



60.^{yıl}
1957-2017

CARİ AÇIĞIN İLACI SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLAR

TÜRKiYE ÇiMENTO MÜSTAHSiLLERi BİRLİĞi
Ekim 2017

CARİ AÇIĞIN İLACI SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLAR

- Ülkemizin dünyada hızlı gelişen konumunun yanında sosyoekonomik kalkınmamız açısından yüksek önem taşıyan 2023 ve 2030 ulaşım hedeflerimize ulaşmak için daha uzun ömürlü ve daha az bakım gerektiren yolların yapımına ihtiyaç duymaktayız.
- Ülkemizde karayollarının yük taşımacılığındaki payı %92, yolcu taşımacılığındaki payı ise %95'tir [1]. Yük taşımacılığının yüzde 95'i, yolcu taşımacılığının yüzde 92'si karayollarında yapılmaktadır. Kapasitesinin çok üzerinde yük taşıyan araçlar, yolların zamanından önce yıpranmasına ve onarım masraflarının artmasına neden olmaktadır. Standartlara uygun yapılmadığı için trafik yoğunluğu ve doğa koşullarının da etkisiyle kısa sürede yıpranan yollarımız nedeniyle Karayolları Genel Müdürlüğü asfalttan yapılan yollara, köprülerle birlikte her yıl yaklaşık 1.3 milyar TL bakım onarım masrafı yaparken elde ettiği gelir bu rakamın çok altında kalmaktadır.
- 2017 itibariyle yaklaşık 2155 km otoyol, 19790 km devlet yolu, 1499 km bölünmüş il yolu olmak üzere toplam 66 774 km'lik bir karayolu ağı şebekesi bulunmaktadır. Bu yolların yaklaşık %63'ü asfalt sathi kaplama, %31.1'i BSK olarak kaplanmış olup geri kalanı stabilize veya toprak yoldur[2]. Yaklaşık 300.000 km uzunluğundaki köy yollarımızın ise %30'u asfalt sathi kaplama olarak kaplanmış olup geri kalanı stabilize veya toprak yoldur [3].
- Son on yılda Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nin (TÇMB) gayretleriyle başlatılan ve yalnızca birkaç ilde yapılan beton yol uygulamaları oldukça sınırlı kalmış ve bir alternatif olarak beton yolların gelişmesi mümkün olamamıştır.
- 2004 yılından bu yana KGM'ye bağlı yol ağında toplam 8.1 km beton yol uygulaması denemesi yapılmıştır[4]. Yani yol ağımızın sadece on binde biri beton yollardan oluşmaktadır.
- Ülkemiz yollarındaki ağır taşıt oranının Avrupa'ya göre yaklaşık dört kat daha fazla olduğu belirtilmekte [10] ve istihaphadlerinin oldukça üzerinde yük taşıdıkları bilinmektedir. **Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) 2007-2011 yıllarına ait stratejik planına [6] göre KGM'nin GZFT (Güçlü Yanlar, Zayıf Yanlar, Fırsatlar, Tehditler) analizi yapıldığında en önemli tehditlerden biri "petrol ve petrol ürünlerinin fiyatlarının artması ile yapım, bakım ve işletme masraflarının artması" olarak belirlenmiştir.** Nitekim 2. Karayolu Ulusal Kongresi sunumlarında, Karayolları 7. Bölge Müdürlüğü sınırları içerisinde kalan BSK'lı yolların performans değerlendirmesi yapılmış ve çok çarpıcı bir şekilde 7. Bölge BSK'lı yol ağının sadece %25.4'lük bir bölümünde yolların iyi durumda olduğu saptanmış, %23.6'lık bir bölümünde ise hemen iyileştirme çalışmalarına başlanması gerektiği belirtilmiştir [7]. **Esnek kaplamaların oldukça yaygın olduğu ülkemizde ağır taşıt trafiği altında böylesi saptamalar aslında hiç şaşırtıcı değildir.**

- Yol ağımızın onbinde birini oluşturan beton yolların hizmet ömrü alternatif yollarla karşılaştırıldığında 2-3 kat daha uzundur. Hizmet süresi olarak kıyaslama yapıldığında asfalt yolların ömrü en fazla 7-10 yıl arasında değişirken beton yolların ömrü 15-40 yıl gibi bir rakama ulaşmaktadır(Şekil 1). Yani ülkemiz koşullarında değerlendirilecek olursa daha fazla beton yol demek, dayanıklı ve uzun ömürlü %100 Yerli ve %100 Milli beton yollarla cari açığımızın azalması ve sosyoekonomik kalkınma açısından da güçlü bir altyapı oluşturulması demektir.
- **Beton yolların dayanıklı ve uzun ömürlü performansından, yola serilmesi ve sıkıştırılması esnasında esnek üstyapı yapımına benzer teknikler kullanılarak faydalanılmasını sağlayan Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yol uygulamaları son yıllarda Samsun, Kocaeli, Denizli ve Tekirdağ illerinde yerel yönetimler tarafından tercih edilmeye başlanmış ve şehiriçi yol üstyapısında kullanılmaya başlanmıştır (Tablo 1).**

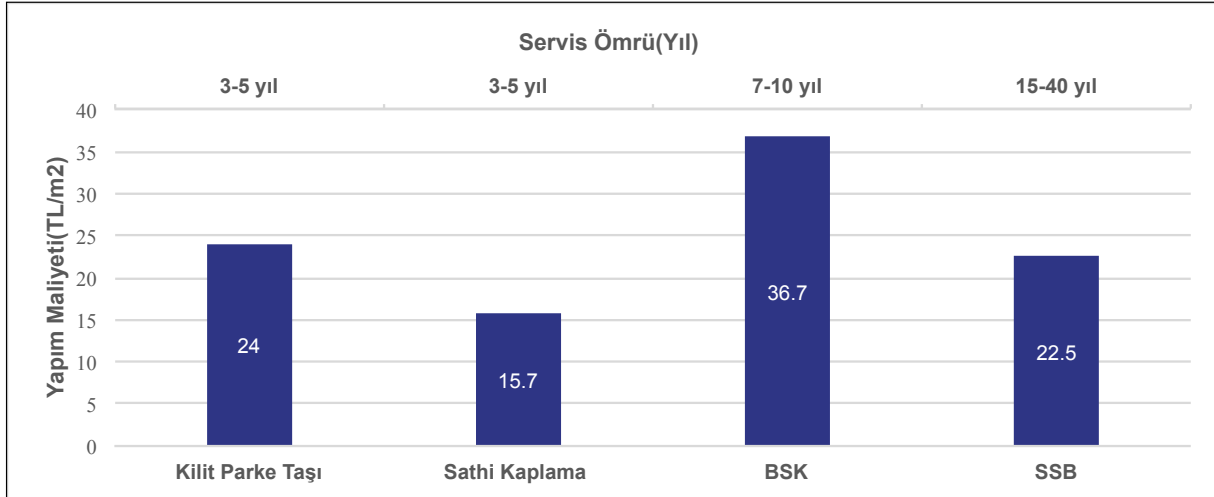
Tablo 1: Türkiye’de silindirle sıkıştırılmış beton yol uygulamaları

Uygulama Yılı	Uygulama Tipi	Şehir	Beton Yol Uygulaması
2009	Çelik Lifli SSB	Antalya	150 m
2011	Çelik Lifli SSB	Denizli	500.000 m ²
2014	SSB	Samsun	190 km
2014	SSB	Kocaeli	2.5 km
2016	SSB	Tekirdağ	34 km

- Yapımında asfalt sericiler ve silindirler gibi asfalt ekipmanları kullanılarak derzsiz ve donatısız olarak inşa edilebilen SSB yollar ağır taşıtlar dolayısıyla ağır yükler için ideal bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Daha az çimento kullanılarak hızlı ve ekonomik bir biçimde inşa edilebilmesi SSB yolların pek çok ülkede artan bir şekilde kullanılmasını sağlamıştır. Birçok yurtdışı uygulamada SSB yolların alternatiflerinden daha ekonomik olduğu görülmüştür[8]. Türkiye’deki Samsun, Kocaeli ve Denizli Belediyeleri SSB uygulamalarında da aynı durum gözlenmiştir[9]. Son olarak 2016 yılında bitüm fiyatlarındaki artış Tekirdağ Belediyesi’ni SSB yolları tercih etmeye yöneltmiştir. SSB’nin Şubat 2017 güncel malzeme fiyatlarına göre %37 daha ekonomik olduğu görülmüştür [9] (Tablo 2 ve Şekil 1).

Tablo 2: 2016 AC50/70 ve MC-30 bitüm fiyatı değişimi

Bitüm Sınıfı	Fiyat (TL/ton) 8 Ocak 2016	Fiyat (TL/ton) 27 Temmuz 2017	Değişim (%)
AC 50/70	335.32	1122.11	234.64
MC 30	1504.12	2524.02	67.81

Şekil 1: SSB yollar, kilit parke taşı, BSK yolların ilk yapım maliyetlerinin ve servis ömürlerinin karşılaştırılması [9]

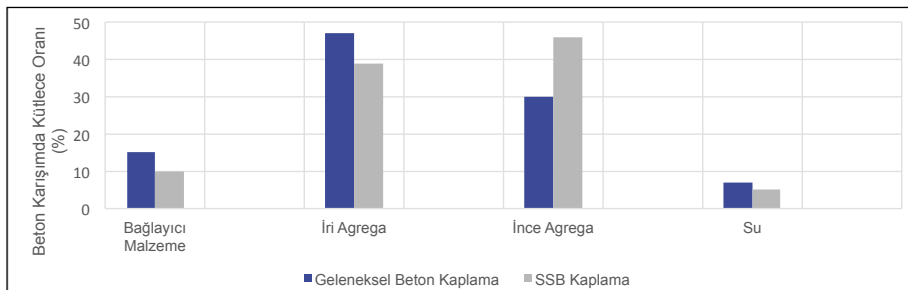
- Önceleri baraj yapımında kullanılan SSB bilinen beton malzemeleriyle üretilen sıfır slampli bir betondur. Geleneksel beton kaplamalara göre çok daha düşük su/çimento içeriği olduğundan asfalt finişeri ile serilmekte ve vibrasyonlu çelik tambur ve lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırılarak yüzeyin son hali verilmektedir (Şekil 2).
- SSB karışımı geleneksel betonda kullanılan aynı malzemelerin farklı oranlarda birleştirilmesiyle yapılmaktadır. Tablo 2 ve Şekil 2 SSB karışımıyla geleneksel betonun farklılıklarını ve karışım özelliklerini değerlendirmektedir. SSB karışımlar daha az hamur içerdiğinden rötre çatlakları oluşmamaktadır. Geçirgenliğin az olması nedeniyle hava sürükleyici katkı kullanılmadığında dahi donma-çözülme koşullarına ve kimyasal etkilere karşı dayanıklı olduğu görülmüştür.

Şekil 2: Silindirle sıkıştırılmış beton yol teknolojisi [10]

Geleneksel Beton Yol	Asfalt Yol
<u>Müşterek Malzeme Özellikleri</u>	<u>Müşterek Yapım Özellikleri</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Aynı malzemelerle farklı karışım oranlar • Benzer kür gereklilikleri 	<ul style="list-style-type: none"> • Benzer agrega gradasyonu • Benzer yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri
Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol	
	

- SSB karışımlar ağır tekil darbe yüklerine karşı koyabilecek yüksek eğilme, basınç ve kesme dayanımlarına sahip olacak şekilde tasarlanabilmektedir. Bu nedenle diğer rijit kaplamalarda olduğu gibi tekerlek izi oluşturmaz.
- SSB kaplamaların geleneksel beton yollara göre sağladığı bir diğer avantaj ise düşük hızlı olmak üzere hafif taşıt trafiğine yol imalatı tamamlandıktan kısa bir süre sonra açılabilmesidir.
- SSB kaplamalarda güneş yansıma indeksi (SRI), Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik (LEED) Kredisi 7.1: «Isı Adası Etkisi» için gereken minimum 29 puandan daha yüksektir [10].
- SSB kaplamalar düşük yaşam döngüsü maliyetleri göz önüne alındığında yeni yapılan yollarda ve mevcut yolların onarımında değerlendirilmek için oldukça yüksek bir potansiyel taşımaktadır. Uzun ömürlü ve servis sırasında daha az bakım gerektirmeleri SSB yolların alternatifleri karşısında şüphesiz en önemli avantajlarıdır. SSB yollar Şekil 1'den de görülebileceği üzere asfalt yollara göre yaklaşık 2-3 kat daha uzun ömürlüdür. Asfalt yollar gibi sık sık yama ve onarım gerektirmez.
- Beton yolların yüzey konforundan endişe eden kullanıcılar, şehir içi uygulamalarda SSB üzerine ince bir asfalt aşınma tabakası yaparak kullanabilirler. Bu sayede asfalt aşınma tabakası yolun trafik gürültüsünü azaltarak kızaklama direncini arttıracaktır. SSB temel ise ağır trafik yükleri ve zorlayıcı iklim koşulları altında aşınmayarak yolun servis ömrünü uzatacak ve bakım gereksinimlerini azaltacaktır. Bu nedenle Avrupa'da SSB temeller üzerine ince asfalt aşınma tabakasıyla SSB'nin yollarda daha fazla değerlendirilmesi yönünde birtakım öneriler mevcuttur. Ülkemizde Denizli Belediyesi ve Tekirdağ Belediyesi SSB'yi bu şekilde uygulamaktadır.

Şekil 3: Geleneksel beton ve SSB yol için beton karışım oranlarının karşılaştırılması [4]



Tablo 3: Geleneksel beton ve SSB yolların karşılaştırılması

KAPLAMA TİPİ		
Malzemeler ve Uygulamalar	Geleneksel Beton Yollar	Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar
Malzeme Karışım Oranları	İyi gradasyonlu iri ve ince agregalar genellikle karışım hacminin % 60 ila %75'ini oluşturur. Çimento hamurunun agrega tanelerini bir araya getirecek ve taneler arasındaki boşlukları dolduracak kadar ıslak olmasını sağlayan tipik su / çimento oranı 0.40 ila 0.45'tir.	Yoğun ve iyi gradasyonlu iri ve ince agregalar genellikle hacimsel olarak SSB karışımlarının % 75 ila %85'ini oluşturur. SSB karışımları yüksek dozda ince agrega, düşük çimento ve su içerikleri nedeniyle geleneksel betondan daha kurudur.
İşlenebilirlik	Karışım plastik ve akışkandır, bu nedenle özel beton yol sericileri ile işlenebilir. Beton serici tarafından sıkıştırılıp çıktıktan sonra şeklini koruyabilecek kıvamda (çökme değeri ~5 cm) olmalıdır.	Karışım nemli ve yoğun bir agrega gradasyonundan oluşmaktadır. Dolayısıyla, SSB karışımı nispeten kuru ve rijittir.(Sıfır çökme değerindeki bir betondan daha rijit) Dolayısıyla karışım geleneksel beton yol sericileri ile şekil verilebilecek kadar akışkan değildir.
Kaplama Yapılması	Karışım, betonu titreşim aracılığıyla yayan, seviyelendiren, sıkıştıran ve çıkaran bir kayar kalıp sericinin önüne dökülmektedir.	SSB karışımı ağır bir iş makinesi olan kendinden tahrikli asfalt kaplama sericisi ile serme işleminde tabaka kalınlığının kontrolü için yüksek ağırlıktaki tek veya çift master yardımıyla yerleştirilir. Bu tip sericiler, özellikle kalın kaplama uygulamalarında yüksek kaliteli yerleştirme için gereklidir. Herhangi bir kalıp gerekli değildir. SSB genellikle minimum 15 ile 20 cm'lik maksimum ise 25 cm'lik tabakalar halinde yerleştirilir.
Sıkıştırma	Sıkıştırma işlemi içsel olarak meydana gelir. Başlangıçta, sericilerdeki daldırma ve yüzey tipi vibratörleri taze betonu akışkanlaştırır ve sıkışmış havanın çıkmasını sağlar. Beton sericiden sıkıştırılıp çıkmasının ardından, priz başlamadan önce katıların (çimento ve agrega) çökmesi ve suyun yüzeye yukarı doğru hareketi (terleme) aracılığıyla ilave bir sıkışma meydana gelir.	SSB'de esas sıkıştırma işlemi betonun silindirlerle dışardan sıkıştırılmasıyla, genellikle beton karıştırma işleminden sonraki ilk 60 dakika içerisinde beton sertleşmeye başlamadan önce gerçekleştirilir.

Tablo 3: Geleneksel beton ve SSB yolların karşılaştırılması

KAPLAMA TİPİ		
Malzemeler ve Uygulamalar	Geleneksel Beton Yollar	Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar
Yüzey Düzeltme	Beton yüzeyinin düzeltilmesi, beton priz almaya başlamadan önce gerçekleştirilir. Geleneksel beton yolda araç ile yol arasındaki sürtünmeyi artırmak için genellikle mekanik olarak yüzey pürüzlendirme işlemi yapılır.	SSB yol yüzeyi tipik bir asfalt yol gibi açık yüzeyli olmasına rağmen, daha küçük agregaların kullanılması ve/veya çimento ilavesi ile daha yoğun bir yüzey (geleneksel betona yakın) elde edilebilir. SSB yol yüzeyi elmas taşılama yöntemiyle de şekillendirilebilir.
Hidratasyon	Beton karışımının uygun hidrasyonu yol betonunun uzun süreli dayanıklılığı için oldukça önemlidir. Hidrasyona yardımcı olması için betonun bakımı önemli bir gereksinimdir.	
Kür İşlemi	Yüzey düzeltme işleminden sonra kusursuz bir kür işlemi gereklidir. Betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidrasyonunu mümkün kılabilmek için beton yüzeyinden suyun buharlaşmasının kontrol edilmesi önemlidir.	Silindirlerle sıkıştırma işleminden sonra kusursuz bir kür işlemi gereklidir. Betonun sertleşmesini ve dayanım kazanmasını sağlayan çimentonun hidrasyonunu mümkün kılabilmek için beton yüzeyinden suyun buharlaşmasının kontrol edilmesi önemlidir.
Çatlama, yük transferi, ve güçlendirme	Geleneksel derzli beton kaplamalarda çatlakların yeri sonradan kesilen derzlerle kontrol edilir. En az 20 cm veya daha kalın kaplamalarda yük transferi içinse bu derzlerdeki kayma donatıları ile agregaların birbirine kenetlenmesine yardımcı olan boyuna çubuk donatılar kullanılır. Sürekli donatılı beton yol kaplamalarda ise daha kısa aralıklarla doğal olarak oluşan çatlakların oluşmasına izin verilerek yük aktarımında agregaların birbirine kenetlenmesine çelik donatı yardımcı olur.	Endüstriyel uygulamalarda SSB yol derzleri genellikle kesilmez. Bu gibi kesme işleminin istenmediği durumlarda 4,5 ile 9 m aralığında rastgele oluşan dar çatlaklar ve agregaların birbirine kenetlenmesi aracılığıyla yük transferi sağlanır. Araba ve kamyon trafiği uygulamalarında ise rastgele beton çatlakların kontrolü için kesme işlemi istenir. SSB yollarda geleneksel beton yollara göre daha az derz kesilir. Enine derzler 4,5 ile 9 m aralıklarda yerleştirilir. SSB yollardaki sıkıştırma yönteminden dolayı derzlerde kayma donatısı yerleştirmek mümkün değildir.

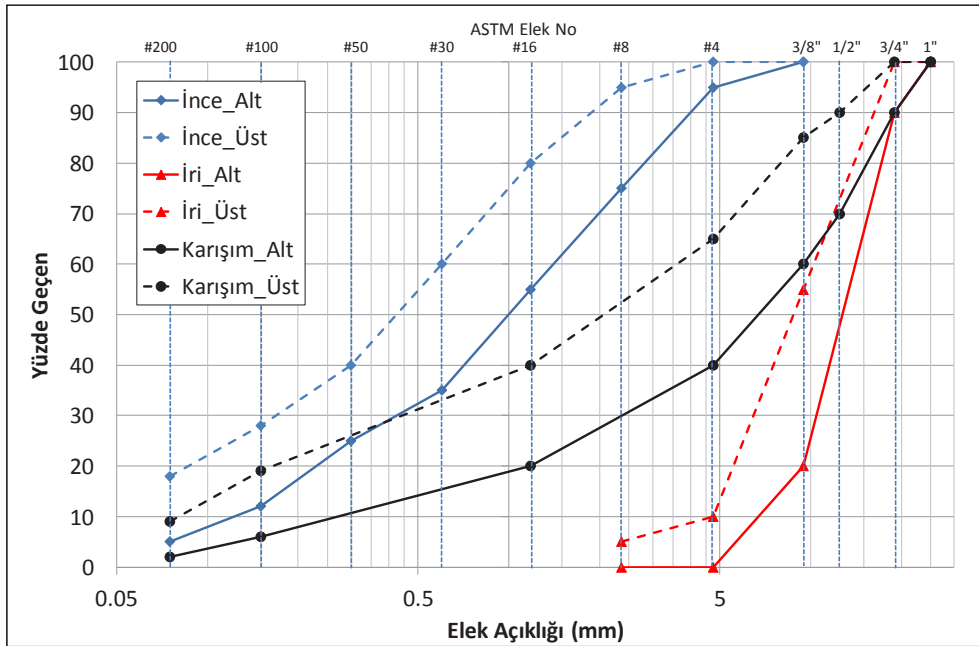
SSB NASIL ÜRETİLİR?

SSB Yapımında Kullanılan Malzemeler

Agregalar

- SSB karışımlarda gerekli sıkıştırılabilirliği sağlayabilmek için karışımın ağırlıkça %85'ini iri ve ince agregalar oluşturmaktadır. Agregaların tane boyu dağılımı, su emme miktarı, özgül ağırlığı, plastiklik indisi, aşınma dayanımı, alkali-silika reaktivite özellikleri ve dayanıklılıkları kontrol edilmelidir. SSB karışımında betonun işlenebilirliği için genelde maksimum dane boyutu 19 ile 25 mm arasında kullanılmaktadır[10]. Yüzey düzgünlüğü artırılmak istenirse bu boyut düşürülmektedir. Bu durumda ise karışımında daha fazla bağlayıcı malzeme kullanılmaktadır.
- Yüksek oranda plastik olmayan silt parçacıkları içeren ince agregalar, mineral filler olarak görev yapıp beton içerisindeki boşlukları doldurduğu için kullanılabilir. [10]

Şekil 4: SSB kaplama karışımında kullanılacak agregaların tane boyu dağılımı [10]



Bağlayıcı Malzemeler

- SSB karışımlarında kullanılacak çimento TS EN 197-1'e uygun olmalıdır. Projeye ve çevresel koşullara göre herhangi bir çimento tipi tercih edilebilmektedir. Yaygın olarak kullanılan CEM I ve CEM II çimentolarının dışında dayanıklılık ve işlenebilirliği arttıran uçucu kül ve cüruf gibi mineral katkıları SSB'de değerlendirilebilmektedir. Uçucu kül genelde toplam bağlayıcı malzeme miktarının hacimce %15 ile %20'si oranında kullanılmaktadır. Uçucu kül genelde beton kaplamaların tuza karşı soyulma direncini azalttığı için %25'ten daha az bir miktarda kullanılması önerilmektedir [6-7]. Silis dumanı uçucu kül ve

cüruf gibi betonun geçirimsizliğini azaltmakta ve dayanıklılığını artırırken betonun işlenebilirliğini düşürüp sıkıştırma için daha fazla çaba gerektirmektedir [5-6]. Silis dumanı yüksek maliyeti ve yapımda karşılaşılabilecek diğer zorluklarından dolayı genelde tercih edilmez.

Su

- Geleneksel beton üretiminde olduğu gibi SSB üretiminde de karışımda kullanılacak suyun belirli özelliklerde olması gerekmektedir. Beton karışımında kullanılacak olan su TS EN 1008 standardına uygun olacak şekilde klorürler, sülfatlar, alkaliler, şekerler, fosfatlar ve diğer kimyasallardan mümkün olduğunca arındırılmış olmalıdır.

Kimyasal Katkılar

- Beton karışımında kullanılacak olan kimyasal katkıların seçimi beton karışımındaki etkisine ve oranına bağlı olarak belirlenir. SSB karışımında akışkanlaştırıcılar, priz hızlandırıcı ve geciktirici kimyasal katkılar yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkıları bazen kuru beton karışım tesislerinde karışım ve boşaltma sürelerini azaltmak üzere kullanılırlar [10]. Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcıların kuru beton karışım tesislerinde kullanımı sonucu, betonda işlenebilirlik artışının yanısıra önemli ölçüde üretim artışı sağladığı bildirilmiştir [10].
- Priz hızlandırıcı kimyasal katkıları, yolun trafiğe erken açılması ya da soğuk havada beton dökülmesi gibi nedenlerle betonun prizini hızlandırmak gereken durumlarda kullanılırlar. Priz geciktirici katkıları ise sıcak havada beton dökülmesi gerektiğinde, betonun uzun mesafelerde taşınması gerektiğinde ya da birden fazla katman dökülmesini gerektiren kalın tasarımlarda kullanılırlar.
- Hava sürükleyici katkıları ise SSB karışımlarında kullanılması pek yaygın değildir. Bu tür katkıları saha şartlarında istenen hava boşluk dağılım parametrelerini sağladığı henüz ispatlanmamıştır [10].

Karışım Tasarımı

- Kaliteli bir SSB elde edebilmek için bileşen malzemelerin kalitesi kadar bunların doğru oranda kullanımı da çok önemlidir. Beton karışım tasarımında betonun taze ve sertleşmiş özellikleri, koşulları ve ekonomikliğini gözönüne alınmalıdır.
- SSB karışım tasarımında genellikle iki yöntem kullanılır. Bunlardan birincisi olan zemin sıkıştırma yöntemi, genellikle SSB yollar için kullanılmaktadır. Bu yöntemde göre öncelikle maksimum sıkıştırma için gerekli olan su oranı belirlenir, daha sonra ise bu su kullanılarak betonda istenilen mühendislik özelliklerine ulaşabilmek için gereken bağlayıcı miktarı belirlenir. Laboratuvarda tasarlanan beton karışımını doğrulamak için bir test şeridi dökümü yapılmalı ve sahada kullanılacak olan ekipman ile beton işlenebilirliği kontrol edilmelidir.
- Tablo 3'de dünyadan bazı SSB karışım tasarımı örnekleri ve mühendislik özellikleri gösterilmektedir [10].

Tablo 4: Bazı SSB karışım tasarımı örnekleri [10]

SSB Yol Yapım Yeri			Takoma Limanı	CTL Karışım	Chattanooga	Brownsville	Güney Karolina	Atlanta	Kanada
Bağlayıcılar	Çimento	(kg/m ³)	267	300	178	300	263	300	300 ¹
	Uçucu Kül	(kg/m ³)	59	0	89	0	0	0	0
Agregalar	Max. Agregada Dane Boyutu	(mm)	16	19	19	19	25	13	19
	İri Agregada	(kg/m ³)	1008	817	1251	763	1043	978	1255
	İnce Agregada	(kg/m ³)	1008	1249	983	1045	983	978	800
	İnce Malzeme (<75 mm)	(%)	3-7	2	3.6	2	-	-	-
Su ²		(kg/m ³)	152	125	113	140	128	158	95
Kimyasal Katkıları	Su Azaltıcı / Priz Geciktirici	(kg)	-	-	0.504	-	-	0	1.148
	Hava Sürükleyici	(kg)	-	-	0	-	-	0	1.148
Karışım Parametresi	Yaş Yoğunluk	(kg/m ³)	2472	2435	-	2358	-	2408	2513
	Su/Çimento	-	0.47	0.42	0.42	0.47	0.49	0.53	0.32
	Agregada/Çimento (ağırlık)	-	6.18	6.91	8.37	6.05	7.70	6.60	6.93
	İnce / Toplam Agregada	(%)	50.0	60.5	44.0	57.8	48.5	50.0	38.9

Tablo 4: Bazı SSB karışım tasarımı örnekleri [10]

SSB Yol Yapım Yeri		Takoma Limanı	CTL Karışım	Chattanooga	Brownsville	Güney Karolina	Atlanta	Kanada	
Dayanım	Basınç	3 MPa	12.7	-	-	21.3	25.0	27.1	-
		7 MPa	-	38.2	35.6	-	-	-	-
		28 MPa	42.4	55.3	42.7	34.6	36.5	36.1	58.6
	Eğilme	3 MPa	3.7	-	-	3.5	-	-	-
		7 MPa	-	4.8	4.3	-	-	-	-
		28 MPa	5.4	6.3	4.9	4.5	-	-	-
	Eğilme/Basınç Oranı, 28 Günlük	(%)	12.7	11.4	11.5	12.9	-	-	-

Zemin, Temel Altı ve Temel Tasarımı

- SSB yolların altında yer alan doğal zeminler, granüler alttemel ve bağlayıcılarla güçlendirilmiş temel tabakaları geleneksel beton üstyapılarına göre aynı özelliklere sahip olmalıdır. Doğal zeminin, alttemel ve/veya temelin taşıma kapasitesi her bir SSB tabaka yerleşmesi için yapılacak sıkıştırmaya izin verecek (dayanacak) şekilde olmalıdır. Bu üstyapılar granüler temel altındaki nem oranına duyarlıdır ve en alt tabakası en fazla eğilme gerilmesi ile karşılaşacağı için burada bulunacak fazla su su/çimento oranını artırarak betonun oradaki mekanik dayanımını azaltacaktır. Bulunan fazla su kurutulmalıdır veya tekrar sıkıştırılmalıdır. Yahut başka bir malzeme ile değiştirilmelidir. Zemin ve alttemel tabakaları yeterli dreneje sahip olmalıdır [10].

SSB YOLLAR NASIL YAPILIR?

SSB yol yapımı genel hatlarıyla aşağıdaki işlemlerden oluşmaktadır:

- Taban zemini, temel ve alttemel hazırlanması
- Beton karışımının hazırlanması
- Taşıma
- Yerleştirme
- Sıkıştırma
- Gerektiğinde derz yapımı
- Kür ve bakım
- Test şeridi yapımı

Taban zemini, alttemel ve temelin hazırlanması

- Yol tabanı üzerine inşa edilecek olan alttemel veya temel ASTM D 1557 standardına göre maksimum kuru yoğunluğun minimum %95'ine kadar sıkıştırılmalıdır.
- Bütün bu tabakalar SSB yolun sıkıştırılmasına izin verecek rijitlikte olmalıdır. Granüler bir malzemeden imal edilen alttemel SSB yolun altındaki suyun drenajı amaçlı imal edilmektedir. Alttemel ve temel tabakanın düzgünlüğü SSB yolun düzgünlüğünün de önemli bir anahtarıdır. Betonun serilmesinden önce temel tabakanın nemsiz, yabancı malzemelerden arındırılmış ve donmamış olması gerekmektedir. SSB nisbeten kuru bir karışım olduğu için temel ve alttemeldeki nem değişimlerinden etkilenebilmektedir. Dolayısıyla, beton dökümü öncesi mümkün olduğunca homojen bir nemde olan temel tabakası elde etmek önemlidir. Kuru bir temel tabakası betonun nemini alacağından dolayı fisyelerle temelin ıslatılması gerekebilir. Ancak bu gibi durumlarda göllenmeye veya bir çamur tabakasının oluşmamasına dikkat edilmelidir [10].

Beton karışımının hazırlanması

- SSB karışımı Türkiye'de oldukça fazla miktarda mevcut olan yaş veya kuru karışım hazır beton tesislerinde yapılabilmektedir. Ancak karışımın nispeten kuru olmasıyla bu tür kesikli üretim olarak tabir edilen tesislerde tesisin kapasitesinin oldukça altında çalıştırılması gerektirmektedir. ABD ve İsveç'te SSB yol imalatlarında yüksek üretim kapasitesine sahip olan sürekli karıştırma tesislerinin kullanımı tercih edilmektedir [11,12].
- Sürekli karışım tesisleri, kolayca taşınabilmekte ve kurulabilmekte olup kesikli karışım tesislerine göre birim zamanda daha fazla üretim sağlayabilmektedir. En çok kullanılan ve önerilen tesis, malzemeler için ağırlık kontrolüne sahip olan sürekli karışım tesisleridir.
- Tesisin üretimi hızlı ve kesintisiz olduğunda, serme işleminin sürekliliği de sağlanmış olacaktır. Tesisin üretimi, sericinin yerleştirme ve sıkıştırıcının sıkıştırma hızıyla benzer olmalı ve tesis mümkün olduğunca uygulama alanına yakın bir yere kurulmalıdır.

Beton karışımının taşınması

- Seçilen beton, üretim tesisinden bağımsız olarak SSB tesisten yol sahasına kadar damperli kamyonlarla taşınmaktadır. SSB yol taşınması esnasında kullanılacak olan filonun özelliklerinin (kapasite ve tip) belirlenmesinde, beton karıştırıcının ve sericinin kapasitesi, taşıma mesafesi, iklim koşulları ve yerleştirme zamanı (gündüz / gece) gibi etkenler gözönüne alınmalıdır.
- SSB'nin kamyonlara yüklenmesi, taşınması ve boşaltılması esnasında ayrışmaması için gereken önlemler alınmalıdır. SSB damperli kamyonun önüne, ortasına ve arkasına olacak şekilde eşit harmanlar kullanılarak boşaltılmalıdır. Sericinin önüne boşaltma yapıma işlemi esnasında da gerekli özen gösterilmelidir.
- Damperli kamyonlar betonun yağmur, aşırı soğuk veya sıcak gibi çevresel koşullardan etkilenmemesi için su geçirmez bir branda ile kaplanmalı ve o şekilde sahaya doğru yola çıkmalıdır. Ayrıca ulaşım esnasında meydana gelecek nem kaybını gözönüne alarak beton karışımının su miktarı, sıkıştırma için gerekli optimum nem miktarından biraz daha fazla olacak şekilde ayarlanmalıdır. Damperli kamyonlar

her taşıma işleminden sonra yıkanarak temizlenmelidir. SSB'nin dampere yapışması betonun sericiye dökülmesi esnasında problemlere yol açabilmektedir. Ayrıca damperde kalması muhtemel, nemini kaybetmiş eski betonun bir sonraki harman ile karışmasını engellemiş olacaktır.

- Genelde SSB damperli kamyonlar ile serici önüne doğrudan boşaltılmaktadır. Ancak kamyonların manevra yapamayacağı dar ve sıkışık alanlarda kepçeler veya özel taşıma bantları kullanılarak da boşaltma yapılabilir.
- Düzenli bir yerleştirme yapabilmek için beton karıştırıcıdan sericinin önüne kadar geçen taşıma süresi mümkün olduğunca azaltılmalıdır. SSB işlenebilirliği zamanla azaldığından çimentonun suyla bulunduğu andan betonun sericinin önüne boşaltıldığı ana kadar geçen süre genelde 45 dakika ile sınırlandırılmalıdır. Bu süre gerektiğinde priz geciktiriciler kullanılarak uzatılabilmektedir. Ancak özellikle ortam sıcaklığının 27 °C'yi aştığı durumlarda bu sürelerin daha da kısalabileceği unutulmamalıdır.

Beton karışımının yerleştirilmesi

- SSB genelde bir asfalt serici ile yerleştirilebilmektedir. SSB imalatı miktarına göre asfalt sericide bazen küçük modifikasyonlar (besleme kovası ve master tablası arasındaki açıklığın büyütülmesi, master tablası önündeki helezonların ayarlanması gibi) yapılması gerekmektedir. Asfalt serici SSB'yi tüm şerit genişliği boyunca referans yaş yoğunluğun en az %80'ine kadar sıkıştırabilmelidir.
- Bazı yüksek sıkıştırılmalı tablalar ihtiva eden sericilerde tek bir tabakada 25 cm kalınlığa kadar yerleştirme yapılmış olsa da genelde asfalt sericiler ile hazırlanan tabaka kalınlıklarının 15 cm'yi geçmemesi, tabaka kesitinde homojen bir yoğunluğun elde edilebilmesi için önerilmektedir. Eğer SSB iki farklı tabaka halinde dökülecekse iki eşit kalınlıkta dökülmesi önerilmektedir.
- Üst ve alt tabakalar arasındaki zaman farkı, karışım özellikleri ve ortam şartlarına bağlı olarak değişse de 60 dakikayı geçmemesi her iki tabakanın bağlanarak birlikte çalışması için önemlidir. Eğer bu süre aşılmışsa iki tabaka kısmi olarak bağlanmış kabul edilmekte bu da yapısal kapasitenin tam olarak edinilememesine neden olmaktadır. Dolayısıyla, böylesi durumlarda üst tabaka yerleştirilmeden önce alt tabaka hava veya su jeti ile temizlenmeli ve arada ince bir yüksek kıvamlı harç karışımı uygulanmalıdır.
- Ayrışmanın engellenmesi için sericinin besleme kovasının hiçbir zaman boş bırakılmaması gerekmektedir. Sericinin durup kalkması yüzey kalitesinde olumsuz bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla gereksiz dur-kalklardan kaçınmak gerekmektedir. Beton yerleştirme hızı sericinin kapasitesine, serilen tabakanın kalınlığına, beton karıştırıcının kapasitesine, taşıma mesafesi gibi diğer etkenlere göre sabit olacak şekilde önceden planlanmalıdır.

Beton karışımının sıkıştırılması

- SSB karışımının sıkıştırılması aşaması, kaplamanın yoğunluğu, dayanımı, geçirimsizliği - dolayısıyla dayanıklılığı ve yüzey düzgünlüğü açısından oldukça önemlidir.
- İlk sıkıştırma genellikle 10 ton ağırlığa sahip çift tamburlu titreşimli çelik bandajlı silindir ile yapılmaktadır. İlk sıkıştırmanın ardından, 20-30 tonluk lastik tekerlekli silindir ile geçiş yapıldığında titreşimli sıkıştırma

sonrasında ortaya çıkan kusurlar ve küçük boşluklar kapatılmaktadır. Genellikle 10 ton ağırlıktaki çift tamburlu titreşimli çelik bandajlı silindir ile yapılacak dört ile altı geçiş 15-25 cm kalınlıktaki tabakaların %98'inde gereken yoğunluğa ulaşılmasını sağlamıştır.

- Fazla geçişlerden dolayısıyla fazla sıkıştırmadan, özellikle kesitin üst kısmında yoğunluk azalmasına yol açabileceği için kaçınılmalıdır.
- Sıkıştırma, serme işleminden sonraki 15 dakika içinde başlamalı ve tesiste beton karışımı hazırlandığı andan itibaren 45 dakika geçmeden tamamlanmalıdır. Sıcak havalarda ise, karıştırmanın bitişi ile sıkıştırmanın bitişi arasında geçen süre 35 dakikayı aşmamalıdır.

Şekil 5: SSB kaplamanın çelik ve lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırılması [10]



- Yoğunluğun anında belirlenmesi için tahribatsız muayene yöntemlerinden biri olan nükleer yoğunluk ölçme cihazları kullanılmalıdır (Şekil 8).
- Özellikle yol şeridinin kenarlarında sıkıştırma yaparken fazla sıkıştırma stabilitenin kaybolarak kenar göçmelerine yol açabileceğinden titreşimli silindirlerin kullanılmasına özen gösterilmelidir.

Şekil 6: Yoğunluk ölçümünde nükleer cihazların kullanımı [10]



Derz yapımı

- SSB yollarda rötne ve dolayısıyla çatlak genişlikleri azalmış olacağından genelde bir derz kesimi işlemi yapılmamaktadır.
- Çatlaklar, betonun özelliklerine ve kaplama kalınlığına göre değişmekle birlikte, genelde 6 ila 18 m aralıklarda oluşmaktadır [10]. Bu çatlakların ileride sorun yaratmaması için SSB yollarda diğer beton yollarda olduğu gibi gerekli drenaj önlemleri alınmalıdır.
- Derz kesme işlemi yapılacaksa diğer beton yollarda olduğu gibi kesme zamanlaması ayarlanmalı ve kesme zamanı kesme işlemi esnasında agregaların hamurdan ayrılmaması sağlanacak kadar geç ve rastgele çatlaklar oluşmadan önce yapılmalıdır. Kesme derinliği kaplama kalınlığının yaklaşık 1/4'ü kadar olmalıdır.
- Enine derzler 20 cm'den daha az kaplama kalınlıkları için 6 m civarında aralıklarla kesilmektedir. 20 cm'den daha kalın olan kaplamalar için ise bu miktar 3 kat kadar artırılabilir. Boyuna derzler enine derzlerden genelde daha kısa seçilmektedir. Ancak, endüstriyel tesislerin sahaları gibi oldukça geniş bir kaplama alanı varsa, genelde kare şeklinde derzler oluşturulmaktadır.
- Böylesi uygulamalarda, derz aralıkları 20 cm'den daha az kaplama kalınlıkları için genelde 4.5 ile 6 m., daha kalın kaplamalarda ise kaplama kalınlığının (m olarak) yaklaşık 2.3 katı kadar aralıklarda olmalıdır.

SSB'nin kürlenmesi

- SSB'da terleme gözlenmeyeceği için buharlaşma ile yüzeyden su kaybı betonun yerleştirilmesini takiben başlayacaktır. Dolayısıyla, kür işlemine sıkıştırma işleminin tamamlanmasından sonra hemen başlanmalıdır. Bu işlem için genellikle parafin esaslı kür kimyasalları kullanarak beton yüzeyinde bir film tabakası oluşturulması sağlanmakta ve nem kaybı engellenmektedir (Şekil 9). Ancak bu tür kimyasallar SSB'nun yüzeyindeki açık yapısından dolayı normal saha beton uygulamalarına göre 1.5-2 kat daha fazla kullanılmalıdır.
- Geleneksel kür yöntemleri olan sulama, fiskiyeleme, ve ıslak branda ile yolun üzerinin örtülmesi uygulamaları SSB yollar için çok uygun görünmemektedir [10].

Şekil 7: SSB yolda beyaz renkli kür kimyasalı uygulanması [10]



Test şeridi yapımı

- Yol müteahhidinin deneyimi ve yol projesinin büyüklüğüne göre test şeridi yapımı SSB yolun tasarımı, yapımı, kürü, derz oluşturulması ile sahada ve laboratuvarında gerekli testlerin yapılması aşamalarının gözlenmesi açısından oldukça yararlıdır. Test şeridi benzer bir yol taban zemini üzerinde aynı malzemeler ve ekipmanlarla yapılmalıdır.
- Bütün işlemleri gözlemleyebilmek için yeterince uzun bir test şeridi inşa edilmeli ve derzlerin oluşturulması aşamasını da izleyebilmek için en az iki serici genişliğinde olmalıdır.

SSB yol yapımı öncesi bir test şeridi imalatı ile aşağıdaki konularda imalatta izlenecek yöntemlerin etkinliğini değerlendirmek mümkün olacaktır [10]:

- Temel tabakasının eğim, yoğunluk ve nem gibi özellikleri incelenecektir.
- Bütün malzemelerin şartnamelere ve standartlara uygunluğu test edilecektir.
- Beton üretim tesisinin istenen üretim hızında ve homojenlikte beton üretebildiği doğrulanacaktır.
- Beton karışımının tasarım şartlarını sağladığı doğrulanacaktır.
- SSB'nin depolama, işlenme ve taşınmasının uygunluğu kontrol edilecektir.
- Yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinin kalitesi incelenecektir.
- Silindirlerin sıkıştırma zamanlaması ve sıralaması ile istenen yoğunluğun kaç geçiş sonrası elde edileceği onaylanacaktır.
- Bitişik kaplama şeritlerinin yerleştirilmesi ve zamanlaması doğrulanacak, derz kalitesi incelenecektir.
- Yapım esnasında alınacak olan numunelerin örnekleme metodları değerlendirilecektir.
- Beton karışım oranlarında düzenleme yapılabilecektir.
- Yüzey düzgünlüğü ve uniformitesi değerlendirilecektir.
- Proje şartnamesinin gereği olan yoldan karot ve kırış numunesi alımı ve bunlar üzerinde deneyler yapılabilecektir.

Kaynakça

1. Yeğınobalı, A., Bařkoca, A., (2005). "Geleceğın Yolu: Afyonkarahisar'daki Beton Yolun Hikayesi", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliğı Ar-Ge Enstitüsü Yayınları, Ankara.
2. <http://www.kgm.gov.tr/Sayfalar/KGM/SiteTr/Kurumsal/YolAgi.aspx>
3. Ağar, E., Tařdemir, Y., (2007). "Silindir ile Sıkıştırılabilen Beton Yollar", Türkiye Hazır Beton Birliğı web-sitesi, <http://www.thbb.org>
4. <http://www.betonyol.org.tr/icerik.php#iid=12&aid=2058&lang=tr>
5. THBB Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, (2003). "Beton Yollar", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Türkiye Mühendislik Haberleri, No. 427, p. 38-44.
6. Karayolları Genel Müdürlüğü, (2007). "T.C. Bayındırlık ve İşkan Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, 2007-2011 Stratejik Planı".
7. A.G. Güngör, B. Hacak, ve N. Ünal, (2011). "Üstyapı Yönetim Sistemi KGM Uygulamaları", 2. Karayolu Ulusal Kongresi Sunumlar Kitapçığı, 11-13 Ekim, Ankara, 441-478.
8. Adaska, W., (2006). Roller-Compacted Concrete (RCC), PCA Research & Development Information Serial No. 2975. Skokie, IL: Portland Cement Association.
9. TÇMB Eğıtım Müdürlüğü,(2017), "Trakya Bölgesi İçin Beton Yollar Semineri", 9 şubat 2017, Tekirdağ.
10. Harrington, D., Abdo, F., Adaska, W., Hazaree, C., (2010). Guide for Roller Compacted Concrete Pavements, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University.
11. Taylor, P.C.; S.H. Kosmatka; G.F. Voigt; et al. (2006). Guide to the Selection and Use of Hydraulic Cements, and Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavement: A State-of-the-Practice Manual, National Concrete Pavement Technology Center, Institute for Transportation, Iowa State University.
12. Neville, A.M., (1995). Properties of Concrete, Pearson Education Limited.



60.
1957-2017

Tepe Prime A Blok Kat: 18-19
Eskişehir Devlet Yolu 9. km
No: 266 06800 Ankara
info@tcma.org.tr
www.tcma.org.tr