

Silindirle sıkıştırılmış beton:

Beton kaplamaları ulaştırma sektörünün kullanımına sunan bir yöntem

Geleneksel beton kaplamaların mukavemet, dayanıklılık, yüksek kayma direnci, yangına karşı direnç, açık yüzey rengi, yakıt tüketimini azaltması, asgari düzeyde bakım ihtiyacı ve uzun vadede diğer seçeneklere göre daha ekonomik olması gibi avantajları bilinmektedir. Diğer taraftan, beton kaplamalar, çoğu zaman sadece beton kaplamalara özel olarak tasarlanmış ekipmanlar ile inşa edilebilmektedir. Bu ekipmanlar, beton yol teknolojiden yararlanan ülkelerde bulunmasına karşın, asfalt (esnek) kaplama ekipmanları ile karşılaştırıldığında sayısı bir hayli az olmaktadır. Bununla birlikte, Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) kaplamalar hem asfalt ekipmanları kullanılarak inşa olması açısından, hem de aynı zamanda geleneksel beton kaplamalara benzer özelliklere (dayanıklılık ve sağlamlık açısından) sahip olunabilmesi açısından avantaj sağlayan hibrit bir teknolojidir. Temelde endüstriyel sahalar, tali yollar ve şehiriçi yollar gibi düşük hızlı uygulamalara yönelik bölgeler için tasarlanmış olmasına rağmen, gerek ekipman ve inşaat yöntemlerinde kaydedilen ilerlemeler gerekse bu kaplama yöntemiyle ilgili yaklaşık 50 yıl boyunca elde edilen deneyimler sayesinde SSB kaplamaların kullanım alanlarının trafik yoğunluğu yüksek olan ana yolları da kapsayacak şekilde genişlemesinin önü açılmıştır. Hâlihazırda geleneksel beton kaplamaların kullanıldığı çoğu uygulama için SSB kaplamalar da mükemmel sonuçlar veren ve uygulanması kolay bir seçenek haline gelmiştir.



Fotoğraf TÜRKÇİMENTO

İÇİNDEKİLER

SSB Nedir?	2	Yüzey bitirme işlemi	9
Uygulama alanları	3	Kürleme ve yüzey koruma	9
Avantajları	4	Derzler	10
Olası kısıtlamalar	5	Pazar – örnekler	11
SSB karışımının tasarımı	6	Özel uygulamalar ve yeni gelişmeler	14
Karıştırma ve uygulama alanına taşıma	6	Kaynaklar	15
Serme	7	Sonuç	15
Sıkıştırma	8		

SSB NEDİR?

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB), kaplamalarda kullanılan geleneksel titreşimli betonla benzer dayanım özellikler gösteren ve onunla aynı temel bileşenlerden (iyi gradasyonlu agregalar, çimento ve su) oluşan, ancak farklı karışım oranlarına sahip bir kaplama malzemesidir. SSB'yi farklı kılan başlıca özellikler ise aşağıda sıralanmıştır:

- titreşimli silindirler altında stabil kalmasına yetecek kadar sert, ancak hamurun ayrışmadan yeterli bir şekilde karıştırılmasını ve dağıtılmasını mümkün kılacak kadar ıslak bir kıvama sahip bir malzemenin elde edilmesini sağlayan düşük çimento içeriği;
- SSB'nin silindirler ve/veya asfalt makinelerinin masterları tarafından daha sıkı bir şekilde sıkıştırılmasına ve yerleştirilmesine imkân sağlayan daha yüksek ince agrega yüzdesidir.
- SSB genel olarak standart veya yüksek yoğunluklu masterla donatılmış asfalt sericileri ile yerleştirilir, ardından sıkıştırma işlemi için silindirlerle belirli paslarda geçişler yapılır. Nihai sıkıştırma, genellikle karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra bir saat içinde gerçekleştirilir.
- geleneksel beton kaplamaların aksine SSB kaplamalar kalıp, bağ demiri veya donatı kullanılmadan inşa edilir.

- derz kesme işlemi SSB yapımında her zaman kullanılmamakta, ancak çatlak genişliklerini küçük tutmak ve etkin yük aktarımını muhafaza etmeye yönelik bir önlem olarak giderek yaygınlaşmaktadır. Dar çatlakların, üstyapı tasarımının önemli bir özelliği olan yüksek yük aktarımına daha elverişli olduğu kabul edilmektedir. Ayrıca derz kesme işlemi kaplamanın genel estetik görünümünü de iyileştirir ve bu şekilde kesilmiş derzlerde herhangi bir sorunun ortaya çıkma ihtimali doğal olarak oluşan çatlaklara göre daha düşüktür.

SSB, çimento stabilizasyonu olarak da adlandırılan ve temel tabakaların yapımında kullanılan çimento ile işlenmiş malzemelerle karıştırılmamalıdır. Tüm bu karışımların ardında yatan temel yaklaşım genel olarak benzerdir: bir miktar agrega, çimento (veya hidrolik bağlayıcı) ve az miktarda su karıştırılır, sonra da bu karışım silindirler vasıtasıyla sıkıştırılır. Ancak SSB'ler ile karşılaştırıldığında bu çimento ile işlenmiş malzemeler, çok daha düşük bir çimento içeriğine, dolayısıyla da daha düşük bir mukavemete sahiptir. Kaplama uygulamaları açısından "Silindirle Sıkıştırılmış Beton" ismi, sadece yapısal amaçlı kullanılan geleneksel betonların basınç dayanımı aralığına benzer (28 günde 25 MPa üzeri basınç dayanımı) mekanik mukavemet değerlerine sahip malzemeler için kullanılmaktadır.

UYGULAMA ALANLARI

SSB kaplama uygulamalarına dair ilk modern örnekler 1970'li yıllarda İspanya'nın düşük hacimli yollarında ortaya çıkmıştır [2]. Ağır/yoğun trafikli yollardaki uygulamalara bakıldığında ise, Kanada'da SSB kaplamaları, 1976 yılından itibaren kereste sanayisi için kullanmaya başladığı görülmektedir. SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara ilişkin hemen hemen tüm uygulama alanlarında başarıyla kullanılmıştır:

- Ağır hizmet uygulamaları
 - Limanlar ve havaalanları
 - Askeri tesisler
 - Intermodal (Karma) tesisler
- Hafif ticari ve endüstriyel uygulamalar
 - Depolar ve imalat tesisleri
 - Ticari ve endüstriyel otoparklar
 - Bakım ve depolama alanları
- Karayolu uygulamaları
 - Otoyollardaki toplayıcı yollar ve emniyet şeritleri
 - Küçük ölçekli anayollar
 - Şehiriçi sokaklar ve yerel yollar
 - Ana yollar ve otoyollar

SSB, ana yollar ve otoyollar gibi yüksek hızlı yapılarda kullanıldığında çoğu zaman kalınlığı birkaç santimetreyi bulan ve asfalt betonundan oluşan bir aşınma tabakasıyla kaplanmaktadır. Bu tabaka yüzeyin düzgün olmasını ve bu sayede kaplama uygulamalarına ilişkin gerekliliklerin karşılanmasını sağlar. SSB üzerinde elmas taşlama ve yiv açma da bu amaç için kullanılmıştır. Jet motorlarına ufak parçacıkların girme riskini önlemek amacıyla uçak park alanlarında da ince bir asfalt aşınma tabakası uygulanmaktadır.

Polonya: Kâğıt fabrikası girişi



Mallorca: Endüstriyel depo - Fotoğraflar: CEMEX



AVANTAJLARI

Asfalt kaplamalarla kıyaslandığında SSB kaplamalar, geleneksel beton kaplamaların sahip olduğu avantajların çoğunu sunmaktadır:

- SSB kaplamalar yüksek eğilme, basınç ve kesme dayanımına sahip olabilecek şekilde tasarlanabilir. Bu sayede SSB kaplamalar, bozulmadan ağır ve tekrarlayan yüklere (örneğin ağır sanayi, madencilik ve askeri uygulamalara ortaya çıkan yüklere) daha iyi dayanabilmekte ve yoğun yük ve darbelere daha karşı daha dirençli olabilmektedir;
- Özel olarak uyarlanmış karışımlar kullanılarak SSB kaplamaların geçirgenlik seviyesi azaltılabilir, bu sayede de SSB kaplamaların donma-çözülme koşulları altında dahi mükemmel bir dayanıklılık göstermesi sağlanabilir;
- SSB, lastik zinciri veya çivili lastiklerin yoğun kullanıldığı alanlar dışında tekerlek izlerinin oluşmasını engeller ve sonradan onarım yapma ihtiyacını ortadan kaldırır;
- SSB, römorklara yükleme işlemlerinin yapıldığı endüstriyel alanlarda kimyasallara ve izlere karşı direnç sağlar;
- SSB, ağır yükler ve yoğun trafik hacimleri altında dahi aşınmaya karşı dirençlidir;
- SSB karışımlarında hem doğal hem de imal edilmiş ince agregalar kullanabilir;
- Asfalt kaplamalar için uygun olmayan ince agregalar, SSB'de kullanılabilir;
- Karışımın yapısına bağlı olarak ve yüksek yoğunluklu sericiler kullanılması koşuluyla SSB, 25 cm'ye kadar varan kalınlıklarda serilebilir;
- SSB kaplamalar açık yüzey rengi sayesinde aydınlatma ihtiyacını azaltır;
- SSB kaplamalarının düşük güneş yansıtma indeksi kaplamanın sıcaklığını düşürmekte ve "Isı Adası Etkisi" gibi sıcaklıktan kaynaklanan sorunları azaltmaktadır.

SSB, geleneksel beton kaplamalarla karşılaştırıldığında bazı ilave avantajlar sunar:

- SSB kaplamaları kolayca temin edilebilen ve başka amaçlarla kullanılabilen ekipmanlarla inşa edilebilir;
- SSB kaplamalar daha hızlı bir şekilde inşa edilebilir;
- SSB'deki düşük hamur içeriği, betonda daha az büzülmeye neden olur ve büzülmeyle ilgili gerilmeler nedeniyle ortaya çıkan çatlakları azaltır;
- Belli bir basınç dayanımı seviyesinin elde edilmesinde SSB daha az miktarda çimento içeriği kullanılmasını gerektirir;
- Doğru bir gradasyona sahip olan ve yeterince sıkıştırılan SSB'nin granüler iskeletinin sergilediği yüksek stabilite, SSB kaplamalarının inşa edildikten kısa bir süre sonra trafiğe açılmasına da imkân tanır. SSB'nin bu özelliği; halihazırda kullanımda olan üstyapı üzerine yapılan kaplamalar, afet durumlarında açılan acil tahliye yolları ve bazı askeri uygulamalar gibi çalışmalar açısından son derece faydalıdır.

Özet olarak SSB, hem geleneksel betonun gücü ve performansına, hem de asfalt ekipmanları tarafından uygulanabilme kolaylığına sahip bir malzemedir. Bu avantajlarla birlikte malzemenin uzun hizmet ömrü ve asgari düzeydeki bakım gereklilikleri de göz önüne alındığında, SSB kaplama düşük başlangıç maliyeti olan, ekonomik ve katma değer sağlayan bir seçenek olarak öne çıkmaktadır.

Türkiye: SSB kullanılarak inşa edilen bir kırsal yol
Fotograf: TÜRKÇİMENTO



OLASI KISITLAMALAR

SSB kaplamalarıyla ilgili bazı olası kısıtlamalar ve zorluklar da söz konusudur. Bunlar aşağıda sıralanmıştır:

- Elmas taşıma yapılmadan, yüksek hızlı trafik taşıyan kaplamalar için arzu edilen bir SSB profili ve düzgünlüğü elde etmek nispeten zordur;
- Bir transmikser veya betoniyerli kamyonla karıştırılabilecek SSB miktarı, SSB karışımının kuruluğu nedeniyle karıştırılabilecek geleneksel beton miktarından genelde daha düşüktür. Bu nedenle santrallerde karıştırılmış beton kullanılması tavsiye edilir;
- Sıkıştırma işleminden sonra asfalt sericiler tarafından tek bir tabakaya verilen maksimum kalınlık 25 cm'yi geçmemelidir. Bazı durumlarda havaalanları veya endüstriyel tesisler gibi yerlerde ihtiyaç duyulan daha kalın kaplamalar, birden fazla yatay tabaka kullanılarak inşa edilmelidir ve bu tabakalar arasında iyi bir bağ olmasını sağlamak için malzemenin hazırlanmasını izleyen bir saat içinde yerleştirilme

yapılmalıdır. Bu durum sericinin tek bir geçişiyle yapılamayan geniş kaplamalarda bitişik levhalar için de geçerlidir (soğuk derz uygulanması planlanmıyor ise). Bu süreler, geciktiriciler kullanılarak uzatılabilir;

- Kaplama kenarlarının sıkıştırılması daha zordur; bu nedenle çoğu şartname, iç kaplama bölümlerindeki soğuk derzlere, normalde uygulanan %98 Proctor yoğunluğu yerine %96 oranında modifiye Proctor yoğunluğu uygulanmasını şart koşabilir. Geçmiş deneyimler, düzgün bir şekilde hazırlanmış ve birleştirilmiş soğuk derzlerin çok iyi performans sergilediğini göstermiştir;
- Nispeten düşük su içeriği nedeniyle, sıcak havada SSB kaplama yapımı, buharlaşma kaynaklı su kaybını asgariye indirmek için ilave dikkat gösterilmesini ve tedbirler alınmasını gerektirir;
- SSB karışımının daha kuru olması nedeniyle, katkı maddeleriyle ilgili dozaj gereklilikleri SSB için geleneksel betona göre daha yüksek olabilir.

Bir benzin istasyonundaki SSB kaplama
Fotoğraf: CEMEX



SSB KARIŞIMININ TASARIMI

Ayrışmayı önlemek ve aynı zamanda karıştırma işlemini kolaylaştırıp yüzey düzgünlüğünü arttırmak amacıyla maksimum agrega boyutlarını 16/20 mm veya daha düşük boyutlar ile sınırlamaya yönelik genel bir eğilim olduğu gözlenmektedir. 75 mikronluk elekten geçen ince agrega miktarı genelde sınırlıdır. Normalde yeni sıkıştırılmış malzemelerde yeterli stabilite elde etmek için büyük bir oranda kırılmış malzeme kullanılır. Yeni sıkıştırılmış malzemeler, özellikle mümkün olan kısa sürede trafiğe açılması öngörülen kaplama çalışmaları açısından önemlidir.

Çimento içeriği, 28. veya 90. günde benzer basınç dayanımı gerekliliklerine sahip geleneksel betonlardaki çimento içeriğine göre biraz daha düşüktür. Çimento içeriği toplam kuru bileşen ağırlığının %10 ila %17'sini teşkil etmekte ve ağırlığı genellikle m³ başına 300 ± 30 kg aralığında değişmektedir. Çimento ve uçucu kül karışımları ile katkılı çimentolar sıkça kullanılır. Katkılı çimentolarda aktif katkı maddelerinin oranı bazen %50'yi aşabilmektedir. Bu çimentolar genellikle sıradan Portland çimentolarından daha ucuzdur ve sertleşme süreçleri belirgin ölçüde daha yavaştır. Bu nedenle bu tür çimentoyla yapılan inşaat çalışmaları nispeten daha kolaydır. Ayrıca uçucu kül kullanılması RCC'nin işlenebilirliğini artırır ve çatlama davranışını olumlu şekilde etkiler. Şiddetli kış koşullarının yaşandığı bölgelerde ise uçucu kül yerine ağırlık olarak bağlayıcı maddenin en fazla %10'u kadar silis dumanı tercih edilir.

Çimento stabilizasyonlu granüler malzemelerde ise su içeriği genellikle kuru bileşenlerin ağırlık olarak %4,5'i ila %6,5'i arasındadır. Su oranını belirlemek iki farklı yaklaşım izlenebilir. Bunlardan en yaygın olanı, zemin sıkıştırma yöntemleri olarak da adlandırılan ve aralarında modifiye Proctor testi ve titreşimli çekic yöntemleri de bulunan sıkıştırma yöntemleridir. Bu yöntemlerde numuneler sıkıştırılarak SSB'nin kuru birim ağırlığı ile nem içeriği arasındaki ilişki belirlenir ve farklı nem içeriği seviyelerinin etkileri tespit edilir. Optimum nem içeriği, nem-yoğunluk eğrisinin tepe noktası olarak tanımlanır.

Kıvam testlerinde ise (ör. modifiye Vebe kıvamölçer testlerinde) genellikle taze malzeme numunelerini hem titreşim hem de aşırı yüklenme etkisine maruz bırakarak, bu malzemelerin optimum işlenebilirlik seviyesi belirlenir. Katı süspansiyon modeli (parçacık paketleme modeli olarak da bilinir) veya optimum hamur hacmi yöntemi gibi diğer yöntemler de kullanılabilir.

Kullanılan hamur miktarı, tüm agrega parçacıklarının kaplanmasını ve kapalı bir yapı oluşturulmasını sağlayacak kadar yeterli olmalıdır. Ancak çok fazla hamur kullanılmasının çeşitli sorunlara yol açabileceği ve SSB'nin silindir tekerleğinin önünde bir tür "dalga" oluşturmaya neden olacağı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Bazı ülkelerde ise plastikleştiriciler ve priz geciktiriciler kullanılmıştır; özellikle priz geciktiriciler, bazı ülkelerde işlenebilirlik süresini (diğer bir deyişle, bağlayıcı maddenin henüz prizini almadığı için malzemenin iç yapısını bozmadan sıkıştırma yapılabilecek süreyi) uzatmak için sıklıkla kullanılmaktadır. Yeni sıkıştırılmış karışımın yüzeyine yayılabilen çeşitli katkı maddeleri de geliştirilmiştir.

KARIŞTIRMA VE UYGULAMA ALANINA TAŞIMA

SSB'ler için sürekli akışlı beton karma mikserleri, beton santralleri ve bazı durumlarda da tamburlu mikserler kullanılabilir. SSB'nin hazırlanışı konusunda genel eğilimin, karışıma ilave edilen çimentonun doğru bir şekilde kontrol edilebildiği mobil santrallere doğru yöneldiği görülmektedir. Bunun bir nedeni, bu tesislerin kolayca taşınıp çalışma sahasına kurulabilmesi ve nispeten büyük bir üretim/çıkış kapasitesine sahip olmalarıdır. Esas olarak çimento stabilizasyonlu malzemeleri karıştırmak üzere tasarlanmış bir santral kullanıldığında, SSB'nin gerektirdiği büyük miktarlarda çimentonun işlenebilmesi için bu makinelerde bazı değişikliklerin yapılmasına sık sık ihtiyaç duyulur. SSB'nin daha uzun karıştırma sürelerine ihtiyaç duyması nedeniyle (en az 60 saniye), beton santralleri

için üretim oranının bir miktar düşürülmesi gerekir. Ancak her halükarda, ayrışmayı önlemek için betonun santralden düşme yüksekliğini azaltmak gerekir.

Nakliye işlemi genellikle açık gövdeli ve damperli kamyonlar kullanılarak gerçekleştirilir. SSB'deki nem farklılıkları kritik öneme sahiptir. Bu nedenle kamyonlar, sıcak veya rüzgârlı günler gibi olumsuz çevre koşullarına karşı brandayla örtülmelidir.

SERME

Sıkıştırılmamış malzemenin serilmesi için greyderler, otogreyderler veya sericiler gibi çeşitli ekipmanlar kullanılmıştır (Şekil 7). Aynı zamanda beton karışımı yüksek düzeyde ön sıkıştırmaya tabi tutan, maksimum yoğunluğunu %90 modifiye Proctor düzeylerine kadar çıkaran sericiler kullanılmasına yönelik bir yönelim olduğu da görülmektedir. Genellikle bu amaç doğrultusunda çift tokmaklı sisteme sahip sericiler kullanılmaktadır.

Yüksek seviyede ön sıkıştırma yapılması yüzeyin düzgünlüğünü artırır, çünkü bu sayede silindirlerin üzerinden geçtiği malzemedeki deformasyonlar önceden azaltılmış olur. Diğer taraftan, greyderle serimde ise hem ön sıkıştırma açısından hem de yüzey düzgünlüğü açısından daha kötü sonuçlar ortaya çıkmakta ancak meskun mahaller gibi düzensiz bir yerleşim planına sahip alanlar içinse bu makineler kullanımı çoğu zaman zaruri olabilmektedir, ve en uygun ekipmandır.

Sericiler kullanırken, nihai asfalt kaplama yüzeyinde çıkıntı ve çöküntülerin oluşumunu engellemek için ekipmanların sabit hızda düzenli bir şekilde ilerlemesine müsaade edilmelidir.

Türkiye'de kırsal bir yolun yapımı
Fotoğraf: TÜRKÇİMENTO



SIKIŞTIRMA

SSB genellikle yüksek titreşimli silindirlerle sıkıştırılır. Çoğu zaman bu silindirler, lastik tekerlekli silindirlerle birlikte kullanılır. Titreşimli silindirlerde, ön silindirinin 1 santimetrelük doğrusal genişlik başına statik ağırlığının 30 kg'dan az olmaması tavsiye edilir. Lastik tekerlekli silindirde ise tekerlek başına düşen yük 3 ton veya daha fazla olmalı ve temas basıncı 0,8 MPa'dan az olmamalıdır. Yaygın olarak uygulanan bir silindir geçiş düzenine göre, taze malzemenin üzerinden iki statik geçiş (bir ileri, bir geri hareket) yapılarak malzemenin yerleşmesi sağlanır, bunun ardından da istenilen yoğunluk seviyesi elde edilene kadar birkaç titreşimli geçiş yapılır (genellikle dört veya daha fazla geçiş). Sıkıştırma işlemi daha sonra yüzey boşluklarını veya çatlakları kapatmak amacıyla lastik tekerlekli silindirin birkaç defa geçiş yapmasıyla tamamlanır. Kauçuk kaplı tambur, hem istenilen yoğunluğa ulaşıncaya kadar titreşimli geçişler yapmak için hem de bitirme işlemi için kullanılabilir. Bu tamburların avantajlarından birisi de iyi sürtünmeli bir yüzey sağlamalarıdır. Söz konusu silindir uygulamasında bazı varyasyonlar yapılabilir. Lastik tekerlekli silindirlerin mevcut olmadığı durumlarda, yüzey bitirme işlemi içindir bandajlı silindir ile birkaç nihai statik geçişi yapılabilir. Karma

silindirler (ön aksında yumuşak tambur, arka aksında is tekerlekler bulunan silindirler) kullanılarak da iyi sonuçlar elde edilmiştir.

SSB yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında kuvvetli bir ilişki olması sebebiyle yeterli sıkıştırmanın sağlanması son derece önemlidir. Ulaşılması gereken minimum yoğunluk değeri normalde önceden belirlenir. Bazı şartnameler, maksimum modifiye Proctor yoğunluğunun %97'sinden daha düşük olmayan bir ortalama yoğunluğu şart koşarken, SSB tabakasının altında ise bu yoğunluğun %95'ten az olmaması gerekir.

Birçok çalışmada sıkıştırma işleminin malzemeler karıştırıldıktan 60 ila 90 dakika sonra tamamlanması zorunludur. Fakat bu süreler yüksek katkı maddesine sahip çimentolarda veya geciktirici kullanıldığı hallerde daha uzun olabilir.

Bazı durumlarda sanayi tesisleri için kalınlığı 60 cm'ye kadar çıkabilen kalın kaplamalara ihtiyaç duyulur. Toplam kalınlığın 25 cm'yi aştığı durumlarda SSB kaplamalar birden fazla tabakadan oluşacak şekilde inşa edilir ve her tabakanın yeterince sıkıştırılması

Yoğunluk ölçümü
Fotoğraf: TÜRKÇİMENTO



sağlanır. Bu gibi durumlarda tabakalar arasında yeterli bağın oluşturulması esastır. Bunu sağlamak için bir üst tabakanın yerleştirileceği zaman aralığı, üzerine konulacağı alt tabakanın işlenebilirlik süresiyle sınırlı tutulmalıdır. Ayrıca iyi bir bağ için alt tabakanın yüzeyi ıslak tutulmalıdır.

YÜZEY BİTİRME İŞLEMİ

SSB'nin yüzeyi normalde sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra olduğu gibi bırakılır ve "doğal SSB sonlandırma" olarak da adlandırılan bir yaklaşıma göre herhangi bir sonlandırma işlemine tabi olmadan kullanılmaya başlanır. Bununla birlikte bazı yeni gelişmeler/yöntemler, taze betonun malalanması, fırçalanması ve işlenmesi ya da sertleştirilmiş beton yüzeyinin elmas taşlama gibi geleneksel beton yüzeyler için iyi bilinen diğer bitirme yöntemlerinin uygulanmasını öngörür. (Daha fazla bilgi için "özel uygulamalar ve yeni gelişmeler" bölümüne bakınız).

KÜRLEME VE YÜZEY KORUMA

SSB karışımlarının düşük su içeriği, etkili kürleme yöntemlerinin uygulanmasını daha da önemli kılmaktadır. Kürleme işlemine, sıkıştırma işlemi tamamlandıktan sonra en kısa sürede başlanmalıdır. Eğer SSB'nin üzeri açık bırakılacak ise, genellikle bir hafta boyunca su kürü yapılır. İşlem için kürleme bileşikler veya bitümlü emülsiyonlar kullanılır. Bitümlü emülsiyonlar, SSB'nin üzerine bir asfalt beton tabakası veya bir sathi kaplama yerleştirileceği durumlarda uygulanır. Emülsiyonun üstünden araçların geçmesine müsaade ediliyor ise, emülsiyon talaş veya kumla korunmalıdır.

Letonya: Bir sanayi bölgesinde SSB ile kaplanmış bir sokak
Fotoğraf: CEMEX



DERZLER

SSB kaplamalarında derz uygulamaları, son dönemde artan bir eğilim göstermektedir. Enine derzler, büyük ölçüde iklim koşullarına ve RCC'nin mukavemet kazanmasına bağlı olan ve birkaç saat ila birkaç gün arasında değişebilen bir sürenin geçmesinin ardından kesilir. Taze betonda oluşturulan derzler, sadece SSB'nin üstüne bitümlü bir aşınma tabakası yerleştirildiğinde kullanılmaktadır. Bu durumda derz aralığı kısa tutulur ve bu sayede yansıma çatlaklarından kaçınılmaya çalışılır.

Boyuna ve enine derz kenarlarının mümkün olduğunca dik bırakılması zorunludur. Aksi takdirde bitişik levhaların kenarları, yüksek sıcaklık artışları nedeniyle kabarmabilir. Bu dikeyliği sağlamak için çeşitli yöntemler izlenebilir.

Çoğu durumlarda SSB kaplamalarındaki derzler açık bırakılır. SSB'ler üzerinde sızdırmazlık ürünleri kullanıldığında ve ilgili prosedürler uygulandığında, geleneksel beton kaplamalar için geçerli olan aynı şartnameler izlenmelidir.

Polonya: Kağıt fabrikası çıkışı - SSB yüzey görünüşü



Fotoğraflar: CEMEX

Polonya: kırsal yolu yapımı - derzlerin derz kesme makinesiyle kesimi



PAZAR-ÖRNEKLER

Amerika Birleşik Devletleri

Amerika Birleşik Devletleri, SSB kaplama uygulamalarının her yıl kaplama yapılan alan, uygulama türleri ve yıllık proje sayısı bakımından oldukça artış görülen ülkelerden biridir. 2011-2013 yılları arasında tamamlanan işlerin sayısı (172), 2000 ile 2010 arasında yapılanların iki katıdır (99). Yıllık kaplama yapılan ortalama yüzey alanı 2000-2010 yılları arasında 750.000 m²'den 2011-2015 yılları arasında 1.400.000 m²'ye yükselmiştir. Endüstriyel alanlar en fazla uygulandıkları alanların başında gelir, ancak karayolları ve bazı yüksek hızlı yollarda da yüzey düzgünlüğü ve kayma direncini görülen iyileşmeler sayesinde özelliklerinde sağlanan ilerlemeler sayesinde kullanımı giderek artmaktadır. Yaklaşık olarak son yıllarda özel ve kamuya ait projeler arasındaki oran sırasıyla 3'e 1 düzeylerinde gerçekleşmiştir.

Otoyollar ve diğer yüksek hızlı yollar için teme tabakası

Yukarıda da işaret edildiği üzere SSB, çimento stabilizasyonlu malzemeler olarak da adlandırılan çimento ile işlenmiş malzemelerle karıştırılmamalıdır. Kaplama uygulamaları kapsamında "Silindirle Sıkıştırılmış Betonlar" ismi, sadece yapısal amaçlı kullanılan geleneksel betonların basınç dayanımı aralığına benzer basınç dayanım değerlerine sahip malzemeler için kullanılmalıdır. Ayrıca ilgili yol yapısının tüm tasarım süreci boyunca sadece bu kaplamaların çok sayıda ağır araç tarafından (kamyonlar, konteyner taşıyıcıları, vs.) kullanılmasına izin verilmelidir.

Bununla birlikte yüzeyin düzgünlüğü ve/veya kayma direnci gibi özelliklerin ön plana çıktığı yerlerde (örneğin yüksek hızlı yol yapılarında), SSB kaplamalarının üzerinde birkaç santim kalınlığında asfalt betonundan oluşan aşınma tabakası kullanılmış, bu sayede de otoyollar ve karayollarının yüzey düzgünlüğü iyileştirilerek yeterli bir düzeye getirilmiştir. Bu gibi durumlarda SSB derz ve çatlaklarının üst yüzeye yansıtılmasından kaçınılmalıdır. Çimento stabilizasyonlu temellerde kullanılan prosedürler burada da kullanılmıştır.

Örneğin; taze beton üzerinde 3 m veya daha az mesafede derz bırakılması gibi yöntemler SSB için de kullanılmaktadır. Ancak bu son yöntemin yüksek ön sıkıştırma sağlayan asfalt sericiler kullanıldığında uygulanabilirliği pek mümkün olamamakta taze beton üzerine derz uygulaması yerine sertleşme sonrası mümkün olan en kısa sürede testereler ile derzlerin kesilmesi gerekmektedir.

Özetle, asfalt aşınma tabakası pürüzsüzlüğü ve kayma direncini arttırdığı gibi, son aşamada, yol uygulaması için SSB yüklenicisi üzerindeki sorumluluğu da azaltmaktadır. Bununla birlikte, bu tabaka beraberinde yüksek bir maliyet ve daha uzun bir inşaat süresi getirmektedir. Ayrıca bir asfalt yüzey, düzgün bir şekilde inşa edilmiş bir SSB kaplamadan daha fazla bakım gerektirir.

Düşük hacimli kırsal yollar ve şehir içi sokaklar

SSB kaplama uygulamalarına ilişkin ilk modern örnekler 1970'li yıllarda İspanya'nın düşük hacimli yol ve sokaklarında ortaya çıkmıştır. O zamandan beri bu kaplamaların genel olarak gayet tatmin edici bir performans sergilediklerini söylemek mümkündür. İlk başlarda, kendi kendilerine öğrendikleri yöntemleri uygulayan küçük ölçekli yerel müteahhitler tarafından inşa edilmişlerdir. SSB kaplamalar yaygın olarak bulunan ve başka amaçlar için de kullanılması mümkün olan ekipmanlarla inşa edildiği dikkate alındığında, bu noktalar SSB'nin öğrenilmesi ve ustalaşılması kolay bir teknik olduğunu göstermektedir. Ayrıca yapımı kolay olan bu kaplama, düşük işçilik gereksinimleri ve yüksek üretim oranlarıyla birlikte ele alındığında, diğer seçeneklere göre önemli tasarruflar sağlamaktadır.

Polonya: kırsal yol yapımı

Fotoğraf: CEMEX



Burada değinilmesi gereken bir diğer husus ise düşük hacimli asfalt kaplamaların 3-6 yıl kullanıldıktan sonra, özellikle kerestecilikle ilgili faaliyetlerin yürütüldüğü ortamlarda ciddi bir bozulmaya maruz kaldıkları konusudur. Tüm kaplamalar yerel müteahhitler tarafından inşa edilmiştir ve kalınlıkları 15 ile 18 cm arasındadır. SSB, hazır beton santrallerinde üretilmiştir ve tüm bileşenleri ağırlık açısından kontrol edilmiştir. Bazı durumlarda SSB, priz geciktiricilerin kullanımı sayesinde hazır beton tesisinden 80 km'ye kadar başarıyla taşınmıştır. Günlük maksimum üretim, 720 m uzunluğundaki bir yapı oluşturmak için 10 saatte 430 m³'e kadar ulaşmıştır. Azaltılmış kalınlığı ve mevcut kaplama tarafından sağlanan güçlü bir desteğin birleşimi, olağanüstü yoğunluk ve basınç dayanım değerlerinin elde edilmesine imkân tanımıştır. Kaplamalar birkaç yıl boyunca hizmet ettikten sonra alınan bazı karotlarda 6,2 MPa'a kadar varan yarma dayanımı değerleri elde edilmiştir.

Endüstriyel ve lojistik tesisler

İngiltere, Polonya, Letonya ve İspanya gibi Avrupa ülkelerinde, piyasadaki asfalt kaplama ekipmanlarının yaygınlığından faydalanılarak SSB'nin yeniden uygulamaya konmasına yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. SSB'nin belki de en yaygın kullanım bulunduğu alan, SSB'nin bitirme işlemi yapılmadığı "doğal" yüzeyi ile uygulandığı endüstriyel ve lojistik tesislerdir. İngiltere'de yakın zaman önce yüzbinlerce metrekareye yayılan büyük lojistik alanlar inşa edildi.

Ayrıca son birkaç yılda içerisinde; tali yolları, endüstriyel açıdan yoğun trafiğe tabi olan geçit ve yolları, benzin istasyonlarını, büyük otoparkları, depolama alanlarını ve yerel-kırsal yolları içeren binlerce m²'lik SSB'nin inşasını kapsayan önemli sayıda proje yürütülmüştür. SSB uygulaması bir nevi yeniden doğuş sürecinden geçmesine rağmen, uygulama kapsamında 80-90'lı yıllarda İspanya'nın kuzeyinde gerçekleştirilen kırsal yollar gibi bu kaplama çözümünün dayanıklılığına işaret eden çok sayıda örnek olduğu söylemek mümkündür. Nitekim bu yollar, 30 yıldır kullanılmalarına rağmen çok iyi servis veren durumda olmaya devam etmektedir.

Letonya: Sanayi bölgesinde SSB ile kaplanmış bir sokak

Fotoğraf: CEMEX



SSB ayrıca sadece kentsel alanlarda değil, endüstriyel alanlarda da yol ve sokaklardaki asfalt aşınma tabakasının temel tabakası olarak kullanılmaktadır.

İspanya - Vizcaya: 1991 yılında inşa edilen kırsal yol, 28 yıldır kullanılmasına rağmen iyi durumdadır
Fotoğraf: CEMEX





Türkiye: SSB'den yapılmış kırsal yol
Fotoğraf: TÜRKÇİMENTO

Türkiye'de pazarın gelişimi

Türkiye 2009 yılından beri kentsel alanlardaki yollar için SSB kullanmaya başlamıştır. Bu konuyla ilgili ilk pilot proje Antalya Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirildi. Söz konusu proje, "Ecolanes" ismi altında AB 6. Çerçeve projesi tarafından desteklenmiştir. Projenin temel amacı, çelik tel takviyeli betonu geliştirmek, test etmek ve onaylamaktır. Ecolanes; inşaat maliyetlerini, inşaat süresini ve enerji tüketimini azaltmak için silindirle sıkıştırma tekniklerinin yanı sıra geri dönüştürülmüş malzemelerin kullanılmasını amaçlamıştır. Bu amaç doğrultusunda, kullanılmış lastiklerin geri dönüştürülmüş çelik lifleri kullanılmıştır.

Türkiye'deki ilk büyük ölçekli SSB uygulaması ise Denizli Büyükşehir Belediyesi tarafından gerçekleştirildi. Yoğun trafik akışı olan arter yollarda, temel tabakası olarak SSB ve üzerindealt aşınma tabakası kullanılmıştır. SSB ile kaplama yapılan yol miktarının yaklaşık 500.000 m2 olduğu tahmin edilmektedir. İlerleyen zamanlarda SSB kaplamalı yollar; ilk maliyetlerinin düşük olması, kısa sürede hizmete girebilmeleri ve inşaat hızı gibi bazı avantajlar nedeniyle özellikle kırsal yollar için önemli bir tercih haline geldi. Günümüzde ise (2019), SSB kaplamaların uygulanmış olduğu şehir sayısı 25'in üzerindedir ve SSB kaplamalı yolların toplam uzunluğu yaklaşık 1000 km'ye ulaşmıştır.

ÖZEL UYGULAMALAR VE YENİ GELİŞMELER

Yüzeyin elmas taşlaması

SSB kaplamalarının yüzey düzgünlüğü, özellikle malzemeyi yaymak için yüksek sıkıştırma gücüne sahip olmayan sericiler kullanıldığında anayol uygulamaları açısından yeterli olmayabilir. Bu nedenle gerekli yoğunluğu elde etmek için yol silindirinin birkaç geçiş yapması gerekebilir. Elmas taşlama hem düzgünlüğü hem de kayma direncini arttırmak için kullanılabilir. Ek olarak, silindir gürültüsü azalır. Buna karşın, toplam inşaat süresini ve maliyeti artırır.

Yüzeyin mastarlanması ve fırçalanması

Tıpkı asfalt kaplamalarda olduğu gibi, SSB'nin silindirle sıkıştırma işleminden sonra ortaya çıkan yüzey dokusu (ki bu yüzeyin rengi geleneksel betonun rengine daha yakındır) saatte 60 km'den yüksek hızlarla hareket eden araçlar için uygun değildir. SSB yüzey betonunun işlenebilirliğini veya kaymayı önleyici özelliklerini arttırmak için çeşitli katkıları mevcuttur. Ayrıca tıpkı geleneksel betondaki gibi mastarlama, süpürme ya da

tırmıklama işlemleri de yapılabilir. Mastarlama yüzeyi kısmen kapatabilir ve nem kayıplarını azaltabilir. Hem süpürme hem de tırmıklama işlemi, kayma direncini artırır.

çelik teller dahil etmektir. Bununla ilgili birkaç test yapılmış ve SSB karıştırılırken tellerin SSB'nin içinde yeterince dağıtılmasının mümkün olduğu kanıtlanmıştır. Ayrıca performansları tatmin edici düzeyde olmuştur.

Çelik tel takviyeli SSB

Belirtilen yoğunluk seviyesi, ince SSB tabakaları kullanılarak daha kolay elde edilebilir. Kalınlığı azaltmanın bir yöntemi, hem eğilme mukavemetini arttırmak hem de çatlağı kontrol etmek için malzemeye

SONUÇ

Silindirle sıkıştırılmış beton kaplamalar düşük hızlı uygulamalar için uygun bir yöntem olarak değerlendirilebilir. Bu kaplamalar, özellikle geleneksel beton kaplamaların gerektirdiği özel inşaat ekipmanlarının mevcut olmadığı durumlarda inşaat maliyetleri açısından dikkate değer bir tasarruf sağlayabilir. Ayrıca her ne kadar düzgünlük standartları yüzeyde genellikle elmas taşlama işlemi veya bir asfalt aşınma tabakasının yapılmasını gerektirse de SSB, otoyollar ve devlet ve il yolları için de ekonomik bir alternatif sunmaktadır. Silindirlerin geçişini azaltan, hatta silindir kullanılmasını gerektirmeyen, yüksek düzeyde ön-sıkıştırma yapabilen sericilerle ilgili yeni gelişmeler sayesinde kaplamanın sürüş özelliklerinin daha da iyileşeceği ve bunun da bir sonucu olarak SSB çözümlerinin giderek daha da yaygınlaşacağı öngörülmektedir.

KAYNAKLAR

PIARC Raporu 07.05.B - **Yollar için silindirle sıkıştırılmış beton kullanımı**

ERMCO - <http://www.eupave.eu/documents/technical-information/inventory-of-documents/inventory-of-documents/ermco/ermco-guide-rcc.pdf>

<http://rccpavementcouncil.org>

Yaman I. O., Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye; Un H., Pamukkale Üniversitesi, Türkiye; Haldenbilen N., Modern Beton, Denizli, Türkiye; Turlu N., Denizli Belediyesi, Denizli, Türkiye.

Kentsel ortam için silindirle sıkıştırılmış beton kaplamalar: Türkiye'nin Deneyimi.

12. Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu, Prag, Çek Cumhuriyeti, 2014'de sunulmuş Makale

Zollinger, C. : **"ABD'de kaplama yapımı için silindirle sıkıştırılmış betona ilişkin son gelişmeler ve kullanım alanları"**. Bildiriler, 13. Uluslararası Beton Yollar Sempozyumu, Berlin (Almanya), 19 - 22 Haziran 2018.



İngiltere'de bir SSB yolun yapımı
Fotograf: CEMEX

Bu broşür, EUPAVE izni ile TÜRKÇİMENTO (Türkiye Çimento Sanayicileri Birliği) tarafından Türkçeye çevrilmiştir.