



SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOLLAR

Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN
ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü
 MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY

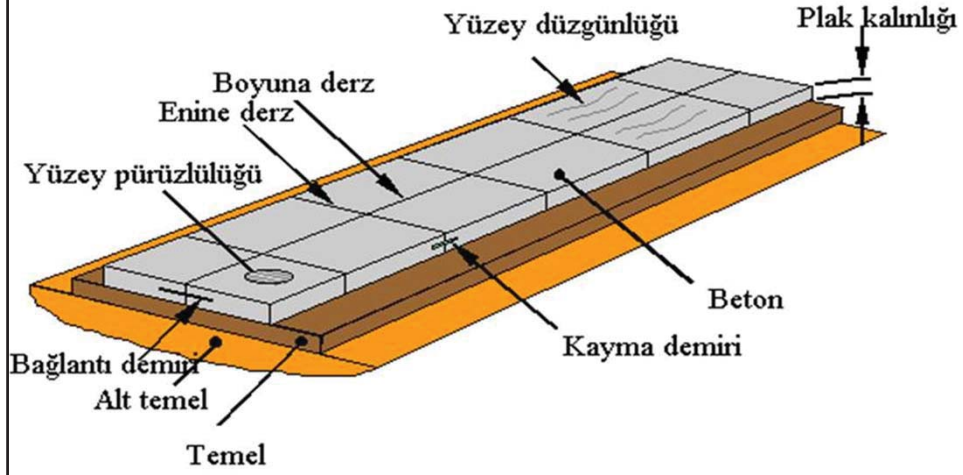
TEŞEKKÜR

Dr. Halil CEYLAN
IOWA State Üniversitesi
IOWA Department of Transportation

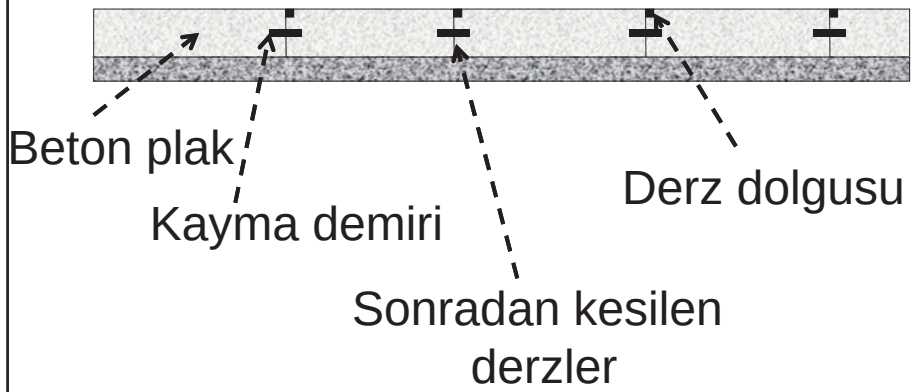


TÜRKİYE ÇİMENTO MÜSTAHSİLLERİ BİRLİĞİ

BETON YOL



BETON YOL TİPLERİ - Derzli Donatısız



- Serici ile yerleştiriliyor
- Serici üzerindeki vibratörle sıkıştırılıyor
- Yüzey işlemi gerekiyor

BETON YOL TİPLERİ - Derzli Donatılı

Derzli donatısız



Boyuna donatı

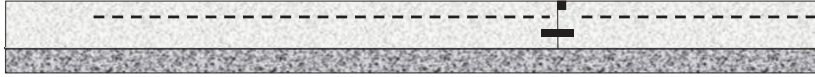
Daha seyrek derz
ve
kayma demiri

BETON YOL TİPLERİ - Sürekli Donatılı

Derzli donatısız



Derzli donatılı



Derz yok

Kayma demiri yok

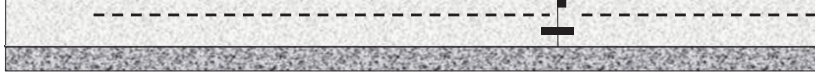
Daha yoğun donatı kullanımı

BETON YOL TİPLERİ - S.D. Kompozit

Derzli donatısız



Derzli donatılı



Sürekli donatılı



Üstte asfalt aşınma tabakası

BETON YOL TİPLERİ – SSB

Derzli donatısız



Derzli donatılı



Sürekli donatılı



Sürekli donatılı kompozit



Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) Yollar

Geleneksel Beton ve Asfalt Yolların
Müşterek Özelliklerinden
Faydalanılarak Elde Edilir.



Geleneksel Beton Yol Müşterek Malzeme Özellikleri

- Aynı malzemelerle farklı karışım oranları
- Benzer kür gereklilikleri

Asfalt Yol Müşterek Yapım Özellikleri

- Benzer agrega gradasyonu
- Benzer yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri

Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol



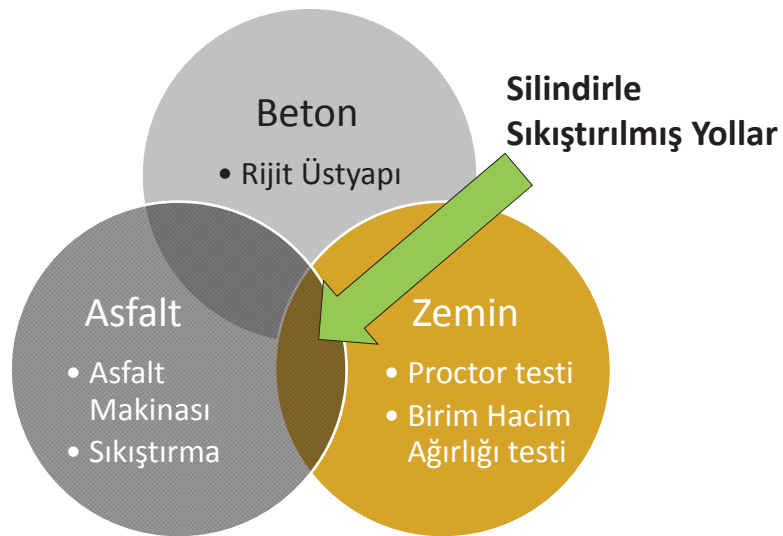
SSB: Yeni Bir Alternatif

Farklı bir şekilde yerleştirilen beton kaplama

- Sıfır slump beton
- Kalıp yok
- Kayma demiri yok
- Donatı yok
- Vibratörle sıkıştırma yok
- Perdahlama yok

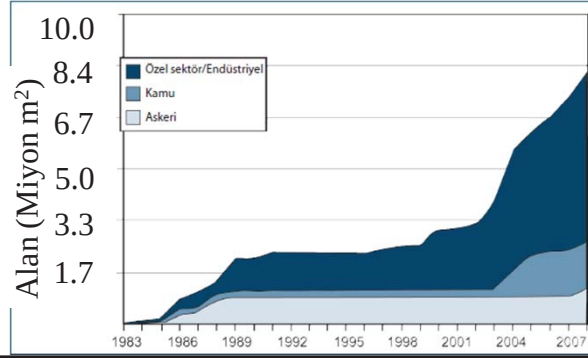


Benzer Özellikler / Testler

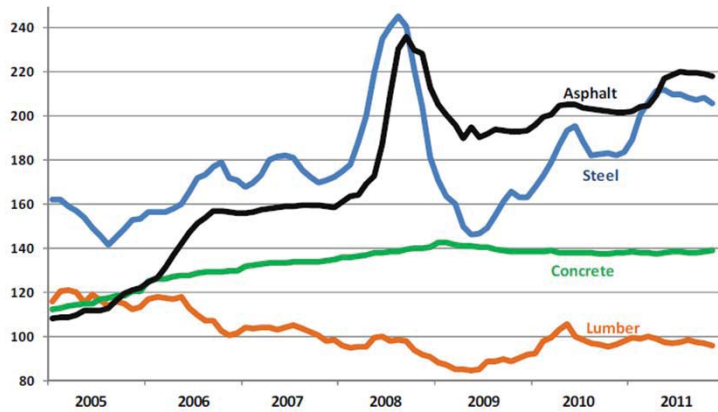


SSB Yollar: Kullanımı Tekrar Artıyor

- ABD’de son on yılda büyüme hızlandı
- Ağır taşıt trafiği dışındaki üstyapılarda da kullanılıyor
- Asfalt müteahhitleri tarafından da tercih ediliyor

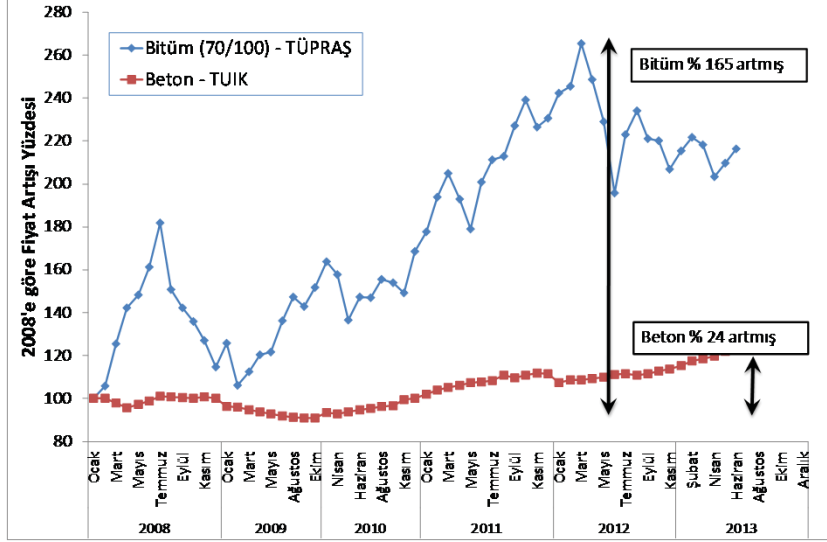


Asfalt Fiyatlarındaki Artış: ABD

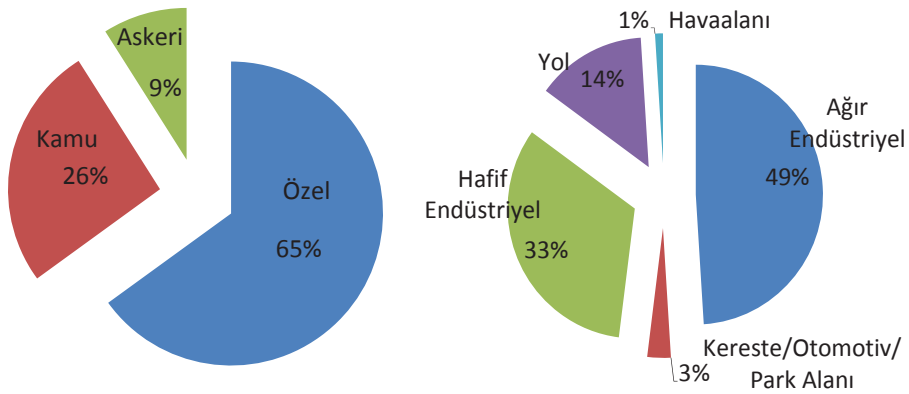


Karşılaştırma Yılı: 2002 = 100
Kaynak: ABD İş İstatistikleri Bürosu

Asfalt Fiyatlarındaki Artış: Türkiye



ABD'de SSB Kaplamaların Dağılımı



Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları
İşlenebilirlik
Serme İşlemi
Sıkıştırma
Yüzey Bitirme İşlemleri
Hidratasyon ve Kürleme
Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri

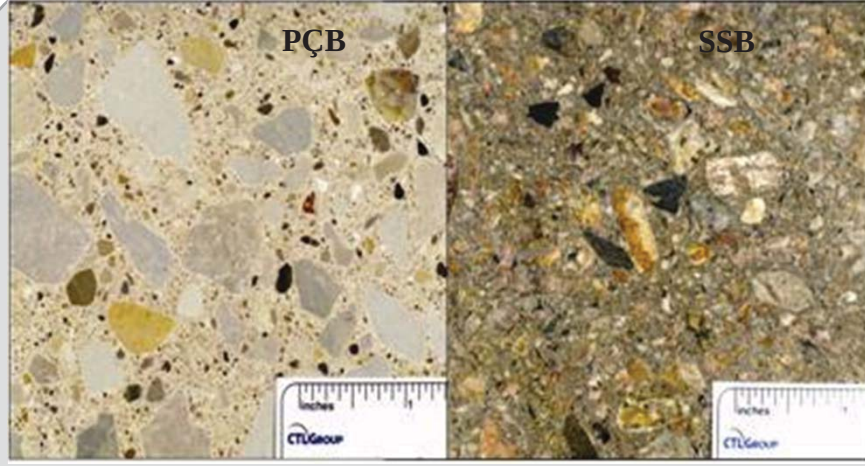
Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları	
Geleneksel Beton Yollar	SSB Yollar
- Agregalar tipik olarak hacmin %60-75'ini oluşturur. - Su/Çimento oranı genellikle 0.40-0.45	- Agregalar hacmin %75-80'ini oluşturur. - SSB karışımları geleneksel betondan daha fazla ince malzeme içeriği, daha az çimento ve su içeriği ile daha kurudur.

Hacim olarak



Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar



Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları

İşlenebilirlik

Geleneksel Beton Yollar	SSB Yollar
- Slump genellikle 5 cm. - Beton sericileri ile yerleştirilir.	- Daha kuru, sıfır slump, bir karışımdır. - SSB, geleneksel beton sericileri ile yerleştirilebilecek kadar akışkan değildir.

Serme İşlemi

Sıkıştırma

Yüzey Bitirme İşlemleri

Hidratasyon ve Kürleme

Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri

Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları

İşlenebilirlik

Serme İşlemi

Geleneksel Beton Yollar

- Beton karışımı dağıtan, yüksekliğini ayarlayan, vibrasyon yapan, kayar kalıp sericilerle yerleştirilir.

SSB Yollar

- Tipik olarak geleneksel asfalt sericiler ya da büyük kapasiteli kendinden tahrikli sericiler ile yerleştirilir.

Sıkıştırma

Yüzey Bitirme İşlemleri

Hidratasyon ve Kürleme

Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri

Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları

İşlenebilirlik

Serme İşlemi

Sıkıştırma

Geleneksel Beton Yollar

- Serici üzerindeki dahili vibratörlerle yapılır.
- Dahili ve yüzey vibratörleri plastik kıvamdaki betonun içindeki hava boşluklarını azaltarak akışkan hale getirir.

SSB Yollar

- Sıkıştırma genellikle harici olarak, serici ve silindirlerle yapılır.

Yüzey Bitirme İşlemleri

Hidratasyon ve Kürleme

Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri

Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları	
İşlenebilirlik	
Serme İşlemi	
Sıkıştırma	
Yüzey Bitirme İşlemleri	
Geleneksel Beton Yollar Genellikle sürtünmeyi artırmak için mekanik olarak priz başlamadan önce pürüzlendirilir	SSB Yollar - Genellikle asfalta benzer açık pürüzlülüğe sahiptir - Elmas taşlama ile pürüzlendirilebilir.
Hidratasyon ve Kürleme	
Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri	

SSB'nin Yüzeyi

- Silindirle sıkıştırılma sonrası asfalta benzer daha açık pürüzlülük
- Daha sessiz yol
- Servis süresince 2-4 yıl arasında ince agrega kaybı gözlenebilir.
 - 50 km/s hızı geçen yerlerde üst tabaka veya elmas taşlama ile yüzey ıslah edilir.



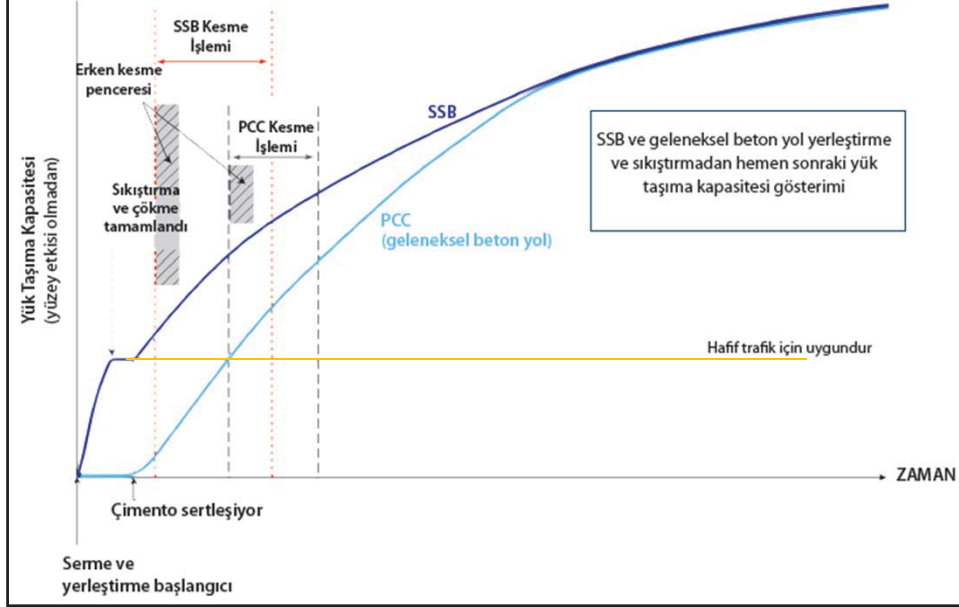
Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları	
İşlenebilirlik	
Serme İşlemi	
Sıkıştırma	
Yüzey Bitirme İşlemleri	
Hidratasyon ve Kürleme	
Geleneksel Beton Yollar Uygun hidratasyon ve kürleme betonun uzun dönem dayanıklılığı için kritiktir.	SSB Yollar Fark yoktur
Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri	

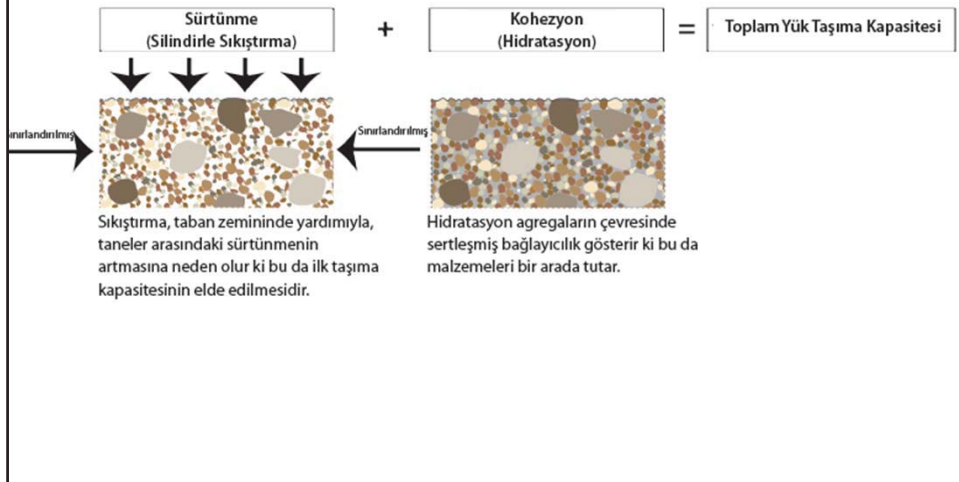
Geleneksel Beton Yollar - Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yollar

Malzeme Karışım Oranları	
İşlenebilirlik	
Serme İşlemi	
Sıkıştırma	
Yüzey Bitirme İşlemleri	
Hidratasyon ve Kürleme	
Çatlak Oluşumu, Yük Transferi ve Kayma Demiri	
Geleneksel Beton Yollar - Yük transferi kayma demirleri ile sağlanır - Agrega kenetlenmesi yük transferine yardımcı olur - Derzlerin kesilmesi ile çatlakların yeri kontrol altına alınır	SSB Yollar - Endüstriyel uygulamalarda derzler genellikle kesilmez - Araba ve kamyon trafiği için daha seyrek kesilebilir - Kayma demiri ve donatısı kullanılmaz - Yük transferi tamamen agregaların kenetlenmesi ile sağlanır

GBY ve SSB için Erken Yük Taşıma Kapasiteleri



GBY ve SSB için Erken Yük Taşıma Kapasiteleri



GBY ve SSB için Erken Yük Taşıma Kapasiteleri



SSB'nin Faydaları (1)

- SSB'nin en temel faydası hızlı yapımı ve ekonomikliğidir.
 - Azalmış çimento miktarı
 - Azaltılmış kalıp ve yerleştirme
- Kayma demiri, bağ donatısı gerektirmez.
- SSB kalıp ve yüzey bitirme işlemlerine ihtiyaç duymaz.
- Ağır ve tekrar edilen yükler için yüksek eğilme, basınç ve kesme dayanımlarına sahip olacak biçimde tasarlanabilir.

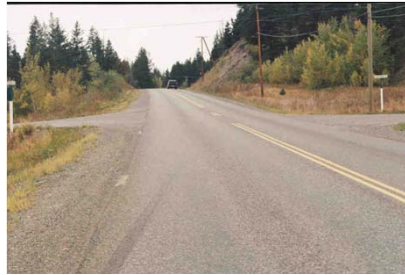


SSB'nin Faydaları (2)

- Betonda daha az rötre ve çatlak oluşur.
- Tekerlek izi olu urtmaz, daha az onarım gerektirir.
- Düşük ge irirnilili i sonucu dayanıklıdır.
- Kimyasal bozulmalara karşı donma-çözülme koşullarında bile yüksek dayanıklılık gösterir.

Donma/  z lme – Buzlanma   nleyici Tuzlar

- D/  ve buzlanma   nleyici tuzlara maruz kalmış kaplamalar yüksek dayanıklılık göstermişlerdir
- Literatürde birçok örnek gösterilmektedir
- Örneğin: Likely Rd., BC, USA 1987'de inşa edilmiş.
 - Ağır vasıta frenlemeleri
 - Küçük çaplı aşınma
 - Bozulma yok



SSB'nin Faydaları (3)

- Hafif trafik altında yol erken trafiğe açılabilir.
- SSB 25 cm kalınlığa kadar tek katman halinde yerleştirilebilir.
- Açık yüzey rengi gece daha iyi görüş sağlar.
- SSB'nin donma çözülme direnci hava sürükleyici kullanılsa bile yüksektir.



SSB için Potansiyel Kısıtlamalar (1)

- Düşük hız limitleri
- 50 km/s'den daha yüksek hızlarda elmas taşılama yapmak gereklidir.
- Transmikser yada hazır beton mikserlerinde karıştırılabilecek SSB miktarı geleneksel beton miktarından daha azdır.

SSB için Potansiyel Kısıtlamalar (2)

- Yol kenarları sıkıştırılması en zor yerlerdir.
- Nispeten düşük su içeriği nedeniyle SSB yollar, sıcak havalarda buharlaşma ile su kaybını en aza indirmek için daha fazla özen gerektirir.
- SSB karışımlarının kuruluğu nedeniyle kimyasal katkı miktarı geleneksel betona göre daha fazla olabilir.

SSB Yol-Dışı Uygulamaları

- Askeri uygulamalar
 - Tank park yerleri
 - Bakım alanları
- Tomruk ayıklama alanları ve taşıma yolları
- Kamyon terminalleri/dağıtım merkezleri
- Park ve depolama alanları

Louisiana Pacific Tacoma, WA



BN Intermodal Taşımacılık Alanı, Denver, CO (1986)



35 Dönüm,
50 cm kalınlığa kadar
SSB uygulaması



Ayaklı Taşıyıcı

HONDA Lincoln (AL), 2000-2007



- TÜM İÇ YOLLAR
- 10 m genişlik
- 18 cm kalınlık

Sokaklar ve Anayollar

- Şehiriçi cadde ve sokaklar
- Endüstriyel ulaşım yolları
- Banketler ve dönüş şeritleri

Endüstriyel Ulaşım Yolları



Merridian St., Edmonton, Alb.



Tennessee DOT

Columbus Anayolları

- 24 – 48 saat içinde 2.5 MPa eğilme dayanımı
- Saatler içinde kullanıma hazır



Columbus Ara Sokakları



Atlanta Banketleri



Mississippi



Önce



Yapım Sırasında
Asfalt Serici Kullanılmış

Türkiye'den Uygulamalar

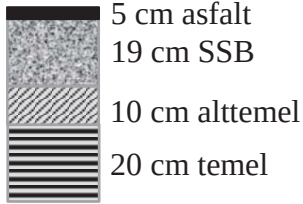
- Türkiye için henüz çok yeni
- Daha çok baraj uygulamalarında kullanılmış
- Antalya Belediyesi öncülük yapmış
- Denizli Belediyesi takip etmiş

Antalya – Şehiriçi Uygulaması

- AB projesi (Ecolanes) kapsamında pilot uygulama
- Eski asfalt yol rehab.
- 150 x 8.6 m'lik bir kısım
- 4 farklı beton karışımı
- Çelik tel kullanımı
- Antalya Belediyesi asfalt iş makinaları kullanıldı
- 2009 yılında yapıldı



Antalya – Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



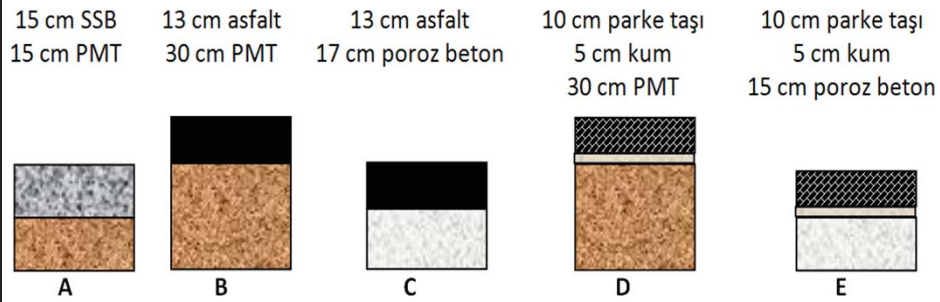
2011'de
Denizli Belediyesince
9 etap halinde
üst yapı uygulaması
yapıldı.

Denizli Belediyesi Yol Üstyapı Kesitleri Karşılaştırması

- Birim maliyet
- Altyapı imalatına zarar verme olasılığı
- Drenaj
- Serim hızı ve servise açma süresi
- Konfor / trafik gürültüsü
- Drenaj

v.b. parametreler düşünülerek alternatifler karşılaştırıldı

Denizli Belediyesi Yol Üstyapı Kesitleri Karşılaştırması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Ana caddelerde
çelik lifli SSB
uygulaması



Ara sokaklarda
geçirimli beton
uygulaması

Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması



Denizli - Şehiriçi Uygulaması

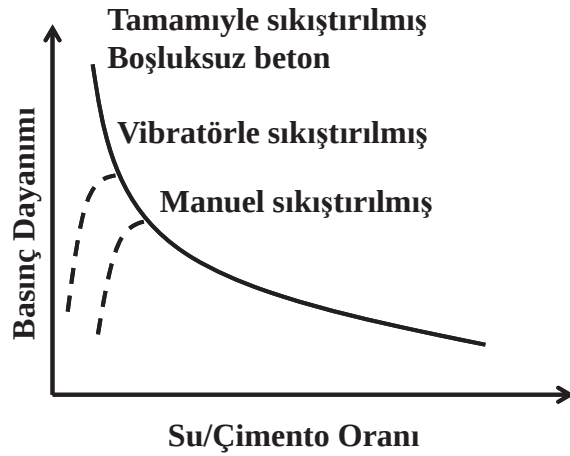


SSB Mühendislik Özellikleri

- Basınç dayanımı (28 - 70 MPa)
- Eğilme dayanımı (3.5 – 7.0 MPa)
- Elastisite modülü (20 - 38 GPa)
- Yaş Yoğunluk ($\sim 2450 \text{ kg/m}^3$)

Mühendislik Özellikleri

- Yeterli sıkıştırmayı sağlamak önemlidir
- Az sıkıştırılırsa
 - Düşük dayanım
 - Zayıf dayanıklılık



SSB Kaplamaların Tasarımı

- Rijit kaplama tasarım stratejisi takip edilir
- Kayma demirsiz, donatısız beton kaplama

Beton Karışım Tasarımı

- Titreşimli silindiri taşıyabilecek kadar kuru



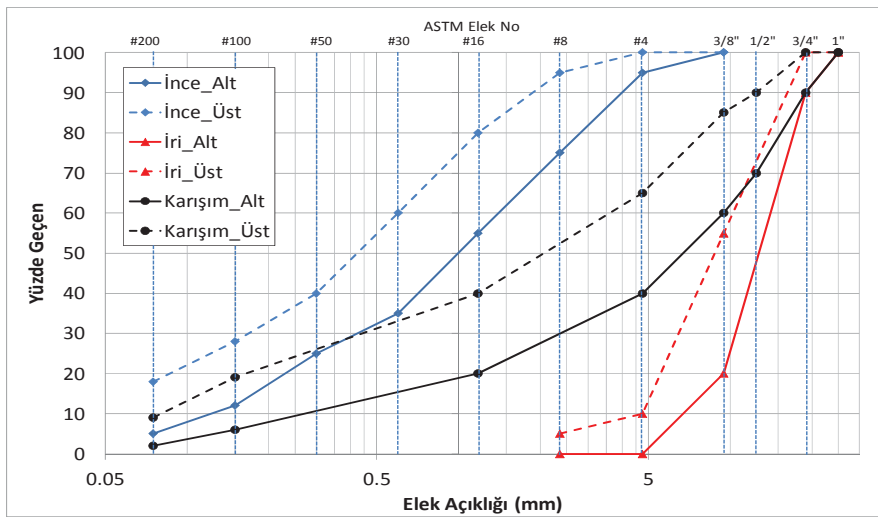
- Hamurun yeterince dağılmasını sağlayacak kadar yaş

Agrega Seçimi

- Karışımın işlenebilirliğinden, ayrışmasından ve yerleştirme kolaylığından sorumludur
- Önceden karıştırılmış veya ayrı ayrı olarak depolanabilir
- Daha küçük dane boyutu tercih edilir (~16-19 mm)



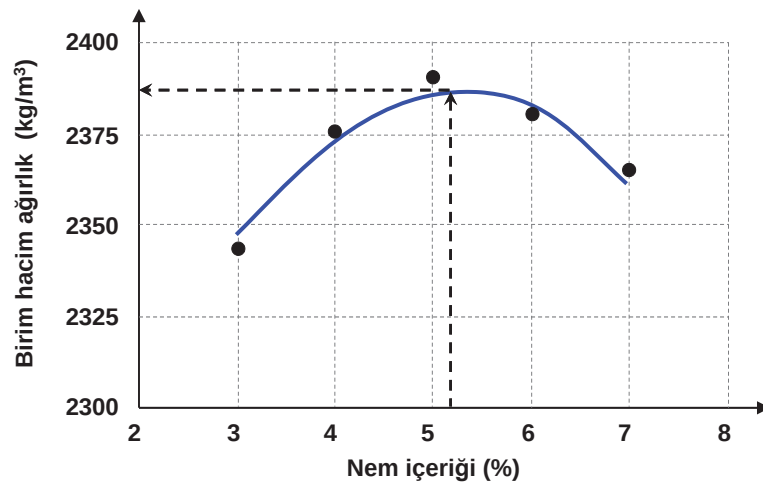
Agrega Tane Boyu Dağılımı



Beton Karışım Tasarımı

- Optimum nem muhtevası belirlenir
 - Orta miktarda bir çimento muhtevası kabul edilir (örneğin 15%)
 - Nem/yoğunluk eğrisi oluşturulur
 - ASTM D1557'e göre modifiye proktor

Nem-Yoğunluk İlişkisi



Beton Karışım Tasarımı

- Bağlayıcı malzeme miktarı belirlenir
 - En uygun nem muhtevası kullanılır
 - Farklı çimento dozajlarında numuneler hazırlanır (11%, 13%, 15%, 17% vb.)
 - Uygun dayanımı sağlayan çimento miktarı seçilir

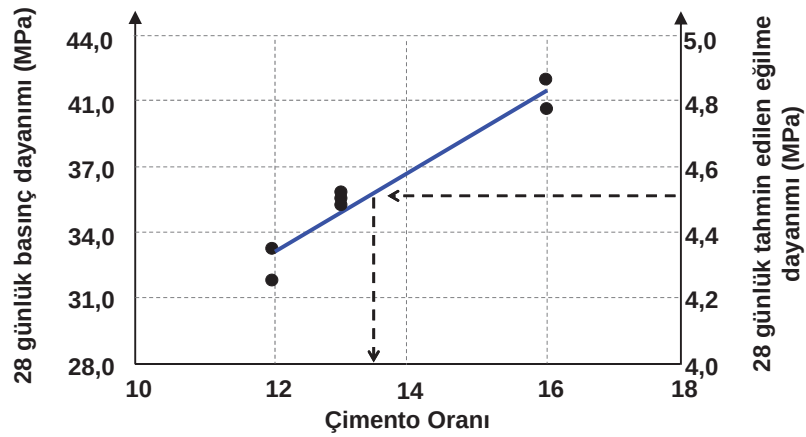
Numune Hazırlama (ASTM C1435)



Numune Hazırlama (ASTM C1435)



Dayanım – Çimento Miktarı İlişkisi



Kimyasal Katkı

- İşlenebilirliği ve çimento dağılımını iyileştirmek için su azaltıcılar kullanılabilir
- Çalışma süresini arttırmak için priz geciktiriciler kullanılabilir
- Süper akışkanlaştırıcılar ve hava sürükleyiciler genelde kullanılmaz
 - Ancak SSB donma/çözülmeye dayanıklıdır

SSB Üretimi ve İnşaatı

Mütemadi Beton Santrali

- Yüksek hacimli uygulamalar
- Kuru malzemeler için mükemmel karışım verimi
- **250 ila 500+ ton/saat**
- Mobil şantiyeler kurulabilir



Yaş Beton Karışım Santrali

- Türkiye’de yerel olarak erişilebilir
- Düşük çıkış kapasitesi
- Normal betona göre daha uzun karıştırma süresi
- Yüksek hassasiyetli ayarlama gerektirir



Kuru Beton Karışım Santrali

- ABD’de en fazla yerel erişilebilir olan
- 2-adımlı işlem
 - Transmikserleri besleme
 - Damperli kamyonlara döküm
- Çok yavaş üretim
- Sık temizleme
- Ayrışma
- En az istenen yöntem



DİKKATLİ OLMAK GEREKİR

Taşıma

- Normal olarak damperli kamyonlar kullanılır
- Taşıma süresi az
- Uzun taşıma mesafesi ve sıcak/rüzgarlı şartlarda brandayla kapatılmalı



Yerleştirme

- Tabaka kalınlığı
 - En az 10 cm.
 - En çok 20 cm. (Yüksek kapasiteli sericilerle 25 cm yapılabilir)
- Zamanlama
 - “Taze birleşim” olması için iki yan şerit 60 dakika içerisinde yerleştirilir
 - Çoklu tabakalar, bağlanma için 60 dakika içerisinde yerleştirilir
- Üretim miktarı, sericinin kapasitesine uygun olmalıdır
 - En iyi yüzey düzgünlüğü için sürekli olarak ileri hareket gereklidir (durmak yok)

Yerleştirme Ekipmanı

Yüksek yoğunluklu ABG kaplama araçları (sericiler)

- ✓ Titreşimli master kılavuzu
- ✓ Çift sıkıştırma çubuğu
- ✓ Yüksek ilk yoğunluk, %90-95
- ✓ Sonraki sıkıştırmayı azaltır
- ✓ Yüksek hacimli yerleştirme (bir seferde 750 – 1500 m³)
- ✓ Sert kuru karışımlar için tasarlanmış
- ✓ En düz SSB yüzeyi



Yerleştirme Ekipmanı

➤ Kõřelerin sıkıştırılması



Yerleştirme Ekipmanı



Yerleştirme Ekipmanı

Normal asfalt sericiler kullanılabilir

- Daha düşük ilk yoğunluk sağlar (%80-85)
- Nispeten düzgün yüzey
- Modifikasyon gerektirebilir
- Daha fazla temizleme ve bakım gerekir



Alternatif Yerleştirme Ekipmanları

Agrega dağıtıcılar

- Jersey tipi dağıtıcı
- Greyder/dozer
- İlk sıkıştırma yok
- Düşük kalite



Sıkıştırma

- Dayanım ve dayanıklılık açısından uygun sıkıştırma önemlidir
- %98 Modifiye Proktora kadar sıkıştırma gerekir
- Titreşimli silindir
- Titreşimsiz çelik tekerlek
- Lastik tekerlekli silindir



Dar Alanlarda Sıkıştırma



Sahada Yoğunluk



Nükleer Ölçüm
ASTM C1040

Su Kürü

- İnce sis şeklinde su serpilebilir
 - Su kamyonu
 - Serpme sistemi
 - Hamuru sürükleyen yoğun ıslatmadan kaçınılmalıdır



Kimyasal Kür Bileşenleri

- Beyaz pigmentli beton kür kimyasalı uygulanabilir
- Sıradan betona kıyasla 1.5 ila 2 kat fazla uygulanır
- Asfalt üst tabaka kullanılacaksa uygulanmaz



Bitümle Kürleme

- Mükemmel nem bariyeri
- ABD’de yaygın birinci kaplama malzemesi
- Yüzey temizlenir (Gerekirse)
- Yüzey nemlendirilir
- 0.7 ila 1.5 litre/m² uygulanır



Derzler: Kesilmeyebilir

- En ekonomik
- 9 ila 24 m aralık
- Genelde ilk çatlak 24 saat içinde görülür
- Dar çatlak genişlikleri
- Eğer 32 mm büyük ise doldurulabilir
- En iyi yük aktarımı
- Düşük bozulma



Yeni, Doldurulmamış Çatlak



10 yıllık, Doldurulmuş Çatlak

Derzler: Elmas Bıçak ile Kesilebilir

- Daha estetik görünümlü
- Yerleştirmeden hemen sonra çok etkili
- Kontrolsüz çatlağı engellemek için 12 saat içinde kesilmeli
- Kalınlığın 1/3 ila 1/4 katı derinlik



Test Bölümleri Yapımı - ŞART

- Özellikle büyük projeler için zaruridir
- Müteahhit, gerçek ekipman ve karışım için silindir gereksinimlerini belirler
- Böylece müteahhit
 - SSB'yi uygun yoğunlukta yerleştirme/sıkıştırmayı
 - Taze, soğuk, (ve gerekirse) yatay derzleri imal etmeyi
 - Yüzey kalitesi/düzlüğünü göstermeyi
 - Dayanım korelasyonu için silindir/kiriş kesilmesini garanti eder.

SSB Yollar - ÖZET

- Normal beton santralinde üretilebilir
- Damperli kamyonlarla taşınır
- Asfalt kaplama aracı (serici) ile yerleştirilir
- Düz tekerli veya titreşimli silindirlerle sıkıştırılır
- Su veya kür karışımı ile kürlenir

Sonuç ve Öneriler

- 70'li/80'li yıllarda SSB performansı bilinmiyordu.
- 90'lardan bu yana, 20 yıldan fazladır kullanılıyor olmasından dolayı güven kazandı
- Türkiye'de uygulamaları yapıldı, deneyim kazanıldı

Sonuç ve Öneriler

- Az işgücü ile hızlı imalat
- Ekonomik
- Erken yük taşıma kapasitesi / trafiğe erken açma
- Uzun ömür ve dayanıklılık
- Az bakım gereksinimi (Düşük bakım maliyeti)
- Düşük ömür-boyu maliyet

Sonuç ve Öneriler

- SSB Türkiye’de kolaylıkla uygulanabilir
 - Asfalt kaplama ekipmanları
 - Normal beton santrali
 - Bilgi birikimi
- Özellikle endüstriyel ulaşım yolları ile şehiriçi cadde ve sokaklar için çok uygun
- Asfalt müteahitleri tarafından kolaylıkla inşa edilebilir

Daha Fazla Bilgi İçin



SSB Yollar Kılavuzu

- Giriş
- Uygulamalar
- Özellikler
- Karışım Oranlaması
- Yapısal Dizayn
- Üretim
- Yapım
- Sorun Çözme



Beton Yollar - Genel

- Giriş
- Beton Üstyapı Tasarım Esasları
- Beton Üstyapılar için Kullanılan Malzemelerle İlgili Temel Bilgiler
- Betonun Plastik Halden Katı Hale Geçişi
- Betonun Kritik Özellikleri
- Beton Karışımı Geliştirme
- Beton Yerleştirme için Hazırlık
- Yapım
- Kalite ve Deneyler
- Sorun Giderme ve Önleme

