

BETON YOLLAR : AKILLI VE SÜRDÜRÜLEBİLİR BİR SEÇİM

- ÇEVRESEL YÖNDEN
- EKONOMİK YÖNDEN
- TOPLUMSAL VE SOSYAL FAYDALAR
- ÇİMENTO VE VE BETONUN DİĞER SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALARI





Bugünlerde konuştuğunuz hemen herkes yüz yüze kaldığımız evrensel sorunun farkındadır. Gelecek kuşaklara iyi bir yaşam sürmeleri güvencesini verebilmemiz ve küresel ısınmaya karşı koyabilmemiz için yaşam tarzlarımızı nasıl düzenlemek zorundayız ve hangi önlemleri almamız gereklidir. Bu esasen sürdürülebilir gelişmenin dolaylı bir anlatımıdır. Yani, yarının gereksinimlerini karşılamak mümkün olsun diye her karar verme aşamasında ekonomik, ekolojik ve sosyal faktörleri göz önünde bulundururken varolan gereksinimlere bir cevap bulabilmek. Bu nedenle, biz sektörümüzde “sürdürülebilir inşaat” dan bahsediyoruz.

Beton yapılar ve beton yollar genellikle dayanıklı olarak tanımlanır. Geçmişte bu çoğunlukla beton yapıların sağlamlığının kabul edilmesi ve gerçekten bu yapılar çok uzun zaman dayanırlardı. Bununla beraber bugünlerde aynı derecede geçerli çok sayıda başka hususlar var. Küresel bir değerlendirmeye varabilmek için ham maddelerin nasıl elde edildiği, yapı elemanlarının üretimi, toplam yapım süreci, yapının kullanım aşamasının tamamı, yapının yeniden kullanımı veya geri kazanımı ayrıntılı olarak gözden geçirilir. Sonuç olarak, biz sadece elde edilmeleri veya üretimleri yönlerinden dayanıklı olan maddeleri kast etmiyoruz, fakat büyük resime bakmaya çaba gösteriyoruz. Zaten son değerlendirmede konu, ulaşım ve yük taşınması için sürdürülebilir çözümler bulmaya geliyor.

Sürdürülebilirliğin aşağıdaki tanımı özellikle ulaşım altyapısı ve yollar için kullanılabilir:

“Sürdürülebilir yollar, doğal kaynaklardan verimli olarak faydalanırlar ve tüm yaşam dönemleri boyunca çevreye saygılıdırlar; tüm toplum için ulaşım olanaklarını geliştirirler, tasarım, yapım, bakım ve yıkım konularında mantıklı tercihler sayesinde rahatlık, emniyet ve devingenlik yönlerinden topluma hizmet sağlarlar”.

Bu yayının uluslararası deneyimlerden yararlanarak modern beton yolun toplumumuz için sürdürülebilir bir çözüm olduğunu göstermek ve sürdürülebilir inşaat için çevre, ekonomi ve toplum konularındaki temel ölçütleri sağladığını belirtmek amacı ile hazırlanmıştır.



BETON YOLLARIN ÇEVRESEL YÖNLERİ

Sürdürülebilir gelişme bağlamında en çok dikkatin, çoğu kez haksız olarak, çevresel yöne odaklandığı kuşku götürmez bir gerçektir; ekonomik ve sosyal faktörler büyük ölçüde yok sayılmaktadır. Sera gazı etkisi, küresel ısınmanın sonuçları ve bu olayda insanın oynadığı rol bu yönün giderek daha fazla üzerinde durulduğunu göstermektedir. Ancak, neyin “yeşil” olduğunu, neyin olmadığını sormak zorundayız. Sayısız değerlendirme sistemleri bu soruyu cevaplamak için kullanılmaktadır ve bazıları diğerlerinden daha kapsamlıdır. Örneğin, yeni bir otoyol yapılacağı zaman teklif verme aşamasında farklı seçeneklerin çevresel etkilerini değerlendirmek için “Yeşil Kamu Yararı” prensiplerinden faydalanılabilir. Aşağıda, bir beton yolun yapılıp yapılmayacağı konusundaki kararı etkileyebilecek bir dizi faktör değerlendirilmiştir. Bazı faktörler belirleyici olurken, diğer bazı faktörler, etkileri daha az olmakla beraber, ihmal edilemeyecek niteliktedirler.

KARBON AYAKIZI VE YAŞAM DÖNEMİ DEĞERLENDİRMESİ

Beton yapıların dayanıklılığı, yani çok uzun yaşam süreleri de sürdürülebilir inşaatın üç ana unsurunda önemli bir rol oynamaktadır. Çevre için bu Karbon Ayakizi kavramı ile ve hatta Yaşam Dönemi Değerlendirilmesi (YDD) olarak bilinen daha kapsamlı bir değerlendirme yöntemi ile ifade edilir.

Karbon Ayakizi, bir ürünün kullanımını, geri dönüşümünü ve bertaraf edilmesini içeren tedarik zinciri sürecinde karbondioksit (CO₂) ve diğer sera gazı (SG) salınımlarının (metan, azot oksit, florlu gazlar) toplam miktarıdır. Referans gaz olarak CO₂ kullanılır ve diğer gazlar ise “küresel ısınma potansiyeli” bakımından CO₂ eşdeğerlikleri ile ifade edilir.

Yalnızca iklim değişikliği üzerindeki etkiyi dikkate alan Karbon Ayakizi, beşikten mezara olan tüm ömür süresindeki çevresel etkiyi (ISO 10440, ISO 14044) standart metodları ile tam olarak değerlendiren YDD yaklaşımının sadece bir bölümüdür. Eğer sadece sera gazları dikkate alınsaydı bunun diğer çevresel yönler üzerinde

olumsuz etkisi olabilirdi. Bu nedenle, çevresel etki değerlendirmesi ve ölçme sistemleri her zaman tüm yapım aşamalarını dikkate alan adil ve tümsel bir yaklaşımla yapılmalıdır. Burada örnek olarak yol kaplamaları ele alınmıştır.

Burada hemen ortaya çıkan husus, 30, 40 yıl ve daha uzun hizmet süreleri dolayısı ile beton yollar için çevresel dengenin olumlu olarak etkilenmiş olmasıdır. İlaveten, beton yollar çok az bakım ve onarım gerektirirler, ayrıca uzun vadede ham madde, ulaşım ve enerjiden de tasarruf sağlarlar. Yol çalışmalarının ve dolayısı ile trafik aksamalarının azalmasını ve bunlara bağlı olarak yakıt tüketimin ve egzoz gazı salınımlarının da azalmasını dikkate alabiliriz.

Fransa'nın çimento ve uygulamaları konusunda bilgi merkezi olan CIMbéton, Paris Madencilik Okulu'nun Enerji Merkezi'ne başvurarak beton yolların esnek asfalt kaplamalar ile kıyaslanabilmesi amacı ile bir YDD araştırması yapmasını istedi. Bir İsveç ve bir Alman üniversitesi tarafından sağlanan objektif veriler kullanılarak altı farklı yol yapısı, on iki farklı çevresel göstergesi esas alınarak karşılaştırıldı. Enerji ve sera gazları gibi göstergeler küresel öneme sahip iken, sis, koku, asitleşme vb gibi göstergelerin yerel veya bölgesel önemi olabilmekteydi.

TABLO 1 – ÇEŞİTLİ SERA GAZLARININ KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ

İsim- Tanımlama	Kıymyasal Formül	100 yıllık referans dönemi Küresel Isınma Potansiyeli
Karbondioksit	CO ₂	1
Metan	CH ₄	25
Azot oksit (kahkaha gazı)	N ₂ O	298
Florohidrokarbonlar CFC, HCFC, HFC, PFC	-	124 –14.800
Sülfür heksaflorid	SF ₆	22800

**TABLO 2 : CIMBETON YDD
ARAŞTIRMASINDAKİ ÇEVRESEL
GÖSTERGELER**

Gösterge	Birim
Birincil enerji	MJ
Su Tüketimi	kg
Doğal Kaynaklar	10 ⁻⁹ (dünya rezervleriyle karşılaştırılan tüketim)
Atıklar	t eq
Radyoaktif Atıklar	dm ³
GWP ₁₀₀ (sera gazları)	kg CO ₂
Asitleştirme	kg SO ₂
Ötrafikasyon	kg PO ₄ ³⁻
Ekotoksosite	m ³ eşdeğer kirlenmiş su
İnsanlara zehirlilik	kg eşdeğer kirlenmiş et
O ₃ sis	kg eşdeğer C ₂ H ₂
Koku	m ³ eşdeğer amonyaktan kaynaklanan hava kirliliği

Çalışmada hizmet ömrü 30 yıl olan, çift şeritli bölünmüş otoyolun bir kilometresinde kullanılan dört çeşit beton kaplama ve bir çeşit kompozit kaplama ile bir çeşit asfalt kaplama için YDD ler hazırlandı. Kullanım sırasında trafik hacmi yaklaşık 100 milyon otomobil ve 25 milyon kamyon kadar oldu.

İncelenen kaplama yapıları aşağıdaki gibidir:

1. 15 cm zayıf beton üzerine 21 cm donatısız (kayma demirli) beton ;
2. 15 cm zayıf beton üzerine 19 cm sürekli donatılı beton ;
3. 5 cm asfalt üzerinde 22 cm sürekli donatılı beton ;
4. 10 cm granüler temel üzerine 37 cm kayma demirsiz beton plak ;
5. 9 cm'lik bitümlü granüle temel üzerindeki 17 cm sürekli donatılı beton üzerine 2,5 cm asfalt aşınma tabakası ;
6. 26 cm bitümlü granüle temel üzerine 8 cm asfalt.

Bu kesitler Fransız uygulamasına göredir ve diğer ülkelerdeki uygulamalara benzemeyebilirler. Malzeme, yapım, bakım ve geri dönüşüm ile ilgili diğer varsayımlar da gene tartışma ve düzenlemelere açıktır. Bunlara rağmen bu çalışma konunun genel bir resmini çizmeyi mümkün kılmaktadır.



Kayma Demirli Beton

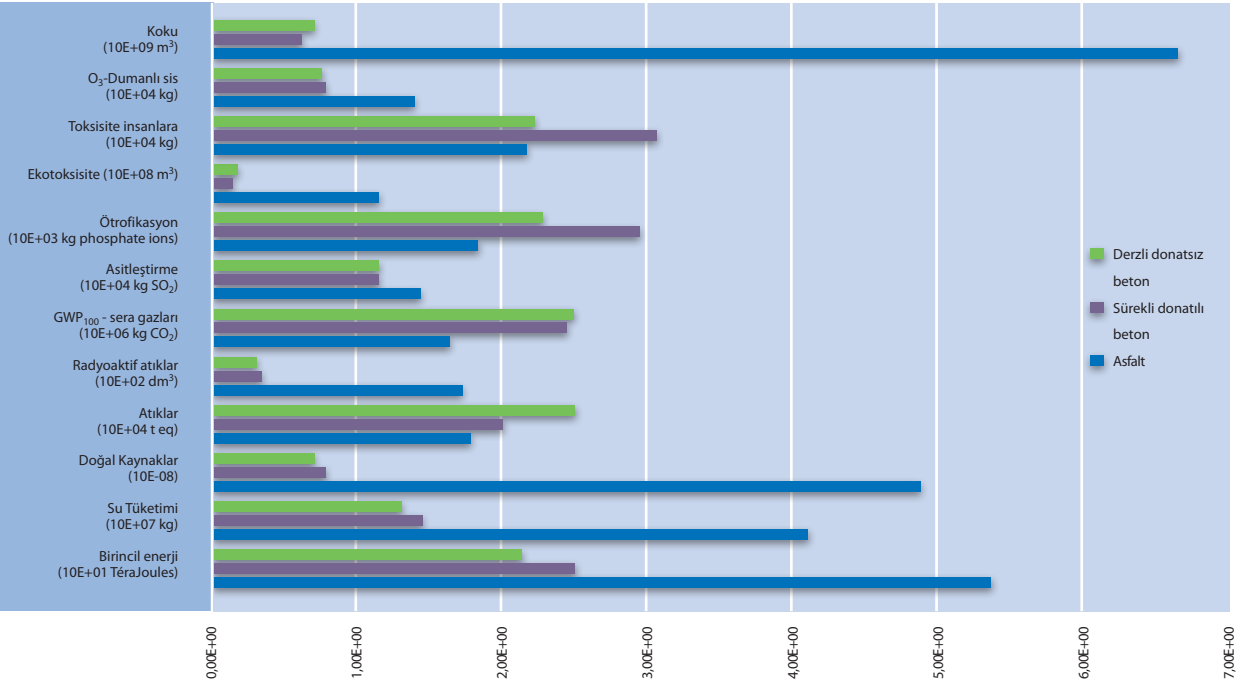


Sürekli Donatılı Beton

Sonuçlar, seçilen on iki çevresel göstergenin her birisi için kaplama tiplerinin performanslarının karşılaştırıldığı çubuk grafikte gösterilmiştir. Her çubukta ilgili göstergenin özel birimine göre düzenlenen bir ölçek kullanıldığından kaplama tipleri arasındaki oransal farklılıklar görsel olarak kıyaslanabilmektedir. Çubuk ne kadar kısa ise kaplamanın bu gösterge için çevresel etkisi o kadar azdır. Farklı göstergeler için çubuk boyları birbiriyle karşılaştırılmaz, çünkü her birisi tamamen farklı ölçüm birimlerine dayanmaktadır. Çalışma, çevresel göstergeler arasında ağırlık ayırımı yapmamaktadır.

Şekil 1'de beton kaplama no.1 (donatısız, kayma demirli), beton kaplama no.3 (asfalt üzerine sürekli donatılı) ve asfalt kaplama no.6 ham maddeleri sağlama ve üretme, karışımları hazırlama ve taşıma, yapım, bakım ve ömür süresinin bitiminde bertaraf edilme aşamaları dikkate alınarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Asıl kullanım evresi, diğer bir deyişle trafiğin etkisi dahil değildir. Asfalt kaplama Atıklar, Sera Gazları, Ötrofikasyon ve İnsanlara zehirlilik yönlerinden beton kaplamalara göre daha avantajlıdır. Diğer yandan, beton kaplamalar geri kalan göstergeler, yani Enerji, Su, Doğal Kaynaklar, Radyoaktif Atıklar, Asitleştirme, Ekotoksisite, Sis ve Koku yönlerinden asfalt kaplamadan daha avantajlı olmaktadır.

Şekil 1 : Çeşitli çevresel göstergeler için (trafiği içermeyen) yolun ömrü (30 yıl) süresince etkiler – derzli beton, sürekli donatılı beton ve asfalt kaplamaların karşılaştırılması.



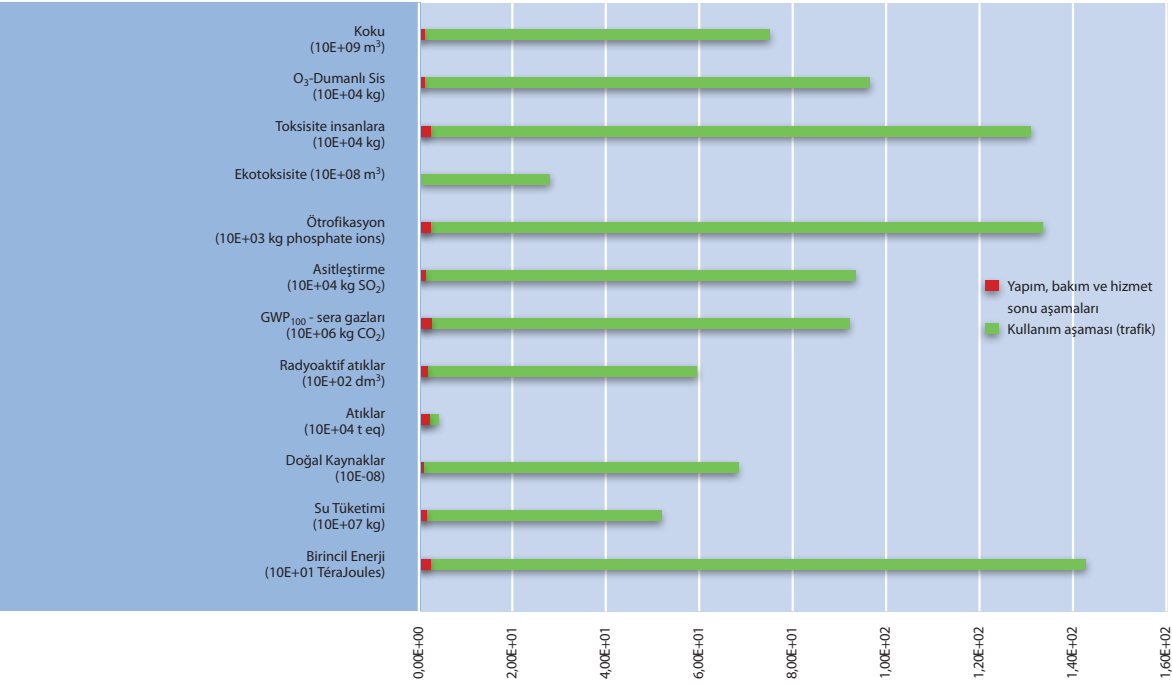
Ancak, kullanım aşaması, yani trafik de dikkate alındığında ortaya tamamen farklı bir resim çıkmaktadır. Bu husus beton kaplama için hazırlanan Şekil 2'deki çubuk grafikte açıkça görülmektedir. Çubuklarda yolların yapım, bakım ve bertarafı ile ilgili kırmızı renkli kısımlar trafiğin katkısını gösteren yeşil kısımlardan farkedilir derecede kısadır. Tek istisna olan "katı atık" göstergesi dışında, trafiğin etkisi yolun ömrü süresindeki aşamaların etkisinden en az on kat daha fazladır.

Yakıt tüketimini azaltabilecek önlemler bu yüzden önem taşımaktadırlar. Bu tür önlemler çeşitli alanlarda olabilir:

- Alternatif yakıtlar,
- Otomobil teknolojisi (motor, lastikler , ...),
- Yol kaplamasının kalitesi (düzgünlüğü) ve rijitliği,
- Trafik önlemleri,
- Akıcı trafik, trafik sıkışıklığının önlenmesi,

Bu bakımdan, çeşitli yol yapıları ve/veya kaplama türlerinin YDD çözümlerine dayanan karşılaştırılmalarının çeşitli çevresel göstergeler için daha az "siyah-beyaz" bir resimle sonuçlanacağı görüşüne varabiliriz. Durum ne olursa olsun, geliştirme ve optimizasyonlara

tasarım, yapım, bakım teknikleri, yıkım ve geri kazanım alanlarında devam edilmelidir. Beton kaplamaların yansıtırlık ve "azaltılmış şehir ısı adası etkisi" gibi diğer özellikleri bu çalışmada dikkate alınmamış olmakla beraber bunlar aşağıda görüleceği gibi tüm iklim değişikliği konusunda önemli rol oynarlar. Yine de gelişmeler için en büyük potansiyel araç yakıt tüketimi alanında yatmaktadır.



Şekil 2 : Çeşitli çevresel göstergeler için derzli donatısız beton kaplamanın trafiği de içeren yaşam dönemi etkileri

KAPLAMA TÜRÜNÜN AĞIR YÜK TAŞITLARININ YAKIT TÜKETİMİNDEKİ ETKİSİ

Fosil yakıt tüketimini azaltmanın sosyal ve ekolojik önemi dolayısı ile yol kaplamalarının araçların ve ağır yük taşıtlarının yakıt tüketimindeki etkileri konusunda bir takım araştırmalar yapılmıştır. Bunlardan en iyi bilineni Kanada'da Ulusal Araştırma Konseyi tarafından yapılandır. Bu gerçekte çeşitli istatistiksel yöntemler kullanarak ve farklı mevsimlerde çeşitli yol ve araçlar üzerinde yapılan ilave testlerle kapsamları genişletilen dört ayrı araştırmayı içeren bir çalışmaydı. Bütün aşamalarda ağır yük taşıtlarının yakıt tüketiminin esnek asfalt kaplamalar ile kıyaslandığında beton kaplamalarda daha az olduğu gözlemlendi. En genel olan



%2,35'LİK BİR YAKIT TASARRUFU AĞIR YÜK TRAFİĞİ İÇİN NE İFADE ETMEKTEDİR?

Ağır yük şeridini asfalttan betona değiştirmeyi istediğimizi varsayalım. %2,35'lik bir yakıt tasarrufunun CO₂ salınımlarına ne gibi bir etkisi olacaktır?

Kaplaması 4 m genişliğinde ve 23 cm kalınlığında olan 1 km'lik bir taşıt yolunu düşünelim. İş günlerinde her 100 km'de 35 L yakıt tüketimi ile günde 2000 kamyon tarafından kullanılıyor. Varsayalım ki 1 litre yakıt 2,5 kg'lık CO₂ salınımı anlamına geliyor. Yıllık CO₂ salınımı:

220 iş günü x 2000 kamyon x 35 L / 100 km x 1 km x 2,5 kg CO₂ / L = 385 ton olacaktır. Yakıt tasarrufu %2.35 ise yıllık CO₂ salınımindaki azalma : 0.0235 x 385 = 9.05 ton dur

Şimdi kullanılan çimentonun üretimi ile ilgili CO₂ miktarını hesaplayalım:

1 km x 4 m x 0,23 m x 350 kg çimento/ m³ x 750 kg

(*CO₂/1000 kg çimento üretimi = 241,5 ton CO₂)

Çimento üretiminden kaynaklanan CO₂ salınımı 241.5 / 9.05 = 27 yıl sonra ya da beton trafik şeridinin beklenen 30- 40 yıllık ömründen daha az bir sürede telafi edilmiştir.

(*) Avrupa için ortalama değer, bir sonraki paragrafta bakınız.

ve çeşitli düzgünlük dereceleri olan kaplamaları ve her mevsimde yapılan gözlemleri kapsayan son aşama en düşük farklılıkları ortaya çıkardı. Yine de "asfalt yollara göre beton yollarda yakıt tasarrufu yılın dört ya da beş döneminde hem boş hem de yüklü tır- römork için % 0.8' den % 3,9'a kadar varan miktarlarda olmuş ve bu değerler arazide istatistiksel olarak anlamlı % 95'lik güvenilirlik ile belirlenmiştir". Ortalama % 2.35 yakıt tasarrufu kesinlikle göz ardı edilemez ve işlek bir otoyolun hizmet süresindeki toplam yakıt tüketimi ve kirlenmeye neden olan gazların salınım miktarlarında çok büyük farklılıklara neden olacaktır.

İngiltere'deki Karayolları İdaresi tarafından görevlendirilen (TRL) Ulaştırma Araştırma Laboratuvarları'nda yapılan çalışmalarda kaplama rijitliğinin yakıt tüketimine olan etkisi incelenmiştir. Beton kaplamada çökme ve oturmaların azalmış olmasının yuvarlanma direncinde %5.7'lik bir azalma sağladığı görülmüş ve bu da %1.14'lük bir yakıt tasarrufu anlamına gelmiştir. Bu farklılık istatistiksel olarak anlamsız olmakla beraber, testlerde kullanılan beton plak laboratuvar koşullarında üretilmiş olmasaydı fark daha büyük olabilirdi.

Kaplama çeşitlerinden başka, düzgünlük ve yüzey dokusu yakıt tüketiminde etkisi olan önemli faktörlerdir. Düzenmiş beton yüzeyinin kalitesi önemli bir rol oynar : kaliteli ve düzgün olarak yerleştirilmiş beton yol bu özelliklerini onlarca yıl devam ettirir. Dalgalı beton kaplamalar ya da eşit olmayan yamalar istenilen sürüş kalitesine ulaşmak ve aynı zamanda yakıt tüketimini en aza indirmek için zor ve pahalı bir onarım gerektirecektir.

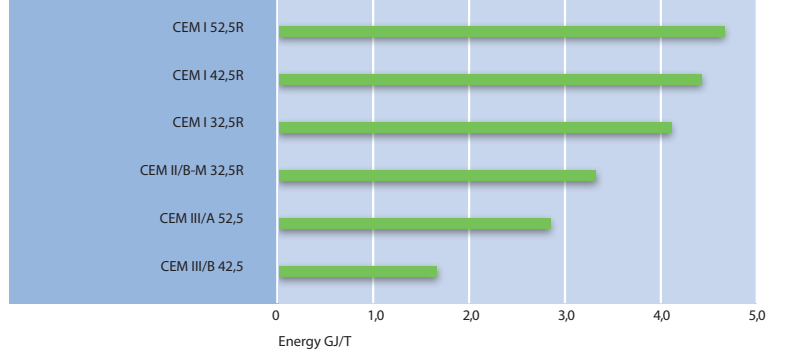
“DÜŞÜK ENERJİLİ ÇİMENTO” KULLANIMI

Genel bir kanı bir ton çimento üretiminin bir ton CO₂ eşdeğeri salınımlara yol açtığı şeklindedir. Yine de bu basit yaklaşım yanıltıcıdır. AB’de üretilen çimentolarda ortalama oran bir ton çimento üretimine 750 kg CO₂ eşdeğeri salınım olmaktadır. Bunun nedeni birincil ürün olan klinkerin yanı sıra çimento üretiminde yaygın olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve kalker tozu gibi ikincil maddelerin de kullanılmakta olmasıdır.

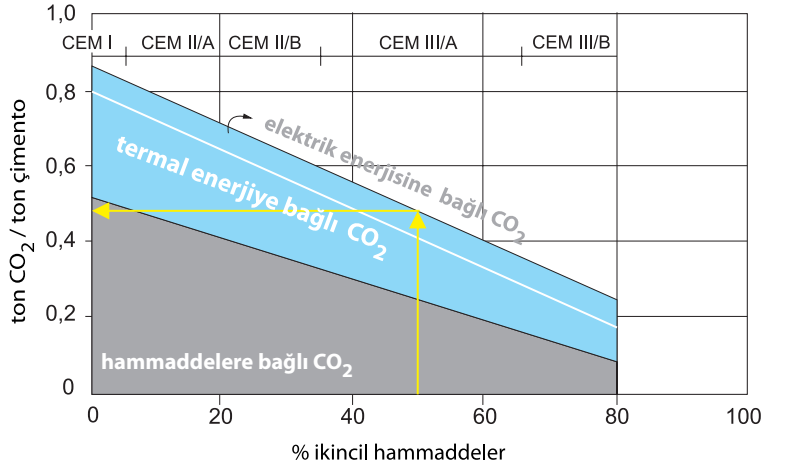
Yol yapımı için durum daha da olumludur, çünkü çoğu kez Portland uçucu küllü veya yüksek fırın cürufu gibi katkılı çimentolar kullanılmaktadır. Bu çimentolarda en fazla enerji gerektiren ve fırında dekarbonizasyon sürecinde daha fazla CO₂ salınımı yapan klinkerin bir bölümü yerine uçucu kül veya yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır.

Şekil 3’de çeşitli tip ve dayanım sınıflarındaki çimentoların enerji içerikleri kıyaslanmıştır. Yüksek fırın cürufulu çimento CEM III/ A ile Portland çimentosu CEM I’in karşılaştırılması pişirme ve elektrik enerjileri gereksiniminin yaklaşık %40 oranında azaldığını göstermektedir.

Çimento üretimi sırasındaki CO₂ salınımlarında katkılı çimento kullanımının etkileri uluslararası işbirliği projesi “ECOserve” den alınan Şekil 4’te görülebilir. Veriler, azalan yakıt ve elektrik tüketimini, dekarbonizasyon sürecinde azalan CO₂ salınımını içermekle beraber katkı maddelerinin kurutulması ve daha ince öğütme için gereken enerji artışlarını da dikkate almaktadır. Görüldüğü gibi bir ton yüksek fırın cürufulu çimento CEM III / A nın üretilmesinde yalnızca 500 kg CO₂ salınımı meydana gelmektedir. Kısacası, Portland çimentosu üretimi ile karşılaştırıldığında çok büyük azalmalara ulaşılabildiği mümkün görünmektedir.



Şekil 3: Çeşitli tip ve dayanım sınıflarındaki çimentoların enerji içerikleri



Şekil 4 : Katkılı çimento üretiminde CO₂ salınımları

ENDÜSTRİYEL ATIĞIN GERİ KAZANIMI İLE GENEL CO₂ AZALMASI

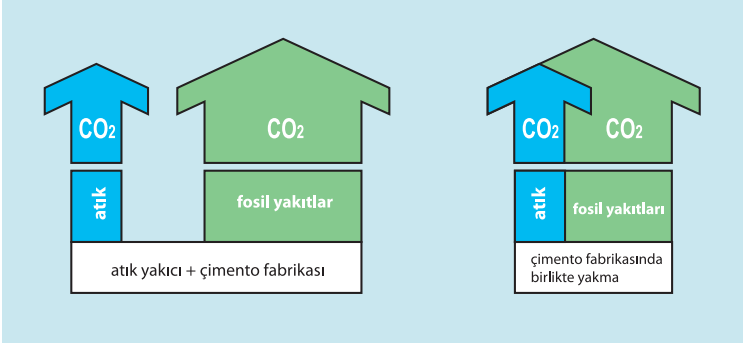
Çimento fırınlarında kullanılmış taşıt lastiği, solvent, atık yağ, atık su arıtma çamuru, boya artığı gibi maddelerin alternatif yakıt olarak kullanımı CO₂ salınımlarının genel olarak azalmasına önemli katkıda bulunabilir. Bu tür atıklar çimento üretimi sırasında yakılmadıklarında geleneksel yöntemlerle yakılmaları ve bertaraf edilmeleri zorunludur. Bu durumda enerji kazanımı çok daha düşüktür ve CO₂ salınımları çimento endüstrisindeki salınımlara ilave edilmiş olur. Kalan artıklar hiç bir şekilde geri kazanım olmadan atık alanına götürülürler ve orada bir sera gazı olarak CO₂’den 25 kat daha aktif olan metan gazını oluştururlar. Bu tür atıklar çimento fırınlarında 1450°C ulaşan sıcaklıklarda yakıldıklarında

içlerindeki tüm organik moleküller yok olur ve çevreyi kirlenme tehlikesi kalmaz. Ayrıca geriye herhangi bir artık kalması da söz konusu değildir.

BETON TARAFINDAN CO₂ ALINIMI

Nasıl çimento üretimi sırasında dekarbonizasyon sürecinin sonucu CO₂ açığa çıkıyorsa bunun tersi olan rekarbonizasyonun (tekrar karbonatlaşmanın) sonucu olarak da CO₂ yaşam süresi boyunca beton tarafından alınır. Bu olay betonarme betonunda oluşabilecek yıpranmanın muhtemel sebeplerinden biri olarak

Şekil 5 : Çimento fırınlarında yanan atıklarla CO₂ azalması



bilinmektedir. Ancak beton yollar için bir sorun değildir :



Beton molozun açık havada depolanması CO₂ alınımı artar

- Derzli donatısız beton kaplama betonarme değildir ve bu yüzden rekarbonizasyon zararlı olarak görülmemektedir;
- Sürekli donatılı beton kaplamalarda donatı, tasarıma bağlı olarak 6 cm veya daha fazla derinliktedir. Bu da rekarbonizasyonun yolun ömrü süresinde donatı bölgesine ulaşmasını önlemek için gereğinden fazladır.

Dahası, yol betonu son derece yüksek kalitededir. Sıkı ve boşluksuzdur. Havaya maruz kalma süresinin karekökü ile orantılı olan rekarbonizasyon derinliği 40 yıllık bir süreden sonra sadece 5-10 mm'dir. Fakat bu aynı zamanda beton tarafından alınan CO₂'in kısıtlı olduğu anlamına gelmektedir. Buna rağmen "kısıtlı" demek ihmal edilebilir demek değildir. Çalışmalar 20 cm kalınlığında ve iki yüzü atmosfere açık olan bir duvar tarafından 40 yıl süresinde alınan CO₂ miktarının her m³ beton için yaklaşık 20 kg olduğunu göstermektedir. Bir yol kaplamasının yalnızca bir yüzü havaya maruz kaldığından 20 cm'lik benzer bir kalınlık için CO₂ alınımı 10 kg /m³ ya da 2 kg /m² olacaktır. Bu da beton kaplamada aynı m²'de kullanılan yüksek fırın çimentosunun üretimi için gereken CO₂'in %5'ine tekabül eder (1 m² x 0,20 m x 400 kg çimento / m³ x 0,5 kg CO₂ /kg yüksek fırın çimentosu = 40 kg / m²).

Yolun hizmet ömrünün sonunda eğer kaplama betonları kırılarak moloz haline getirilmişse ve bu moloz açık havada depolanmışsa CO₂ alınımı için oldukça büyük bir potansiyel ihtimali devam eder. Sonuç olarak, moloz betonun yüzey alanı çok daha büyüktür ve rekarbonizasyon olayı çok daha hızlı bir şekilde yer alır. 2 - 3 yıllık bir dönemde havadan 15-35 kg / m³'lük bir miktar emilebilir.

Eğer tüm döngüyü dikkate alırsak o zaman yol betonu için toplam CO₂ alınımı olarak 25-45 kg / m³ gibi bir rakama ulaşıyoruz, ki bu da betonda kullanılan 400 kg/m³ yüksek fırın çimentosunun üretimi sırasında salınan CO₂ miktarının %10 -25'i kadar olmaktadır.

TEHLİKELİ SIZINTI ÜRÜNLERİNİN BULUNMAYIŞI

Çimento üretiminde endüstriyel yan ürünlerin (uçucu kül, yüksek fırın cürufu vb) kullanılmasına, ağır metallerin sızarak açığa çıkıp toprak kirliliğine yol açacağı gerekçesi ile karşı çıkanlar vardır. "Sızıntı" terimi burada bir katı cismin su ile (içme suyu, yağmur suyu, deniz suyu) teması sırasında içindeki kimyasal maddelerin ayrılıp dışarıya çıkışını anlatmak için kullanılmaktadır.

Belçika Ulusal Çimento Sanayi Bilimsel ve Teknik Araştırma Merkezi'nde (O.C.C.N – C.R.I.C.) bu problem araştırılmıştır. NEN 7345'te tanımlanan "Tank test" metoduna uygun olarak standart beton numuneler sızdırma sıvısına batırılmışlar ve önceden belirlenen bir süre sonunda üzerlerinde ICP – MS (endüktif plazma ile kütle spektroskopisi) analizi yapılmıştır. Sonuçlar yoldaki hem iyi kaliteli kaplama betonunun hem de grobetonun (zayıf betonun) sızdırma davranışlarının çevre yönünden tamamen zararsız olduğunu göstermiştir. Hatta sızan ağır metallerin miktarları marketlerde satılan maden sularının içinde doğal olarak bulunanlardan daha az olmuştur. (TABLO. 3)

GERİ DÖNÜŞÜM

Beton %100 geri dönüşebilen, atıl bir malzemedir. Eskimiş beton kaplamaların çoğunluğu kırma ve eleme tesisine gönderilir. Daha sonra beton molozlar agrega, zayıf beton veya silindire sıkıştırılmış beton olarak yol temel ve alt temellerinde kullanılarak geri dönüştürülmüş olurlar.



Yol kaplama betonunda beton molozu geri dönüştürmek tamamen mümkündür, iki tabaka halinde serilecek betondaki iri agreganın % 60 veya daha fazlası yerine yol betonu molozu kullanılabilir. Bu Avusturya'daki standart inşaat uygulamasıdır ve diğer ülkelerde de (Almanya, Polonya, ve diğerleri) uygulanmaktadır. Belçika da bu örneği takip etmiştir: Belçika'daki ilk önemli uygulama 2007 – 2008 yıllarında Zwijndrecht ve Melsele arasındaki N49/ E34'ün 3 km' lik bölümünün yeniden yapımında yer almıştır. Kutuya bakınız.

Eski betonun parçalanıp silindire sıkıştırılan beton temelinde ve yeni beton için agrega olarak kullanılması için geri dönüşümü (A17-E403 Bruges-Kortrijk, 2007)

TABLO 3 : YOL BETONUNDAN SIZINTI DEĞERLERİ VE AVRUPA DİREKTİFİ PARAMETRE DEĞERLERİ

Element	"Tanık Testi" - Safsu - Porfir Beton, CEM I ve CEM III/A 42,5 Değerler ppb olarak (*) (**)				Avrupa parametre değerleri 98/83/CE (***)
	24 saat temas sonrası ortalama değerler				
	CEM I		CEM III/A		
	minimum	maksimum	minimum	maksimum	
Ba	6,4	22	8,0	8,8	none
Ni	0,19	0,45	0,096	0,28	20
Cr	0,31	0,71	0,13	0,29	50
Sb	0,011	0,028	0,010	0,068	5
Se	< 0,060	< 0,060	< 0,060	< 0,060	10
Mn	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,008	50
Hg	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	1
As	< 0,002	< 0,006	< 0,002	< 0,007	10
Ag	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,003	none
Zn	0,014	0,020	0,005	0,022	none
Pb	< 0,001	0,027	< 0,001	< 0,001	10
Cd	< 0,001	0,002	< 0,001	< 0,001	5
Cu	< 0,004	0,015	< 0,004	< 0,004	2000

(*) ppb = milyarda bir= 1 kilogram veya 1litre suda mikrogram olarak
(**) < gözlem sınırı altı değerler
(***) parametre değerleri bir insanın sağlığına zararlı olmadan günde en fazla alabileceği miktarı gösterir

ZWIJNDRECHT' DE N49/E34 EKSPRES YOLUNUN ALT TABAKASINDA GERİ KAZANILMIŞ KIRILMIŞ AGREGA KULLANILMIŞ ÇİFT TABAKALI SÜREKLİ DONATILI BETON KAPLAMA İLE REHABİLİTASYONU

Çift tabakalı beton tekniği ya üst tabakada yüksek kalite elde etmek için ya da alt tabakada daha ucuz ve düşük kaliteli malzeme kullanabilmek için veya aynı zamanda her iki amaca ulaşmak için uygulanır. Avrupa'da bu teknik Avusturya 'da yaygın olarak uygulanmakta olup alt tabakada eski kaplamalardan gelen geri dönüşümlü beton kullanılmaktadır. Çevresel duyarlılık ve yenilikçilik, Flaman yönetimini, Zwijndrecht'te E34 ekspres yolunun sürekli donatılı beton kaplama yapımında 3 km'lik bir pilot kesimde Avusturya örneğini takip etmeye teşvik etmiştir. Çalışmalar 2007 'de Gent yönünde yapılan bölüm ve 2008 'de Antwerp yönünde yapılanlar olmak üzere iki aşamada yürütülmüştür.

Bu, uluslararası düzeyde varolan deneyim ile çift tabakalı sürekli donatılı beton kaplama ve geri dönüştürülmüş beton molozun birlikte kullanıldığı ilk ve ilginç bir uygulama olmuştur. Bu tasarım hem dayanıklılık hem de sürdürülebilirlik gereksinimlerini karşılamaktadır: sürekli donatılı kaplamaların uzun hizmet ömürleri ile çevreye ve kısıtlı doğal kaynakların korunmasına duyarlılık bir araya gelmektedir. Bu yüzden bu proje gerçekten optimize edilmiş bir sürdürülebilir yol tasarımı olarak kabul edilebilir. İlaveten, bu tür kaplamaların daha da geliştirilmesine katkıda bulunacak niteliktedir.



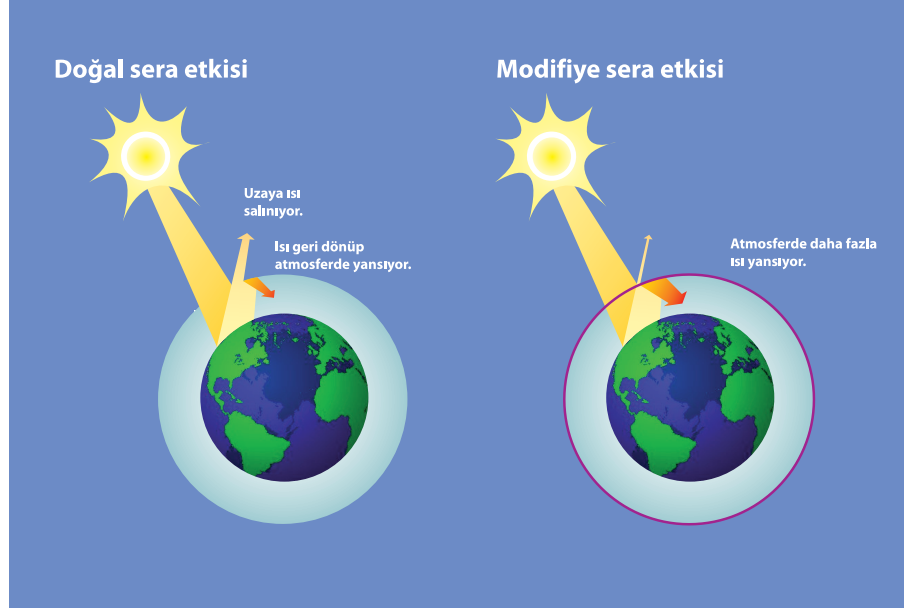
İŞIĞIN DAHA İYİ YANSIMASI VE AZALMIŞ ISI ADASI ETKİSİ

İşığı -veya diğer bir deyişle enerjiyi- yansıtabilme bir yüzeyin albedosu ile tanımlanır. Albedo (Aklık), yansıtılan güneş enerjisinin alınan toplam güneş enerjisine olan oranı olarak ifade edilir. Bu oran arttıkça daha çok enerji atmosfere geri yansıtılır. Dünya gezegeninin ortalama albedosu 0,35'tir. Yani enerjinin %65'i alınırken %35'i geri yansıtılmaktadır. Sonuç olarak yeryüzünün ortalama sıcaklığı 15°C dir. Albedo değeri yüksek olan kutup buzları bu sıcaklık dengesinin sağlanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kutup buzlarının erimesi durumunda okyanuslar buzlardan daha çok ısı çektiği için dünyanın albedo ortalaması azalacaktır. Dünyadaki sıcaklıklar da artacak ve küresel ısınma hızlanacaktır.

TABLO 4: ÇEŞİTLİ MADDELERİN ALBEDO DEĞERLERİ

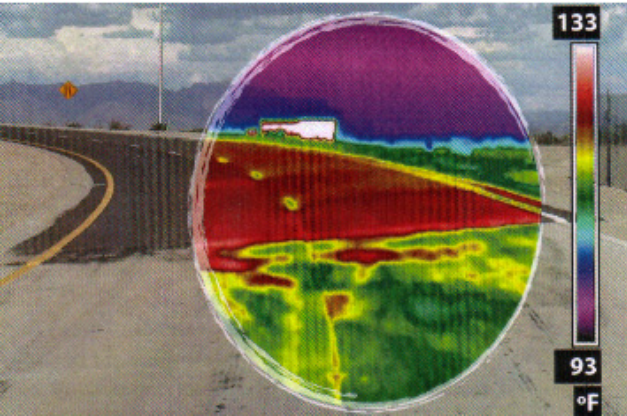
	ALBEDO
Taze Kar	%81 - 88
Eski Kar	%65 - 81
Buz	%30 - 50
Kaya	%20 - 25
Ağaçlık alan (orman)	%5 - 15
Açıkta toprak	%35
Beton	%15 - 25
Asfalt	%5 - 10

Gene de küresel ısınmanın etkisi bu bilgiyi uygulayarak yavaşlatılabilir, yani beyaz çatılar ve beton kaplamalar gibi daha yansıtıcı yüzeyler kullanarak! Bu konu kendilerine “Isı Adası Grubu” adını veren Berkeley’den (California, ABD) bir grup bilimadamı tarafından incelendi. Albedo ile atmosferdeki CO₂ yoğunluğunun küresel ısınmaya sebep olan net radyasyon gücü üzerindeki etkilerini karşılaştırdılar. Hesaplarına göre bir yüzeyin albedosunda yüzde bir oranındaki artış radyasyonda 1.27 W/m²’lik bir azalmaya denk gelmektedir. Radyasyondaki bu azalmanın küresel ısınmayı yavaşlatma etkisi vardır. Hesaplamaları ısınmadaki bu yavaşlamanın dünya yüzeyinin her m²’si için CO₂ salınımlarında 2,5 kg lık bir azalmaya eşit olduğunu göstermiştir. Asfalt kaplama ile karşılaştırıldığında beton kaplamanın %10 -15 arası bir albedosu vardır ve bu yüzden CO₂ salınımlarında m² başına 25-38 kg lık bir azalmaya eşdeğerdir. Gerçekten en düşük değer, m² başına 25 kg CO₂ azalması bile olağanüstü bir yarar sağlamaktadır : Bu miktar 20 cm kalınlığında 1m² beton kaplama için kullanılan çimentonun üretimi için gereken CO₂’in % 60’ına denk gelmektedir.



Beton gibi açık renkli yüzeylerin düşük ısı alınımları büyük şehir alanlarında oluşan ısınma etkilerinin azaltılmasına katkıda bulunur. Şekil 7 beton kaplama ile asfalt kaplamanın birleştiği yerde oluşan termal görüntüyü göstermektedir. Ölçümler Ağustos 2007’de saat 17: 00 sularında hafif bulutlu bir havada yapılmıştır. İki kaplama arasındaki sıcaklık farkı yaklaşık 11°C olarak belirlenmiştir.

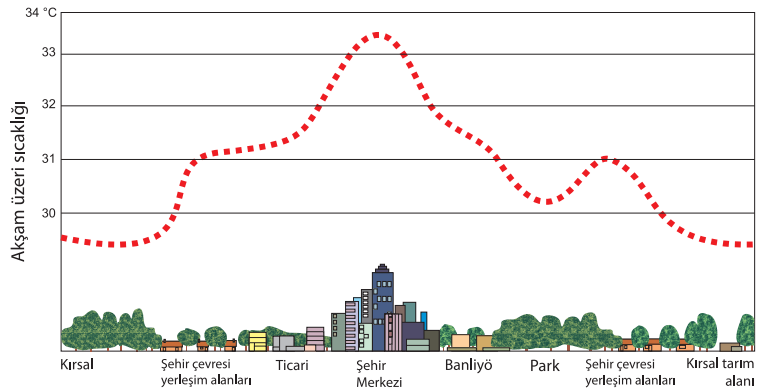
Şekil 6 : Sera etkisi ile dünyanın ısınması



Şekil 7 : Arizona-Mesa’da bir yol kaplamasının temel görüntüsü. Arkadaki asfalt kaplama ile öndeki beton kaplamanın arasındaki sıcak farkı çarpıcıdır.

Şehirlerdeki “ısı adası” etkisi Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu etki binaların klima tesisatları tarafından daha çok enerji tüketimine sebep olur ve sonuç olarak yüksek ekonomik ve çevresel maliyeti vardır. Açık renkli kaplamalar ısınmayı ve hava kirlenmesini azaltmakta faydalı bir rol oynamaktadır.

Şekil 8 : Şehir ısı adası etkisinin resimle gösterimi



BETON YOLLARIN EKONOMİK YÖNLERİ

Her karayolu yöneticisi veya yetkilisi çok az bakım isteyen ve mümkün olan en uzun yaşam süresi içinde yüksek düzeyde hizmet verebilen sürdürülebilir yollara yatırım yapmak ister. Belirli bir yapı seçerken teknik parametreler kesin olabilir, ancak seçim çoğu kez ekonomik faktörlere de bağlıdır. Bunlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Alt yapının inşası veya yatırım maliyeti;
- Sonraki bakım ve onarım çalışmalarının maliyeti;
- Bakım-onarım çalışmalarının ekonomiye etkileri: Sürücülerin ve iş dünyasının yol çalışmalarının sebep olduğu trafik sıkışıklıklarından kaynaklanan gecikmelerinin topluma maliyeti ve alt yapı kullanımının kesintiye uğraması

YAŞAM SÜRESİ – BAKIM - YAŞAM DÖNEMİ MALİYET ANALİZİ

Başlangıç yatırım maliyeti çoğu kez ve yanlış yönlendirilme sonucu başlıca kriter olarak kullanılır. Bu yaklaşım yeni yapının bakım maliyetleri aşırı olduğunda, sadece ekonomik yönden bile yanıltıcı olabilir. Burada kaplamanın faydalı yaşam süresi açıkça önemli bir rol oynamaktadır. Kısa dönem bütçesi ile ilgili kısıtlamalar bağlamında bu tür uzun süreli stratejik kararlar alırken karar vericiye destek olacak matematiksel-hatta olasılık hesabı modelleri vardır.

Yaşam – Dönemi Maliyet Analizi veya YDMA, alternatif yatırım seçeneklerinin uzun sürede geri dönüşümünü değerlendirmeye yardımcı olacak bu tür karar destekleme tekniklerine bir örnektir. YDMA, en kapsamlı uygulamasında , yol yöneticisi/yatırımcısı ve kullanıcılarına olan maliyetleri ve yapının yaşam dönemi boyunca yapı ile ilgili tüm diğer maliyetleri birbirinden ayrı farklı seçenekler için hesaba katar. Uzun dönem maliyeti en az olan fakat yine de arzu edilen performansı başarıyla sağlayacak seçenekle ilgili bir yatırım için araştırma yapılır.

Bu yöntemin uygulanmasındaki güçlükler gerekli parametreler konusunda geleceğe yönelik tahminlerin ve varsayımların yapılması ile ilgilidir:

- Seçeneklerinin faydalı yaşam süreleri,
- Yol yönetimine maliyetleri,
- Analiz dönemi sonunda kaplamanın kalan değeri,
- Yolun normal kullanımı boyunca ve bakım-onarım süreçlerinde kullanıcılarına (veya topluma) maliyetleri ,örneğin;
 - Aracın kullanım maliyeti
 - Gecikmelerden kaynaklanan maliyetler
 - Kazaların maliyetleri
- İndirim oranı

Dolayısı ile parametrelerin bütün çeşitlik kabul edilebilir bir olasılık derecesi ile önceden değerlendirilmek, tahmin edilmek ve öngörülmek zorundadır. Bunu dikkate almak için YDMA modeli bir risk analizi ile desteklenebilir. Bu durumda, genellikle özel bilgisayar programlarıyla beraber Monte Carlo simülasyon tekniği gibi olasılık modelleri kullanılır.

Sosyal ve toplumla ilgili parametrelerin miktarlarını somut olarak belirleme zorluğundan dolayı, kullanılan modele bağlı olarak genellikle sadece yapım ve bakım maliyetleri ve muhtemelen yıkım ve yeniden yapım maliyetleri hesaba katılır.

İKLİMSEL VE METEOROLOJİK PERFORMANS

Bir beton kaplama mevsimler, hava durumları ve iklimlerle ilgili olarak karşılaşılabileceği en kötü koşullara bile dayanabilir. Donma / çözülme çevrimlerinin yer aldığı şiddetli bir kıştan sonra bile karayolu yöneticisi parçalanmış yüzeyler, yol yüzeyinde derin çukurlar ve tehlikeli çatlak oluşumları ile karşı karşıya kalmaz.

Şu gerçeği kabul etmeliyiz ki beton kaplamayı tüm hava koşullarında sermek mümkün değildir. Aşırı sıcaklıklarda risk daha yüksek olur ve beton karışım hesabı veya uygulama yöntemleri konularında veya her ikisi için uygun önlemlerin alınması gerekir. Ancak, beton yol usulüne uygun olarak yapıldıktan sonra iklimsel faktörlerden etkilenmez. Bundan dolayı, iklimsel değişimle ilgili çeşitli senaryolar beton yollar için bir problem yaratmaz.

AYDINLATMA GİDERLERİ

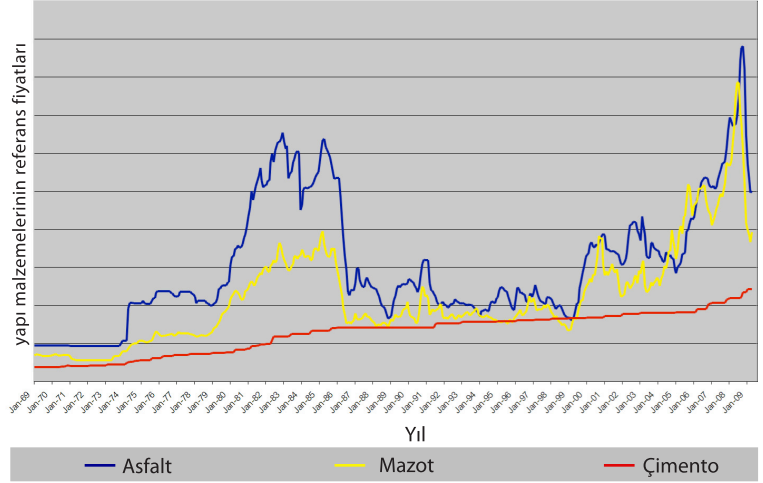
Daha açık renkli yüzeyinden dolayı betonun üstün yansıtma özelliği caddelerin ve otoyolların aydınlatma giderlerinde tasarruf sağlar. Zaten yol aydınlatma tasarımcıları da çalışmalarında araç sürücüsü tarafından algılanan yansımış ışığı esas alırlar. Daha az aydınlatma direkleri yerleştirilerek veya parlaklığı daha az olan ampüller kullanarak tasarruf sağlanabilir. Her iki durumda da önce aydınlatma direği sayısındaki azalmalar, sonra yıllık elektrik tüketimindeki azalmalar dolayısı ile maliyetler düşürülmüş olur.

Örneğin Kanada'daki bir çalışmada örnek olarak gösterildiği gibi, bir kilometre uzunluğundaki bir beton karayolu için 14 adet aydınlatma direğine ihtiyaç duyulurken, aynı düzeyde aydınlatma yapabilmek için bir asfalt yolda 20 adet aydınlatma direği gerekmektedir.

FİYAT İSTİKRARI

Eğer yol yapımında kullanılan malzemenin fiyat değişimlerini incelersek, asfalt ve mazot gibi ithal edilenlerin fiyatlarının tamamen ham petrolün uluslararası piyasadaki fiyatlarına bağlı olduklarını görürüz. Özellikle enerji kıtlığı dönemlerinde bu fiyat değişimlerinin büyük dalgalanmalara maruz kalacağı açıktır. Buna karşın çimento yerel kaynaklarla üretilen bir yapı malzemesidir ve zaman zaman enerji fiyatlarından etkilenmekle beraber fiyatı çok daha dengelidir. Örneğin, petrol kıtlığının sebep olduğu kriz dönemlerinde, asfalt tahmin edilemeyecek derecede yüksek fiyatlara ulaşırken, çimento fiyatı belirli bir gecikmeyle tepki verir ve daha az dalgalanma gösterir.

Türkiye gibi bazı ülkelerde, çimento ve bitümlü bağlayıcılar için pazar durumu diğer pek çok Batı Avrupa ülkesinden farklıdır. Türkiye'de beton bir yol için başlangıç yatırım maliyeti, eşdeğer asfalt yoldan daha azdır. İlaveten, bakım maliyetleri de hesaba katıldığında aradaki fark çok daha yüksek olur.



FARKLI KAPLAMA TÜRLERİ ARASINDAKİ REKABETİN ÖNEMİ

Yol yapımında tek tip malzeme-genellikle asfalt- kullanımının hakim olduğu ülkelerde, pazarda diğer tip malzemeden kaynaklanan rekabetin olmamasının veya çok az olmasının ana malzeme fiyatlarını arttırması gibi olumsuz bir yönü vardır. Asfalt ve beton kaplama uygulamalarının birlikte geliştirildiği ülkelerde karayolu yönetiminin uygulama, trafik hacmi ve işletme koşulları gibi faktörleri dikkate alarak en uygun seçenek üzerinde karar verme imkanı vardır, bir malzemenin diğer bir malzeme üzerinde hakimiyeti yoktur ve bunun da kendi içinde piyasa koşulları üzerindeki etkisi olumludur.

Şekil 9: Belçika'da 1969 – 2009 yılları arasında asfalt, mazot ve çimento fiyatlarının değişimi

KARAYOLLARI İÇİN ASFALT VE BETON KAPLAMALAR ARASINDA EKONOMİK BİR KARŞILAŞTIRMA

Belçika'nın Walloon bölgesinin Karayolları İdaresi 2001 yılında farklı kaplamalar, sürekli donatılı beton ve asfalt arasında yaşam dönemi maliyet analizine göre ekonomik bir karşılaştırma yapan bir çalışma yayınladı.

Bu çalışmanın güvenilir yönü E42 otoyolunda (Autoroutede Wallonie) iki adet 20 km'lik bölümün yapımını ve bakımını içeren 30 yıllık bir tecrübeye dayalı olmasıdır.

Çalışmanın özellikleri aşağıda belirtilmiştir:

- Tüm fiyatların indirim oranına göre 2001 yılı değerlerine dönüştürülmesi
- 50 yıllık bir süre için analiz
- Trafik sayımına dayalı trafik tahminleri
- Farklı türlerdeki yolların yapım ve bakım masraflarının doğru ve güncel tahminleri
- Bakım senaryolarının fikir birliği temelinde karar veren bir çalışma grubunun bir parçası olarak çalışan yerel yöneticiler tarafından yazılmış olması.
- Bütün parametrelerin iyi belirlenmesini ve çalışmanın teknik ve ekonomik yönlerden son derece güvenilir olarak kabul edilmesini sağlamak için yol kullanıcılarına ait dolaylı herhangi bir maliyetin çalışmaya dahil edilmemesi.

İkisi asfalt ve dördü sürekli donatılı beton olmak üzere altı farklı yol yapısı incelenmiştir.

İki asfalt kaplamanın toplam kalınlıkları bir tanesi 21 cm, diğeri 26 cm olarak farklıydı. Her ikisinde de yol temeli 20 cm'lik zayıf beton olup alt temeller birincisinde 35 cm'lik, ikincisinde 30 cm'lik kırma kumtaşı agregasından meydana gelmekteydi. Birinci yapı asfalt otoyollar için standard tasarım iken, ikincisinde yolun temel tabakalarına herhangi bir işlem uygulanmadan yüzeyine kaplama yapılmıştır.

Dört beton yol sadece genişlik bakımından farklıydı:

- 7.20 m Sürekli Donatılı Beton (SDB), asfalttan yapılmış sert banket ve orta refüj (banket üzerinde şerit çizgisi yüzünden SDB kaplama kenarlarında oluşan hasar)
- 8.00 m SDB, asfalt sert banket ve orta refüj (kenar hasarlarından kaçınmak için yol işaretlemesi SDB üzerinde)
- 10.30 m SDB, sadece orta refüj asfalt
- 11.50 m SDB, yolun tüm genişliği beton
- Dört örneğin hepsinde de SDB 20 cm kalınlıkta olup 6 cm kalınlığında bir asfalt tabakasının üzerine serilmişti. Temel 20 cm zayıf beton ve alt temel 30 cm kırma kumtaşı agregası karışımıydı.

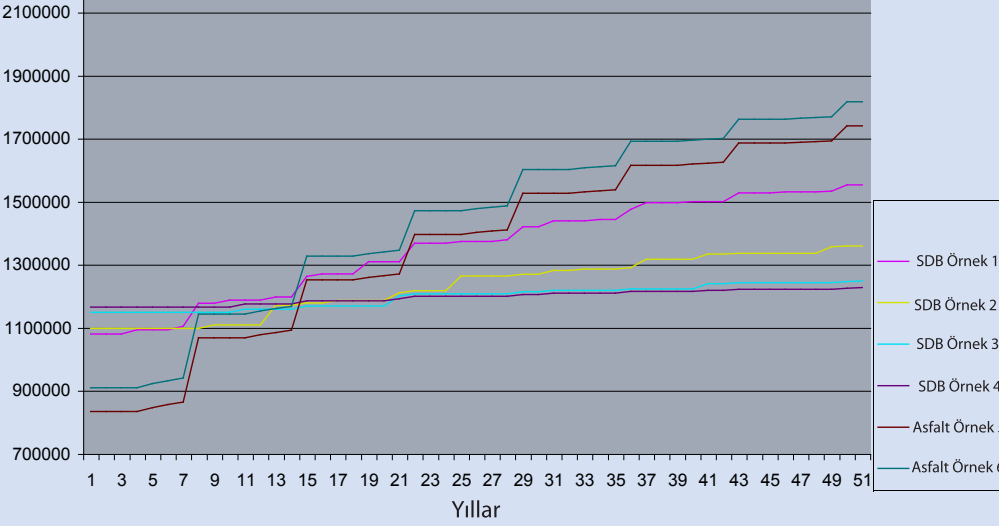
Her bir yol için m² bazında maliyetler, SDB kaplama, asfalt sert banket ve iki tip asfalt kaplama için yol tabaka bileşenlerinin ortalama birim fiyatları esas alınarak hesaplanmıştır. Farklı her bir yapı için yolun 1 km'si (her iki yönde) için başlangıç yatırım maliyeti Tablo 5' de gösterilmiştir.

TABLO 5 : SÜREKLİ DONATILI BETON (SDB) VE ASFALT KAPLAMALI YOLLARDA İLK YATIRIM MALİYETLERİ (EURO/KM)

Örnek No.	Kaplama Türü	Birim Maliyet (€)
1	SDB = 7.20 m geniş	1,080,215.30
2	SDB= 8.00 m geniş	1,097,909.27
3	SDB = 10.30 m geniş	1,148,779.42
4	SDB= 11.05 m geniş	1,165,367.51
5	Asfalt 21 cm kalın	833,749.00
6	Asfalt 26 cm kalın	909,458.00

Maliyet

Euro



Şekil 10: Sürekli donatılı beton ve asfalt kaplamalı yolların ilk yapım ve bakım maliyetleri

Bu karayol kesimlerinde kaplama, temel ve alt temel toplam yapım maliyetleri yaklaşık 834,000 Euro ile 1,165,000 Euro arasında değişmiştir. Dolayısı ile arada önemli bir fark vardır. Burada şundan da bahsetmek gereklidir; bu çalışma petrol fiyatlarının çok düşük olduğu bir dönemde yapılmıştır ve bu da asfalt kaplamanın lehine çalışan bir faktör olmuştur.

İki ayrı karayolu bölgesi uzmanlarının deneyimleri esas alınarak ve aralarındaki karşılıklı görüşmelerden yararlanılarak farklı bakım senaryolarına karar verilmiştir. Verilen bir sıklık derecesinde her bir senaryo belirli bakım maliyeti artırımına yol açmıştır.

Sonuçlar Şekil 10'da sunulmuştur. Hesaplamalar, çalışma süresi boyunca uygulanabilecek en yüksek oran olan %3.6'lık indirim oranı esasına göre yapılmıştır.

Şekil 10'da esnek kaplamaların bakım maliyetlerindeki artma eğilimleri açıkça görülmektedir. **Beton yol en erken 7nci yılda ve en geç 14ncü yılda daha avantajlı hale gelmeye başlamaktadır.** Dolayısı ile, asfaltın ilk yapım yatırım maliyetinin daha düşük olması, SDB kaplamalı bir yolun uzun dönemdeki faydalarına karşı yetersiz kalmaktadır. Bu yüzden bu araştırma Belçika Karayolları Genel Müdürlüğü'nün trafiğin yoğun olduğu yollarda sürekli donatılı beton kaplamayı tercih etmesinin ne kadar doğru olduğunu göstermektedir.

E42 "Wallonie Otoyolu"



BETON YOLLARIN TOPLUMSAL VE SOSYAL FAYDALARI

Sürdürülebilir gelişme konusunun çevre ve ekonomiye ilaveten toplumsal ve sosyal yönleri de vardır. Bu bağlamda en önemli konu bireylerin refah ve güvenlikleridir. İnsanlar yol yapımı, onarımı ve bakımı süreçlerindeki çalışmalardan dolayı çok fazla gecikmek istemezler ve ilgililerin yatırımlarda akılcılığa ve kaliteye önem vermelerini beklerler. İlaveten, özellikle güvenli ve rahat bir sürüş isteyen yol kullanıcıları tarafından yol kaplama yüzeyinin kalitesine de önem verilmektedir. Yolun yanısıra, kullanılan yardımcı gereçler de dikkate alınmalıdır, örneğin yoldaki şerit çizgileri, işaret levhaları, ışıklandırma ve güvenlik ekipmanları gibi...

DAHA AZ YOL ÇALIŞMASI DAHA AZ GECİKME DEMEKTİR

Beton kaplamalarda daha az bakıma gerek duyulması, yolun faydalı ömrü içinde daha az yol çalışması yapılması sonucunu doğurur. Bu da yol kullanıcıları ve çevredeki yerleşimler için daha az müdahale ve daha az sıkıntı anlamına gelmektedir.

İlaveten, beton kaplamaların onarım süreleri uzun olmak zorunda değildir. Beton için gerekli bakım süresi bazen yanlış olarak belirtilen 28 günden çok farklıdır. Normal yol betonu ile yapılan yeni bir beton yol 4-7 günlük bir bakımdan sonra trafiğe açılabilir. Hızlı dayanım kazanan beton karışımları kullanıldığında ise betonda bakım süresini 3 güne kadar hatta bazı durumlarda 24 saate kadar indirebilmek mümkündür. Aslında bu yöntem halen birçok ülkede trafiğin yoğun olduğu yollarda uygulanmaktadır.

SERVİS ÖMRÜ BOYUNCA DÜZGÜN YÜZEY ÖZELLİKLERİ

Çok eskiden, modern yollardan çok farklı esaslara göre tasarlanmış ve artık uygulanmayan yapım tekniği ve eski ekipmanlarla yapılmış beton yolların bir bölümü bugün hala kullanılmaktadır ve bu yüzden beton yolun bir imaj problemi vardır. Güvenlik her zaman temel konu olmuştur ancak, kırk yıl önce akustik konfor ve sürüş rahatlığı gibi hususlar çok az dikkate alınmaktaydı. Modern tasarımlar, yeni yapım metodları, daha iyi yüzey düzenlenmesi ve modern makineler bugün yol kullanıcılarının, çevrede oturanların ve karayolu idarelerinin tüm ihtiyaç ve isteklerini yerine getiren, kaplama yüzeyi yüksek kalitede olan yollar yapılabileceği anlamına gelmektedir.

SÜRÜŞ KONFORU

Boyuna düzgünlük ve mega pürüzlülük ile karakterize edilen yolun düzgünlüğüne ilaveten yüzeyde oyuk oluşumunun ve makro pürüzlülüğün de sürüş konforu üzerinde önemli etkileri vardır. Beton yol yapımının ilk zamanlarında donatısız beton kaplamalar uzun plaklar halinde (8-15 m uzunluğunda) seriliyordu. Plaklar birbirlerinden geniş (25-50 mm) genişleme derzleri ile ayrılıyordu. Böyle yollarda sürüş konforu, derzlerin genişliği ve derzlerdeki basamak etkisinin genellikle gevşek ve erozyona yatkın malzemeden yapılmış temelde yerel hasarlara yol açması dolayısı ile olumsuz olarak etkilenmekteydi.



Yetmişli yılların başlarından itibaren bu problem aşağıdaki önlemleri dikkate alan tasarımlar uygulanarak çözümlenmiştir:

- Daha kısa plaklar (en fazla 5 m uzunluğunda) kaplamada çatlama ihtimalini azaltır ;
- Dar ve pah açılarak dolgu yapılmış büzülme derzleri derzlerin sebep olduğu rahatsızlığı en aza indirir;
- Enine derzlerdeki kayma demirleri ve çimento bağlayıcılı temeller derzlerdeki düzlem farklılığına engel olur ve çok iyi yük transferi sağlar.

Sürekli donatılı beton kaplama genellikle otoyollar ve ana yollar için tercih edilmektedir. Bu tip yapımın özelliği enine derzlerin bulunmamasıdır. Betondaki büzülme (rötre) yolun düzgünlüğü ve sürüş konforu üzerinde hiçbir etkisi olmayan çok ince mikro çatlaklar tarafından karşılanmaktadır.

Düzgün yüzeyli beton yollar şimdi aşağıdaki gelişmeler sayesinde yapılabilmektedir:

- Genelde şantiyede kurulan modern bilgisayar kontrollü beton santrallerinde hazırlanan ve sürekli işlenebilme sağlayan optimize edilmiş beton karışımları ;
- Yeni nesil otomatik titreşim kontrol sistemi olan kayar kalıp finişerler (beton sericiler);
- Finişerin kontrolü için doğru yerleştirilmiş kılavuz telleri veya istasyonlardan yararlanan kablosuz sistemler ;
- Düzleyici ekipmanın arkasında boyuna düzgünlüğü sağlayan kiriş kullanılması (süper düzgünletici);
- Finişerin arkasında kurulan yeni çeşit düzleştirme ölçüm sistemleri ve böylece yapım aşamasının kontrolü ve gerektiğinde düzeltilmesi.

Çivili lastiklerin kullanılmasına izin verilen ülkeler dışındaki ülkelerde beton kaplama yüzeylerinde oyuk veya çukur oluşması söz konusu değildir. Beton yolların önemli bir özelliği de yapım sırasında yüzeylerinde sağlanan enine ve boyuna düzgünlüklerin yıllar boyunca bozulmadan kalmasıdır. Dış etkilerden kaynaklanan soyulma veya kabarma gibi yüzey hasarları kaliteli bir beton karışımı (yeterli çimento, düşük su/çimento oranı ve hava sürükleyici katkı) uygulayarak önlenmektedir. Modern beton kaplamalarda yüzeyden agrega tanelerinin kopup ayrılması da söz konusu değildir.

YOLUN GÜVENLİĞİ

Güvenlik yol yüzeyi için hala en önemli konudur. Konforlu sürüş özellikleri güvenlik ile bağlantılıdır. Fakat, kayma direnci, tekerleklerin suda yol tutuşunu kaybetmesi (su kızağı) ve görüş mesafesi daha da önemlidir. Kazalar yeterli yüzey sürtünmesi ve uygun yüzey dokusu sağlayarak hem kuru hem de yağışlı havalarda önenebilir.

Beton yol geleneğinin var olduğu ülkelerde genelde kayma direnci ile ilgili bir probleme rastlanmaz. Onlarca yıl önce genellikle enine taraklama (metal tarakla yüzeyde ince oluklar oluşturma) su drenajı ile birlikte çok iyi sürtünme özellikleri sağladığından yüzey bitirme işleminde tercih edilirdi. Bu yüzeyler,



hala iyi kayma direncine sahip olmakla beraber çoğunlukla fazla gürültüye neden olurlar. Bunlar başlangıçta iyi kayma direnci sağlarlar ancak, özellikle ikincisinde zamanla sürtünmenin azaldığı gözlenir. Görünen agregalı yüzeyler kayma direncinde zamanla önemli bir azalma göstermediklerinden uzlaştırıcı bir çözüm olarak kabul edilebilirler.

Doksanlı yılların ortalarından itibaren görünen ince agrega yüzeyli olarak çok sayıda otoyol ve bölgesel yol yapılmıştır. Burada ince kelimesi agrega en büyük tane boyunun 20 mm'yi geçmemesi ve daha ince tanelerin (4 – 6 veya 8 mm) toplam agreganın en az %20'sini oluşturması anlamına kullanılmıştır. Her ne kadar başlangıç değerlerinde bir düşüş izlense de ıslak yol yüzeyinde hem frenleme kuvveti hem de yanıl kayma direnci katsayılarında zamanla bir değişim görülmemiştir. Tablo 6 ,7 ve 8'de görünen agrega yüzeyi bulunan Belçika yollarında SCRIN ile ölçülen bazı kayma direnci katsayı sonuçları gösterilmiştir.

Sürtünme değerinin kalıcılığı, yüzeyin bitiriliş türüne bakılmaksızın beton kaplamanın üst yüzeyinde doğru agrega kullanılmasını zorunlu kılar. Kullanılacak agrega cilalanabilme (kayganlık), sertlik ve donmaya karşı dayanıklılık



E40 Otoyolu-1972

konularında gerekli tüm şartları yerine getirmelidir. Beton kaplamaların bir avantajı yapımdan hemen sonra istenilen kayma direncinin sağlanmış olması ve yüzeyden ince agrega kaybı olmamasıdır.

Yüzeyinin dokusu ile birlikte kaplamanın enine profili, araç lastiklerinin kaplama ile temasının kesildiği olası su kızıağı tehlikesi üzerinde önemli rol oynar. Beton yüzeylerde oyuk veya çukur oluşmayacağı için enine kesite yeterli eğim verilmesi durumunda böyle bir tehlike söz konusu olmaz.

Yağmurlu havalarda kazaların bir başka nedeni de önde giden araçlardan gelen su sıçramalarının görüş mesafesini azaltmasıdır. Burada gözeneksiz beton yüzeyler gözenekli asfalt veya gözenekli betondan yapılmış bir üst tabaka ile kıyaslanamaz. Yine de yeterli derinliği olan enine pürüzlemeler veya görünen agrega ile su fışkırmaları önemli ölçüde azaltılabilecektir.

TABLO 6, 7, 8 :GÖRÜNEN AGREGALI BETON KAPLAMALI A12, R3, A8 KARAYOLLARINDA KAYMA DİRENCİ (SCRİM) ÖLÇÜMLERİ

							2004 (3 yıl kullanılmış)	2008 (7 yıl kullanılmış)
A12 Brussels – Antwerp km 4,7 – km 6,5							0,59	0,51
A12 Antwerp – Brussels km 4,7 – km 6,5							0,62	0,51
	1997 (opened)	1998	1999	2000	2001	2002	2004	
R3 Charleroi Ring km 27,0 – km 24,0	0,56	0,57	0,58	0,59	0,55	0,53	0,58	
				2000 (1 st measure- ment)	2001	2002	2004	
E429-A8 Tournai - Brussels km 25,0 – km 30,0				0,55	0,52	0,55	0,54	

Son olarak, açık renkli beton yüzeyi araç sürücülerinin gece görüşüne katkıda bulunacaktır.

GÜRÜLTÜ

Trafik gürültüsü sürüş konforunun bir parçası olarak görülse de civardakiler ve şehirlerde nüfusun yoğun olduğu ana yollara yakın yerlerde yaşayanlar için de önemli bir sorundur. Araç lastiklerinin kaplama yüzeyinde yuvarlanması ile meydana gelen trafik gürültüsünü azaltmanın en etkili yolu bunu kaynağında, yani kaplama

yüzeyinde ele almaktır. Son yıllarda çok sayıda gürültüyü azaltan aşınma tabakaları geliştirilmiş olup bu konuda araştırma ve testler devam etmektedir.

Her ne kadar yeni gözenekli yüzeyler veya ince asfalt yüzey kaplamaları kadar gürültüyü azaltmasalar da geleneksel beton kaplamalar görünen ince agregalı yüzey tekniği ile gürültü düzeyi düşük ve güvenli bir kaplama seçeneği oluştururlar.



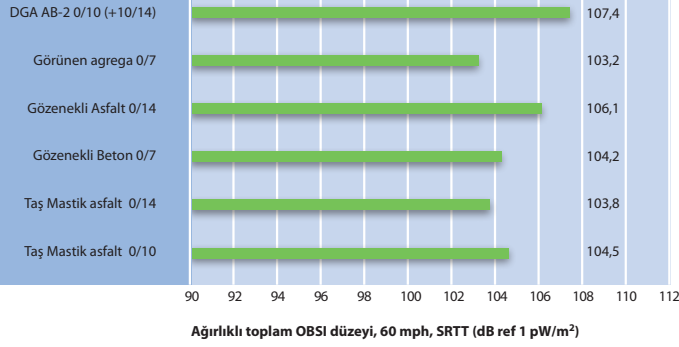
Görünen ince
agregalı yüzey

Şekil 11: Çeşitli kaplama yüzeylerinde Herne –OBSI (CPX) trafik gürültüsü - A.B.D. ekibi sonuçları – Ekim 2007

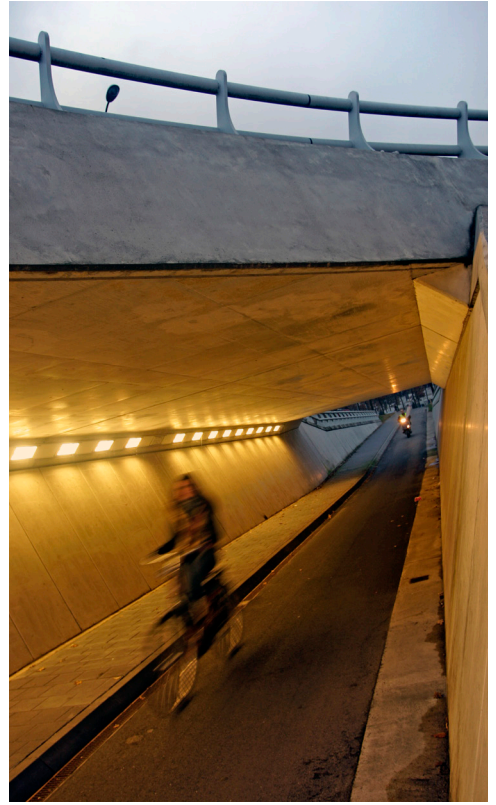
Trafik gürültüsü değerleri taş mastik asfalt yüzeylerde elde edilenler düzeyindedir ve sadece yapımdan hemen sonra değil yolun yaşam süresi boyunca aynı kalırlar. Diğer etkili teknikler arasında kaplama yüzeyinde boyuna ince oluklar açılması veya elmas taşlama sayılabilir. Gürültü azaltan hangi kaplama yüzeyi seçilirse seçilsin güvenlik açısından kesinlikle ödün verilmemesi tavsiye edilir.

En iyi sonuçlar üst tabakasında sadece en büyük tane boyu 6-8 mm olan ince agrega kullanılan çift tabakalı beton kaplamalarla elde edilmektedir.

Düşük gürültülü kaplama testleri için 1996 yılında Herne’de deneme amaçlı olarak sürekli donatılı beton kaplama (SDB) iki tabakalı dökümlerle hazırlandı. Alt tabaka olan 18 cm’lik SDB üzerine görünen ince agregalı beton, gözenekli beton, mastik asfalt ve gözenekli asfalt gibi farklı üst tabakalar uygulandı. Bu test kesimlerinde çeşitli ölçüm ve değerlendirmeler yapıldı. 12 yıllık kullanımdan sonra varılan genel sonuç, görünen ince agregalı (0/7) beton üst tabaka ile uzun vadede gürültü ve dayanıklılık yönlerinden en iyi performansın elde edildiği şeklinde olmuştur.



Herne : düşük gürültülü beton



ÇİMENTO VE BETONUN DİĞER SÜRDÜRÜLEBİLİR UYGULAMALARI

ULAŞTIRMADA ÇOK ÇEŞİTLİ VE UYGUN ÇÖZÜMLER

Betonun kullanımı, bütün yönleri ile sürdürülebilir ulaştırma sağlamak amacına yönelik çeşitli altyapı projeleri için gereklidir.

Yol yapımında özel uygulamalar kavşaklarda beton veya sürekli donatılı beton kullanımını içerir.

Yollarda beton güvenlik bariyerleri (otokorkuluklar), prefabrike veya yerinde dökülmüş olsun, sağlam, dayanıklı ve güvenli bir çözüm ortaya koyar. Bu güvenlik bariyerleri, otomobiller,

otobüsler ve kamyonlarla yapılan gerçek testleri baz alarak gerekli performansı belirleyen Avrupa standartlarına (EN 1317) uygundur.

Kentsel çevrede, yolların, caddelerin ve meydanların görsel boyutu önem kazanır. Buralarda çeşitli tiplerde beton parke taşlarından, görünür renkli agregalı betonlardan yararlanılabilir.

Beton kaldırımlar ve bisiklet yolları yayaların ve kullanıcıların güvenlik gereksinimlerini karşılamaktadır.



İlaveten, otobüs, tramvay veya tren gibi kamu ulaşım sistemlerinin alt yapı inşaatlarında sürdürülebilir çözüm olarak beton giderek daha fazla kullanım bulmaktadır.

Kırsal beton yollar oralandaki yerleşimlere iyi hizmet vermektedir. Bu yollar rijitlikleri dolayısı ile geçmişte temelsiz olarak da yapılabilirlerdi. Bu kadar yıl hiç bakıma ihtiyaç göstermeden hizmet vermelerine ilaveten bugün de ağırlıkları gittikçe artan modern tarım araçlarını taşımaya devam etmektedirler.



Son olarak, betonun kullanıldığı önemli ulaşım bağlantı yerleri arasında tüneller, viyadükler, kanallar, su yolları, havaalanı pistleri ve apronları ve liman altyapıları sayılabilir.

TÜNELLERDE YANGIN GÜVENLİĞİ

Beton kaplamaların yararları, karayolu tünelleri için uygun kaplamaları seçerken gündeme gelmiştir. Uzun hizmet ömrü, asgari bakım ve onarım gereksinimleri, güvenli ve bozulmayan yol yüzeyi, sürücü için daha iyi görüş sağlayan ve ışıklandırma gereksinimini azaltan açık renkli yüzey. İlaveten, betonun büyük bir avantajı da, yangına dayanıklı olması ve ısındığında toksik gaz açığa çıkarmamasıdır. Beton bir kaplama, yangının mevcut kalorifik kapasitesini arttırmaz ve böylece insanların boşaltılma sürecinde ve yangın söndürme ve kurtarma araçlarının çalışmalarında ilave bir tehlike yaratmaz. Betonun seçimi bu suretle risk önleme politikası ile uyum sağlar ve tünellerdeki yangının getireceği olumsuz sonuçları en aza indirger.



ZEMİN İYİLEŞTİRME TEKNİKLERİ, YERİNDE GERİ DÖNÜŞÜM VE KİRLENMİŞ TOPRAKLARI ZARARSIZLAŞTIRMA

Toprak zeminin yerinde iyileştirilmesi, bir toprak tabakasının özelliklerinin iyileştirilmesi ve stabilizasyonu amacı ile bağlayıcı bir malzeme (çimento, kireç veya yol inşaatında kullanılan hidrolik bağlayıcı) ile bulunduğu yerde karıştırılmasını içeren işlemdir. Stabilizasyon kelimesi iyileştirilen toprak tabakasının suya ve donmaya karşı dayanıklı hale geldiğini ifade etmektedir. Olası uygulamalar arasında, yollarda temel ve alt temel tabakaları ile hafif trafiğe maruz yerlerde yol tabanı sayılabilir.

Kaplamanın yerinde geri dönüşüm tekniği, mevcut agregaya temel tabakasını, üstünde asfalt kaplama bulunsun veya bulunmasın, bulunduğu yerde kazıyıp öğütmeyi, çimento ve gerektiğinde su ile karıştırmayı içermektedir. Çimento ile optimum karışım sağlayacak agregaya granülometri elde etmek için gerektiğinde ilave agregaya katılabilmektedir. Sonuçta, taşıma kapasitesi çok yüksek, su veya don kaynaklı erozyona karşı çok dayanıklı olan çimento bağlayıcılığı bir temel elde edilmiş olmaktadır. Yol yapısı bütün tabakalarını içerecek şekilde hiç bir malzeme atılmadan ve çok az yeni malzeme girişi ile yenilenebilmektedir. Dolayısıyla bu, tali yolların yenilenmesi açısından çok uygun bir tekniktir.

Üçüncü önemli uygulama ise, atıkları çimento ile bağlayarak zararsız hale getirmektir. Toprağın ve yer altı suyunun ağır metaller ile kirlenmesi çevreye ve kamu sağlığına verilecek en büyük zararlardan biridir ve çoğu kez kirlenmiş toprakları ve maddeleri temizlemek pratik ve

ekonomik nedenlerden dolayı mümkün değildir.

Çimento ve betonla yapılan bu gibi çeşitli uygulamaların yararları şu şekilde özetlenebilir :

- Uygulama hızı,
- Atık veya molozun bertarafına gerek kalmaması veya maliyetinin azalması,
- Yeni granüler malzeme teminine ihtiyaç kalmaması,
- Yeni agregaya ve kum ihtiyacında azalma,
- Şantiye çevresinde yerel trafiğin azalması,
- Yapıdaki taşıyıcı tabaka için ekonomik bir çözüm,
- Kirlenmiş topraklar için bir çözüm.

GEÇİRİMLİ BETON KAPLAMA

Genellikle geçirimli beton kaplama taşlarından meydana gelen geçirimli kaplamalar, çevresel yönden çok cazip bir uygulama oluştururlar. Yağışın yüzeyden içeriye geçerek geçici olarak depolanmasını ve buradan da yavaşça geçirimli toprağa veya drenaj sistemine geçişini sağlarlar. Geçirimli kaplamalarla birlikte kullanılan geçirimli altyapı, böylece yüzey suyu ızgaralarına giden su miktarını azaltarak sel baskınlarını önlemeye yardımcı olabilmektedir. İlaveten, kirlilik oluşturan maddeleri yol temelinde tutarak yer altı suyunun kalitesini iyileştirebilirler.



Çimento ile toprak stabilizasyonu



Geçirimli beton bloklarla yapılmış park yeri

Geçirimli kaplamalar, gözenekli beton veya geniş derzli ve drenajlı kaplama taşları kullanarak yapılabilir. Temelerde geçirimli zayıf beton, kalıcılık ile geçirgenliği en iyi şekilde bir araya getirebilen bir malzeme seçeneği sunmaktadır.

HAVA TEMİZLEYEN BETON KAPLAMA

Hava kirliliği yoğun nüfuslu bölgelerde ve şehirlerde giderek artan bir problem haline almıştır. Trafik yüzünden meydana gelen en önemli kirleticiler ince parçacıklı maddeler (tozlar), uçucu organik bileşikler (VOC) ve azot oksitleri içerir. Bunların sonucusu, eşzamanlı olarak VOC ile bir araya geldiğinde ozon oluşur ve böylelikle ince parçacıklı maddelerin etkisi çoğalır. Bu yüzden trafikte egzoz gazı emisyonlarını olabildiğince sınırlamak çok önemlidir. Doğal olarak bu önce trafik emisyonlarını kaynağında sınırlayarak gerçekleştirilebilir, ancak, yol ve yolun yakın çevresinin de katkıları olabilir.

Aslında, kaplama yüzeyinde TiO_2 (titanium dioksit) kullanarak hava temizleyici bir etki elde etmek mümkündür. Ultra viyole ışığına ve aynı zamanda görünebilir ışığa maruz kaldığında titanium dioksit, azot monoksiti ve azot dioksiti (veya NO_x) nitrata (NO_3) dönüştürmeyi sağlayarak bir katalizör gibi davranır. Bu suretle nitratlar kaplama yüzeyinde birikirler ve yağmurla yıkanıp giderler. NO_x tarafından ozon değişimine, asit yağmuruna ve ince parçacıklı maddenin formasyonuna yol açan zararlı doğal kısır döngü, havadan hızla NO_x emilmesi ile etkisiz hale getirilmiş olur. Bu tür fotokatalitik maddeler aynı zamanda, çözünmelerini sağlayarak havadan zararlı organik bileşikleri de kapabilirler. TiO_2 beton karışımına ayrıca ilave edilebilir veya özel olarak üretilmiş TiO_2 nano taneciklerini içeren çimentolar kullanılabilir.

Çeşitli araştırma projeleri laboratuvarlarda fotokatalitik etkiyi göstermiştir. Bu testlerde havayla fotokatalitik madde arasında tek bir temas sonucu olarak NO_x 'un dönüşümü belirlenmiştir. Düşüşler %30-95 arası olarak ölçülmüştür. Doğal olarak pratikteki uygulamalarda sağlanacak verimlilik sadece fotokatalitik maddenin verimliliğine değil, aynı zamanda hava ile yüzey arasındaki temasa (hava miktarı ve temas süresi) ışık şiddetine, bağlı neme ve havada mevcut kirliliğe de bağlı olacaktır.

Bu teknolojinin yol yapımındaki ilk uygulamalarından biri olarak, 2004-2005 yılları arasında Antwerp'in "Leien" caddesi (Antwerp'in tarihi merkezinde yarım daire oluşturan, ağaçlıklı cadde) çevresindeki tali yollarda 10,000m² lik bir alan üst yüzeylerinde titanium dioksit bulunan beton parke taşlarıyla yeniden döşenmiştir. Parke taşları yüzeyindeki fotokatalitik etkinin kalıcılığı laboratuvarlarda tesbit edilmiştir.

Bu fotokatalitik maddenin diğer ilginç uygulamaları arasında, iki tabakalı bir beton kaplamanın üst yüzeyinde kullanılması veya Paris'te Porte de Vanves'de denendiği gibi, ince beton üst kaplamalarda kullanılması sayılabilir. Bu son uygulamada günde 13.000 vasıtanın kullandığı işlek bir caddenin 300 metrelik iki bölümü aşağıdaki gibi kaplanmıştır:

- Geleneksel beton kaplamalı bir bölüm,
- Fotokatalitik etkili çimento kullanılmış deneysel ince beton kaplamalı bir bölüm,

Bir yıl süre ile hava kalitesi ve yüzey suyu akışı üzerinde ölçümler yapıldı. NO_x kirliliğinin elverişsiz hava koşullarında % 20 oranında azaldığı görüldü.

Araştırma ayrıca fotokatalitik etkinin sadece UV ışığında değil normal ışık altında da gerçekleştiğini gösterdi. Bu da normal ışıklandırılmalı tünellerin içinin hava temizleyici beton elemanlarla kaplanmasını mümkün kılmaktadır.



Gözenekli beton bloklar



Antwerp'in "Leien" bölgesinde sokaklar



SONUÇ

Karar verici durumda olanların çoğunluğu, beton yolun uzun vadede bir çok yarar sağladığı ve hizmet ömrü boyunca bakım maliyeti göz önüne alındığında ekonomik yönden en uygun çözüm olduğu konularında ikna olmuşlardır. Bu husus kullanıcı maliyeti göz önüne alındığında daha da doğrulanmaktadır, çünkü kullanıcı çok az bakım gerektiren beton yolda sık sık gecikmelere maruz kalmamaktadır.

Ancak, günümüzde beton yolların çevreyle dost olduklarını ve ulaşım konusunda sosyal yönden kabul edilebilir çözümler getirdiklerini göstermek de aynı derecede önem kazanmıştır.

Beton kaplamaların bir çok avantajları, sürdürülebilir gelişmenin üç ana unsuru ile, yani çevre, ekonomi ve sosyal önem yönlerinden açıklanmış bulunmaktadır. Kaplamanın her üç alandaki performansları toplam yaşam dönemi esasına göre değerlendirilmelidir. Buradan şu sonuca varabiliriz ki, birkaç alanda gelişim gerekmesine rağmen, bu kaplamalar daha şimdiden sürdürülebilir inşaat felsefesiyle tamamen uyum içindedirler. Modern toplumun beklentileri ile yakından ilgili olan araştırma ve geliştirme çalışmaları da teknik gelişim sürecinin bir parçası olarak devam etmektedir.

Hizmet ömrünün sürdürülebilirlik üzerindeki büyük önemi dikkate alınarak betonun bir malzeme olarak performansı ve yol inşaatında kullanımı, çevre, maliyet ve toplum konularında kısa vadeli kazanımlar vadeden çözümler ile gölgelenmemelidir.

Beton yolu seçmek, sürdürülebilir inşaatı seçmek gibi cesaret, kapsamlı ve dikkatli düşünme ve uzun vade vizyonu gerektirir.

Beton yol seçmek sürdürülebilir bir çözüm seçmektir.



Aanpak van industrieel afval in cementovens vergeleken met verbrandingsovens.
Een milieuvergelijking – FEBELCEM, Brussels

AKBARI H. Global Cooling : Increasing world-wide urban albedos to offset CO₂ –
Heat Island Group, Ernest Orlando Lawrence Berkeley National
Laboratory, presentation at the fifth annual California Climate Change
Conference, Sacramento, California, U.S., 9 September 2008

BEELDENS A. Air purification by pavement blocks: final results of the
research at the BRRC – TRA Conference, Ljubljana, Slovenia, April 2008

BENBOW E., IAQUINTA J., LODGE R., WRIGHT A.
Investigation of the effects of pavement stiffness on fuel consumption. –
Published project report PPR 253, Transport Research Laboratory Limited, U.K., July 2007

Beton en rationeel energiegebruik.
Dossier Cement – FEBELCEM, Brussels, June 2005, www.febelcem.be

Béton et développement durable. Analyse du cycle de vie de
structures routières – CIMbéton, Centre d'information sur le ciment
et ses applications, Paris, France 2005, www.infociments.fr

Bituminous and continuously reinforced concrete pavements for motorways –
An economic comparison – Les cahiers du MET Nr. 24, Walloon
Ministry for Infrastructure and Transport, General Directorate of
Motorways and Roads, Namur, 2006, <http://routes.wallonie.be>

BRIESSINCK M., RENS L. Oppervlakkenmerken van hedendaagse betonverhardingen –
Contribution to the Belgian Roads Congress, Ghent, 2009

CAESTECKER C. Test sections of noiseless cement concrete
pavements. Conclusions, Vilvoorde, 1999

Carbon Footprint – what it is and how to measure it –
European Platform on Life Cycle Assessment, European Commission, Joint Research
Centre, Institute for Environment and Sustainability, 2007, <http://lca.jrc.ec.europa.eu>

Cement, beton en CO₂. Feiten en trends – Cement&BetonCentrum, 's Hertogenbosch,
Nederland, 2008, www.cementenbeton.nl

Concrete thinking in transportation solutions –
Cement Association of Canada, Ottawa, Canada 2007, www.cement.ca

DEBROUX R.; DUMONT R. Twin-layer continuously reinforced concrete
pavement on the N511 at Estaimpuis (Belgium): an investigation of the
optimisation of surface characteristics", 8th International Conference
on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colorado, U.S., 2005

De bijdrage van de cementindustrie tot de beperking van
de CO₂-uitstoot, FEBELCEM, Brussels, 2007

Enlightened – American Concrete Pavement Association,
U.S., 2006, www.pavement.com, www.pavements4life.com

FILFE M., FRIEND R., SCHIAVONI P. Etude comparative des facteurs socio-économiques relatifs aux chaussées en béton et en asphalte – Rapport final – Groupe-conseil KPMG S.E.C., Montréal (Canada), June 2000

Green Highways. Environmentally and Economically Sustainable Concrete Pavements – American Concrete Pavement Association, Skokie, Illinois, U.S.A., 2007, www.pavement.com

General guidelines for reducing CO₂ in civil engineering works – European Concrete Platform, 2009, www.europeanconcrete.eu

Improving Fire Safety in Tunnels – CEMBUREAU, Brussels, 2004

Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, www.ipcc.ch

KENDALL A., KEOLEIAN G.A., LEPECH M.D. Materials design for sustainability through life- cycle modelling of engineered cementitious composites – Materials and Structures 41 : 1117-1131, RILEM 2008

KJELSEN K.O.; GUIMARAES M.; NILSSON A. The CO₂ balance of concrete in a life-cycle perspective – Nordic Innovation Centre, December 2005

Life-Cycle Cost Analysis in Pavement Design – In Search of Better Investment Decisions, Pavement Division Interim Technical Bulletin, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, U.S., September 1998

MARION A.-M.; DE LANEVE M.; DE GRAUW A. Onderzoek naar het uitlogingsgedrag van wegenbeton: kwantificering van de hoeveelheden zware materialen uitgelooft tijdens de "Tank Test" – Verslag OCCN 1999-2000, pag. 5-24, Brussels, 2001, www.cric.be

MARION A.-M., DE LANEVE M., DE GRAUW A. Onderzoek naar het uitlogingsgedrag van schraal beton: kwantificering van de hoeveelheden zware materialen uitgelooft tijdens de "Tank Test" – Verslag OCCN 2001-2002, pag. 3-21, Brussel, 2003, www.cric.be

MULLER Ch. Blended cements – German Cement Works Association VDZ, presentation at the ECO-Serve Seminar "Challenges for Sustainable Construction: the Concrete Approach", Warsaw, May 18-19, 2006, www.eco-serve.net

POMERANTZ M., BON. P., ABKARI H., CHANG S.-C. The effect of pavements' temperatures on air temperatures in large cities – Heat Island Group, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, Canada 94720, April 2000, <http://heatland.lbl.gov>

SNYDER M. B. Pavement Surface Characteristics – A Synthesis and Guide,
American Concrete Paving Association ACPA, Skokie, Illinois, U.S., 2006

Sustainable Cement Production. Co-Processing of alternative fuels and raw materials in
the European cement industry – CEMBUREAU, Brussels, 2009, www.coprocessing.info

TAYLOR G.W., FARREL P., WOODSIDE A. Effects of pavement structure on vehicle fuel consumption.
Phase III – prepared for Natural Resources Canada Action Plan 2000 on Climate Change and
Cement Association of Canada by the National Research Council of Canada, January 2006

THIERY M.; ROUSSEL N., HABERT G., BELIN P., DANGLA P. Comment
intégrer quantitativement la carbonatation atmosphérique dans le bilan-
carbone des matériaux cimentaires – AFGC, Paris, March 2009



Published by :

EUPAVE
European Concrete
Paving Association
Vorstlaan 68 Boulevard du Souverain
1170 Brussels
T + 32 2 790 42 06
F + 32 2 640 06 70
info@eupave.eu
www.eupave.eu

Author: L. Rens

Photos:
FEBELCEM
C.R.I.C.,
OCW-CRR,
Agentschap Wegen en Verkeer,
photo-daylight.com, A. Nullens (cover)
Cement&BetonCentrum – W. Kramer
vub foto
P. de Koning
R.W.S. – J. van Houdt

September 2009

TÇMB
TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ

Cyberpark, Cyberplaza C Blok
06800 Bilkent-Ankara / Turkey
T (90 312) 444 50 57
F (90 312) 265 09 06
info@tcma.org.tr
www.tcma.org.tr

Bu kitap Avrupa Çimento Birliği Üyesi Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği (TÇMB)
tarafından Türkçeye çevrilerek bastırılmıştır.

