimento miktarı en az 350 kg / m³ olmalıdır. Çimentodaki alkali miktarı ve kullanılacak agreganın reaktivitesi, alkali – silika reaksiyonu olasılığına karşı dikkate alınmalı, gereken standard deneyler önceden yapılmalıdır.. Kaplama için beton en az C 30, tercihan C 35 sınıfı ve eğilme dayanımı en az 4.0 MPa olmalıdır. Su / çimento oranı 0.45'i, kayar kalıp finişer kullanılıyorsa çökme değeri 4-5 cm yi geçmemelidir. Donma – çözülme etkisi bulunan bölgelerde betona kimyasal katkı kullanarak % 4-5 kadar hava sürüklenmelidir. Bu gibi beton özelliklerini birlikte sağlamak amacı ile akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanımı gerekebilecektir.

Derzli kaplamalarda, enine derzlerin altında kayma demirleri olarak 25 -30 mm çapında, 40 – 60 cm boyunda düz çubuklar kullanılır. Derzler kaplama kalınlığının 1/3 üne kadar kesilir. Kayma demirleri kaplamanın yarı kalınlığı hizasında, derze dik olarak genellikle 30 cm aralıklarla yerleştirilir ve yüzeyleri paslanmaya karşı bitüm gibi bir madde ile kaplanır. Boyuna derzlerin altında bağlantı demirleri olarak genellikle 12 mm çapında, 80 cm boyunda nervürlü çubuklar kullanılır. Bağlantı demirleri kaplamanın yarı kalınlığı hizasında derze dik olarak, 75-100 cm aralıklarla yerleştirilir. Yarı boylarına kadar betonun içine saplanan çubukların diğer yarıları bitişğe dökülecek şeridin içinde kalacaktır.



Sürekli donatılı beton kaplamalarda çatlamalar donatı ile kontrol altına alındığından derz kesilmesine gerek kalmaz. Donatı olarak kullanılacak nervürlü çelik çubuklarda Elastisite Modülü'nün 400 -500 MPa arasında olması istenir. Donatı çubukları kaplamanın yarı kalınlığına veya üst 1/ 3 ü içine yerleştirilir. Üste yerleştirildiğinde en az 6 -7 cm pas payı bırakılması gerekir. Donatı, istenilen yükseklikteki sehpa üzerine serilerek yerleştirilir.

Boyuna çubukların çapı 14 -24 mm arasında değişir. Aralıkları beton kesitinde gerekli donatı yüzdesine (beton kesitinin %0.6 - %0.7'si) göre belirlenir. Çubuklarda bindirme payının çapın 25 -35 katı kadar olması önerilmektedir.

Enine çubuklarda çap 12 -16 mm arasında değişir. Bu çubuklar, boyuna çatlakları kontrol ederken aynı zamanda boyuna donatının da tesbit edilmesine yardımcı olur. Genellikle 40-100 cm aralıklarla yerleştirilirler. Gerekli donatı yüzdesi beton kesitinin %0.05 - %0.10'u kadardır.



Sonuç

Yukarıda sunulan bilgiler ve ülke koşulları ışığında beton yolun asfalt yola göre üstünlükleri şöyle özetlenebilir:

- Beton yolun hizmet ömrü asfalt yolunkinden 1.5 -2.0 kat daha uzundur. Çok daha az bakım ve onarım ister. Dolayısı ile, yapım maliyetinin asfalt yoldan pahalı olması halinde bile hizmet ömrü bazında çok daha ekonomiktir. Kaldı ki ülkemizde yapılan çalışmalar beton ve asfalt yolların yapım maliyetleri arasında büyük fark olmadığını ortaya koymuştur.
- Çok daha seyrek bakım ve onarıma gerek duyulan beton yolda bu özellikleri dolayısı ile trafik sıkışıklıkları, zaman ve iş kaybı ve havaya salınan egzoz emisyonları daha azdır. Dolayısı ile sosyal ve çevresel avantajlar söz konusudur.
- Asfalt yolun aksine, beton yol yüzey düzgünlüğünü servis ömrü boyunca korur. Sıcakta yumşamaz, üzerinden geçen araçlar kalıcı tekerlek izi bırakmaz. Özellikle yağışlı havalarda fren mesafeleri daha kısadır. Açık rengi gece görüşünü kolaylaştırır. Bu özellikleri dolayısı ile beton yol daha güvenli sürüş sağlar.
- Asfalt yolda giden ağır vasıtalar, tekerlekleri beton yüzeyine göre daha yumşak olan asfalt kaplama yüzeyine gömülerek zorlandığından, beton yolda gidenlere oranla daha fazla yakıt tüketirler.
- Ülkemiz koşulları dikkate alındığında, çimento yurdun her köşesinde kolayca temin edilebilen yerli bir malzeme iken asfalt ithalatla ilgilidir, temininde de zaman zaman güçlük yaşanmaktadır. Ayrıca, katkı olarak uçucu kül ve cüruf gibi endüstriyel atıklar da çimento içinde yer alabildiğinden çevreye ilave yarar sağlanmaktadır.

Asfalt yola göre beton yolun bazı olumsuzlukları da vardır, ancak ilerleyen teknolojiler sayesinde bu olumsuzluklara karşı artık etkili önlemler alınabilmektedir:

- Beton yolun servise açılması için bir süre beklenmesi gerekir. Bu süre, erken dayanımı yüksek çimentolar ve gerekirse kimyasal katkılar kullanarak makul düzeylere indirilebilmektedir.

- Normal olarak beton yolda giden taşıt düzgün asfalt yoldakinden biraz daha fazla gürültü çıkarır. Son yıllarda geliştirilen yüzey pürüzleme yöntemleri ve derz dolguları ile bu fark ortadan kaldırılmış veya en az düzeye indirilmiştir.
- Asfalt yoldakine oranla beton yolda onarım genellikle daha uzun sürer ve daha masraflıdır. Ancak, usulüne uygun olarak yapılan beton yol nadiren onarıma ihtiyaç gösterir.

Bu yazıda özetlemeye çalıştığımız asfalt yol-beton yol kıyaslamaları bir çok ülkede çok önceleri ve daha ayrıntılı olarak ele alınmış ve başlangıçta da değindiğimiz gibi, o ülkelerde gereken yerlerde beton yollar yapılmıştır ve yapılmaktadır..

Türkiye’de karayollarının taşımacılık ve ulaştırmada payı %95’i bulmaktadır. Türkiye Avrupa’nın en büyük TIR filosuna sahiptir. Karayolları Genel Müdürlüğü verilerine göre karayollarımızın bir çok kesimindeki YOGT değerleri beton kaplamaya geçişi gerekli kılacak yüksekliktedir [9,34]. Asfalt otoyollarımızda, örneğin, Ankara-İstanbul arasında seyahat edenler bilir. Onarım veya bakım çalışmalarına rastlanmadığı, birkaç şeridin trafiğe kapanmadığı zaman yok gibidir. Seyahat süreniz önemli ölçüde uzayabilir ve çıkışta gene ücret ödersiniz !. Yeni yapılan bölünmüş yollarda, trafiğin yoğun olduğu kesimlerde de durum farklı değildir. Çok sık onarılarak yamalı bohça haline gelmiş asfalt yollarda sürüş güvenliğinden ve konforundan bahsetmek mümkün değildir. Bunlara ilaveten, yaz gelince güney bölgelerimizden “ yoldaki asfalt eridi ” haberleri de gelmeye başlar.

Özet olarak, ülkemiz karayollarının ağır trafik yüküne veya sıcak iklim koşullarına maruz kesimlerinde çok öncelerden beton yol yapılmış olması gerekirdi. Başlangıçdaki sorumuzu tekrarlırsak, “Karayolları Genel Müdürlüğü’nün kuruluşundan 50 yılı aşkın bir süre geçmiş olmasına rağmen Ülkemizde niçin beton karayolu yapılmamıştır, niçin beton yola gerek duyulmamaktadır? “ Bu soruya inandırıcı, teknik ve ekonomik yönlerden geçerli bir yanıt vermek mümkün değildir. Belki de “alışılmışın kolaylığı” en önemli faktör olmaktadır.

TÇMB finansmanı ile Afyonkarahisar ve İstanbul’da deneme amaçlı olarak yapılan beton yollardan sonra bazı kuruluşlar da beton yol yapımına ilgi gösterdiler. Örneğin, Kastamonu Belediyesi şehir içinde 18 km beton yol yaptı [7,35].

Arzu edilen Ulaştırma Bakanlığı ve KGM yetkililerin de beton yol konusuna artık ciddi olarak eğilmeleridir. Ülkemizde yeni uygulanmaya başlıyan yap-işlet-devret modeli ile yapılan yol ihalelerinde asfalt yola göre çok daha düşük bakım ve onarım masrafı olan beton yolun da bir alternatif olarak yer alması düşünülmelidir.

10. Ulaştırma Şurası’nın bir teması “Türkiye’de 2023 yılında nasıl bir karayolu ağı görülməsi isteniyor” olarak belirlendi. Dileğimiz, o tarihte ülkemiz karayollarının gereken kesimlerinin beton kaplama olarak yapılmış olduğunu görebilmek...



Kaynaklar

1. Wilde,R., "Concrete Comments", Concrete International, vol.22, no.8, 2000,
2. Ağar,E., Öztaş G. ve Süttaş,İ., "Esnek yol üst yapıları ile rijit yol üst yapılarının teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılması", Teknik Rapor, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, 1998.
3. FEBELCEM, Brüksel ile yazışmalar, Ankara, 2009.
4. Hauer, B., ECRA, Düsseldorf, ile görüşme, Brüksel, 2009.
5. Concrete Trends, Cement and Concrete Institute, Midrand, Güney Afrika, 2006.
6. Prasad,B., Workshop on Cement Concrete Roads,CMA, NCB, New Delhi, Hindistan, 2008.
7. Yeğinobalı,A., "Türkiye'nin ilk beton karayolları", TÇMB Ar-Ge Yayını, Ankara, 2009.
8. Ağar,E., Süttaş,İ. ve Öztaş,G., "Beton yollar", İ.T.Ü. Yayını, Sayı 1594, İstanbul, 1998, 392 p
9. Tunç,A., "Yol malzemeleri ve uygulamaları", Atlas Yayınları, İstanbul, 2001, 840 p
10. Smith,T., Tighe,S. ve Fung,R., "Concrete pavements in Canada: A review of their usage and performance", Proc., Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Halifax, 2001.
11. American Concrete Pavement Association, www.pavement.com/pavtech 2002.
12. Cement Association of Canada, www.cement.ca/cement.nsf, 2002.
13. Nova Scotia Transportation and Public Works, "Asphalt concrete pavement and portland cement concrete pavement, Highway 104. Year 5 of 5 year study",1999.
14. KPMF Consulting LP "Comparative study of socio-economic factors related to concrete and asphalt highway surfaces" Final Report, Toronto, 2000.

15. U.S.Department of Transportation, "The pavement noise and safety performance", Federal Highway Administration FHWA-SA-96-068, Washington D.C., 1996.
16. Wisconsin Department of Transportation, "Impacts related to pavement texture selection", WI/SPR-06-96, Final Report, Wisconsin, 1997.
17. Watts,G.R., "Perception of exterior noise from traffic running on concrete and bitumious road surfaces", Journal of Sound and Vibrations, v.191,9, Apt 4, 1996
18. British Cement Association, "The sound of silence (whisper concrete)" www.bca.org.uk/, 1998.
19. Herrfeld,M., "Requirements for the application of surface retarders in whisper concrete road proects" Proc.8 th International Symposium on concrete Roads, vol.V, p 7-8, Lisbon, 1998.
20. Department of Environment, Transport and the Regions Contract MP0623, "whisper concrete in Austria and the UK", U.K, 1999.
21. Highways Agency, "Technology greens England's motorways", Open Document HA 318/00,U.K., 2000.
22. North East Chapter, American Concrete Pavement Association, "Notable facts about concrete pavement", www.ne.pavement.com/, 2002.
23. Uçar, S.ve Konrapa,U., "Yol üst yapıları yapım maliyetleri araştırması", Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 2002.
24. AASHTO " Guide for design of pavement structures", Washington D.C.,U.S.A. 1993.
25. Richtlinien für die standardisierung des oberaus von verkehrsflächen –RstO 86 Köln, Almany,1989.
26. "Pavement design catalogue for concrete roads in Flanders",Brüksel, 1998.
27. Uçar,S., Akakın,T. ve Dikicioğlu, E., " Rijit ve esnek üstyapıların yapım ve ömür maliyetlerinin karşılaştırılması", Avrupa Hazır Beton Toplantısı, ERMCO, Sevilla, 2007.
28. Yeğinobalı, A. "Beton yol-asfalt yol: Hangisi daha pahalı ?", Çimento ve Beton Dünyası, sayı 76, 2008.
29. Pontarollo,G. ve Smith,T. "A life-cycle analysis of the environmental impacts of asphalt and concrete roads" Proc.IRF World Road Congress, Paris,2001.
30. Tennessee Ready Mixed Concrete Association, "Concrete, energy and environment", www.trmca.org/2002
31. National Research Council of Canada, " Effect of pavement surface type on fuel consumption", Teknik Rapor CTR-041, Ottawa,2000.
32. Permanent International Association of Road Congresses, " Concrete roads-Practical guide for technology transfer", Paris, 1997, 113 p.
33. KGM Teknik Şartnamesi, Kısım 450 Beton yollar, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara, 2006.
34. KGM " 2008 Trafik ve Ulaşım Bilgileri", Ankara, 2009.
35. YAPIKUR, "Firma ve beton finişeri tanıtım dosyası", Kastamonu, 2009.

Ek 1

Asfalt Yol – Beton Yol Yapım Maliyeti Kıyaslaması

(İstanbul'da Hasdal Kışlası – Kemerburgaz Ayrımı Arasındaki Yol)

Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB) ile Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) arasında imzalanan protokol uyarınca, İstanbul'da Hasdal Kışlası ile Kemerburgaz Ayrımı arasındaki 3412 km uzunluğundaki bölünmüş yolun bir tarafı TÇMB finansmanı ile beton kaplama olarak yapılmış, diğer tarafı da KGM tarafından asfalt (bsk) olarak gerçekleştirilmiştir. Yol 2006 yılında hizmete girmiştir.

Asfalt üst yapı (A), KGM tarafından tasarlanmış, beton üst yapı ise TÇMB tarafından tasarlanmış ve KGM tarafından onaylanmıştır. TÇMB tasarımında 27 cm kalınlığında beton plak ve altında 5 cm kalınlığında asfalt arayüzey kullanılmış (B1), KGM önerisi üzerine beton yolun 1000 m lik bir bölümünde ise asfalt arayüzey kullanılmamış ve plak kalınlığı 32 cm yapılmıştır (B2).

Yol kesitleri aşağıda verilmiştir. Yolun platform genişliği 10.5 m dir

Asfalt Üstyapı (A)	Aşınma	cm 5
	Binder	cm 7
	Bitümlü	cm 11
	Plentmiks temel	cm 20
	Kırmataş temel	cm 15

Beton Üstyapı (B1)	Beton plak	cm 27
	Asfalt arayüzey	cm 5
	Plentmiks temel	cm 15
	Kırmataş temel	cm 15

Beton Üstyapı (B2)	Beton plak	cm 32
	Plentmiks temel	cm 15
	Kırmataş temel	cm 15

Yapım maliyetlerinin hesabında Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (BİB), Demiryolları, Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) tarafından kullanılan analizler ve 2008 yılı birim fiyatları esas alınmış, bazı kalemler için 2009 yılı başı piyasa rayiç fiyatları kullanılmıştır. Yol kesitinin katmanları için birim ağırlık, birim alan ve birim hacim esasına göre belirlenen birim fiyatlar kullanılarak aşağıdaki yapım maliyetleri elde edilmiştir:

A: Asfalt Üstyapı Yapım Maliyeti (1000 m yol için)

Aşınma	$10.5 \times 1000 \times 0.05 = 525 \text{ m}^3 \times 2.40 \text{ t} / \text{m}^3 = 1\,260.00 \text{ t} \times 101.02 \text{ YTL} / \text{t} = 127\,285.20 \text{ YTL} / \text{km}$
Binder	$10.5 \times 1000 \times 0.07 = 735 \text{ m}^3 \times 2.40 \text{ t} / \text{m}^3 = 1\,764.00 \text{ t} \times 91.93 \text{ YTL} / \text{t} = 162\,164.52 \text{ YTL} / \text{km}$
Bitümlü temel	$10.5 \times 1000 \times 0.11 = 1\,155.00 \text{ m}^3 \times 2.30 \text{ t} / \text{m}^3 = 2\,656.50 \text{ t} \times 82.68 \text{ YTL} / \text{t} = 219\,639.42 \text{ YTL} / \text{km}$
Plentmiks temel	$10.5 \times 1000 \times 0.20 = 2\,100.00 \text{ m}^3 \times 2.25 \text{ t} / \text{m}^3 = 4\,725.00 \text{ t} \times 35.59 \text{ YTL} / \text{t} = 168\,162.75 \text{ YTL} / \text{km}$
Kırmataş temel	$10.5 \times 1000 \times 0.15 = 1\,575.00 \text{ m}^3 \times 2.00 \text{ t} / \text{m}^3 = 3\,150.00 \text{ t} \times 13.53 \text{ YTL} / \text{t} = 42\,619.50 \text{ YTL} / \text{km}$
Toplam	719 871.39 YTL/km
Asfalt Üstyapı Birim Yapım Maliyeti: A = 719 872 YTL / km	

B1: Beton Üstyapı Yapım Maliyeti (1000 m yol için)

Beton plak	$10.5 \times 1000 \times 0.27 = 2\,835.00 \text{ m}^3 \times 111.95 \text{ YTL} / \text{m}^3 = 317\,378.25 \text{ YTL} / \text{km}$ $10.5 \times 1000 = 10\,500 \text{ m}^2 \times 11.57 \text{ YTL} / \text{m}^2 = 121\,485.00 \text{ YTL} / \text{km}$ 438 870. 25 YTL/km
Arayüzey	$10.5 \times 1000 \times 0.05 = 525.00 \text{ m}^3 \times 2.40 \text{ t} / \text{m}^3 = 1\,260 \text{ t} \times 91.93 \text{ YTL} / \text{t} = 115\,831.80 \text{ YTL} / \text{km}$
Plentmiks temel	$10.5 \times 1000 \times 0.15 = 1\,575.00 \text{ m}^3 \times 2.25 \text{ t} / \text{m}^3 = 3\,543.75 \text{ t} \times 35.59 \text{ YTL} / \text{t} = 126\,122.06 \text{ YTL} / \text{km}$
Kırmataş temel	$10.5 \times 1000 \times 0.15 = 1\,575.00 \text{ m}^3 \times 2.00 \text{ t} / \text{m}^3 = 3\,150.00 \text{ t} \times 13.53 \text{ YTL} / \text{t} = 42\,619.50 \text{ YTL} / \text{km}$
Toplam	723 437. 61 YTL/km
Beton Üstyapı Birim Yapım Maliyeti: B1= 723 437 YTL / km	

B1: Beton Üstyapı Yapım Maliyeti (1000 m yol için)

Beton plak	$10.5 \times 1000 \times 0.32 = 3\,360.00 \text{ m}^3 \times 111.95 \text{ YTL} / \text{m}^3 = 376\,152.00 \text{ YTL} / \text{km}$ $10.5 \times 1000 = 10\,500 \text{ m}^2 \times 11.57 \text{ YTL} / \text{m}^2 = 121\,485.00 \text{ YTL} / \text{km}$ 497 637.00 YTL/km
Plentmiks temel	$10.5 \times 1000 \times 0.15 = 1\,575.00 \text{ m}^3 \times 2.25 \text{ t} / \text{m}^3 = 3\,543.75 \text{ t} \times 35.59 \text{ YTL} / \text{t} = 126\,122.06 \text{ YTL} / \text{km}$
Kırmataş temel	$10.5 \times 1000 \times 0.15 = 1\,575.00 \text{ m}^3 \times 2.00 \text{ t} / \text{m}^3 = 3\,150.00 \text{ t} \times 13.53 \text{ YTL} / \text{t} = 42\,619.50 \text{ YTL} / \text{km}$
Toplam	666 379.00 YTL/km
Beton Üstyapı Birim Yapım Maliyeti: B2= 666 379 YTL / km	