

SSB

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRMIŞ BETON



Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN
Pamukkale Üniversitesi





TANIMI

- **ACI 207.5R-89;**
Silindirle sıkıştırılmış betonu sıkıştırılma işlemi silindirler ile yapılan, sıfır slump değerli betonlar olarak tanımlamaktadır.

SSB'yi normal betondan ayıran temel özellik kıvamdır.



TANIMI

SSB'yi normal betondan ayıran temel özellik kıvamıdır.

Etkili sıkışabilme için beton karışımı; karıştırma sırasında bağlayıcı malzemenin betonda yeterli karışımını sağlayacak kadar nemli, olmalıdır.





TANIMI

SSB'yi normal betondan ayıran temel özellik kıvamıdır.

Etkili sıkışabilme için beton karışımı; sıkıştırma sırasında silindirin batmasını önleyecek kadar kuru, olmalıdır.



KALINLIK SEÇİMİ

Design Loading Analysis

Table 1

RCC Thickness Required	Allowable Interior Load Repetitions Over Lifetime of RCC Pavement	Design Life in Years		
		20 yr	10 yr	5 yr
		Allowable Daily Repetitions		
5.5	25977	4	7	14
6	121504	17	33	67
6.5	432506	59	118	237
7	1000000	500	1000	2000



KARIŞIM

Normal betondan farkları

- Hava sürükleyici katkı maddesine gerek yoktur.
- Daha düşük su miktarı
- Daha düşük çimento dozajı
- Daha yüksek ince agrega miktarı
- En büyük tane çapı 16 mm



ORANLAMA YÖNTEMLERİ

- Beton kıvam testleri
- Zemin sıkıştırma yöntemleri
- Optimum çimento hamuru hacmi yöntemi

AGREGA SEÇİMİ

- Agregada seçimi oldukça önemlidir.
- Agrage karışımın hazırlanması, ayrışma ve sıkıştırma üzerinde etkilidir.





AGREGA SEÇİMİ

➤ **Sağlam ve iyi tane dağılımlı (gradasyonlu) agreg a karışımı hazırlanmalıdır.**

- **Vibrasyonlu silindir altındaki stabilite,**
- **İyi yük aktarımı,**
- **Yüksek yoğunluk,**
- **Daha az ayrışma için gereklidir.**



AGREGA SEÇİMİ

➤ Kirmataş agrega;

- Daha yüksek stabilite sağlar.
- Daha yüksek eğilme dayanımı sağlar.
- Daha fazla su gerektirir.
- Daha fazla sıkıştırma enerjisi gerektirir.



AGREGA SEÇİMİ

- Otoyol alt temel tabakası, asfalt yada beton beton karışımları kullanılabilir.
- En büyük tane çapı 16 mm tercih edilir.
 - Daha düzgün yüzey sağlar ve ayrışmayı azaltır.
- Normal betona göre daha yüksek ince agregası oranı kullanılır.
 - Vibrasyonlu silindir altında daha yüksek stabilite sağlar.



AGREGA SEÇİMİ

- 200 nolu elekten (75μ) geçen malzeme %2 - %8 arasında olmalıdır.
- Sıkıştırma sırasında ayrışma engeller, malzemenin daha sıkışmasını sağlar.
- Boşlukları doldurur.
- Daha düzgün oluşmasını sağlar.



AGREGA SEÇİMİ

► Tipik agrega karışımı

Elek aralığı		Elekten geçen %		
inch	mm	En küçük	En büyük	
1	25	100	100	
$\frac{3}{4}$	19	95	100	
$\frac{1}{2}$	12.5	75	90	
$\frac{3}{8}$	9.5	65	85	
#4	4,75	40	60	
#8	2,36	25	50	
#16	1,18	20	40	
#30	0,6	10	30	
#50	0,3	7	20	
#100	0,15	5	15	
#200	0,075	2	8	



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

➤ **Kullanılacak bağlayıcı madde ve miktarları belirlenmelidir.**

- **Çimento (CEM I yada CEM II)**
- **Uçucu kül, Curuf veya silika dumanı**
- **Toplam bağlayıcı dozajı genel olarak 240 ile 350 kg/m³ arasındadır.**
- **Kullanılırsa;**
Uçucu kül çimento ağırlığının %15'i ile %25'i
Silika dumanı çimento ağırlığının %5'i ile %10'u
arasındadır.



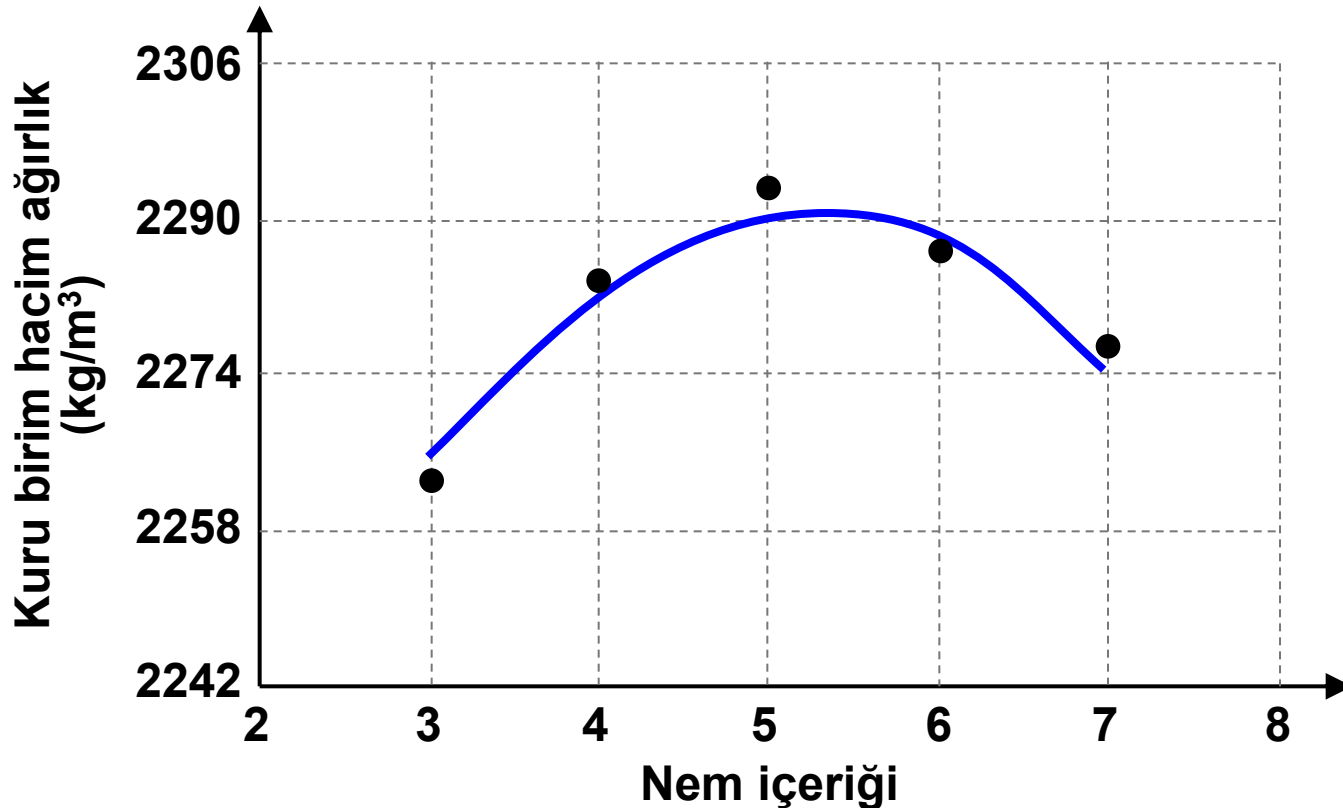
Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- **Optimum sıkışma için su miktarı belirlenmelidir.**
 - **Su miktarı – birim hacim ağırlık eğrisi çizilir.**
 - **Modifiye Proktor deneyi kullanılır.**
 - **Başlangıç için ortalama bir çimento dozajı alınabilir. Örneğin 300 kg/m^3**



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

➤ Su – birim hacim ağırlık eğrisi
(Modifiye Proktor deneyine göre)





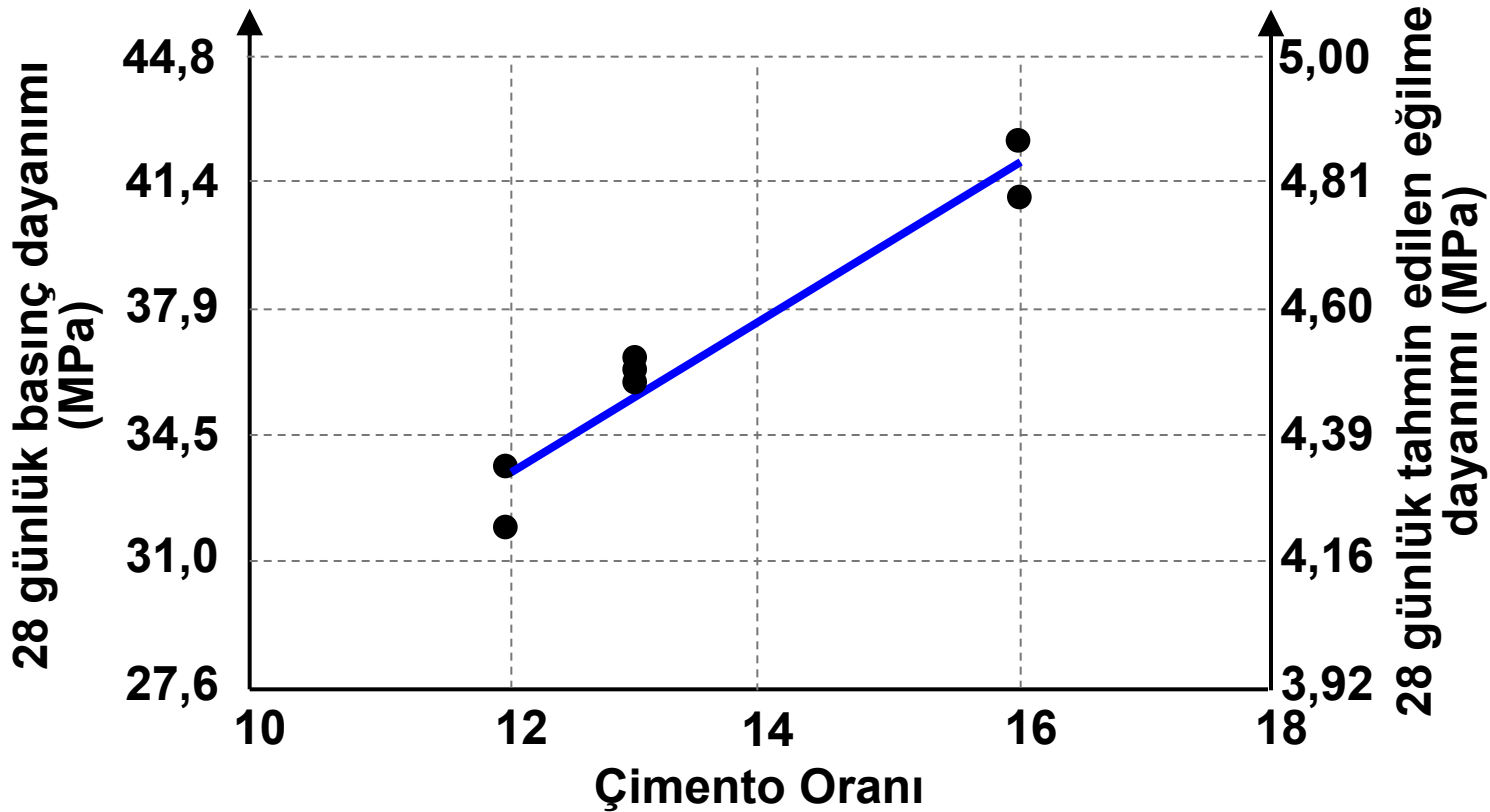
Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- **Belirlenen hedef dayanıma göre çimento dozajı tespit edilmelidir.**
 - **Modifiye proktor deneyinde belirlenen optimum su miktarı kullanılır**
 - **Değişik çimento dozajları ile karımlar hazırlanır.**
Örnek: %11, %13, %15, %17
 - **Hedef dayanımı veren en uygun çimento dozajı seçilir.**



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

➤ Çimento oranı – dayanım eğrisi





Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- **Priz geciktirici katkı maddesi ve super akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılabilir.**
- **Polimer bazlı hiper akışkanlaştırıcı kullanıldığında dikkatli olunmalı.**
- **Hiper akışkanlaştırıcı çok fazla akışkanlık sağladığı için vibrasyonlu silindir altında malzeme sabit kalamıyor...**



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- **Priz geciktirici katkı maddesi ve super akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılabilir.**
- **Polimer bazlı hiper akışkanlaştırıcı kullanıldığında dikkatli olunmalı.**
- **Hiper akışkanlaştırıcı çok fazla akışkanlık sağladığı için vibrasyonlu silindir altında malzeme sabit kalamıyor...**



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- Silika dumanı kullanımı (%7) dayanımda ciddi anlamda artış sağlamaktadır.
- Hava sürüklenme şu anda teknolojik olarak mümkün değil, ancak
 - Yapılan uygulamalarda SSB'nin donma/çözülme etkisine karşı dayanıklı olduğu görülmüştür.



Zemin Sıkışma Metodu (Proktor Deneyi)

- **Yapılan uygulamalarda SSB'nin donma/çözülme etkisine karşı dayanıklı olduğu görülmüştür.**
 - **Hava sürüklenme olmamasına rağmen, donma/çözülme etkisine karşı saha performansı oldukça iyidir.**
 - **Yüzeyde (0,15 cm)'lik kısımda ufalanma gözükmemekte, daha sonra bozulma durmaktadır.**



Örnek SSB karışımı

	Birim	CTL Karışımı	Canada Karışımı
En büyük agrega çapı	mm	19	12,5
İri agrega miktarı	kg/m ³	1250	1310
İnce agrega miktarı	kg/m ³	817	794
#200 elekten geçen %	%	2	1
Çimento	kg/m ³	300	280
Puzolan	kg/m ³	-	21 (silika dumanı)
Su	kg/m ³	125	102
Kimyasal Katkı		-	
Su/Çimento oranı	-	0,47	0,42
Basınç dayanımı: 3 gün	MPa	37,65	-
Basınç dayanımı: 28 gün	MPa	54,47	-
Eğilme dayanımı: 3 gün	MPa	3,62	4,76
Eğilme dayanımı: 28 gün	MPa	5,31	6,21

Kaynak: American Portland Cement Association



Örnek SSB karışımı

	Units	Port of Tacoma Intermodal Yard	Brownsville, TX Border Station
Coarse Aggregate	lb/cy	1,700	1,287 (#67 river gravel)
Fine Aggregate	lb/cy	1,700	1,762 (concrete sand)
Maximum Size Aggregate	in	5/8	3/4
% Finer Than #200	%	3 - 7	2
Cement	lb/cy	450	504
Fly Ash	lb/cy	100	0
Water	lb/cy	257	185
Unit Weight	lb/cf	154.3	147.2
Compressive: 3 day	psi	1,810	3,046
Compressive: 28 day	psi	6,050	4,946
Flexural: 3 day	psi	525	493
Flexural: 28 day	psi	770	638

Kaynak: American Portland Cement Association, Southeast Cement Association, Gregory E. Halsted

UYGULAMA



Kaynak: American Portland Cement Association



UYGULAMA

➤ Uygulamada dikkat edilecek hususlar:

- **Alt zemin hazırlanması**
- **Homojen karışımın hazırlanması**
- **Taşıma**
- **Yerleştirme, serme**
- **Sıkıştırma**
- **Derzler**
- **Bakım**

Kaynak: American Portland Cement Association



UYGULAMA

➤ Temel Yapım sıralaması

- SSB üretimini yap.
- Damperli kamyonlar ile taşı
- Asfalt Finişi ile serimini yap.
- Vibrasyonlu silindir ile sıkıştırmasını yap
- Su veya kür malzemesi ile kürünü yap.

Kaynak: American Portland Cement Association

UYGULAMA



UYGULAMA



➤ Alt temel / taban zemini hazırlanması:

- Normal yol betonlarda istenen özellikler ile aynı özelliklere sahip olmalı
- Taban zemini sabit olmalı
- Taban zemininde pompaj olmamalı
- Taban zemini vibrasyonlu sıkıştırmaya izin verecek kadar sağlam olmalı
- Alttemel tabakası istenen tane dağılımında ve yüzeyi düzgün olmalı



➤ Alt temel / taban zemini hazırlanması:

- Setup stringline.
- SSB sermeden önce taban zemini ya da alttemel tabakası nemlendirilmeli.



KARIŞTIRMA

SÜREKLİ YATAY MİL

- Büyük hacimli uygulamalar için
- Kuru karışımlar için çok iyi karıştırma
- Saatte 250-500 ton kapasite
- Mobil, sahada uygulanabilir



KARIŞTIRMA

HAZIR BETON TESİSİ

- Yerel olarak bulunabilir.
- En az hatalı tartım ve karışım hazırlama
- Daha düşük kapasite
- Normal betona göre daha uzun karıştırma süresi gerekli



KARIŞTIRMA

HAZIR BETON TESİSİ

- Pan mikserde Normal beton için
15-20 s karıştıma süresi yeterli iken;
SSB'de bu süre 40 saniyeden az olmamalıdır.



KARIŞTIRMA

MOBİL KARIŐTIRICILAR



ARKA DAMPERLİ KAMYON

- Taşıma süresini azaltır
- Uzun taşıma mesafeleri için ve/veya sıcak ve rüzgarlı günlerde üzerleri branda ile örtülmelidir.



ARKA DAMPERLİ KAMYON





İKLİM KOŞULLARI

SOĞUK HAVA

- SSB hiçbir zaman donmuş bir malzemenin üzerine serilmemelidir.
- En düşük hava sıcaklığı 4°C
- $+4^{\circ}\text{C}$ 'nin altında yüzey örtülmelidir.



İKLİM KOŞULLARI

SICAK HAVA

- Isı ve rüzgar SSB'yi kurutacaktır.
- Agregata ve karışım suyu soğutulabilir.
- Karıştırma ile sıkıştırma arasındaki süre kısaltılmalı.



İKLİM KOŞULLARI

YAĞMUR

- Az yağışta SSB dökümü kabul edilebilir.
- SSB'nin Sıkıştırılmış son hali zarar görmemeli.



YERLEŞTİRME

➤ Tabaka kalınlığı

- En düşük 10 cm
- En yüksek 20 cm
(yüksek kapasiteli finisher ile 25 cm olabilir)

➤ Zaman aralığı

- Yapışmanın sağlanabilmesi için farklı tabakalar en geç 60 dakika ara ile serilmeli
- Soğuk derz oluşmaması için bitişik şeritler en geç 60 dakika ara ile serilmeli.
(priz geciktirici kullanılmadığı durumda)



YERLEŞTİRME

➤ Kolay hazırlanma:

- Kalıp yok, Kalıp montajı yok, donatı yok.

➤ SSB uzun süre kapatılamayan yollar için idealdir.

➤ Menhollerin üzerileri kapatılmalı

➤ Alt temel tabakasının düzgün olması sağlanmalı

➤ Alt temel tabakası nemlendirilmelidir.

➤ Uygulanacak hat belirlenmelidir.



YERLEŞTİRME

- **SSB üretimi finisher serim kapasitesi ile uyumlu olmalı**
- **Gelen kamyonlar bekleme yapmamalı.**
- **Ya da genelde olduğu gibi finisher serimi bitirip diğerkamyonu beklememelidir.**
- **Sürekli döküm ve çok güzel yüzey görünümü için gereklidir.**

SERME ARACI



-Taşıma araçları finişeri sürekli dolu tutmalıdır.

SERME ARACI

➤ Agregaya yayıcılar

- Jersey yayıcı,
Motorlu Greyder, dozer
- İlk sıkışma çok az
- Düşük yüzey düzgünlüğü
- Kötü yüzey görünümü,
- Daha iyi bir yüzey için
ek kaplama gerekli



SERME ARACI

➤ Yüksek yoğunluk Finişerleri (Finisher)

- Vibrasyonlu mastar
- Çift sıkıştırma barları
- Yüksek sıkışma, %90-95
- Sonraki sıkışma miktarını azaltır.
- Bir defada Yüksek miktarda serim yapabilme
- Kuru ve sert karışımlar için tasarlanmıştır.
- Daha düzgün SSB yüzeyi oluşturur.



SERME ARACI

➤ Normal Asfalt Finişerleri

- İlk sıkıştırma daha azdır. (%80-90)
- Yüzey nisbeten daha iyidir.
- Modifikasyon ihtiyacı olur.
- Daha iyi bakım gerektirir.



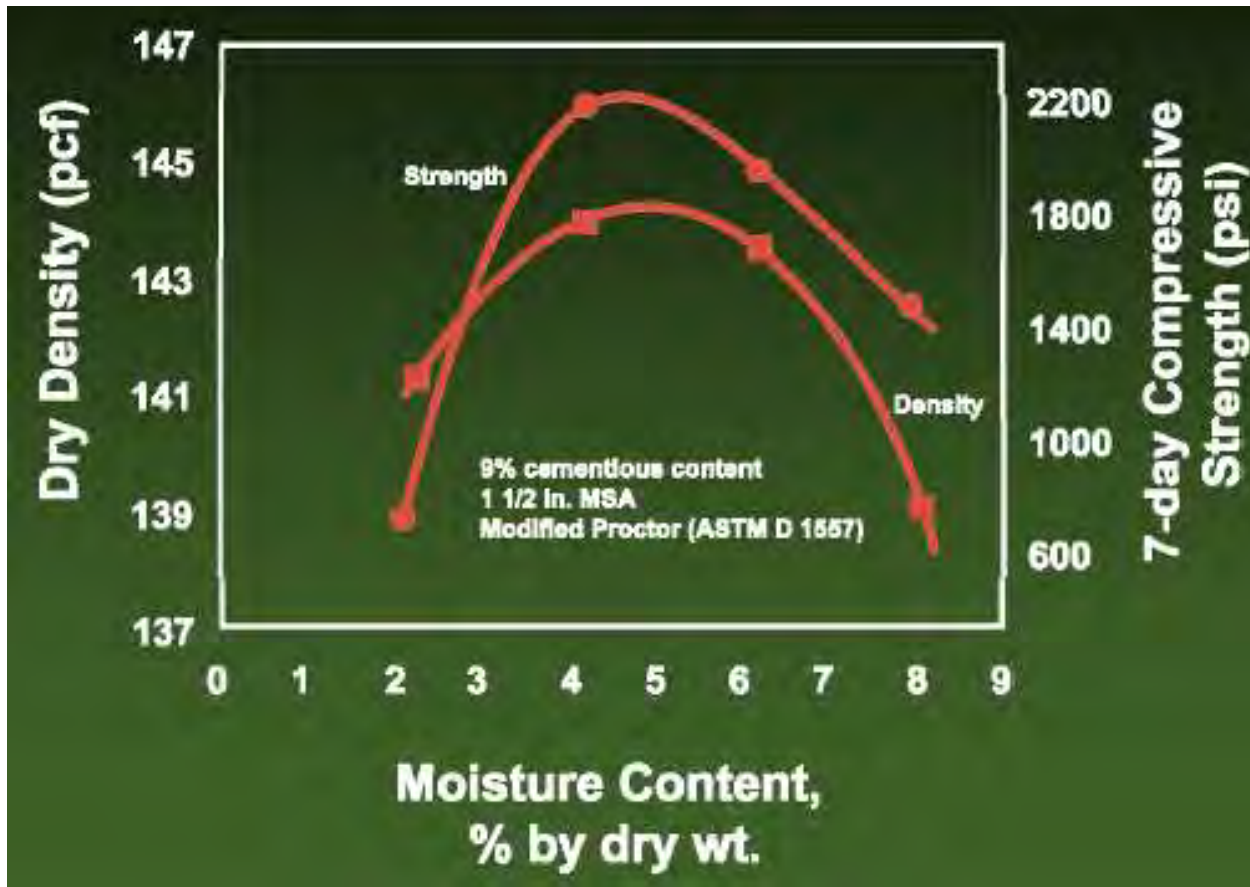
SIKIŞTIRMA

- İyi sıkıştırma dayanım ve kalıcılık açısından çok önemlidir.
- Modifiye Proktor değerinin %98'ine kadar sıkıştırma yapılmalıdır.
- Vibrasyonlu silindir
- Lastik tekerlekli silindir
- 17.5 cm serilen malzeme 15 cm'ye sıkıştırılır.



SIKIŞTIRMA

Yoğunluk ile dayanım arasındaki ilişki





İŞ DERZLERİ

- Uygulamanın en önemli alanıdır.
- Kalıcılık açısından çok iyi yapılmalıdır.
- Yapışma/tanelerin temasını sağlar, böylece döşeme monolitik çalışır.
- İş derzlerinin 3 çeşidi vardır.
 - Taze beton dezleri
 - Soğuk derzler
 - Yatay dezler

İŞ DERZLERİ

➤ Taze beton dezleri





İŞ DERZLERİ

➤ **Köşeler (Bitimler) önemlidir.**

- **Sıkıştırma daha zordur.**
- **Segregasyon daha fazla görülür.**
- **Soğuk derz oluşumunu en aza indirmeye çalışılmalıdır. (Sürekli döküm yapılmalıdır).**
- **care needed to match grade cold to fresh joint.**

İŞ DERZLERİ

➤ Köşelerin sıkıştırılması

Sıkıştırma
başığ



İŞ DERZLERİ

➤ Köşelerin sıkıştırılması



İŞ DERZLERİ

➤ Köşelerde segregasyon önlenmelidir.



İŞ DERZLERİ

➤ Taze derzten soğuk derze geçiş





İŞ DERZLERİ

- **Birden fazla şerit uygulaması yapılacaksa;**
 - **Birbirine bitişik şeritler 1 saat içinde serilmelidir.**
 - **Önce serilen şeritin tamamı sıkıştırılmamalıdır.**
 - **Diğer şeritin bitişik kısmında 30-50 cm'lik bölüm sıkıştırılmadan bırakılmalıdır.**
 - **Diğer şeritin betonu serildikten sonra beraber sıkıştırılmalıdır.**

İŞ DERZLERİ

➤ Birden fazla şerit uygulaması yapılacaksa;





İŞ DERZLERİ

- **Birbirine bitişik şeritler 1 saat içinde serilmezse;**
 - **Önceki şerit vibrasyonlu silindir ile tamamen sıkıştırılmalıdır.**
 - **İlk dökülen sıkıştırılan şeritin düzgün olmayan kısmı beton kesme cihazı ile kesilmeli.**
 - **Kesilen kısmın yaklaşık 7.5 cm içerisinden eski beton ıslatıldıktan sonra yeni şerit dökülerek sıkıştırılmalıdır.**

DERZ KESME

- Derz kesme performans için gerekli değildir.
- Doğal çatlaklar çok iyi yük transferi sağlarlar.
- Derz kesme estetik olarak çatlakların oluşumunu kontrol ederler.



DOĞAL ÇATLAKLAR

- En ekonomidir.
- 4.5 – 18 metre aralıklı
- İlk çatlaklar çoğunlukla 24 saat sonra görülür.
- Çatlak genişliği dardır.
- Çatlak genişliği 6 mm'den büyük ise doldurulmalıdır.
- Yük transferi sağlarlar.
- Çok az Ufalanma / Dağılma



Yeni,
Doldurulmamış
çatlak



10 senelik,
Doldurulmuş
çatlak

DOĞAL ÇATLAKLAR

➤ Çok az Ufalanma/ Dağılma



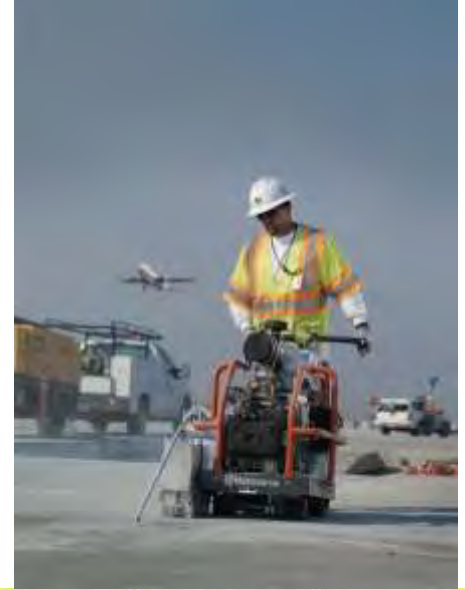
Yeni,
Doldurulmamış
çatlak



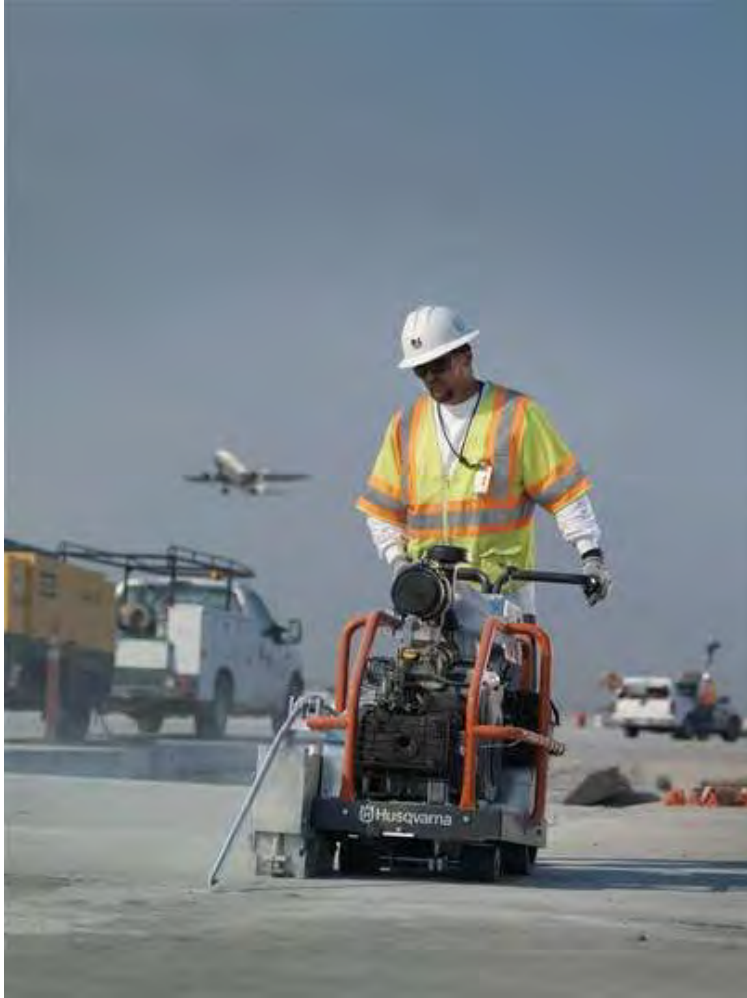
10 senelik,
Doldurulmuş
çatlak

DOĞAL ÇATLAKLAR

- Estetik olarak daha güzel görünüm
- Yerleştirmeden hemen sonra Soff-cut / early entry daha etkilidir.
- Kontrolsüz çatlak oluşumunun önüne geçmek için ilk 12 saatte kesim yapılmalı.
- Kesitin $\frac{1}{3}$ 'ü yada $\frac{1}{4}$ derinlikte kesim yapılmalı.
- Normal betona benzer şekilde derzler doldurulmalı.



➤ Soff-cut kesim



Soff-Cut, erken müdahale beton testere işlemleri için patentli sistemdir.

Bu teknoloji betonun, mastarlama işleminden sonra ilk bir veya iki saati içerisinde ve son işlemlerden önce kesilmesini sağlar.

Soff-Cut rasgele çatlama riskini azaltmak için en iyi çözümdür ve geleneksel testerele kıyasla çalışma sürecini kolaylaştırır.

KÜR (BAKIM)

- **SON DERECE ÖNEMLİDİR.**
- Özellikle yüzeyin kalıcılığını üzerinde etkilidir ve iyi ve etkili kür tozlanmayı önler.
- Son sıkıştırımdan sonra hemen küre başlanmalıdır.
- SSB'de düşük su içeriği vardır ve terleme oluşmaz.
- Üç yöntem vardır:

Nemlendirme



**Beton
kür malzemeleri**



**Bitümlü
kür malzemeleri**



KÜR (BAKIM)

➤ Su ile kür.



**Beton 7 gün boyunca
nemini kaybetmemelidir.
???**



KÜR (BAKIM)

➤ Beton kür malzemeleri

- Beyaz pigmentli beton kür malzemeleri
 - (150-200 g/m²)
- Yüzey pürüzlülüğüne göre değişir.



KÜR (BAKIM)

➤ Yüzey tekstürü



Intermodal Yard, TX



Sludge Drying Bed, TX



Warehouse Facility, WI



Honda, AL



KÜR (BAKIM)

➤ Yüzey tekstürü



KÜR (BAKIM)

➤ Yüzey tekstürü



YÜZEY KAPLAMA

- Finisher ile serilmiş SSB'de yüzey kaplamasına ihtiyaç duyulmaz.
- Yüksek yoğunluk finişerleri orta hızdaki trafik için gerekli olan pürüzsüzlüğü sağlarlar (55-65 km/saat)
- **Kaplama seçenekleri:**
 - Asfalt uygulanması (5 cm)
 - Normal beton kaplama
 - elmasla silim cihazı



Warehouse Facility, WI

KALİTE KONTROL





KALİTE KONTROL

- **Agrega kalitesi, tane dağılımı, nem içeriği**
- **Tesis bakımı, cihazların kontrolü**
- **Yoğunluk deneyleri**
- **Yüzey düzgünlüğü**
- **Yüzey pürüzlülüğü**
- **Kalınlık**
- **Dayanım**

KALİTE KONTROL

SIKIŞMA MİKTARI DENEYİ



KALİTE KONTROL

MODİFİYE PROKTOR DENEYİ



KALİTE KONTROL

BASINÇ DENEYİ İÇİN SİLİNDİR NUMUNE ALMA





KALİTE KONTROL

BASINÇ DENEYİ İÇİN SİLİNDİR NUMUNE ALMA



KALİTE KONTROL

BASINÇ DENEYİ İÇİN SİLİNDİR NUMUNE ALMA





KALİTE KONTROL

EĞİLME DENEYİ İÇİN PRİZMA NUMUNE ALMA



KALİTE KONTROL

EĞİLME DENEYİ İÇİN PRİZMA NUMUNE ALMA



KALİTE KONTROL

YÜZEY DÜZGÜNLÜĞÜ - ONDÜLASYON





KALİTE KONTROL

SIKIŞMIŞ DERİNLİK KONTROLÜ



KALİTE KONTROL

SERTLEŞMİŞ BETONDAN NUMUNE ALMA







FOTO



RUMBLE STRIPS



