

Teknik Rapor Belgeleme Sayfası

1. Rapor No.	2. Devlet Erişim No.	3. Alıcı Katalog No.	
4. Başlık ve Altbaşlık Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamaları için Rehber		5. Rapor Tarihi Ağustos 2010	
		6. Yüklenici Kuruluşun Kodu	
7. Yazar(lar) Dale Harrington, P.E., Snyder and Associates, Inc. Fares Abdo, P.E., Portland Cement Association Wayne Adaska, P.E., Portland Cement Association Chetan Hazaree, Iowa State University		8. Yüklenici Kuruluşun Rapor Kodu	
9. Yüklenici Kuruluşun Adı ve Adresi Ulusal Beton Yol Teknoloji Merkezi Ulaştırma için Enstitü, Iowa Eyalet Üniversitesi 2711 South Loop Drive, Suite 4700 Ames, IA 50010-8664		10. İş Birimi No. Ulaşım Raporlama ve Sorgulama Sistemi (TRAIS)	
		11. Sözleşme ya da Hibe No.	
12. Sponsor Kuruluşun Adı ve Adresi Portland Çimento Birliği 5420 Old Orchard Road Skokie, IL 60077		13. Rapor Tipi ve Kapsadığı Dönem El kitabı	
		14. Sponsor Kuruluşun Kodu	
15. Ek Notlar www.intrans.iastate.edu sitesini ziyaret edin.			
16. Özet Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) birçok yol inşası için ekonomik ve hızlı bir çözümdür. Geleneksel olarak, ağırlıklı olarak iri agrega içermesi nedeniyle, düşük hızların ve ağır trafiğin olduğu yollarda kullanılmış olmakla beraber son yıllarda ticari alanlarda ve yerel caddelerde ve karayollarında kullanımı da artmıştır. Bu rehber müteahhitler, malzeme üreticileri, ve diğer kuruluşlar için güncel SSB uygulamalarını kapsamlı bir şekilde anlatmaktadır. Rehber, genel anlamda SSB özellikleri ve malzemeleri, karışım oranlarını, yapısal tasarım konularını, üretim ve inşaat hususlarını, ayrıca sorun giderme rehberini ve geniş bir referans listesini içermektedir. Rehber, güncel araştırma ve uygulamalara dayalı olarak, SSB'nin yol malzemesi olarak kullanımını, özellikle beton yol kaplamasına göre, genel kullanım alanları, faydaları ve diğer yol malzemelerine göre potansiyel sınırlamalarını belirtmektedir.			
17. Anahtar Kelimeler silindirle sıkıştırılmış beton yollar, SSB, yol, yol malzemeleri		18. Dağıtım Beyanı Kısıtlama bulunmamaktadır.	
19. Güvenlik Sınıflandırması (Bu raporun) Sınıflandırılmamış.	20. Güvenlik Sınıflandırması (Bu sayfanın) Sınıflandırılmamış.	21. Sayfa Sayısı 116	22. Ücret Uygulanmaz

Rehber Hakkında

Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamaları Rehberi Portland Çimento Birliğin de desteğiyle, Iowa Üniversitesi Ulaştırma Enstitüsünde bulunan Ulusal Beton Yol Teknoloji Merkezinin (Ulusal CP Tech Center) hazırlanmıştır. Bu rehber malzeme tedarikçileri ve diğer kuruluşlar için güncel SSB uygulamalarını kapsamlı bir şekilde anlatmaktadır. Rehber, genel anlamda SSB özelliklerini ve malzeme çeşitlerini, karışım oranlarını, yapısal tasarım konularını, üretim ve inşaat hususlarını, ayrıca sorun giderme rehberini ve geniş bir referans listesini içermektedir.

Bilgilendirme

Yazarlar ve yardımcı yazarlar, Iowa State Üniversitesi Ulaştırma Enstitüsü'nde bulunan Ulusal CP Tech Merkezi ve Portland Çimento Birliği, bu kılavuzun gelişmesine katkıda bulunan kamu ve deneysel uzmanlara minnettardır. Yazarlar genel anlamda bu rehberin oluşturulmasında katkı sağlamış olsa da, bu kılavuzun uygulayıcılar için kapsamlı bir kaynak olmasında esas itibarıyla teknik danışman komitenin yorumları ve dikkatli değerlendirmeleri, tartışmalar ve revizyonları etkili olmuştur. Ulusal CP Tech Center ve Portland Çimento Birliği komitenin değerli yorumlarından dolayı teşekkür ederiz.

Fotoğraflar

Kapakta ve kılavuzun bütünündeki fotoğrafları aşağıdaki kişi ve kuruluşlar tarafından sağlandı:

- Fares Abdo, P.E., Portland Cement Association
- Wayne Adaska, P.E., Portland Cement Association
- Norbert Delatte, P.E., Cleveland State University
- John L. Edwards, Interstate Highway Construction, Inc.
- Wouter Gulden, P.E., American Concrete Pavement Association – Southeast Chapter
- Gregory Halsted, P.E., Portland Cement Association
- Chetan Hazaree, Iowa State University
- Frank Lennox, Buzzi Unicem USA
- David Pittman, P.E., Waterways Experiment Station, Army Corps of Engineers
- Randall Riley, P.E., Illinois Chapter, American Concrete Pavement Association
- Matthew Singel, P.E., Cement Council of Texas
- Mark Smallridge, P.E., Nigel Nixon and Partners, Inc.
- Tim Smith, P.Eng., Cement Association of Canada
- David White, Iowa State University

Daha fazla bilgi için

Roller ile sıkıştırılmış beton hakkında teknik hususlar için Portland Cement Association or the National CP Tech merkeziyle iletişime geçiniz:

Wayne Adaska, Director, Public Works
Portland Cement Association
5420 Old Orchard Rd.
Skokie, IL 60077
847-966-6200, info@cement.org, www.cement.org/

Tom Cackler, Director
Sabrina Shields-Cook, Managing Editor
National CP Tech Center
Institute for Transportation, Iowa State University
2711 S. Loop Drive, Suite 4700
Ames, IA 50010-8664
515-294-7124, shieldsc@iastate.edu, www.cptechcenter.org/

Sorumluluk

Iowa State Üniversitesi, bu belgenin yazarları, editörleri, tasarımcılar, ressam, distribütörler, veya teknik danışmanlar buradaki bilgilerin doğruluğu üzerine herhangi bir taahhüt veya garanti ifade veya ima yapmak ve yanlışları için sorumluluk kabul etmemektedir.

Iowa State University ırk, renk, yaş, din, ulusal köken, cinsiyet, medeni durum, engellilik, temelinde ayrımcılık yapmaz. Sorular Fırsat Eşitliği ve Çeşitlilik, Iowa State University, 3680 Beardshear Hall, 515-294-7612 Direktörü adresine yönlendirilebilir.

Çeviri Editörü Önsözü

Ülkelerin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğin göstergesi olarak görülmektedir. Ülkemizde kara trafiği her geçen gün daha da artmakta ve bu durum yol üst yapısında önemli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bir karayolu yatırımının proje ve inşaat safhalarında optimum çözümlerin üretilmesi gereklidir.

Türkiye karayollarında göremediğimiz beton yol teknolojisi, dünya standartlarında inşa edilen havaalanlarımızın tamamında var. Uçakların en güvenli iniş kalkışları yaptıkları, onlarca yıllık kullanım ömrü bulunan pistler beton yol teknolojisi ile üretiliyor. Beton yollarda dikkat edilmesi gereken hususlardan biri yolun yapımından sonraki trafiğe açılma süresidir. Beton yollarda hızlı erken döküm teknikleri (ultrafast track) geliştirilmiştir ve dünyada özellikle şehir içi beton yol uygulayıcıları tarafından kullanılmaktadır. Beton yolların uzun ömrü ve az tamir bakım isteme avantajı ile yeni yol yapımının az olacağı da düşünülmelidir. SSB beton yol teknolojisi de yukarıda bahsedilen konulara en iyi alternatif çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır.

SSB, Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Kaplamaları Rehberi, yüklenici firmalar, malzeme tedarikçileri ve diğer kuruluşlar için güncel SSB uygulamalarını kapsamlı bir şekilde anlatmaktadır. Rehber, genel anlamda SSB özelliklerini ve malzeme çeşitlerini, karışım oranlarını, yapısal tasarım konularını, üretim ve inşaat hususlarını, ayrıca sorun giderme rehberini ve geniş bir referans listesini içermektedir.

Bu çevirinin yapılmasında teşvikte bulunan Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği AR-GE Direktörü Prof. Dr. İsmail Özgür YAMAN'a ve kitabın basımını üstlenen Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'ne teşekkür ederim. Kitabının tercüme edilmesinde Mehmet Tevfik Seferoğlu ve Ayşegül Güneş Kaya'ya katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Okuyucularımızın kitabının çevirisi sırasında oluşmuş olabilecek hataları tarafımıza bildirmeleri durumunda Türkçe kaynağın güncelleştirilmesinde katkı sağlanmış olunacaktır.

Bu rehber kitabının Türkiye'de beton yol üstyapıların yaygın bir şekilde uygulanmasına katkı sağlama dileklerle.

Muhammet Vefa Akpınar, PhD, P.E.

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

mvakpinar70@yahoo.com

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON YOL KAPLAMALARI İÇİN REHBER

Ağustos 2010

Yazar

Dale Harrington, P.E., Principal Senior Engineer, Snyder and Associates, Inc.

Yardımcı Yazarlar

Fares Abdo, P.E., Portland Cement Association

Wayne Adaska, P.E., Portland Cement Association

Chetan Hazaree, Iowa State University

Katkıda Bulunan Teknik Yazarlar

Fatih Bektas, Iowa State University

Halil Ceylan, Iowa State University

Norbert Delatte, P.E., Cleveland State University

John L. Edwards, Interstate Highway Construction, Inc.

Wouter Gulden, P.E., American Concrete Pavement Association – Southeast Chapter

Frank Lennox, Buzzi Unicem USA

Matthew Singel, P.E., Cement Council of Texas

Tim Smith, P.Eng., Cement Association of Canada

Teknik Danışma Komitesi

Tom Cackler, P.E., National Concrete Pavement Technology Center

Norbert Delatte, P.E., Cleveland State University

John L. Edwards, Interstate Highway Construction, Inc.

Wouter Gulden, P.E., American Concrete Pavement Association – Southeast Chapter

Gregory Halsted, P.E., Portland Cement Association

Frank Lennox, Buzzi Unicem USA

Tim McConnell, P.G., Portland Cement Association

David Pittman, P.E., Waterways Experiment Station, Army Corps of Engineers

Randall Riley, P.E., Illinois Chapter, American Concrete Pavement Association

Brent Rollins, Ready Mix USA

Matthew Singel, P.E., Cement Council of Texas

Mark Smallridge, P.E., Nigel Nixon and Partners, Inc.

Tim Smith, P.Eng., Cement Association of Canada

Ariel Soriano, P.E., City of Chattanooga, TN

Christopher Tull, P.E., CRT Concrete Consulting, LLC

Sam Tyson, P.E., Federal Highway Administration

Dan Vipperman, A.G. Peltz

Teknik Hakemler

Peter Taylor, P.E., National Concrete Pavement Technology Center

Thomas Van Dam, P.E., AP Tech

Yayın Personeli

Sabrina Shields-Cook, Yönetici Editör

Peter Hunsinger, Kopy editör

Mina Shin, GrafikTasarımcı ve Ressam

ASTM/AASHTO Standartları

Bu dokümanda aşağıda sıralanan American Society for Testing and Materials (ASTM) International and American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) standartları referans olarak içermektedir.

- ASTM C33 Standard Specification for Concrete Aggregates
- ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- ASTM C42 Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete
- ASTM C78 Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading)
- ASTM C88 Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
- ASTM C94 Specification for Chemical Admixtures for Concrete
- ASTM C131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
- ASTM C150 Standard Specification for Portland Cement
- ASTM C586 Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks as Concrete Aggregates (Rock-Cylinder Method)
- ASTM C595 Standard Specification for Blended Hydraulic Cements, Type IP and IS
- ASTM C618 Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete
- ASTM C666 Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing
- ASTM C672 Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals
- ASTM C989 Standard Specification for Slag Cement for Use in Concrete and Mortars
- ASTM C1105 Standard Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction
- ASTM C1157 Standard Performance Specification for Hydraulic Cement
- ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- ASTM C1170 Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table
- ASTM C1240 Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures
- ASTM C1262 Standard Test Method for Evaluating the Freeze-Thaw Durability of Dry-Cast Segmental Retaining Wall Units and Related Concrete Units
- ASTM C1435 Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer
- ASTM C1602 Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete
- ASTM D1557 Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort
- ASTM D3744 Standard Test Method for Aggregate Durability Index
- AASHTO M6 Fine Aggregate for Portland Cement Concrete
- AASHTO M80 Coarse Aggregate for Portland Cement Concrete
- AASHTO T96 Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine
- AASHTO T103 Soundness of Aggregates by Freezing and Thawing
- AASHTO T104 Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate
- AASHTO TP60 Coefficient of Thermal Expansion of Hydraulic Cement Concrete

İçindekiler

Rehber Hakkında	ii
Bilgilendirmeler	ii
Fotoğraflar	ii
ASTM/AASHTO Standartları	v
BÖLÜM 1: SSB YOLLARI İÇİN ANAHTAR ELEMANLARI	1
Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yol Nedir?	1
SSB Nasıl Çalışır?	3
SSB ile Geleneksel Beton Yol Arasındaki Temel Farklılıklar Nelerdir?	5
SSB'nin Faydaları Nelerdir?	8
SSB'nin Potansiyel Limitleri Nelerdir?	10
BÖLÜM 2: SSB KAPLAMALARIN GENEL KULLANIMLARI	11
Limanlar, Çok Amaçlı Tesisler ve Ağır Sanayi Tesisleri	13
Trafik Türü	13
Tasarım	13
Yüzey Özellikleri	13
Kesilmiş Derzler	13
Hafif Sanayi Alanları	14
Trafik Türü	14
Tasarım	14
Yüzey Özellikleri	14
Kesilmiş Derzler	14
Havaalanları	15
Trafik Türü	15
Tasarım	15
Yüzey Özellikleri	15
Kesilmiş Derzler	15
Anayol Caddeleri	16
Trafik Türü	16
Tasarım	16
Yüzey Özellikleri	16
Kesilmiş Derzler	16
Yerel Sokaklar	17
Trafik Türü	17
Tasarım	17
Yüzey Özellikleri	17
Kesilmiş Derzler	17
Genişletme ve Banketler	18
Trafik Türü	18
Tasarım	18
Yüzey İyileştirmesi	18
Kesilmiş Derzler	18
Yüksek Hız Kullanımları İçin Çok Tabakalı Kaplama Sistemleri	19
Trafik Türü	19
Tasarım	19

Yüzey İyileştirmesi.....	19
Kesilmiş Derzler	19
Kereste Tesisleri, Karışım ve Depolama Alanları	20
Trafik Türü	20
Tasarım.....	20
Yüzey İyileştirmesi.....	20
Kesilmiş Derzler	20
BÖLÜM 3: SSB ÖZELLİKLERİ VE MALZEMELER	21
SSB Mühendislik Özellikleri	21
Mukavemet.....	22
Elastisite Modülü.....	23
Yorulma	23
Aderans Mukavemeti	23
Donma-Çözülme Dayanıklılığı.....	24
Büzülme	26
Geçirimsizlik	26
SSB Malzemelerinin Seçimi	26
Agregalar.....	27
Bağlayıcı Malzemeler	29
Su	30
Kimyasal Katkılar	30
BÖLÜM 4: SSB KARIŞIM TASARIMI	33
Karışım Tasarımı Felsefesi	33
SSB Karışım Tasarımında Malzemelerde Dikkate Alınacak Hususlar	34
Agregalar.....	34
Su	35
Bağlayıcı Malzeme	35
Kimyasal Katkılar	35
Gerekli Basınç Mukavemeti	35
Tipik Karışım Tasarım Örnekleri	36
Karışım Tasarımı Yöntemleri	38
Zemin Sıkıştırma Yöntemi	38
BÖLÜM 5: SSB KAPLAMALARIN YAPISAL TASARIMI	41
Tasarımın Temelleri	41
Taban, Alttemel ve Temel Tasarımı	43
Tasarım Yöntemleri	43
SSB-PAVE Yazılımı (PCA Yöntemi).....	44
PCA Tasarım Örnekleri	45
USACE Yöntemi (Kara Ve Hava Kuvvetleri 1992).....	49
USACE Tasarım Örnekleri	50
ACI Tasarım Yöntemleri	51
Park Alanları	51
Caddeler ve Yerel Yollar.....	53
ACPA StreetPave Tasarım Yöntemi	53
Derz Yapımı	56
Yük Transferi (Derz Verimliliği)	57
Enine Derz Aralıkları	57

Boyuna Derz Aralıkları	57
Yalıtım ve Genleşme Derzleri	58
BÖLÜM 6: SSB ÜRETİMİ	59
Giriş	59
SSB Malzemelerinin Kullanımı ve Depolanması	61
Agrega Kullanımı ve Ayırışma	61
İnşaat Öncesi Testler	61
SSB Karışım Tesisleri	61
Beton Santrali	62
Mütemadi Santraller	63
Harmanlama ve Gözlem	65
Kalite Kontrol	65
Üretim Aşamaları	65
BÖLÜM 7: SSB İNŞAASI	67
Giriş	67
Taban Zemin, Alttemel ve Temel Tabakasının Hazırlaması	68
SSB'nin Taşınması	69
Deneme İnşaatı (Test Bantları)	70
Yerleştirme	71
Sıkıştırma	73
Boylam Derz Oluşturulması	74
Enlem Soğuk Derz Oluşturulması	76
Sıkıştırma Şablonları —İlk Şeritin Sıkıştırılması	76
Taze Dik Boylam Derzin Sıkıştırılması	77
Dik Soğuk Boylam Derzin Sıkıştırılması	78
Kesilmiş Derzler	78
Yalıtım ve Genleşme Derzleri	81
Kesilmiş Derzlerin Doldurulması	81
Kür	81
Erken Mukavemetin Oluşması	83
Kalite Güvencesi ve Kalite Kontrolü	83
BÖLÜM 8: SSB KAPLAMALARDA YAPISAL SORUNLARIN ÇÖZÜMÜ	85
REFERANSLAR	89
Ek A	91
Toprak Sıkıştırma Analogisi Metoduna Bağlı Karışım Hazırlama Yöntemi	91
Örnek Karışım Tasarım Problemi	91
Ek B	93
SSB-PAVE (Tek Tekerlek Yükleme) Sonuçları	93
SSB-PAVE (Çift Tekerlek Yükleme) Sonuçları	94
USACE Tasarım Örnek Sonuçları	95
StreetPave Program Sonuçları	96
Ek C	97
Silindirle Sıkıştırılmış Beton Yolların İnşaatı İçin PCA Şartname Rehberi	97

Şekiller Listesi

Şekil 1-1.	1980 başlarından itibaren artan (Pittman 2009) SSB yol kullanımı (Pittman 2009)	2
Şekil 1-2.	SSB asfalt kaplamaya benzer şekilde geleneksel beton yol kavramlarını uygulamalarla birleştirir	3
Şekil 1-3.	Tipik SSB agrega gradasyonu (grafik üzerinde düz siyah) asfalt ara tabakasının gradasyonuna benzer (grafik üzerinde kesik mavi çizgiler)	3
Şekil 1-4.	Farklı SSB karışımların mukavemet-yoğunluk ilişkileri (Schrader 1992)	4
Şekil 1-5.	SSB ve geleneksel betonların tipik malzeme karşılaştırmaları	6
Şekil 1-6.	SSB (sağ) ve geleneksel portlad çimento betonların (sol) agrega dağılımlarının karşılaştırması	6
Şekil 1-7.	SSB ve geleneksel betonun ilk birkaç gün içindeki yük taşıma kapasiteleri	7
Şekil 1-8.	SSB yüzey pürüzlülüğünün geleneksel beton (PCC) ve asfalt yollara (HMA) göre karşılaştırılması	9
Şekil 1-9.	SSB elmas pürüzlendirme işlemi pürüzsüz ve sessiz yüzey sağlar	9
Şekil 2-1.	Liman Tesis, Houston, Texas	13
Şekil 2-2.	Austin, TX'da 10 yıllık dağıtma merkezi	14
Şekil 2-3.	Havaalanında SSB yol serim uygulaması	15
Şekil 2-4.	Columbus, Ohio da ana cadde üzerinde inşaa edilmiş SSB yolu	16
Şekil 2-5.	Yerel caddelerde kullanılan SSB yol kaplaması	17
Şekil 2-6.	Atlanta, GA yakınlarında I-285 yolu üzerinde kaldırımların yeniden inşasında SSB kullanımı	18
Şekil 2-7.	Geotekstil fabrik tabakasında beton serimi	19
Şekil 2-8.	Tomruk işleme tesisinde inşaa edilen SSB yol	20
Şekil 3-1.	İnce ve iri agregaları için tavsiye edilen karma gradasyonu	27
Şekil 4-1.	SSB karışım tasarımında göz önünde bulundurulacak faktörler	34
Şekil 4-2.	Silindir numunelerde basınç mukavemeti	35
Şekil 4-3.	Tavsiye edilen agrega gradasyonu ve 0.45 üstel eğrisi	39
Şekil 4-4.	Su muhtevası-yoğunluk ilişkisi	39
Şekil 4-5.	SSB silindir numunesinin vibrasyonlu çekiçe sıkıştırılması	40
Şekil 4-6.	Mukavemet-çimento içeriği grafiği	40
Şekil 5-1.	SSB için yorulma ilişkisi (PCA 1987)	42
Şekil 5-2.	Straddle taşıyıcı	45
Şekil 5-3.	Tekil tekerlek yükleri için tasarım grafiği (PCA1987)	46
Şekil 5-4.	Çift tekerlekli straddle taşıyıcı yükleme rıhtımı (Wayne Adaska)	47
Şekil 5-5.	Çift tekerlek yükleri için gerilme etki faktörü (PCA 1987)	49
Şekil 5-6.	Geleneksel beton yollar, caddeler ve SSB yollar için tasarım eğrileri (Army Air Force 1992)	50
Şekil 5-7.	SSB plaklarında genleşmeye bağlı olarak oluşmuş bozulmalar	58
Şekil 6-1.	SSB üretim akış diyagramı	60
Şekil 6-2.	Eğimli döner mikser hazneleri	62

Şekil 6-3.	Transmikserler kamyonu karışımları dökerken.....	63
Şekil 6-4.	Sürekli beslemeli karışım (sol) karışım odasından yakın görünümü (sağ).....	64
Şekil 6-5.	Yatay şaft mikser (sol) ve karışım odasından yakın görünümü (sağ).....	64
Şekil 7-1.	Taban zeminin hazırlanması.....	68
Şekil 7-2.	SSB'nin homojen olarak kamyonlara yüklenmesi (California ve PCA)	69
Şekil 7-3.	Tek problu nükleer yoğunluk aletiyle yoğunluğun kontrol edilmesi.....	71
Şekil 7-4.	Sericiden yakın görüntü çekimi	73
Şekil 7-5.	Pnömatik ve çelik silindir sıkıştırma makinelerin yan yana görünüşleri (Edwards)	73
Şekil 7-6.	Taze boylam derz	75
Şekil 7-7.	Bitmiş boylam soğuk derz	75
Şekil 7-8.	İkinci tabaka yol kenarların döşenmesi (sol) ve birinci tabakadan yukarı doğru yansıma şeklinde oluşan çatlak ve boylam derz çatlağı (sağ)	76
Şekil 7-9.	Yolun birinci tabakasının sıkıştırılması	77
Şekil 7-10.	Taze dik derzin sıkıştırılması	78
Şekil 7-11.	Dik soğuk boylam derzin sıkıştırılması (SSB yolların tasarım ve inşaatına göre, Quebec 2005).....	79
Şekil 7-12.	Kesilmiş enlem ve boylam derzler	79
Şekil 7-13.	Yol kenarı enlem derzin kesilmesi	80
Şekil 7-14.	Boylam derz.....	80
Şekil 7-15.	Karot alımı (sol) ve kanalizasyon kapağı etrafında izolasyon derzi	81
Şekil 7-16.	Kür malzemesinin uygulanması	82
Şekil 7-17.	Nem kür işlemi. Sulama ve püskürtme ile kür uygulaması	82

Tablolar Listesi

Tablo 1-1.	Geleneksel beton ve sıkıştırılmış beton yollarda malzeme ve uygulamaların karşılaştırılması	5
Tablo 4-1.	Genel karışım tasarım yöntemleri ve uygulamaları	34
Tablo 4-2.	Karışım tasarım örnekleri	37
Tablo 5-1.	Gerilme oranları ve izin verilebilen yük tekrürleri (PCA IS233)	46
Tablo 5-2.	İzafi rijitlik yarıçap değerleri, I-değerleri (in.).....	48
Tablo 5-3.	Örnek PCA çift tekerlek kalınlık tasarım sonuçları.....	49
Tablo 5-4.	Yol tasarım indeks değerleri, USACE yöntemi.....	51
Tablo 5-5.	Beton park alanların tasarımı (ACI 330R-08)	52
Tablo 5-6.	Yol kalınlığı, in., birleştirilmiş kurb ve oluk veya kaldırımlar (kenarları desteklenmiş) (ACI 325.12R).....	54
Tablo 5-7.	Yol kalınlığı, in., birleştirilmiş kurb ve oluk veya kaldırımlar (kenarları desteksiz) (ACI 325.12R).....	55
Tablo 6-1.	Numune kalite kontrol testleri (silindirle sıkıştırılmış beton kalite kontrol rehberinden).....	61
Tablo 8-1.	SSB inşaatında karşılaşılan sorunlar ve çözümler	87
Tablo A-1.	Yüzde 12 çimento oranı için proktor verisi	91
Tablo A-2.	Yüzde 12 çimento içeriği ve yüzde 6.5 nem içeriği için karışım oranları	92
Tablo A-3.	Yüzde 12.7 çimento içeriği ve yüzde 6.4 nem içeriği için son karışım oranları.....	92

BÖLÜM 1

SSB YOLLARIN ANAHTAR ELEMANLARI



Sıkıştırılmış Beton Yol Nedir?

Sıkıştırılmış beton (SSB), ağır titreşimli çelik tambur ve lastik tekerlekli silindirlerle (Pnömatik) beton yolun son şeklini alma işlemidir. SSB geleneksel betonlarla benzer mukavemet özellikleri ve malzeme içeriklerine sahiptir. İyi derecelendirilmiş agrega gradasyonu, çimento bağlayıcı, su ve farklı katkı malzemesi içerir. SSB karışımları ve geleneksel beton karışım arasındaki en büyük fark, SSB’de sıkışmaya ve çökmeye olanak sağlayan ince agregaların daha yüksek oranda olmasıdır.

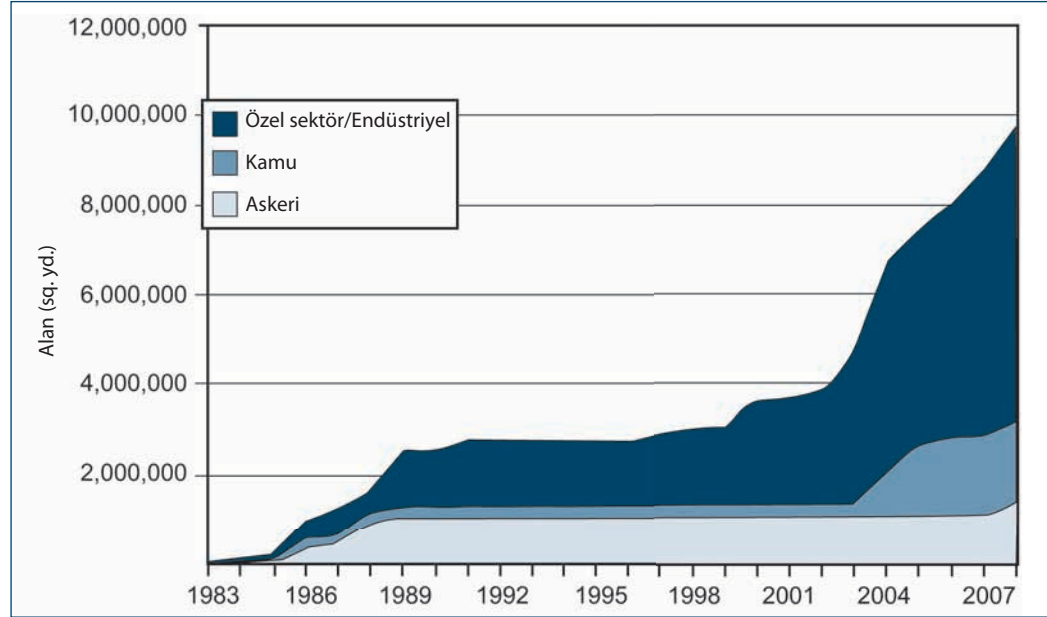
Taze SSB, tipik çökme (slump) değeri sıfır olan betondan daha serttir. SSB titreşimli silindirler altında stabil kalacak kadar sert, ama ayrışma olmadan yeterli karışımı ve çimento hamur dağıtımına izin verecek kadar yaştır (ıslak).

SSB genellikle asfalt tipi serici ile serilir ve sonrada silindir makineleriyle birkaç kez sıkıştırılır. Nihai sıkıştırma ilk bir saatte sağlanır. Geleneksel beton yolların aksine, PCC beton yollar Dowel ve donatı olmadan yapılır. Derz kesimi şart olmayıp, ihtiyaç duyulması durumunda derz aralıkları geleneksel beton yollara göre daha geniş tutulur.

SSB yolları mukavemeti yüksek, yoğun ve dayanıklıdır. Liman, intermodal ve askeri tesisler, karayolu kaldırımlarında, sokaklarda ve otoyol yapımında hızlı ve ekonomiktir. SSB kaldırımlar, otopark ve depolama alanları için mükemmel bir alternatiftir. SSB, temel malzeme olarak kompozit sistemlerde kullanılabilir.

Kamu ve özel uygulamalarda SSB kullanımı özellikle düşük hacimli yol ve park alanları (Pittman 2009) yapımında, (Şekil 1-1) son yıllarda giderek artmaktadır.

Şekil 1-1. 1980 başlarından itibaren artan SSB yol kullanımı (Pittman 2009)



1930'lar:
İsveç'te SSB uygulama.



1970'ler:
Kanada'da SSB Tomruk Alanlarında SSB uygulamaları artmıştır.



1980'lerin sonları 1990'ların başları:
A.B.D'de karayolları, limanlar ve intermodal tesisleri SSB yollar inşa edilmiştir.

SSB'nin tarihçesi

1940'ların başı:
Kuzey Amerika Kıtasında ilk SSB yolu Washington Eyaletinde Yakimada bulunan havaalanı yoludur.



1980'lerin başı:
US Army Corps of Engineers ABD ordusu tesislerinde SSB beton yol uygulama ve araştırmaları yapmıştır.



2000'lerin başı:
Düşük ve orta kapasiteli trafiğe sahip cadde ikinci derece öneme sahip karayolları inşasında SSB kullanımı rağbet görmeye başlamıştır.



SSB Nasıl Çalışır?

SSB yollar beton ve asfalt yolların birçok yönlerini ve uygulamalarını birleştirmektedir. (Şekil 1-2). SSB beton yollar her ne kadar asfalt yollar gibi agrega gradasyonuna sahip olsalar ve sıkıştırılsalar da (Şekil 1-3), malzemeler ve yapısal performansları geleneksel beton yollara benzerdirler. (Agrega gradasyonu için Bölüm 3 ve 4'e bkz.)

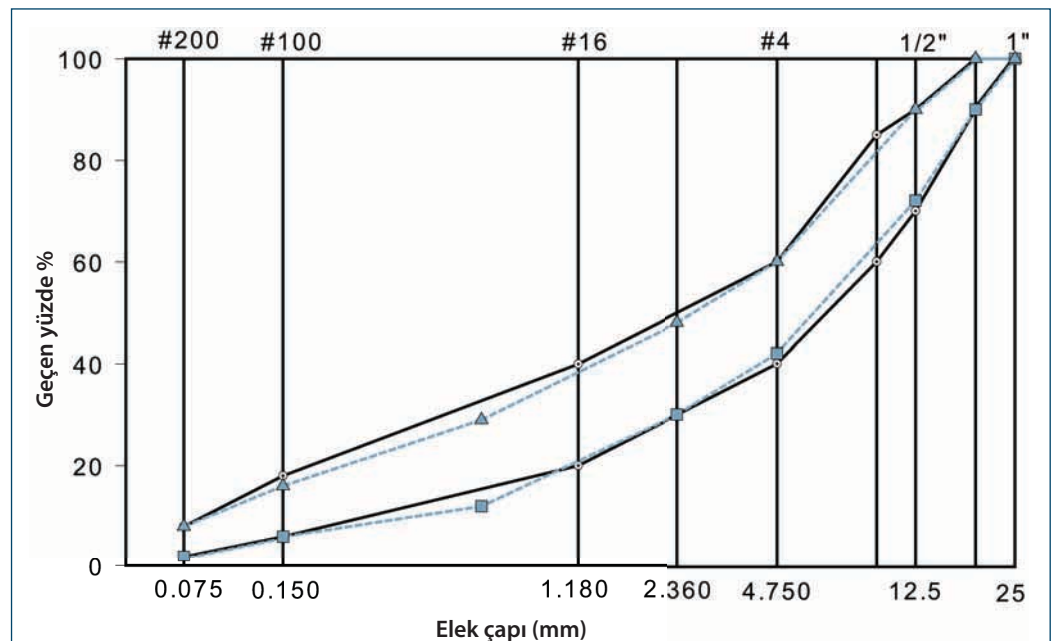
İyi derecelendirilmiş agregalarla, uygun çimento ve su içeriği, ve yoğun sıkıştırma ile, SSB yollar çok düşük geçirgenliği ile, geleneksel betona eşit mukavemet özellikleri elde edebilirsiniz.

SSB yerleştirme işleminden sonra sıkıştırma makinesinin taşıyabilecek kadar kuru olmalıdır. Öte yandan harcın homojen olarak dağılması içinde yeri miktarda yaş (ıslak) olmalıdır.

Şekil 1-2. SSB asfalt kaplamaya benzer şekilde geleneksel beton yol kavramlarını uygulamalarla birleştirir



Şekil 1-3. Tipik SSB agrega gradasyonu (grafik üzerinde düz siyah) asfalt ara tabakasının gradasyonuna benzer (grafik üzerinde kesik mavi çizgiler)



Harcın agrega yüzeylerini kaplaması ve boşlukların doldurulması için uygu karışım oranları elde edilmesi şarttır. Mukavemetli ve bozulmalara karşı dayanaklı ve yük transferin agregalar arasında kenetlenme ile sağlanması için agrega yüzeylerinin yeterli çimento hamuruyla sarılması şarttır.

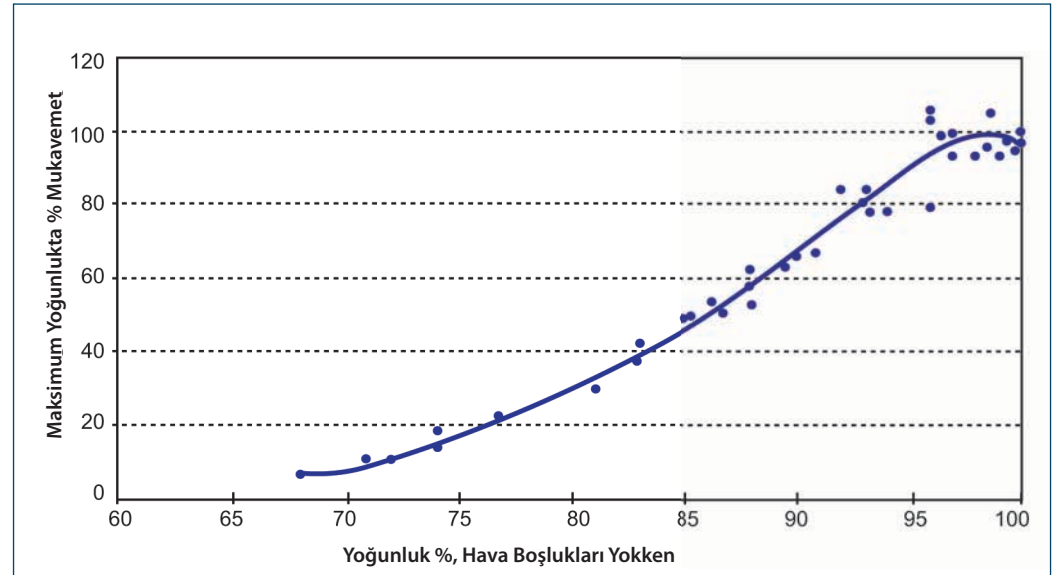
Kompaksiyon, yollarda agregaların bir araya sıkıştırılması, aralarındaki boşlukların özellikle hava boşluklarının azaltılması, ve yoğunluğun artırılması işlemidir. Yoğunluğun artırılmış yollar yük taşıma uygulamaları için daha uyguna hale gelmesi demektir. Sıkıştırma işlemi agrega taneleri arasındaki hamurun hidrasyonun sertleşmeye başlamasından hemen önce yapılmalıdır.

Sıkıştırma esnasında uygun yoğunluğun elde edilmesi, eşit olmayan çökmelerin ve izole edilmiş zayıf bölgelerin oluşmasını engeller. Özel karışımlara ve serim işleminde kullanılan iş makinelerine bağlı olarak, silindirlerle yapılan harici mekanik kompaksiyon hacimde %5 ile %20 azalmaya sebep olabilir.

SSB karışımlarındaki hava boşluklarını en aza indirmek, SSB'lerin dayanaklığı açısından çok önemlidir. Fazla boşluk oranı hava ve suyun geçirilmesini sağlar. Hava boşlukları malzemenin zayıflamasına sebep olurken, aşırı su donma çözünmeye bağlı gerilmelere sebep olacaktır. En iyi performans özellikleri, SSB karışımında ayrışmaların olmadığı ve kaplamanın bütününde maksimum yoğunluğa ulaşacak şekilde sıkıştırıldığında elde edilmektedir.

Yoğunluğu azalmasıyla SSB kaplamanın mukavemeti önemli ölçüde azalmaktadır. (Şekil 1-4) (Schrader 1992).

Şekil 1-4. Farklı SSB karışımların mukavemet-yoğunluk ilişkileri (Schrader 1992)



SSB ile Geleneksel Beton Yollar Arasındaki Temel Farklılıklar Nelerdir?

Tablo 1-1 SSB ile geleneksel beton yol malzemeleri ve uygulamalarının karşılaştırılmasını göstermektedir.

Tablo 1-1 Geleneksel beton ve sıkıştırılmış beton yollarda malzeme ve uygulamaların karşılaştırılması

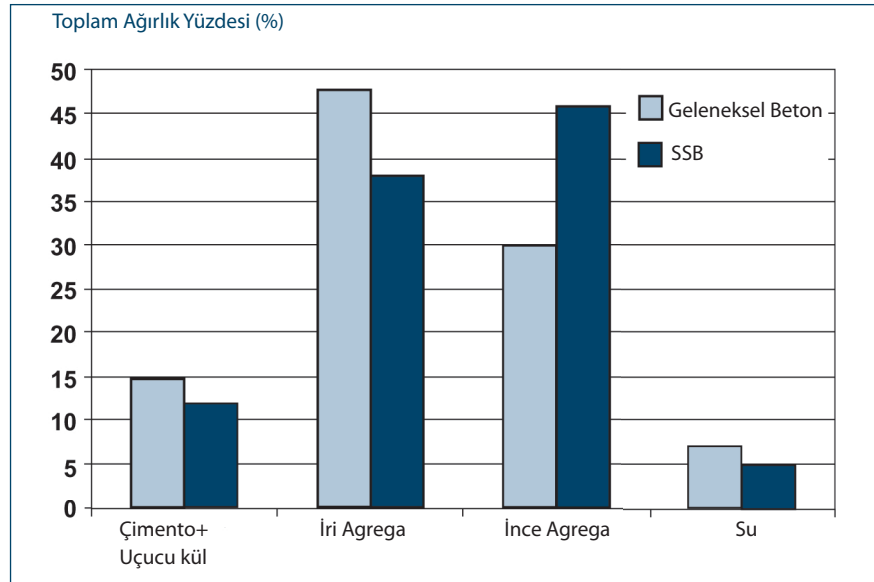
Yol Tipi		
Genel uygulamalar ve malzemeler	Geleneksel Beton Yollar	SSB Yollar
Malzeme karışım oranları	İyi derecelendirilmiş iri ve ince agregalar toplam hacmin %60 ile 70'ini oluşturur. Tipik su çimento oranı 0.4-0.45 olup bu değerler karışım içerisinde agregaların etrafının ve boşlukların doldurulması için gerekli çimento hamurunun yağ olması için gerekli kıvamı sağlar. Geleneksel Beton yollar ve SSB yollarda kullanılan su, çimento, iri agregalar ve ince agregalar oranları Şekil 1-5'de karşılaştırılmıştır.	Yoğun ve iyi derecelendirilmiş iri ve ince agregalar, tipik olarak hacimce SSB beton karışımların %75-80'nini oluşturur. Yüksek oranda ince taneler içermesi ve düşük oranda çimento ve su içermesi nedeniyle, SSB karışımları geleneksel beton karışımlara göre daha kurudur. Geleneksel beton ve SSB karışımları için Şekil 1-5 bakınız.
İşlenebilirlik	Karışım sericilerin şekil verebilmesi için yeteri kadar plastik ve akıcı ama aynı zamanda makineden çıkarken şeklini koruması içinde yeteri kadar serttir (5.1 cm slump çökme).	Karışım sürekli yoğun gradasyona sahiptir. SSB kuru ve serttir (sıfır çökme) geleneksel beton makineleriyle şekil vermek zordur.
Serme ve yerleştirme	Dağıtma, düzeltme, vibrasyonla sıkıştırma işlemi yapan sericiden önce karışım yol güzergahına dökülür.	Genellikle SSB karışımı ağır sericiler içerirse dökülür ve bu sayede yola serilir. Kullanılan sericiler kendiliğinden hareket eden, yüksek yoğunlukta ve homojen kalınlık sağlayan iş makineleridir. Kalıplara ihtiyaç yoktur. SSB minimum 15.2 ile 20.3 cm (6-8 in) ve maksimum 25.4 cm (10 in.) tabaka kalınlıklarında serilir.
Sıkıştırma, çökme ve hava boşlukların uzaklaştırılması	Yol serici iş makinesinde mevcut bulunan iç ve dış vibratörler ile plastik kıvamdaki beton karışım sıvılaştırarak havanın dışarı çıkması sağlanır. İş makinesinden işlem gören beton karışım çıkışta kendiliğinden çökemeye başlar (çimento ve agregalar) ve su yüzeye doğru hareket etmeye başlar (kusma).	Sıkıştırma harici olarak, genellikle karıştırma işleminden sonraki ilk 60 dakika içerisinde (çimento hamurunun sertleşmesi başlamadan önce) silindir makinelerle gerçekleştirilir.
Bitirme (Pürüzlendirme)	Sonlandırma ilk oturma tamamlanmadan önce işlemlere son verilir. Geleneksel beton mekaniksel işlemlerle pürüzlendirilir.	SSB kaplamasının yüzeyi asfalt kaplamadakine benzer şekilde makro pürüzlüğe sahip olmakla beraber daha küçük agregalar tanelerin ve/veya ek çimentonun kullanılması durumunda pürüzsüz yüzeyler elde edilebilir. SSB kaplama yüzeyi elmas pürüzlendirme işlemiyle de pürüzlendirilebilir.
Hidratasyon	Beton karışımlarda uygun hidratasyon oluşumu, beton yolların uzun ömürlü olması için önemlidir. Bu anlamda hidratasyona yardımcı olması bakımından betonunu kür edilmesi zorunludur.	Beton karışımlarda uygun hidratasyon oluşumu, SSB beton yolların uzun ömürlü olması için önemlidir. Hidratasyona yardımcı olması bakımından betonunu kür edilmesi zorunludur.
Kür	İş biter bitmez kür işlemlerine başlanmalıdır. Suyun beton kaplama yüzeyinden buharlaşmasının kontrol altına alınması su-çimento hidratasyonu açısından önemlidir. Bu sayede çimento hamurunun boşlukları doldurarak agregaların daha güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır.	Sıkıştırma makinesiyle sıkıştırma işleminden hemen sonra tam kür sağlanmalıdır. Suyun beton kaplama yüzeyinden buharlaşmasının kontrol altına alınması su-çimento hidratasyonu açısından önemlidir. Bu sayede çimento hamurunun boşlukları doldurarak agregaların daha güçlü bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır.
Çatlak, yük transferi ve güçlendirme	Geleneksel derzli yollarda, çatlakların yerleri derzlerin kesilmesiyle kontrol altına alınır. Enlem derzlerde dowel barlarla yük transferi sağlanır (20.3 cm'den daha kalın yollarda) boylam tie barları da agregalar kenetlenmesi sağlar. Sürekli güçlendirilmiş yollarda donatı ve agregalar kenetlenmesiyle beraber yük transferi sağlanır.	SSB uygulamalarında birleşim derzlerin kesilmesi yaygın değildir. Kesme işlemi belirtilmemişse, rastgele çatlaklar 4.6-9.1 metre aralıklarla sık çatlaklar meydana gelir. Yük transferi agregalar kenetlenmesiyle sağlanır. Çatlakların kontrol edilmesi istendiğinde kesme işlemi belirtilir. SSB beton yollarda sıkıştırma nedeniyle dowel bar veya tie bar serilmesi mümkün değildir.

SSB karışımları tipik olarak geleneksel beton karışımlarına göre daha az çimento malzemeler, iri agregalar, ve su hacmine sahip olup, yol kaplamasında hava boşluklarını dolduran daha fazla ince tanelere sahiptirler (Şekil 1-5). Geleneksel betona göre SSB deki ince taneli agregalar daha sıkı bir şekilde bir arada toplanmıştır (Şekil 1-6). Bu sıkılaşma, başlangıçta taneler arasında daha yüksek sürtünmeye (tane kilitlenmesi) ve beton yolun başlangıç taşıma kapasitesine katkıda bulunmaktadır.

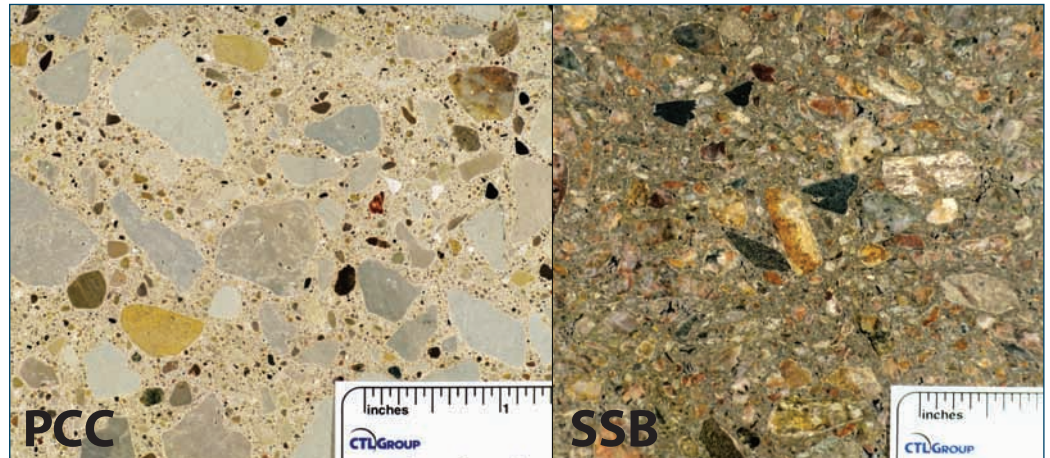
Bütün yol inşaatları mekaniksel (oturma) ve kimyasal (hidratasyon) işlemi içerir. Geleneksel beton yol için, oturma vibratörlü yol iş makineleriyle sağlanır. Hidratasyon işlem süreci boyunca, çimento hamuru agregaların bağlanması için sertleşir. SSB yolları için oturma, geleneksel veya yüksek yoğunluklu sericileri müteakip silindir veya tekerlekli sıkıştırma makineleriyle oluşur. Geleneksel yöntemde çimento hamuru SSB kaşımı içerisindeki agregaları birleştirmek için sertleşir. Sonuç geleneksel beton yol özelliklerine benzer yoğun bir yola sahip olmaktadır.

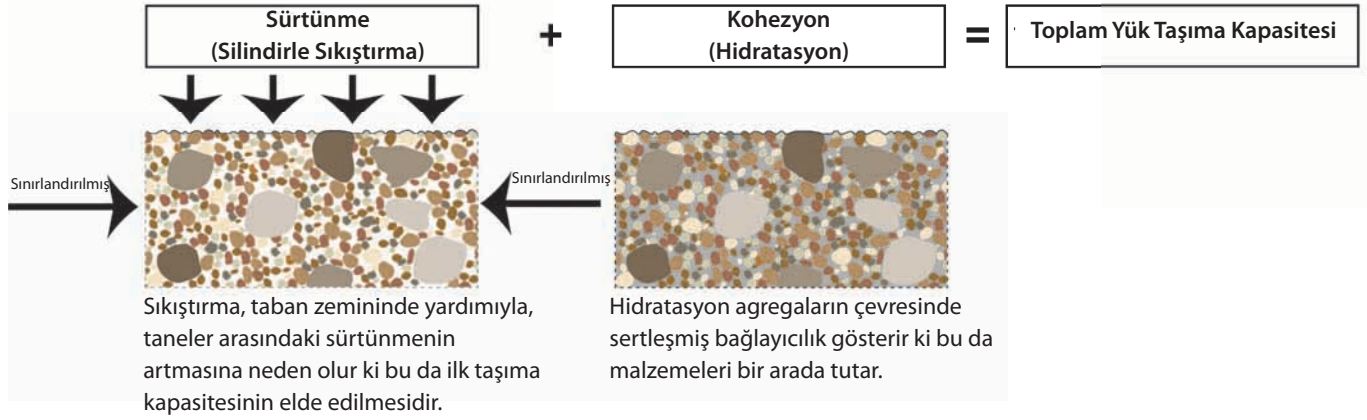
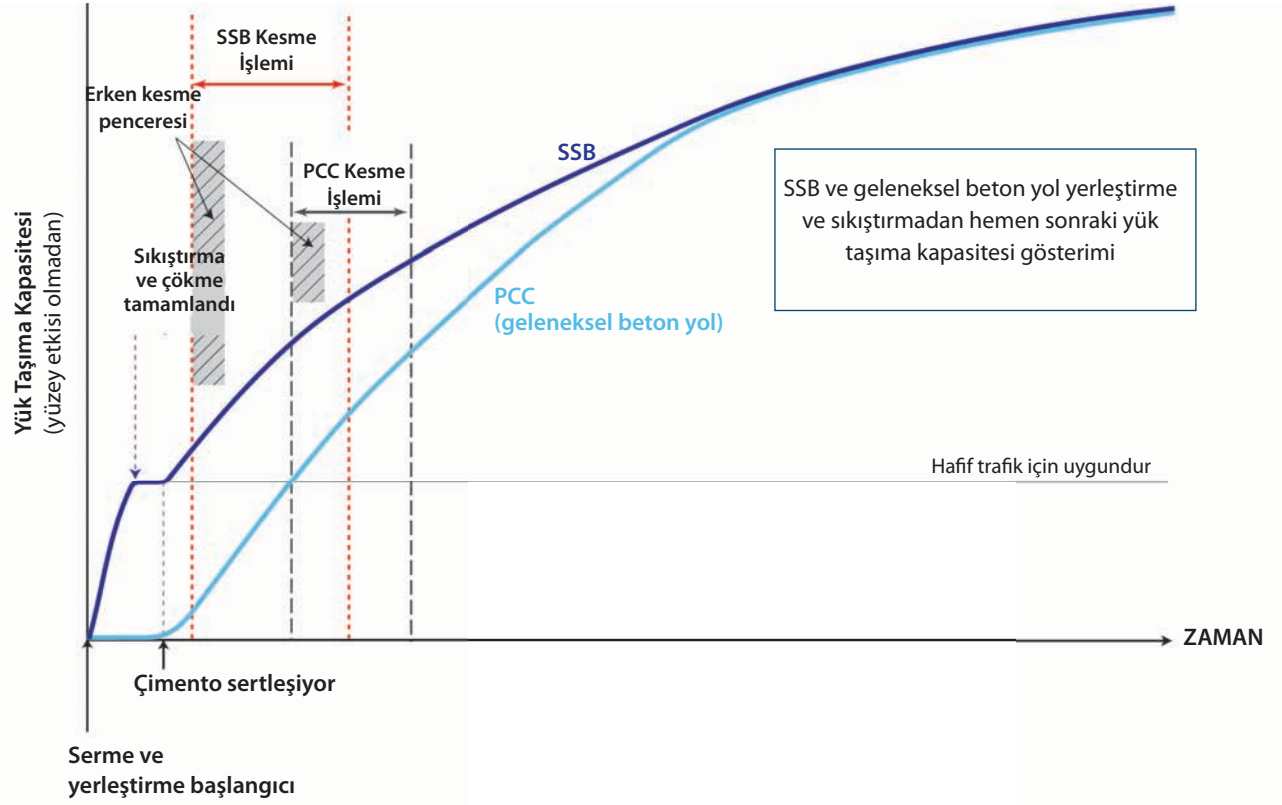
Şekil 1-7 betonun serilip yerleştirildikten sonraki ilk zamanlarda geleneksel beton ve SSB yolların yük taşıma kapasitelerini göstermektedir. Yerleştirme işleminden hemen sonra geleneksel beton, agrega tanelerini birleştiren çimento hamurunun sertleşmesine sebebiyet veren hidratasyon başlayıncaya kadar plastik kıvamdadır. Geleneksel beton derz kesme işlemleri başlayıncaya kadar hafif araç trafiğini taşıyabilecek yük taşıma kapasitesine sahip değildir.

Şekil 1-5. SSB ve geleneksel betonların tipik malzeme karşılaştırmaları



Şekil 1-6. SSB (sağ) ve geleneksel portland çimento betonların (sol) agrega dağılımlarının karşılaştırması





Şekil 1-7. SSB ve geleneksel betonun ilk birkaç gün içindeki yük taşıma kapasiteleri

Bunun tersine, beton seriminden hemen sonra SSB hafif araç trafik yükünü taşıyabilecek kapasitedir. Yük taşıma kapasitesi agrega taneleri arasında sürtünmeye ve kenetlenmeye sebep olan sıkıştırma işleminden dolayıdır. Buna rağmen SSB ve geleneksel beton uygun beton mukavemeti (tipik olarak 13.8 ve 17.2 MPa) elde edilinceye kadar hafif araç trafik yükü ötesinde bir yüke maruz bırakılmamalıdır.

SSB uygulamaları



Limani, Houston, TX



Yerel cadde, Columbus, OH



Ticari park alanı



Eyaletler arası banket, Atlanta, GA

SSB birçok yol uygulamaları için ekonomik ve hızlı inşaat seçeneğidir. Geleneksel olarak düşük hızların olduğu bölgelerde ağır taşıt yükleri taşıyan yollarda kullanılmıştır. Fakat son yıllarda ticari alanlarda, sokaklarda ve otoyollarda kullanımı artmıştır.

Tipik uygulamaları:

- Endüstri üretim yerlerine ulaşım yolları ve park alanları
- İntermodal gemi sahaları, limanlar, ve yükleme yerleri
- Kamyon ve uçuk terminaleri, depolama sahaları, dağıtım merkezleri
- Düşük kapasiteli kentsel ve kırsal yollar
- Havaalanı park alanları
- Uzun ve kısa süreli askeri yükleme sahaları, askeri havaalanları
- Eğlence merkezleri park alanları
- Araç tamiri yerleri
- Park alan yolları
- Tomruk ağaç işleme sahaları ve yolları
- Karayolu kaldırımları
- Hızla inşaa edilmesi gereken servis yolları

SSB yüksek hızların olduğu yollar için de hizmet edebilir. Örnek olarak, geleneksel beton yolların yüzey kapılması için temel altyapı oluşturulması veya iki katmanlı yol operasyonların alt tabakası olarak hizmet edebilir. Bölüm 2 SSB'lerin genel kullanımları hakkında detaylı bilgiler vermektedir.

Tipik SSB yüzey pürüzlülüğü asfalt yüzeyine benzer fakat geleneksel betona göre daha açıktır (pürüzlüdür) (Şekil 1-8). Buna rağmen, daha yoğun pürüzlü yüzeyler elmas kesme ve bileme (grinding) işlemiyle elde edilebilir (Şekil 1-9).

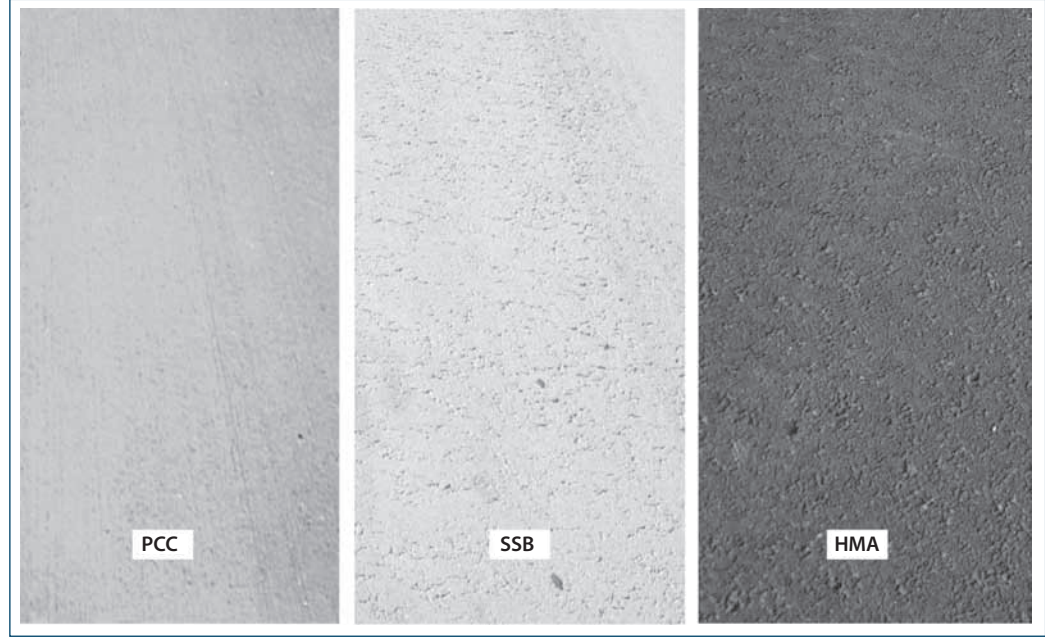
Unutulmaması gereken bir nokta da, bunların ek maliyet getirdikleri ve toplam maliyeti geleneksel beton yol maliyetinden daha pahalıya gelebilir. Bu durumda, SSB nin geleneksel beton yol göre faydaları tekrar gözden geçirilmesi gerekir.

SSB'nin Faydaları Nelerdir?

En önemli faydası geleneksel beton yol ve çok tabakalı asfalt yol kaplamalarına göre daha hızlı inşa edilmesi ve maliyetinin uygun olmasıdır.

İnşaat maliyet geçmişi SSB'nin maliyetinin geleneksel beton yol ve asfalt kaplama yollardan daha uygun olduğunu göstermiştir (Adaksa 2006). Özel kazanımlar, malzemenin yerleştirilmesi, serilmesi işlemlerindeki karmaşıklığa ve dökülen toplam betonu miktarına bağlıdır.

Şekil 1-8. SSB yüzey pürüzlülüğünün geleneksel beton (PCC) ve asfalt yollara (HMA) göre karşılaştırılması



Şekil 1-9. SSB elmas pürüzlendirme işlemi pürüzsüz ve sessiz yüzey sağlar



Azaltılmış çimento içeriğinin daha az olması, yerleştirme ve şekil verme maliyetlerinin düşmesi ve uygulama süresinin daha az olması SSB geleneksel beton'a göre daha çok kazanımlar sağlamaktadır. Dahası, SSB uygulamalarında serici'ye (yol serme makinesi) veya kalıplara ihtiyaç olmadığı gibi bağlama ve yük aktarma donatılarına ihtiyaç yoktur.

SSB'nin diğer faydaları:

- SSB'deki mevcut daha az çimento hamuru, daha az büzülmeye ve buna bağlı oluşan gerilmelerin azalmasına sebep olmaktadır.
- SSB ağır endüstri, madencilik, askeri uygulama sahalarında ve yoğunlaşmış yüklerin olduğu sahalarda ağır tekerrür yüklerine bozulmadan dayanabilecek yüksek eğilme, basınç, kayma mukavemetlerine sahip olacak şekilde tasarlanabilir.
- Düşük geçirimsizliğe sahip olmasıyla beraber SSB betonlar kimyasal bozulmalara ve donma çözünmelere karşı mükemmel bir dayanıklılık sağlar.

- Diğer beton yollar gibi, SSB tekerlek izi ve buna bağlı bakım onarımları ortadan kaldırır.
- Katı atık alanları, yükleme sahaları gibi endüstriyel uygulamalar için zaman ve maliyet ilişkili derz tamirlerine derz ihtiyacı olmadığı için ihtiyaç duyulmaz.
- Tırlardan dolayı oluşan yüklemelerin sorun olduğu endüstriyel alanlarda, SSB kimyasal ve tekerlek izine karşı dayanıklılık sağlamaktadır.
- Ağır taşıt yükleri ve yüksek trafik yükleri altında geleneksel beton yollarda olduğu gibi SSB aşınmalara karşı dayanıklıdır.
- Açık yüzey renginden dolayı SSB yollar, depolama ve park alanları için ışıklandırma ihtiyaçları azaltılmıştır.
- Araba ve hafif kamyonet gibi hafif araçlar, SSB beton yolların tamamlanmasında hemen sonra düşük hızlarda seyahat edebilirler.
- SSB karışımlarında doğal ve fabrikada üretilmiş ince agregalar kullanılabilir.
- Asfalt yol kaplamalarında kullanılmayan ince agregalar SSB karışımlarında kullanılabilir.
- SSB kaplamaları, karışımlara ve sericiler bağlı olarak, 25.4 cm kalınlıklarda serilip sıkıştırılabilir.
- SSB yolların solar yansıtma indeksi uluslararası minimum değer olan 29 daha büyüktür. LEED Credit 7.1 (daha detaylı bilgi için bakınız <http://www.usgbc.org>).
- Hava sürükleyiciler olmadan dahi, SSB'lerin donma ve çözünme dayanımları yüksektir. Kanada ve Amerika'nın kuzeyindeki soğuk bölgelerde mükemmel donam çözünme dayanımları göstermişlerdir.

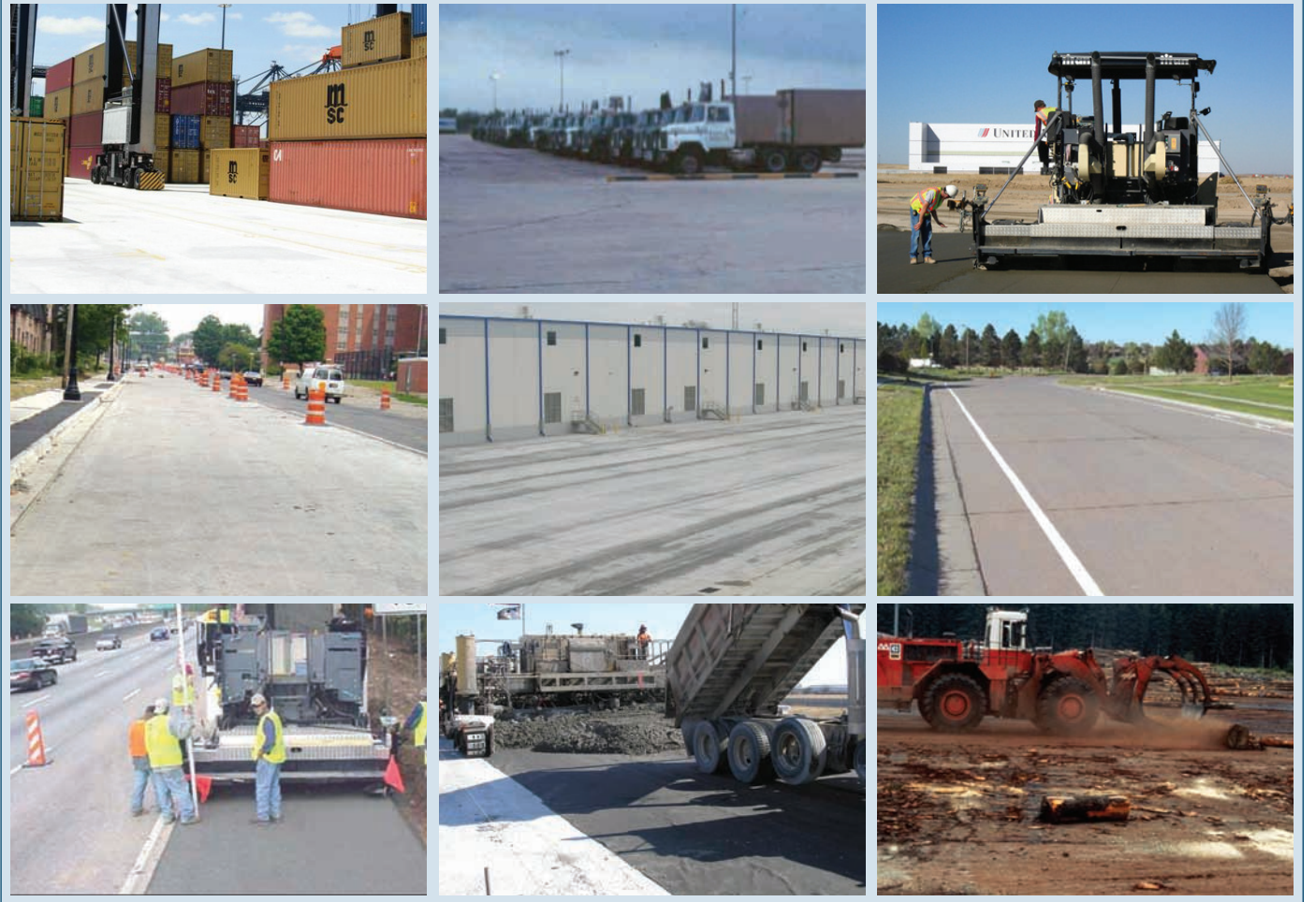
SSB'nin Potansiyel Limitleri Nelerdir?

Müteahhitler ve şirketler SSB yollarla ilgili olarak aşağıda belirtilen sorunlar ve sınırlamaları göz önünden bulundurması gerekir:

- Yüksek hızda trafiğin olduğu yollarda elmas pürüzlendirmesi (diamond grinding) olmadan SSB'nin profili ve pürüzlülüğü istenmeyebilir.
- Mikser kamyonlardaki SSB miktarı, daha kuru olması nedeniyle geleneksel betonlardakine göre daha azdır. (Bölüm 6'ya bkz.)
- İyi bir kaynaşmanın (aderans) olması için, soğuk derz düşünülmedikçe, yana yana yapılan kaplamalar 1 saat içinde döküp yerleştirilmelidir. (Bölüm 6'ya bkz.)
- Kaplamaların kenarlarının sıkıştırılması oldukça zor olup çoğu şartnameler kaplamaların ortası veya içersindeki %98 sıkışma değeri yerine %96 modifiye proktor yoğunluk değerini istemektedir. Geçmiş uygun olarak hazırlanmış ve sıkıştırılmış soğuk derzlerin çok iyi performans sağladıklarını göstermiştir. (Bölüm 7'ye bkz.)
- Daha düşük su muhtevsından dolayı, sıcak havalarda SSB yol inşaatlarında buharlaşmadaki su kaybına bağlı olarak ek vigilanceye ihtiyaç vardır.
- Daha kuru olmasından dolayı SSB karışımı, katkı maddelerin dozajı geleneksel betondan daha fazla olabilir. (Bölüm 3'e bkz.)

Bölüm 2

SSB KAPLAMALARIN GENEL KULLANIMLARI



Bölüm 2, SSB kaplamaların pek çok genel kullanımını özetlemektedir. Bu bölüm, sanayide 30 yılı aşkın süredir kullanılan farklı SSB genel kaplama kriterlerine dayanmaktadır.

SSB kaplama uygulamaları, kaplanmamış ve karayolu kaplamaları için bir temel malzeme olarak kullanımına göre değişir. Uygulamanın türü genellikle tasarım ve inşaat gerekliliği olan gelişmişlik düzeyini belirlemektedir.

1970'lerde U.S. ve Kanada'daki ilk kullanımından beri, SSB tüm tekerlek yükleri altında sert ve ılıman iklimlerde kaplama projelerinde kullanılmaktaydı ve ağır tekerlek yükleri ve zor çalışma koşulları altında üstün performans sağlamaktadır. Genellikle, ağır hizmet tipi kaplamaların kullanıldığı tomruk dağıtım depoları, çok amaçlı terminaller, nakliye depoları ve diğer endüstriyel uygulamalarda SSB kullanılmaktadır. Ancak, son 10 yıldır birçok geleceksel karayolu ve cadde uygulamalarında düşük maliyetli kaplama tasarımı için SSB kullanımında bir artış meydana gelmiştir.

SSB, %75-80 agrega içeren çok kuru bir karışım olduğu için, uygun agrega gradasyonu agreganın sıkıştırma yoluyla paketlenmesine izin vermekle birlikte ihtiyaç duyulan karışım yoğunluğunu ve dayanımını da sağlar.

SSB yerleştirilmesi



SSB karışımlarının sertliği geleneksel betonla kıyaslandığında, daha fazla karıştırma enerjisi gereklidir, böylece karıştırma tesisinin kapasitesini düşürülebilir. Doğru karıştırıcı kullanmak homojen bir karışım ve sericiye kalıcı bir kaynak sağlamak için çok önemlidir.

SSB damperli kamyonlarla taşınır ve asfalt tipi sericiye yerleştirilir. Yüksek yoğunluklu asfalt sericileri genellikle 25,4 cm'e kadar olan tekil kaplamalarda ve 25.4 cm'den daha büyük çoklu- kaplamalarda kullanılır. Geleneksel asfalt sericiler 17,8 cm daha düşük kalınlıklar için kullanılabilir.

Çoğu SSB uygulaması derz gerektirmez. Fakat derzler, çatlak yerlerini başlatmak, estetik görünümü iyileştirmek veya yük transferini iyileştirmek için çatlak açıklıklarını minimize etmek amacıyla kesilebilir.

Uygun uygulamalarda SSB'yi seçmek günümüz altyapısının ekonomik, çevresel ve sosyal ihtiyaçlarını karşılayan sürdürülebilir bir kaplamayı doğurur. SSB kaplamalar sürdürülebilir bir seçeneği temsil etmektedir. Aşağıdaki niteliklere sahiptirler:

- Düşük üretim ve bakım enerji kullanımı
- Asfalt kaplamalara göre daha düşük yakıt ihtiyacı
- Yüksek yapısal yük taşıma kapasitesini sağlarken en düşük maliyetli doğal agrega kullanma becerisi (önemli ölçüde alt temel için gereken ihtiyacı ortadan kaldırarak)
- Toprak, granüle yüksek fırın (GGBF) cürufu, silis dumanı, ve uçucu kül gibi endüstriyel yan ürünleri tüketme becerisi
- Fazla plastik olmayan ince malzeme kullanılarak, taş ocaklarındaki atık malzemelerin azaltılması becerisi
- Uzun ömürlü olma
- Düşük tekerlek yuvarlanma direnci sayesinde yakıt ekonomisinde artış
- Negatif doku (sağlam kaplamalar için gereklidir)
- İleride, beton veya granüler temel olarak kullanım için geri dönüştürülebilirlik
- Yüksek sıcaklık ve düşük yansıma

İstenilen beklentileri karşılayacak en uygun maliyetli çözümü sağlamak için, her bir SSB uygulamasının özgün kriterleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Limnlar, Çok Amaçlı Tesisler ve Ağır Sanayi Tesisleri

Limnlar ve ağır sanayi tesisleri inşaat sürecini geciktirebilecek birçok engeli barındıran geniş ve açık alanlardır ki bu durum SSB'yi ideal bir aday yapmaktadır.

Limnlar ve diğer ağır sanayi tesislerinin kaplamaları güçlü ve dayanıklı olmalıdır. Çünkü konteyner sevk ekipmanları 30 ile 60 kip veya daha fazla tekerlek yüküne sahip olabilirler (Şekil 2-1). İstenen kalınlığın 25.4 cm'den daha fazla olduğu uygulamalarda iki platform gereklidir.

Trafik Türü

- Ağır konteyner sevk ekipmanları ve kamyonlar için lastik başına 30 ila 60 kip yükleme olağandışı değildir.
- Trafik hızları genellikle 48,3 km/saat (30 mph) veya daha azdır.
- Giriş yolları ve belirlenen kamyon şeritleri gibi kanalize trafik alanları için kenar yüklemeleri analizde dikkate alınmalıdır. SSB'lerde, kenar yüklemelerini önlemek için kalınlaştırılmış kenarlar veya daha geniş kesitler düşünülebilir.

Tasarım

- U.S. Army Corps of Engineers (USACE) yöntemi ve SSB-PAVE bilgisayar programı bu uygulamalar için en sık kullanılan kaplama tasarım yöntemidir.

Yüzey Özellikleri

- Yüzey görünümü ve dokusu hesaba katılabilir ama genellikle çok fazla bir önemi yoktur.
- Yüzey pürüzlülüğü 3 m (10 ft'lik) düz bir kenar için genellikle 9,5 mm (3/8 inç'lik) bir maksimum varyansa sahiptir.
- SSB yollarda düşük trafik hızlarına (48,3 km/saat (30 mph'den) daha düşük) izin verilebilir.

Kesilmiş Derzler

- SSB'deki rastgele çatlaklar genellikle kısadır ve estetik düzenlemeler ağır hizmet alanlarında ve derzlerin kesiminde genellikle önemli bir faktör olmamasından ötürü gereksizdir.
- Yoğun trafik şeritlerinin olmadığı açık depolama ve yükleme alanlarında derzler 20,3 cm (8 inç'ten) daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) aralıklı enine boşluklar kullanılarak kare şeklinde kesilebilirken, 20.32 cm (8 inç) kalınlığında veya daha büyük kaplamalarda boşluklar kaplama kalınlığının 3 ila 4 katı olmalıdır.

Şekil 2-1. Liman Tesis, Houston, Texas



- Yoğun şerit yüklemesinin gerektiği alanlarda boyuna boşluklar, 20.32 cm (8 inç)'den daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4.95 m ile 6.6 m (15 ila 20 ft) olabilirken, 20.32 cm (8 inç) veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 2,5 katı olmalıdır.
- Derzlerin yapımında, geçiş yolları ve 48,3 km/saat (30 mph'den) daha büyük hızla sahip trafik alanları veya estetik nedenler göz önünde bulundurulmalıdır.

Hafif Sanayi Alanları

Ağır sanayi alanlarına benzer şekilde, depolama tesisleri ve otomobil üretim tesisleri gibi hafif sanayi alanları da SSB için ideal olan geniş kesintisiz alanlara sahiptirler (Şekil 2-2). Bu kullanım alanları için trafik hızı genellikle 48,3 km/saat (30 mph)'in altındadır. Bundan dolayı, yüzey iyileştirmelerine ihtiyaç duyulmaz. Araç yükleme, limanlar ve diğer ağır hizmet tipi tesislerden daha düşüktür. Sanayi sitesi içerisindeki geçiş yolları SSB için başka bir uygulama alanıdır.

Trafik Türü

- Yükleme, boşaltma ve park alanlarında yüksek kapasiteli kamyonetler
- Trafik hızı genellikle 48,3 km/saat (30 mph) veya daha düşüktür
- Giriş yolları ve belirlenmiş kamyon şeritleri gibi şeritli trafik alanları için kenar yükleme analizde dikkate alınmalıdır. Tüm SSB yüzeylerin aşırı tasarımından kaçınmak ve kenar yüklemesini önlemek için, kalınlaştırılmış kenarlar veya daha geniş kesitler kullanılabilir.

Tasarım

- Karma araç trafiğinin (otomobiller ve kamyonlar) kullandığı kaplamalar için tasarım tablosu aşağıda verilen iki Amerikan Beton Enstitüsü (ACI) dökümanında bulunmaktadır:
 - *Sokaklar ve Yerel Yollar İçin Derzli Beton Kaplama Tasarım Kılavuzu* (ACI 325.12R-02)
 - *Beton Otoparkların Tasarım ve Yapım Kılavuzu* (ACI 330R-08)
- Karma araç trafiği için StreetPave programı veya WinPAS programı
- SSB-PAVE programı veya USACE yöntemi

Yüzey Özellikleri

- Yüzey görünümü ve dokusu önemli olmakla birlikte, kamyon trafiğinin olduğu yerlerde genellikle çok büyük bir öneme sahip değildir. Park alanlarında görünüm ve dokunun önemli olduğu alanlarda, nominal maksimum agrega boyutu 16 mm (5/8 inç) olmalı ve derzli kaplamalar kullanılmalıdır.
- Yüzey pürüzlülüğü genellikle 3 m (10 ft)'lik düz bir kenar için 9,5 mm (3/8 inç)'lik bir maksimum değişikliğe sahiptir.
- Yüzey işlemi görmemiş SSB beton yollar trafik hızının 30 mph (48.3 km/saat) veya daha az olduğunda kabul görülebilir.

Kesilmiş Derzler

- SSB'deki rastgele çatlaklar genellikle dardır ve estetik düzenlemeler ağır hizmet alanlarında ve derzlerin kesiminde genellikle önemli bir faktör olmamasından ötürü gereksizdir.
- Yoğun trafik şeritlerinin olmadığı açık depolama ve yükleme alanlarında derzler 8 inç'ten (20,3 cm) daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) aralıklı enine boşluklar kullanılarak kare şeklinde kesilebilirken, 8 inç kalınlığında veya daha büyük kaplamalarda boşluklar kaplama kalınlığının 3 ila 4 katı olmalıdır.

Şekil 2-2. Austin, TX'da 10 yıllık dağıtma merkezi



- Yoğun şerit yüklemesinin gerektiği alanlarda boyuna boşluklar, 8 inç'ten daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) olabilirken, 20.32 cm (8 inç) veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 2,5 katı olmalıdır.
- Derzlerin yapımında geçiş yolları ve 48,3 km/sa (30 mph'den) daha büyük hıza sahip şeritli trafik alanları veya estetik nedenler göz önünde bulundurulmalıdır.
- Geçiş yollar ve hızların 30 mph (48.3 km/saat) den fazla olduğu kanallı olmuş trafik yollarında derzlerin inşaat göz önünde bulundurulmalıdır.

Havaalanları

Havaalanlarındaki bakım alanları, otoparklar ve kar depolama alanlarında genellikle kaplanmamış SSB yollar kullanılmaktadır. Bu kaplamalar, kar olayları sırasındaki ağır kar temizleme işleri ve ağır kamyon trafiği gibi büyük yüklemelere dayanabilmektedir. Ayrıca, SSB kar erimesinin neden olduğu doygun durumlar altında deforme olmamaktadır.

SSB tabanlı ince serilmiş asfalt veya bağlantısız betondan yapılan kompozit kesitler, pistler, taksi yolları ve apronlarda kullanılmaktadır (Şekil 2-3). SSB kaplamalar ilk iki yıldaki gevşek yüzey agregalarındaki olası kaymalar sebebiyle uçak trafiği için tavsiye edilmemektedir.

Trafik Türü

- Bakım alanları
- Havaalanlarının park yerleri
- Kar depolama alanları

Tasarım

- SSB-PAVE programı veya USACE metodu veya AirPave programı
- Karma araç trafiğinin kullandığı kaplamalar için tasarım tablosu aşağıda verilen iki ACI dökümanında bulunmaktadır:
 - *Sokaklar ve Yerel Yollar İçin Derzli Beton Kaplama Tasarım Kılavuzu* (ACI 325.12R-02)
 - *Beton Otoparkların Tasarım ve Yapım Kılavuzu* (ACI 330R-08)
- Karma araç trafiği için StreetPave veya WinPAS bilgisayar programları

Yüzey Özellikleri

- Daha düşük hızdaki trafik park alanları ve bakım ekipman alanları genellikle herhangi bir pürüzsüzlük değerine veya yüzey iyileştirmesine gereksinim duymaz.
- Apronlar, taksi yolları ve pistler genellikle asfalt yüzey veya beton yapılı bağlantısız bir tabaka ile yüzey iyileştirmesine ihtiyaç duyarlar (çok tabakalı sistemler için sayfa 19'a bakınız).

Kesilmiş Derzler

- Bakım alanlarında kesilmiş derzlere gerek yoktur.
- Kesim işlemi, çatlak açıklıklarını başlatmak ve otoparklardaki estetik sebeplerden ötürü tercih edilebilir.
- SSB kaplamalı yüzeyi kesimi, uygulanan yüzeyin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Şekil 2-3. Havaalanında SSB yol serim uygulaması



Anayol Caddeleri

Anayol caddelerin inşasında trafik her zaman önemli bir unsurdur. Trafik kısıtlamaları ve çoklu asfalt platformların yerleştirilmesi için gereken zamana bağlı olarak bazı kuruluşlar anayol sokaklarının inşasında SSB kaplamaların tekil platformlarını kullanmayı tercih etmektedirler. SSB kaplamalar proje ve kullanıcı masraflarını düşürerek hızlıca inşa edilebilirler.

Bu tip bir uygulamaya örnek olarak, yeniden inşa edilen Columbus, Ohio'daki Lane Caddesi yolu (Şekil 2-4) yüksek hızlı trafik için pürüzsüzlük sağlamak amacıyla 7.62 cm (3 inç)'lik asfalt ve 20.32 cm (8 inç)'lik bir SSB yüzeyine sahiptir. SSB yol kaplaması, bu dört ila altı şeritli anayol sokaklarının trafiği için inşa edilmiştir.

Başka bir örnek ise, Güney Carolina Aiken'daki US 78'in 2009 yılındaki yeniden inşasında, mevcut asfalt kaplamaya 25.4 cm (10 inç)'lik bir SSB kaplama yerleştirilmiştir.

Trafik Türü

- Otobüsler
- Yolcu arabaları
- Kamyonlar

Tasarım

- Karma araç trafiğinin kullandığı kaplamalar için tasarım tabloları iki ACI dökümanında bulunmaktadır:
 - *Sokaklar ve Yerel Yollar İçin Derzli Beton Kaplama Tasarım Kılavuzu* (ACI 325.12R)
 - *Beton Otoparkların Tasarım ve Yapım Kılavuzu* (ACI 330R)
- Karma araç trafiği için StreetPave veya WinPAS bilgisayar programları

Yüzey Özellikleri

- Daha büyük trafik hızlarından dolayı en işlek sokaklarda, elmasla pürüzlendirme veya ince bir asfalt yüzey 5,1 ila 7,6 cm gibi yüzey iyileştirmeleri yapılmaktadır.
- Eğer gerekli kaplama kalınlığı 25,4 cm (10 inç)'i aşarsa, alt kesiti SSB'den yapıp SSB üzerine de bağlantısız geleneksel beton tabaka sermek iyi bir alternatiftir.

Kesilmiş Derzler

- Kesilmiş derzler genellikle yüze elmas pürüzlendirmesi veya asfalt kaplaması durumlarında yapılır. Asfalt bazen doğrudan derzli SSB üzerine serilebilir.

Şekil 2-4. Columbus, Ohio'da ana cadde üzerinde inşa edilmiş SSB yolu



- Enine derzler, 20.32 cm (8 inç)'den daha düşük kalınlıktaki yol kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) aralığında olabilirken, 20.32 cm (8 inç) veya daha büyük kalınlıktaki kaplamalarda kaplama kalınlığının 3 ila 4 katı olabilir.
- Boyuna derzler, 20.32 cm (8 inç)'den daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) olabilirken, 20.32 cm (8 inç) veya daha büyük yol kaplamalarda kaplama kalınlığının 2,5 katı olmalıdır. Bakım işlemleri sırasında, derzlerin tekerlek izi üzerine gelmediğinden emin olunması gerekmektedir.
- SSB'nin bir temel olarak kullanıldığı çok tabakalı sistemlerde, beton tabakasında geleneksel beton derz aralığı kullanılır.

Yerel Sokaklar

Sokaklarda ve yerel yollarda SSB kullanımının ana sebebi, inşaatının hızlı, ekonomik ve trafiğe erken açılmasıdır (Şekil 2-5). Yüzey iyileştirmeleri, beton gelişimini tamamlanmaya yaklaştığında uygulanabilmektedir.

Trafik hızlarının 48,3 km/sa (30 mph'den) daha büyük olduğu durumlarda, yüzey pürüzsüzlüğü önemlidir. Daha pürüzsüz bir yüzey elde etmek için çoğu projeler yüksek yoğunluklu sericiler veya elmas pürüzlendirmesi (grinding) kullanılmaktadır. SSB üzerine ince bir asfalt yüzey tabakası yerleştirilmesi de bir diğer seçenektir. Bazı durumlarda SSB kaplama üzerine, inşaatın sonraki 24 saat içinde hafif trafik yükü geçebilir.

Trafik Türü

- Yolcu araçları
- Dağıtım kamyonları
- Otobüsler

Tasarımı

- Karma araç trafiğinin kullandığı kaplamalar için tasarım tabloları aşağıdaki iki ACI dökümanında bulunmaktadır:
 - *Sokaklar ve Yerel Yollar İçin Derzli Beton Kaplama Tasarım Kılavuzu* (ACI 325.12R)
 - *Beton Otoparkların Tasarım ve Yapım Kılavuzu* (ACI 330R)
- Otomobil, hafif kamyon ve otobüs trafiği için StreetPave veya WinPAS bilgisayar programları

Yüzey Özellikleri

- Yüzey pürüzlülüğü, 3 m (10 ft'lik) düz bir kenar için genellikle 9,5 mm (3/8 inç)'lik maksimum pürüzlülüğe sahiptir.
- Trafik hızı 48,3 km/saat (30 mph) veya daha düşük olduğu durumlarda pürüzlülük özelliklerini karşılamak için elmas grinding ve iri agrega gibi yüzey iyileştirmeleri genellikle gerekmektedir
- Eğer daha dar, daha yoğun bir yüzey isteniyorsa, 16 mm (5/8 inç)'lik bir Nominal Maksimum Agrega Boyutu kullanılmalıdır.
- Eğer belirlenen hız 48,3 km/saat (30 mph'nin) ve üzerindeyse yol trafiğe açılmadan önce ya elmas grindig ya da pürüzlü asfalt yüzey sağlanmalı.

Şekil 2-5. Yerel caddelerde kullanılan SSB yol kaplaması



Kesilmiş Derzler

- Kesilmiş derzler, çatlak açıklıklarını başlatmak ve otoparklardaki estetik sebeplerden ötürü tercih edilebilir.
- Enine derzler, 20,3 cm (8 inç)'ten daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 4,6 ila 6,1 m (15 ila 20 ft) aralığında olabilirken, 20,3 cm (8 inç) veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 3 ila 4 katı olabilir.
- Boyuna derzler, 20,3 cm (8 inç)'den daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 15 ila 20 ft olabilirken, 20,3 cm veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 2,5 katı olmalıdır.
- SSB kaplamalı yüzeyi kesimi, uygulama yapılan yüzeyin özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

Genişletme ve Banketler

Amerika'nın birçok yerinde, genişletilmiş yollar yeni şerit ve kenar kayma kriterini karşılayan en yaygın seçenektir. Çoğu durumda yol, zemin ve temelinin zayıf olduğu yerlerde genişletilir. SSB dayanımı ve inşa hızı, SSB'yi yol genişletme uygulamaları için oldukça uygun bir seçenek yapar. Malzeme, karayolu trafiği için asfalt veya beton ile kaplanmış sabit bir temel sağlamakla birlikte, uzun bir ömür ve bu ömrü boyunca düşük bakım sağlar.

Ayrıca yamaçlardaki tehlikeli yol kaplamalar SSB ile değiştirilebilmektedir. Malzemenin faydaları, SSB'yi kaplama tasarımcıları için uygun bir seçenek yapmaktadır. Örneğin, Gürcistan Karayolları I-285'deki yamaçların yeniden inşasında SSB'yi kullanmıştır (şekil 2-6). Mevcut asfalt yamaçlar oldukça tehlikeliydi ve yeniden inşası gerekmektedir. Mevcut yamaçlar kazındı ve yerine 3 m (10 ft) genişliğinde ve 15,2 ila 20,3 cm derinliğindeki SSB yol kesiti yapıldı. Rumble çubukları, eyaletlerarası karayolu güvenliğ gereksinimlerini karşılamak için yüzeye gömüldüler. SSB üzerin hiçbir kaplama yerleştirilmedi.

Trafik Tipi

- Otobüsler
- Yolcu arabaları
- Kamyonlar

Tasarım

- Kalınlık genellikle bir anahat genişleme birimi olarak yamaç standartlarına ve alttemel veya temel tasarımına göre belirlenmektedir.
- Karma araç trafiğinin kullandığı kaplamalar için tasarım tabloları *Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads* (ACI 325.12R-02)'da bulunmaktadır.
- Otomobil, hafif kamyon ve otobüs trafiği için StreetPave veya WinPAS bilgisayar programları

Yüzey İyileştirmesi

- Yamaç uygulamalarında, yüzey pürüzlülüğu genellikle 3 m düz bir kenar için genellikle 3/8 inç'lik (9,5 mm) maksimum pürüzlülüğe sahiptir. Rumble çubukları yüksek hızlı tesisler için kullanılması istenebilir.

şekil 2-6. Atlanta, GA yakınlarında I-285 yolu üzerinde kaldırımların yeniden inşasında SSB kullanımı



- Genişletme uygulamalarında, elmas taşlama veya ince asfalt veya beton tabaka, yeterli pürüzlülüğu elde etmek için kullanılabilmektedir.

Kesilmiş Derzler

- Yamaçlar veya genişletme için genellikle gerek duyulmaz.
- Gerekliyse enine derzler, anahattaki ile aynı şekilde kesilir.
- Kaplanmış SSB kaplamaların kesimi, belirlenen uygulama yüzeyine göre değişmektedir.

Geotekstil tabakayı da gösteren çok tabakalı yol karot



Yüksek Hız Kullanımları İçin Çok Tabakalı Kaplama Sistemleri

Yüksek hızda trafiğin olduğu yollarda, SSB ince asfalt aşınma tabakasının hemen altında temel tabaka olarak kullanılmaktadır. Diğer bir seçenekte SSB'nin geleneksel beton yolun altında temel olarak kullanma imkanıdır. SSB nihai betonyol kaplama kalınlığının azaltılmasında mükemmel bir inşaat platformu sağlar.

Örnek olarak kalınlığı 25.4 cm'den büyük 30-40 yıllık uzun vadeli yolun tasarımı için 10.2 cm ile 15.2 cm beton yol kaplamasının altında SSB temel kullanmak bir seçenektir. Tabakalar arasında harekete müsaade edilmesi, tabakalar arasındaki gerilmelerin azaltılması, aşağı tabakadan yukarı beton kaplamaya ulaşabilecek yansıma çatlakların önüne geçmek için, SSB tabakası ile beton yol kaplaması arasında ayırıcı bir tabakanın olması zaruridir. Ayırıcı tabaka asfalt tabaka olabileceği gibi Amerika Birleşik Devletlerin genelinde olduğu gibi Geotekstil ürünü olabilir (Şekil 2-7). Çimento işlemi görmüş ve Geotekstil içeren taban ve üzerine beton yol kaplamayı içeren benzer sistem Almanya'da 20 yıldır başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

SSB temel tabakası geleneksel beton yolun kalınlığının azalmasına sebep olduğu için çok katmanlı yol sistemleri; karayolları, haavaları, ağır sanayi uygulamalarında, uygun maliyetle kullanılabilmekte ve aynı zamanda tam kesit yolların benzeri uzun ömürlü performans sağlamaktadır.

Trafik Türü

- Karayolu: yüksek hacimli kamyon, otobüs ve araba trafiği

Tasarım

- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) *Guide for Design of Pavement Structures* (1993, 1998)
- AASHTO *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide* (M-E PDG)
- Otomobil, hafif kamyon ve otobüs trafiği için StreetPave veya WinPAS bilgisayar programları

Yüzey İyileştirmesi

- Geleneksel beton yüzeyi veya asfalt aşınma yüzeyi
- Yüzey pürüzlülüğü genellikle 10 ft'lik (3 m) düz bir kenar için genellikle 3/8 inç'lik (9,5 mm) maksimum varyansa sahiptir

Kesilmiş Derzler

- SSB temel genellikle geleneksel bir beton kaplam altında kullanıldığında kesilmez.

Şekil 2-7. Geotekstil fabrika tabakasında beton serimi



- Beton kaplamalar tipik beton kaplama birleştirme deseni kullanılarak kesilir.
- SSB temel, çatlak boşluklarını en aza indirmek veya yük transferini iyileştirmek için kesilmişse, enine derzler, 8 inç'ten daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 15 ila 20 ft (4,6 ila 6,1 m) aralığında olabilirken, 8 inç (20,3 cm) veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 3 ila 4 katı olabilir.
- Boyuna derzler, 8 inç'ten daha düşük kalınlıktaki kaplamalar için 15 ila 20 ft olabilirken, 8 inç veya daha büyük kaplamalarda kaplama kalınlığının 2,5 katı olmalıdır. Bakım işlemi sırasında, derzlerin tekerlek izi üzerine gelmediğinden emin olunması gerekmektedir.

Kereste Tesisleri, Karışım ve Depolama Alanları

SSB ilk olarak 1970'lerin ortasında Kanada'da kereste işleme tesisleri için kullanıldı (Şekil 2-8). Bu tür uygulamalar mukavemeti yüksek ve uzun süre bozulmadan dayanım gösterecek yolları gerektirir. Yüzey görünümü, pürüzlülük, ve konforlu sürüşler için yeterli pürüzlülük butür uygulamalar için aza önem taşıdığından daha büyük agregalar kullanılabilir. Birçok temel uygulamada bazen greyder ve dozer iş makineleri SSB'lerin yerleştirilmesinde ve sıkıştırılmasında kullanılmaktadır.

Trafik Türü

- Yavaş seyreden iş makineleri

Tasarım

- USACE metodu ve SSB-PAVE bilgisayar programı en yaygın kaplama tasarım metodlarıdır.

Yüzey İyileştirmesi

- Genellikle yüzey iyileştirmesi yapılmaz.
- Yüzey pürüzlülüğü genellikle 10 ft'lik (3 m) düz bir kenar için yaklaşık olarak 1/2 inç'lik (13 mm) maksimum varyansa sahiptir.

Kesilmiş Derzler

- Derzler genellikle kesilmezler.

Şekil 2-8. Tomruk işleme tesisinde inşaa edilen SSB yol



SSB ÖZELLİKLERİ VE MALZEMELER



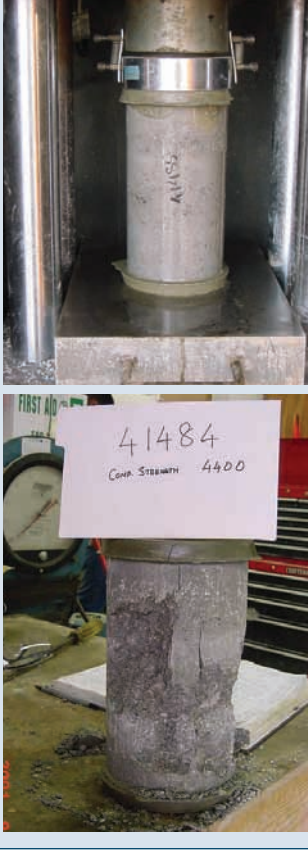
SSB Mühendislik Özellikleri

SSB özellikleri geleneksel beton kaplamayla benzerdir fakat farklı karışım oranları ve yapım teknikleri kullanılmaktadır. SSB kaplamaların mühendislik özelliklerini tanımlayan veriler tam ölçekli test kesitinin yanı sıra kaplama projelerinden alınan silindirik testlere dayalıdır.

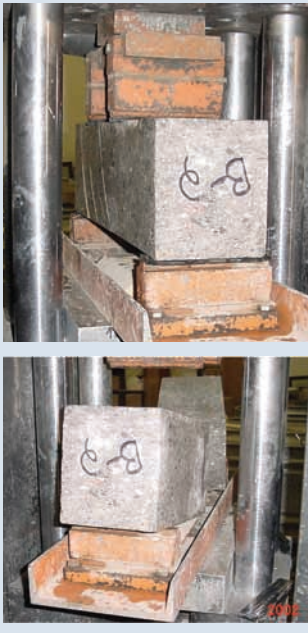
SSB mühendislik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan deneyler aşağıdaki gibidir:

- **ASTM C1435 / C1435M**, Standard Practice for Molding Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Hammer
- **ASTM D1557**, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort (56,000 ft-lbf/ft³ [2,700 kN-m/m³])
- **ASTM C39 / C39M**, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens
- **ASTM C42 / C42M**, Standard Test Method for Obtaining and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete

Silindir basınç testi: önce (üstte) ve sonra (altta)



Kiriş testi: önce (üstte) ve sonra (altta)



- **Vebe Testing ASTM C1170 / C1170M**, Standard Test Method for Determining Consistency and Density of Roller-Compacted Concrete Using a Vibrating Table
- **ASTM C78**, Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simpl Beam with Third-Point Loading)

Mukavemet

SSB'nin dayanım özellikleri çimentonun miktarına, su/çimento oranına, agrega kalitesine ve betonun sıkışma derecesine bağlıdır. Genelde, SSB kaplamalar geleneksel betonun basınç ve eğilme dayanımı ile kıyaslanabilir. Karışım tasarım analizinin tasarım dayanım kriterlerini karşılamak için yapılması gerekir.

Basınç Dayanımı

SSB'nin basınç dayanımı genellikle 4,000 ile 6,000 psi (28 ile 41 MPa) arasında dayanıma sahip geleneksel betonla kıyaslanır. Bazı projeler 7,000 psi (48 MPa) dan daha fazla basınç dayanımına ulaşmaktadır; fakat bu durumda pratik inşaat ve mali değerlendirmeler dayanımdan ziyade özellikle kalınlığı artırmayı önermektedir.

SSB karışımında kullanılan iri derecelendirilmiş agregalar betonun basınç dayanımını artırmaya yardımcı olmaktadır. Düşük su/çimento oranına sahip SSB karışımlar betonun yükek basınç dayanımına katkıda bulunan düşük poroziteli bir çimento matrisi oluştururlar. Her karışım oranı maksimum kuru yoğunluğu sağlayan bir optimum nem içeriğine sahiptir. Bu yoğunluk, çoğunlukla maksimum dayanım sağlar.

Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı, beton karışımın basınç dayanımı ve yoğunluğuyla dorudan alakalıdır. Uygun bir şekilde inşa edilmiş SSB kaplamalarda agregalar sıkıştırılmış ve yorulma çatlaklarının gelişimini minimize ederler. Karışımın yoğunluğu ve agregalar arasındaki bağların dayanımı düşük su/çimento oranından dolayı yüksektir. Sonuç olarak SSB'nin eğilme dayanımı karışım tasarımına bağlı olup 500-1000 psi (3,5-7 MPa) arasında yüksek bir değerdedir.

Sahadaki ve laboratuvarındaki fabrikasyon kirişlerin standart test metodlarının olmaması ve kaplama alanlarından kiriş numunelerini kesilerek elde edilmesinin zor oluşundan ötürü SSB'nin eğilme dayanımı hakkındaki ulaşılabilir bilgi azdır. Bir test kesitinden elde edilen çekirdek ve kirişlere dayalı olan veriler ışığında SSB'nin basınç ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki geleneksel betona benzer şekilde olup aşağıdaki denklemden hesaplanabilmektedir.

$$f_r = C \sqrt{f_c}$$

bunlar:

f_r = eğilme dayanımı (üç nokta yüklemesi), psi (MPa)

f_c = basınç dayanımı, psi (MPa)

C = gerçek SSB karışımına dayalı 9 ila 11 arasında bir sabit

Elastisite Modülü

Elastisite modülü aşağıda gösterildiği gibi uygulanan gerilme ve basınç arasındaki oranı ifade eder.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

bunlar:

E = elastisite modülü, psi

σ = basınç, psi

ε = birim şekil değiştirme

Elastisite modülü, malzemenin bir basınca tepki olarak tersinir elastik deformasyon altındaki eğilimini temsil eder. Tam ölçekli bir test kesitinden elde edilen SSB çekirdeği üzerinde yapılan sınırlı testler, benzer çimento içeriğine sahip karışımlarda SSB'nin elastisite modülü değerinin, geleneksel betonunkine benzer veya biraz daha yüksek olduğunu göstermektedir.

Yorulma

Yorulma bozulmaları, malzemenin tekrarlanan basınçlara maruz kalması sonucu oluşur. Bir tekil yük sonucu oluşan basınç, malzeme dayanımından büyük değilken (böylece malzeme bozulma oluşmayacaktır), bu yükün tekrarlanması malzemede aşırı yüklemeye neden olacak ve nihayetinde yorulma bozulmaları oluşacaktır.

SSB kaplamalardaki kritik basıncın eğilmeye çalışması sebebiyle, eğilme basıncına bağlı olan yorulma, kalınlık tasarımı için kullanılır. Basınç oranı, yorulma ilişkisinde kullanıldığı gibi, eğilme basıncının eğilme dayanımına oranıdır. Örneğin, lastik yükü 400 psi (2,76 MPa) eğilme basıncına neden olduğunda, SSB eğilme dayanımı 650 psi (4,48 MPa) iken;

$$\text{Basınç oranı} = \frac{400}{650} = 0.62$$

SSB'nin yorulma davranışını elde edebilmek için yalnızca sınırlı testler yapılmaktadır. Dört farklı SSB karışımın birebir ölçekli bir test kesitinden elde edilen kirişler üzerinde yürütülen yorulma testleri sonucunda SSB'in yorulma davranışının geleneksel betonunkine benzer olduğu anlaşılmıştır. (Tayabji and Okamoto 1987).

Aderans Mukavemeti

SSB katmanları arayüzlerindeki bağ dayanımı, kritik bir mühendislik özelliğidir. Bağ dayanımı ya tek bir tabakaymış gibi davranan çoklu asansörlerde inşa edilen SSB kaplamaları tek ya da kısmen bağlanmış veya bağlanmamış asansörler i belirler. Kısmen bağlanmış ya da bağlanmamış asansörlerin yük taşıma kapasitesi, eşit toplam kalınlıktaki bağlanmış asansörlerinkinden daha düşüktür. Genellikle, yeterli bağ dayanımı kaplama asansörlerinin her birinin bir saat içinde yerleştirilmesiyle elde edilebilirken sıcak havalarda daha hızlı bir yerleştirme gerekmektedir. Çekirdekler bağlama için kontrol edilmelidir.

Test kesitindeki veriler göstermektedir ki, yeterli arayüz bağ dayanımı, uygun inşa edilmiş SSB kaplamalardan elde edilebilmektedir. Bu veriler ayrıca, boyuna yapı derzlerinin kenarları boyunca oluşan bağ dayanımı gelişiminin, iç kısımlardaki bağ dayanımından daha düşük olabileceğini göstermektedir.

Aderans mukavemet testi



**Donma ve çözünme testleri için
SSB prizmaların hazırlanması
(üst) ve yerleştirilmesi (alt)**



Donma-Çözülme Dayanıklılığı

Kuzey iklimlerindeki SSB kaplamalar genellikle donma-çözülme (F-T) döngüsünün sebep olduğu iki tip hasara maruz kalırlar: içsel çatlaklar ve yüzey soyulması. B iki tip hasar aniden meydana gelebilirken, bunlar aslında farklı ve bağımsız olgulardır. SSB beton belirgin bir neme sahipse, F-T döngüsü elastisitenin dinamik modülünü düşürüp genişlemeye neden olarak içsel çatlaklar oluşturabilir. Ayrıca beton, belirgin bir neme maruz bırakıldığında F-T döngüsü esnasında yüzey soyulması meydana gelmektedir. Buz çözücü tuzların varlığında bu işlem daha da kötüleşir (Marchand ve diğ. 1992). SSB karışımlar bu sebepten ötürü, F-T döngüsünü sebep olduğu her iki hasara da karşı koyacak şekilde tasarlanmalıdırlar.

Arazi performans çalışmaları, SSB'nin sert hava koşullarında çok iyi performans gösterdiğini belirtmektedir. Birleşmiş Milletler ve Kanada'daki çalışmalar, SSB karışımların, hava ilaveli olsun veya olmasın, otuz yıldan fazla süredir çok iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. Piggott (1999) Birleşmiş Milletler ve Kanada'daki 34 SSB kaplamaları denetlemiş ve rapor emiştir. Bu çalışma, değişik iklim koşullarında ve yaşı 3 ila 20 yıl arasında değişen SSB kaplamaların iyi performans gösterdiği sonucuna varmıştır. Çalışmada ayrıca, karışımın yeterli çimento içeriğine, sert agregalarına, uygun karıştırmaya, yeterli sıkıştırmaya ve uygun küre sahip olduğu süre boyunca, hava ilavesiz SSB kaplamaların F-T ortamlarında güvenilir ve kalıcı performansa sahip olduğunu belirtilmiştir.

Belirli bir uygulamada hava ilavesiz SSB'ler dikkate alındığında, laboratuvar ve saha çalışmaları ile öngörülen maksimum sıkıştırılmış yoğunluğun tutarlı bir şekilde elde edilmesi için gerekli dikkatin verilmesi gerekmektedir. İyi öğütülmüş, iyi sıkıştırılmış ve iyi oranlanmış SSB karışımlar, F-T döngüsüne güvenilir şekilde karşı koyabilen, sıkıştırılmış hava boşluklarının iyi bir şekilde dağılmasını sağlar. Gauthier ve Marchand (2002) uygun bir şekilde tasarlanmış, bahsedilen ıslak yoğunluğun %100'üne kadar sıkıştırılmış olan SSB karışımın, içsel çatlakların önlenmesi için yeterli don direncine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Pigeon ve Marchand (1993) tarafından yürütülen bir çalışma, hava ilavesiz SSB karışımların, 300 donma çözülme döngüsüne, herhangi bir deformasyon meydana gelmeden dayanabildiğini göstermiştir. Bu bulgu, sıkıştırılmış bazı hava boşluklarının hava baloncukları gibi davrandığını öne sürmektedir. Yazar incelemelerinde, hava boşluklarının çoğunun konsolidasyon işlemi sonucu oluştuğuna karar vermiştir.

Hava ilaveli SSB için, çalışmalar gösteriyor ki; hava ilaveli katkı maddeleri SSB'nin F-T direnci üzerinde pozitif bir etki yapmaktadır (Pigeon and Marchand 1993; PCA 2004a; Hazaree 2007). (Katkı maddesi üreticileri SSB için değil ama geleneksel beton için dozlar önermektedirler). Test verileri açıkça gösterirki donmayı tetikleyen mikroçatlaklar ve buz çözücü tuz birikimine karşı SSB'yi korumak için çok küçük hava girişleri yeterlidir. Küresel hava boşluk içeriği oldukça düşük (% 1'den daha az) olsa dahi yüksek miktarda düzensiz yüzey boşluk içeriği sayesinde iyi bir hava boşluğu olduğunda donmaya karşı direnç görülür. Ragan (1991) tarafından yapılan bir çalışma gösterdiği SSB'nin donma direnci hava boşluğu faktörüyle alakalı ve sertleşmiş beton için min. boşluk faktörü 250 µm veya 0.00984 in olmalıdır.

SSB hava girişi için bir uyarıda, hava girişi katkıları ve karıştırıcı tipi ile onun sıkıştırılabilirliğini sağlayanlar düzgünce seçilmelidir. Yeterli bir sabit hava boşluk sistemi girişi için, farklı hava girişi katkıları farklı karıştırma enerjileri ve karıştırma zamanları gerektirir. Bu yüzden hava girişi katkıları ve karıştırıcı tipi önemli bir rol oynamaktadır. Önceki tecrübeler gösterdiği pan mikserler diğer mikser tiplerinden daha fazla yağurma enerjisi sergilerler. Bu yüksek enerji karışma periyodu ve hava girişi katkılarının sıralaması

boyunca hava girişini kolaylaştırır. Buna ek olarak SSB'de ki hava sürükleyici, daha katı SSB karışımlarında ki düşük su ve çimento içeriği yüzünden geleneksel betondan daha fazla katkı dozajı gerektirir. Bu yüzden düzgü katkı seçimi ve laboratuvar doğrulaması gereklidir.

SSB kaplamalarda donma direnci için bir çok önemli etmen vardır.

- Sertleşmiş SSB'de F-T için malzeme seçimi geleneksel beton kaplama ile benzerdir. Agregası seçimi rutin gözlem sürecine dayalıdır. Geleneksel beton kaplamalar da F-T için değerlendirilen ve uygun bulunan mineral agregalar güvenilir denklemlerle SSB'de de kullanılabilir. ASTM C33 kalite gereksinimlerini karşılayan ses, sertlik, hava dirençli agregalar belirtilebilir.
- Yoğun iyi derecelendirilmiş agregası seçimi sahada optimum kompaksiyon ve maksimum yoğunluğu sağlar. Bu sadece minimum çimento içeriğiyle en yüksek dayanımı sağlamakla kalmaz aynı zamanda sıkılık ve penetrasyon için müsaade edilen minimum geçirgen yüzeyi sağlar.
- Çimento binderlerinin miktarı ve seçimi önemlidir. Yeterli dayanımı sağlaması için yeterli bir çimento içeriği gereklidir. Su/çimento oranının 0,40 ın altında olması, gerekli dayanım ve düşük permabiliteyi elde etmede faydalı olmaktadır. Su azaltıcı kimyasal katkıları yeterli işlenebilirliği sağlarken bu düşük w/cm oranının oluşmasında katkıda bulunurlar. Kanada'da yapılan çalışmalar göstermiştir ki silika fume gibi mineral katkıların kullanımı F-T performansında özellikle direnci artırarak yardım eder. Silika fume SSB'nin mekanik özelliklerini iyileştirir ve mekanik dayanımın gelişimini hızlandırır (Quebec 2005; PCA 2004a). Silika fume çimento karışımlarında çoğunlukla % 7 ile 8 seviyesinde kullanılır. Diğer çimento malzeme içerikleri üretim, yerleştirme, kompaksiyon ve hava koşulları göz önünde bulundurularak seçilir ve değerlendirilir.
- Mümkün olan en yüksek yoğunluk için sıkıştırılmış SSB, sertlik ve don direncinde ki iki önemli faktör olan yüksek dayanım ve düşük permabilite için en iyi durumu sağlar.
- Kür işlemi özellikle kaplama yüzeyinde, SSB için F-T direncini sağlayan kritik bir rol oynamaktadır. Karıştırma bitirme işlemini kadar olan yapım aşaması boyunca SSB den, aşırı nemin buharlaşmasının olmamasına yeteri kadar dikkat edilmelidir. SSB de akan suların olmamasından ötürü yüzeyin kurumadan önceki aşaması bir kaygıdır. Eğer SSB yüzeyinde ki nem kaybını minimize etmek için önlem alınmazsa, kuruma SSB yüzeyini zayıflatır, bu sayede F-T hasar direncine olan yeteneği azalacaktır. SSB kompaksiyonunun tamamlanmasının ardından, bir kürkarışımı düzgünce uygulanıncaya kadar nem kaybını engellemek için yüzey nemli tutulmalıdır.

ASTM C666, C672, C1262 gibi test metodları hızlandırılmış F-T döngüsü altında beton karışımının performansının tahmininde kullanılabilir. Fakat bu test sonuçları denenirken dikkat edilmelidir. İyi alan performansı gösteren kaplamalardan alınan SSB numuneler ASTM C666 ve ASTM C672 ile ilişkili laboratuvarlarda test edildiğinde performans gösterirler. Pratikte gerçek olmayan karışım ve agregalardan alınan numuneler not edilmemeli; beton karışımı aşırı hasar görmüş agregası ve karışımlardan korunmalıdır. Sertlik gibi test koşullarına maruz bırakılmış herhangi bir beton düşük performans gösterecektir (PCA 2004a). Ek olarak ASTM C666 sahadaki SSB kaplamaların aksine numunenin toplam kuruluşunu gerektirir.

Laboratuvar test sonuçları ve saha değerlendirmelerine göre SSB kaplamanın saha performansının tahmini için en iyi metod ASTM C1262 olabilir. ASTM C66 VE C672 de kötü performans gösteren SSB kaplama projelerinden alınan numuneler ASTM C1262 ile test edildiğinde iyi performans gösterebilir (PCA 2004a).

Aşırı F-T şartlarında kullanılan SSB’de, aşağıdaki uygulamalar göz önünde bulundurulabilir:

- Sağlam, zararsız ve dayanıklı agrega kullanımı
- Yoğun, iyi derecelendirilmiş agrega kullanımı
- Yeterli miktarda portland çimentosu ve aşırı hamur içeriği kullanımı
- Düzeltilmiş proktor yoğunluğunun en az %98 sıkıştırılması
- Su/Çimento oranının en az 0,40’a kadar azaltılması
- Çimento katkı maddesi olarak silis dumanının kullanımı
- Miksere konulduğunda hava ilaveli katkı kullanımı
- Uygun ve zamanında kür işlevi

Büzülme

SSB kaplamalarda hacimdeki önemli değişiklik kuruma büzülmesi yoluyla olur. Fakat, kuruma büzülmesiyle alakalı hacim değişikliği, SSB’nin düşük su içeriği yüzünden geleneksel beton karışımlarla kıyaslandığında nispeten daha azdır. Böylece, çimento hamurunun hacminin düşük olması SSB kaplamalar için daha az büzülmeye ve daha az çatlağa sebep olur. Araştırmalar, sabit çimento miktarındaki iri agrega miktarının artmasıyla yüksek sınırlama sebebiyle kuruma büzülmesinin azaldığını göstermiştir (Pittman and Ragan 1998).

SSB’nin termal genleşme ve büzülme özelliklerinin aynı malzeme ile yapılan geleneksel betonla benzer olduğu düşünülmektedir.

Geçirimlilik

SSB’nin geçirimsizlik (permeabilitesi) genellikle, harç kalıbının porozitesiyle birlikte sıkıştırılmış SSB’deki boşluklara bağlıdır. Bu sayede SSB’nin permeabilitesi; karışım oranı, yerleştirme metodu ve kompaksiyon derecesiyle neredeyse tamamen kontrol edilir. Sertleşmiş SSB permeabilitesi, geleneksel betonunki ile kıyaslanabilir.

SSB Malzemelerinin Seçimi

SSB, geleneksel beton ile aynı temel malzemeleri içerir- iri ve ince agregalar, çimento malzemeleri (çimento, uçucu kül, silis dumanı, vb), su ve uygunsu kimyasal katkılar – fakat bunların kullanım oranları farklıdır (Bölüm 1’deki Şekil 1-5). SSB’de kullanılan malzemelerin maliyeti, geleneksel betonda kullanılan malzemelerin maliyetiyle kıyaslanabilir. SSB, aynı dayanımdaki geleneksel betondan daha az çimento içeriğine sahiptir. Düşük çimento içeriği, malzeme maliyetindeki bazı harcamaları engellemiş olur.

Malzemelerin doğru seçimi, kaliteli SSB karışımının üretilmesi için önemlidir. Amaçlanan proje için yapım gereksinimleri ve özellikleri ile ilgili karışım bileşenlerinin bilgisi SSB karışımlardaki tasarım ve performans amaçlarının sağlanması için önemlidir.

Agregalar

Mineral agregalar, SSB hacminin %85'ini oluşturur ve gerekli işlenebilirliğin sağlanmasında, titreşim sıkıştırması altında sahadaki yoğunluğun sağlanmasında, basınç ve eğilme dayanımında, ısı özelliklerinde, uzun ömürlü performansta ve dayanıklılıkta etkili bir rol oynar.

Geleneksel betonda iyi olduğu düşünülerek kullanılan agregalar, SSB'de de iyi bir performans gösterebilir. Geleneksel betonda olduğu gibi, yapım periyodu boyunca agrega kaynağının kalitesi ve kalıcılığı incelenip test edilebilir. Agregada gradasyonunun emilim, özgül ağırlık, plastisite indeksi, aşınma direnci, alkali silika reaksiyonu (ASR) ve dayanıklılık gibi özelliklerinin yanısıra sürekliliğini doğrulamak için de testler yapılabilir.

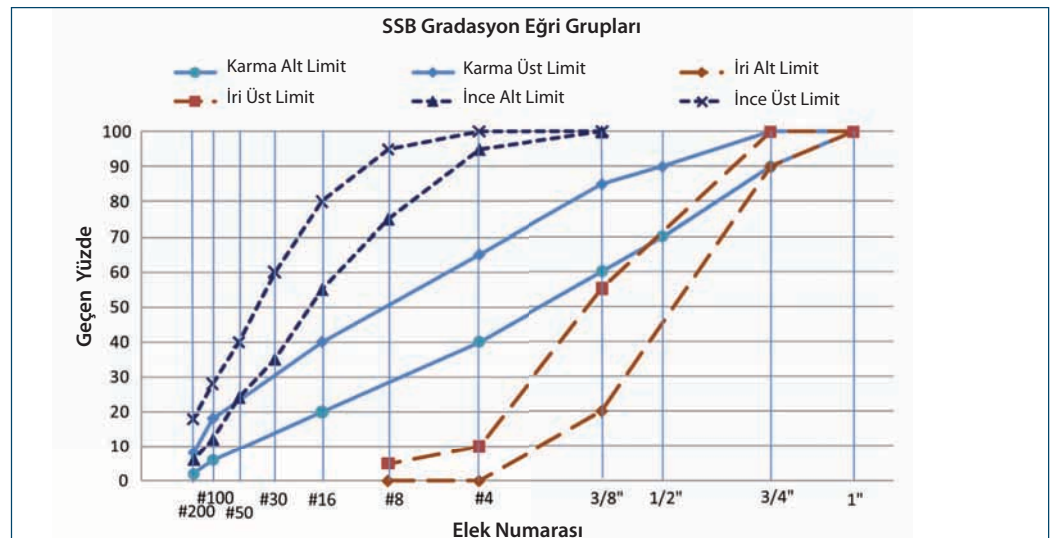
SSB'nin gradasyon gereksinimleri geleneksel betondan farklıdır. Farklı gradasyon gereksinimleri, SSB agregasının serici, çelik silindir ve lastik tekerlekli silindirler altındaki sıkışma ihtiyacından kaynaklanır. İnce ve iri derecelerdeki agrega gradasyonları işlenebilirlik, sıkıştırılabilirlik ve bitmiş yüzeyi sağlamak için seçilebilir.

SSB kaplamalar için uygun agrega gradasyonunun seçimi, kaplamanın ayrışma ve dayanım ve dayanıklılık gelişimi potansiyelini azaltır. Agregada seçimi hem su gereksinimi hem de ihtiyaç duyulan çimentolu malzeme miktarını etkilemektedir.

Agregaların seçimi ve karışımı için yapılan uygulamalar, beton üreticisinin, müteahhitin ve ekonomik çevrenin kazancının yanısıra yerel uygulamalara, yapım özelliklerine, etki şiddetine, farklı boyutlara ulaşabilirliğine bağlı olarak değişiklik gösterebilir. Kırılmış veya kırılmamış agregalar veya karışımları, elde edilebilme önceliklerine bağlı olarak SSB karışımlarında kullanılabilir.

Yoğun, iyi derecelendirilmiş bir agrega karışımı en çok istenen durumdur. Agregada üreticileri, uygun agrega gradasyonunu karşılayacak bir ürün sağlayabilmelerine rağmen, çoğu durumda ince ve iri ürünleri arzulanan gradasyon kombinasyonunu üretebilmek için karıştırırlar. Şekil 3-1, ince ve iri bir agrega için gradasyon eğrisinin yanısıra, önerilen karıştırılmış agrega eğrisinin göstermektedir. İnce ve iri agregalar içinde, eğrinin üzerine düşen ürünler istenilen karışım gradasyonunu üretmek için uygun oranlarda karıştırılabilir. Agregada gradasyonu için daha fazla bilgi için Bölüm'4 e bakınız.

Şekil 3-1. İnce ve iri agregaları için tavsiye edilen karma gradasyonu



İri agregaların şekli önemlidir; ekonomik, dayanıklı ve uzun ömürlü betonun sağlanması amacıyla yassı ve aşırı uzamış parçalardan kaçınılmalıdır. Karışım oranları ile ilgili bilgi için Bölüm 4'e bakınız.

Yüksek kaliteli SSB oluşumu için hem iri hem de ince agregalar sert ve dayanıklı olmalıdır. Beton agregalar için standart şartname olan ASTM C33'de listelenen standart fiziksel özellik testleri, SSB karışımında kullanılan tüm agregaların kalitesini değerlendirmek için yapılmalıdır.

İri Agregalar

İri agrega örneği



SSB karışımlar için ASTM C33/AASHTO M6/M80 standartlarını karşılayan iri agregalar önerilmektedir. İri agregalar genellikle ayrışmayı önlemek ve sıkı bir yüzey elde etmek için NMSA'nın üst limiti olan 3/4 inç'e (19 mm) kadar sınırlandırılır. NMSA değeri, 5/8 ile 3/4 inç (16 ila 19 mm) arasındadır.

3/4 inç'ten (19 mm) daha büyük NMSA'lar da kullanılabilir (1 1/2 inç'e [38 mm] kadar) ve eğer uygun oranlanmış ise (yeterli ince daneli) iyi kalitede bir yüzey elde edilebilir. Daha büyük agregalar genellikle yüzey görünümünün çok önemli olmadığı aşınmış iri daneler veya ikincil uygulamalar için kullanılmaktadır. 3/4 inçten (19 mm) küçük agregalar, ayrışmayı azaltmak, kohezyonu arttırmak, kapalı bir yüzey elde edebilmek ve sürüş kalitesini geliştirmek için kullanılabilirler. Fakat daha küçük agregalar, çimento tüketimini artırırken kaplamanın dayanım potansiyelini düşürebilirler. İri agregaların rutin laboratuvar testlerine ilaveten, Los Angeles aşınma testi (ASTM C131/AASHTO T96) de yapılmalıdır. Bazı yerlerde, sağlamlık testi (ASTM C88 / AASHTO T104), alkali silika reaksiyonu (ASTM C586 ve ASTM C1105 / AASHTO T303), dayanıklılık indeksi (ASTM D3744 / AASHTO T103) ve termal genleşme katsayısı (AASHTO TP60) gibi testlere de ihtiyaç duyulabilmektedir.

İnce Agregalar

İnce agrega örneği



İnce agregalar ASTM C33 de belirtilen dayanıklılık gereksinimlerini karşılamalıdır. No.200 (75 µm) eleğinden daha ince, non-plastik olan agregalar kullanılırsa SSB karışımlardaki ince agreganın boşlukları da azaltılmış olur. Böylece asfalt Superpave karışımında kullanmak için oldukça fazla toz olan agreganın kullanımı ince agregalar non-plastik olduğu sürece SSB de kullanımında uygun olabilir.

SSB agregaları, ince agregalarla sıkıştırılarak kullanılmasıyla güçlendirilebilir. İnce agregaların fazla olması hamur ve çimentonun azalmasını sağlar, bunlar iri agregalarla uygun gradasyonla dengelendiğinde sıkıştırılabilir ve dayanıklı karışımlar oluşturur.

İnce agregaların köşeli olanları asfalt karışımlarında önemli olmasına rağmen SSB karışımlarda etkin değildir. İnce agregaların köşeli olmasının asfalt karışımlarında işlenebilirlik ve iz oluşum direnci açısından önemli olduğu bilinen bir durumdur. İnce agregaların köşeli oluşu arttıkça asfalt kaplamalardaki iz oluşumu direnci de artar.

SSB ile kıyaslandığında asfalt binder tabakalarındaki agregaların sağladığı dayanım aynı değildir. Asfaltın dayanımı iri ve ince agregaların köşeli olanlarının birbirleriyle kilitlenmiş bir biçimde çalışmasından kaynaklanır. Böylece asfalt kaplamalar uygun sağlamlıkla yapılmış SSB için gerekenden daha ince tabakaların kullanımıyla inşa edilir.

İnce agregalar sıklıkla, aşınmış ve bu sebeple nispeten az köşeli olan yuvarlaklaşmış doğal kaynaklardan elde edilmektedir. Bu agrega kaynakları Superpave'e göre özellikle yüzey ve yüzeye yakın kısımlardaki yüksek trafik hacmine sahip asfalt kaplamalar için uygun değildir.

Bunun aksine daha fazla yuvarlak olan doğal ince agregalar güçlü bir matris oluşturmak için SSB'de sıklıkla kullanılmaktadır. Sonuç olarak, doğal yollardan elde edilen köşesiz ince agrega kaynakları uygun gradasyonlu iri agrega ve güçlü bir çimento hamuru ile karıştırılabilir. Sonuçta, tek bir katman 10 inç (25,4 cm) kalınlığa kadar serilebilir ve hala gerekli yoğunluğu karşılayabilir.

İnce agrega seçimi, SSB'nin su gereksinimini (ve bu sayede çimento tüketimini), sıkıştırılabilirliğini, yüzey pürüzlülüğünü ve dayanıklılığını belirlediği için çok önemli bir kriterdir. Dere kumu iyi bir beton kumu kaynağıdır. Lakin, üretilmiş kum SSB ürünlerinde geniş kapsamlı bir şekilde kabul görmekte ve kullanılmaktadır. Kırılmış kayalardan elde edilen bölümler, ürün tutarlılığını sağlamak için dikkatlice kullanılabilir.

Büzülmeyi arttırıp, dayanımı düşürmesi nedeniyle, SSB agregalarda silt ve killerden kaçınılmalıdır. 40 nolu elekten geçen malzemenin plastisite indeksinin dörde düşürülmesi önerilmektedir. Agreganın ince malzemeleri genellikle 200 nolu elekten geçen malzemenin yüzde 2 ila 8'i arasındadır.

Bağlayıcı Malzemeler

SSB karışımlar, basit tipteki bir hidrolik çimento, karıştırılmış çimento veya hidrolik çimento ile puzzolan kombinasyonundan yapılabilmektedir. Hidrolik çimentonun ve tamamlayıcı çimentolu malzemelerin seçimi ve kullanımı ile ilgili detaylı tartışma, ACI 225R'deki sulu çimentoların kullanım ve seçim rehberi, Beton kaplamalar için birleşmiş malzemeler ve inşaat uygulamaları, elle uygulama durumunda bulunmaktadır (IMCP 2007).

Geleneksel betona kıyasla SSB karışımlarında kullanılan malzemeler sülfat etkisine, potansiyel alkali reaktivitesine ve aşınma direncine olan çevresel etkilere göre seçilmelidir. Kullanılan çimento malzemelerinin türü hidrasyon oranı, dayanım oranı ve bu sayede erken yaşta dayanım etkisi üzerine önemli bir etkiye sahiptir.

SSB kaplamalarda genellikle tip 1 ve tip 2 çimento kullanılır. Erken dayanım elde etmek istenildiğinde tip 3 kullanılabilir. Özel zemin koşullarına sahip alanlarda da tip 5 çimento kullanılabilir. Çimentolar, ASTM C150 veya ASTM C1157 gereksinimlerini karşılamak için kullanılabilir.

Puzzolanik malzemeler (SCM), özellikle standart gradasyonlu ince agrega içeren beton karışımlarda ince malzemenin eklenmesini ve yeterli sıkışmayı sağlamak için kullanılabilir. Fakat SCM, Amerika'daki SSB karışımlarda genellikle kullanılmaz.

SCM kullanılması halinde işlenebilirliği geliştirebilir, alkali agrega reaksiyonu ve alkali silika reaktivitesi riskini azaltabilir, sıkışma zamanını uzatabilir ve –silis dumanı kullanıldığında– donma çözülme koşullarında yardımcı olabilir.

SCM seçiminde aşağıdakilerin bilinmesi önemlidir:

- SCM'lerin uygulanmasındaki standart ve özellikler nelerdir?
- Özellikle diğer SCM ve kimyasal katkılarla karışımın kullanılmasında betondaki SCM'nin performansı nasıldır? Uyum sorunları nelerdir?

- Proje bölgesinde SCM ulaşılabilir midir?

Eğer uçucu kül (ASTM C618 F ve C tipi) kullanılırsa çimentolu malzemenin toplam hacminin % 15 la 20'sini kapsar. Beton yüzeyinin soyulmasını engellemek için uçucu kül hacmi toplam hacmin % 25 ini aşmamalıdır. Kanada'da uçucu kül genelde 15 Eylül'den sonra kullanılmaz.

GGBF cürufu (ASTM C989) veya silis dumanı (ASTM C1240) SSB karışımlarda kullanılabilir. Uçucu kül, cüruf, silis dumanı betonun dayanımını ve donma-çözülme dayanıklılığını artırabilir fakat gerekli sıkıştırma çabasını da artırabilir. Silis dumanının çoğunlukla ekonomik ve teknik etkisi karışım plentine silis dumanı eklemek yerine çimentolu silis dumanı kullanımını tetikleyebilir.

Batı Kanada ve Amerika'da silis dumanı ve cüruf kullanımı çok yaygın değildir. Öte yandan doğu Kanada'da özellikle de Quebec'de son 10 yıldır SSB kaplamalarda yüksek performans için silis dumanı kullanılmaktadır. Soğuk hava bölgelerinde, silis dumanı SSB karışımların dayanım gelişim hızını ve mekanik özelliklerini geliştirebilir. Silis dumanı çoğunlukla % 7-8 seviyesinde çimento karışımlarında kullanılır.

Betondaki puzolan, SCM ler ve mineral katkıların kullanım rehberi *Beton kaplamalarda birleşmiş malzemeler ve inşaa uygulamaları: Elle uygulama durumları*'nda verilmektedir.

Katkılı çimentolar (puzolon veya cüruf oranı önceden belirlenmiş) SSB karışımlarda kullanılabilir. Satıcı çimento ihtiyacı durumunda ASTM C595, Katkılı Çimentolar için Standart Özellikler, Tip IP ve IS i karşılamalıdır.

Su

SSB'deki kimyasal hidrasyon için gerekli su iki kaynaktan gelmektedir. Bir tanesi ince ve iri agregalardaki aşırı serbest suyu ve karışım plentine eklenen gerekli su dengesini içerir. Su kalitesi ASTM C1602 ye göre belirlenmelidir. Mühendis inşaatta amaçlanan su kalitesini doğrulamalı ve eğer mümkünse SSB karışım tasarımındaki özel belirlenecek suyu kullanmalıdır. İnşaat bölgesindeki su kaynağını ve projeden önce suyun faydalarını sınırlayacak herhangi bir durumu bilmek oldukça önemlidir.

Kimyasal Katkılar

Katkıların seçimi öncelikli olarak karışıma konacak katkının miktar ve tipinin etkisini doğrulamayı gerektirir. Geleneksel betonda – su azaltıcı, yavaşlatıcı, hızlandırıcı ve süperakışkanlaştırıcılar- olarak yaygın bir şekilde kullanılan kimyasal katkılar SSB karışımlarda birleştirerek kullanılabilir. Bugüne kadar katkılar harç karma makinasında genelde kullanılmaktadır.

Çünkü SSB karışımlar çok kurudur, katkılar etkili olabilmesi için geleneksel betonda kullanılan miktardan daha fazla bir şekilde eklenmelidir. Herhangi bir katkı taze ve sertleşmiş SSB betonda kullanılmadan etkisinin belirlenmesi amacıyla önceden test edilmelidir. ASTM C94, Beton İçin Kimyasal Katkı Özellikleri SSB yerleştirilirken kullanılmalıdır.

Su azaltıcı ve geciktirici katkılar, kohezyonu arttırabilir, sıkıştırmaya yardımcı olur ve çoğu projede belirtilen SSB'nin genellikle 45 dakika ila 1 saatlik işlenebilirliğini uzatabilir. SSB karışımının işlenebilirliğinin uzaması, genellikle aşağıdaki durumlarda karlıdır:

- Sıcak havalarda
- SSB başlangıç faaliyetlerinde
- Uzun nakliye mesafelerinde ve
- Kalın tabakaların yerleştirilmesinde

Su azaltıcı katkıların yeteneğinin, SSB karışımının su gereksinimini düşürmek veya ilave bir sıkıştırma sağlamak için 200 nolu (75 µm) elekten daha ince agrega tipi ve miktarına oldukça bağlı olduğu görülmektedir. Bazı üreticiler, su azaltıcı katkı maddeleri kullanmaktansa, çimento içeriğini artırmanın daha ucuz olduğunu bulmuşlardır. Lakin bu durum karışımın daha fazla büzülmesi gibi başka sorunlara yol açabilmektedir.

Geciktirici katkılar SSB hidrasyonunu başlangıcını erteler veya yavaşlatır ve böylece sıkışma zamanını arttırmaya ve yanyana olan veya ardışık şeritler arasındaki bağı geliştirmeye yardımcı olur.

Süperakışkanlaştırıcılar bazen kuru karışım beton santrallerinde karışım ve boşaltma süresini azaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Polikarboksilat süperakışkanlaştırıcılar, işlenebilirliği arttırmak ve karıştırma süresini düşürmek için kuru karışım beton santrallerinde kullanılmaktadırlar, böylece üretim oranlarında belirgin bir artış yaşanmaktadır. Fakat, bir kaplama test kesiti, belirli bir karışım için kullanılacak uygun katkıları doğrulamak için inşa edilmelidir.

Bir projeyi trafiğe erken açmak için, amaç SSB'nin kür süresini hızlandırmak amacıyla belirli hızlandırıcı katkıları kullanılır.

Hava ilaveli katkılar SSB'de kapsamlı şekilde kullanılmamaktadır, çünkü kabul edilebilir donma-çözülme dayanımı hava ilavesi olmadan elde edilebilmektedir. Arazideki hava ilaveli SSB üretiminin pratikliği henüz kanıtlanmamıştır.

Herhangi bir katkı dikkate alındığında kapsamlı laboratuvar ve arazi testleri, uygun dozaj oranlarını ve etkinliğini belirlemek için yapılmalıdır.

SSB KARIŞIM TASARIMI



Karışım Tasarımı Felsefesi

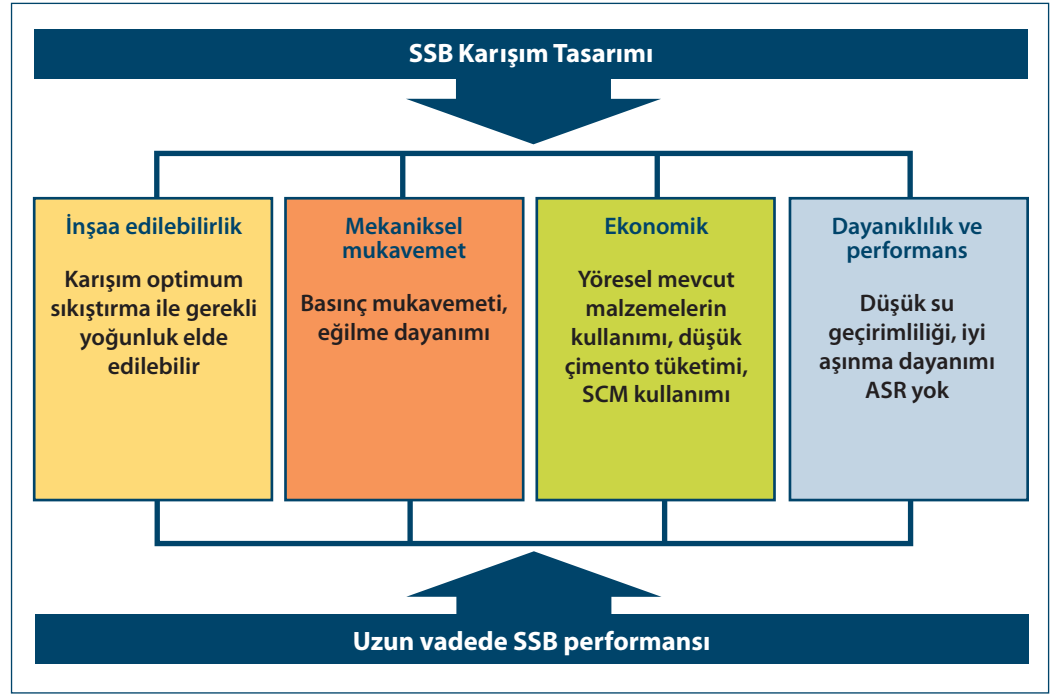
Kaliteli SSB karışımı elde edebilmek için malzeme seçiminin yanı sıra malzemenin doğru oranlarda kullanımı çok önemlidir. Karışımındaki malzeme oranlarının seçimi deneme yanılma şeklinde değil oldukça sistematik ve bilimsel yaklaşımda olmalı öte yandan hedeflenen mühendislik özelliklerini, yapısal gereksinimleri ve ekonomik olma koşulunu da sağlamalıdır.

Tablo 4.1’de görülen karışım oranı için temel etki faktörleri uzun süreli SSB performansı için çok gereklidir.

Dünya genelinde bir çok karışım oranlama metodu başarıyla uygulanmaktadır. Uygulamada bu kadar fazla yöntemin olması standart bir prosedürün oluşamamasını da beraberinde getirmiştir. Ancak genel itibarıyla en yaygın yöntemler aşağıdaki iki yaklaşımın farklı varyasyonlarıdır:

1. Zemin sıkıştırma yaklaşımı: çimento-agrega yaklaşımı, karışım optimum su muhtevası ve maksimum kuru yoğunluk ile belirlenir
2. İstikrarlılık veya işlenebilirlik yaklaşımı: su/çimento oranı yaklaşımı, istikrar ile süreklilik sağlanır ve karışım belli bir hacimde belirlenir

Şekil 4-1. SSB karışım tasarımında göz önünde bulundurulacak faktörler



Tablo 4.1’de yöntemler ve her biri için genel yaklaşımlarıyla beraber uygulamalar görülmektedir.

Hangi yaklaşım kullanılırsa kullanılsın, üretilmesi amaçlanan SSB karışımı:

- agregaların etrafını saracak yeterli yapışma hacmine sahip olmalı ve agregalar arasındaki boşlukları doldurmalı,
- gerekli mekanik dayanımı ve elastik özellikleri sağlamalı,
- istenilen yoğunlukta karışımlar elde edilebilecek işlenebilirlik özelliğine sahip olmalı ve
- belli koşullar altındaki dayanımı yeterli olmalıdır.

Tablo 4-1 Genel karışım yöntemleri ve uygulamaları

Yöntem	Genel Uygulamalar
Zemin sıkıştırma testi	Yollar (Amerika’da da en yaygın yöntem)
Beton kıvam testi	
Katı suspension model	Hidrolik yapılar (barajlar, dolu savaklar, v.b.) ve yollar
Optimal Çimento Hamur Hacim Yöntemi	

SSB KARIŞIM TASARIMINDA MALZEMELERDE DİKKATE ALINACAK HUSUSLAR

Agregalar

SSB karışımları optimum yapışma miktarının sağlanabilmesi, segregasyon (ayırışma) olayını azaltılması, karışımdaki boşluk miktarının en aza indirilmesi ayrıca yoğun, sıkı ve pürüzsüz bir yüzey elde edilebilmesi için iyi derecelenmiş agrega ile tasarlanmalıdır. SSB karışımları sıradan betonlara (Bölüm1’de Şekil 1-5) göre genellikle kötü agregaya nazaran yüksek oranlarda iyi agrega gerektirmektedir. SSB agregası ASTM C33 veya diğer kabul gören kurumların standartlarının gerekliliklerini sağlamalıdır.

SSB'de kullanılan malzemeler



Su

Su içeriği hem titreşimli silindirin ağırlığını taşıyabilecek kurulukta hem de karışımın çimento bağlayıcısının eşit bir şekilde dağılmasını sağlayacak ıslaklıkta olmalıdır.

Bağlayıcı Malzeme

Karışımında kullanılan bağlayıcı malzemeler yeterli miktarda tasarım dayanımını ve süreklilik gereksinimlerini sağlamalıdır.

Kimyasal Katkılar

Süper akışkanlaştırıcı, priz hızlandırıcı veya yavaşlatıcı, su azaltıcı gibi çeşitli kimyasal katkıları SSB karışımlarında kohezyonun artırılması için kullanılabilir. SSB karışımların kuru yapısından dolayı, bu karışımlar sıradan betonlara göre daha fazla miktarlarda kimyasal katkı kullanılmayı gerektirmektedir.

Gerekli Basınç Mukavemeti

Malzemelerin ve gerçek karışımlarının değişkenliğinin sağlanabilmesi için, SSB karışımlarının laboratuvarında belirli dayanımlardan daha yüksek değerleri elde edebilecek biçimde oranlanması gerekmektedir. Hedef dayanım gerekli ortalama mukavemet olarak isimlendirilmektedir (f'_{cr}). ACI 214R-02, *Beton mukavemet deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi*, sıradan betonlar için f'_{cr} 'nin belirlenmesi işlemlerini anlatmaktadır. Ancak SSB karışımları şimdiye kadar ulusal olarak kabul edilmiş herhangi bir standart bulunmamaktadır.

Standart oluşturulana kadar, tasarımcının her bir proje için ayrı ayrı önerdiği f'_{cr} ve mukavemet kabul kriterleri kabul edilmiştir. Gerekli ortalama mukavemeti, f'_{cr} belirli mukavemetin (f'_c) belirli bir güvenlik faktörü (en olumsuz şartlar için) ile toplamı olarak düşünülebilir. Öte yandan, (Şekil 4-2) deney yöntemlerini de içeren mukavemet kabul kriteri ise proje ayrıntılarına göre açıkça tanımlanabilir.

Şekil 4-2. Silindir numunelerde basınç mukavemet testi



**Basınç mukavemet testi
için araziden alınan karot
numuneler**



Çoğu SSB kaplaması uygulamasında mukavemet kriterlerinin eksikliği sıradan beton kaplamalarda olduğu gibi çok kritik olmadığı için tasarımcı sıradan betona göre daha düşük güvenlik katsayıları kullanabilir. Tasarımcının önerdiği herhangi bir f'_{cr} değeri yoksa ACI214R-02 yönetmeliğine göre f'_{cr} belirlenebilir.

ACI214R-02 standart sapmanın (s) bilindiği veya tahmin edildiği durumlara göre iki farklı yöntem sunmaktadır. s üretim tarihinden önce biliniyorsa, iki eşitlik kullanılabilir.

Denklem 1, 10 deneyden en fazla 1'inin sonucunun f'_c ye göre daha az olmasını sağlar.

$$f'_{cr} = f'_c + 1.28 s \quad (1)$$

Denklem 2, 100 deneyden en fazla 1'inin sonucunun 500 psi'den büyük ve Denklem 3 ise 100 deneyden en fazla 1'inin sonucu f'_c %10'undan daha az olmasını sağlar.

$$f'_{cr} = f'_c - 500 + 2.33 s \quad \text{if } f'_c < 5,000 \text{ psi} \quad (2)$$

$$f'_{cr} = 0.90 f'_c + 2.33 s \quad \text{if } f'_c > 5,000 \text{ psi} \quad (3)$$

f'_{cr} 'nin projelerde kullanılması için Denklem 1,2 ve 3 ile belirlenen f'_{cr} değerlerinden daha büyük olmalıdır. Ayrıca ACI214R-02 de 30 deney veya daha az sonuca göre belirlenmiş s 'nin uygun bir düzeltme katsayısı (15 ve daha az deney için bu sayı 1.16 ya kadar olabilir) ile çarpılması ile yukarıdaki eşitliklerde kullanılabileceği belirtilmiştir.

Tarihi veriler s 'yi belirlemek için yeterli değilse, ACI214R-02 de betonun mukavemetine göre geliştirilmiş alternatif bir çözüm önermiştir.

$$f'_{cr} = f'_c + 1,200 \text{ psi} \quad \text{if } f'_c \leq 5,000 \text{ psi} \quad (4)$$

$$f'_{cr} = 1.10 f'_c + 700 \text{ psi} \quad \text{if } f'_c > 5,000 \text{ psi} \quad (5)$$

Denklem 4 ve 5 SSB için değil sıradan betonun tipik değerlerine göre belirlenmiştir.

Tipik Karışım Tasarım Örnekleri

Deney safhasını da içeren saha çalışmaları oranlama metodlarını dikkate almadan laboratuvar tasarımını doğrulamak ve geliştirmek için yapılmalıdır. Deney adımları ile ilgili daha fazla bilgi bölüm 7'de bulunabilir.

Tablo 4.2'de Kuzey Amerika'daki bir çok projede kullanılan karışım oranları görülmektedir.

Tablo 4-2. Karışım tasarım örnekleri

Referanslar/İnşaat Sahası			Tacoma limanı, WA Intermo dal alanı	CTL Karışım	Chattanooga, TN	Brownsville, TX	Güney Carolina	Atlanta, GA I285 Yol kenarı	Canada PCA RD135
Bağlayıcılar	Çimento	(kg/m ³)	450	504	300	504	444	500	500 ₁
	Uçucu Kül	(kg/m ³)	100	0	150	0	0	0	0
Agregalar	Maksimum agregası boyutu (in.)	(mm)	5/8	3/4	3/4	3/4	1	1/2	3/4
	İri agregası	(kg/m ³)	1,700	1,378	2,110	1,287	1,759	1,650	2,117
	İnce agregası	(kg/m ³)	1,700	2,106	1,657	1,762	1,658	1,650	1,349
	İnce taneler (No. 200 geçenler)	(%)	3-7	2	3.6	2	--	--	--
Su ₂		(kg/m ³)	257	211	190	236	216	266	160
Katkılar	Su azaltıcı veya geciktiriciler	(kg)	--	--	18	--	--	0	41
	Hava sürükleyiciler	(kg)	--	--	0	--	--	0	41
Sıkıştırma parametreleri	Maksimum doygun yoğunluk	(kg/m ³)	154.3	152	--	147.2	--	150.3	156.9
	Su/çimento oranı	--	0.47	0.42	0.42	0.47	0.49	0.53	0.32
	Agregası/çimento (ağırlık)	--	6.18	6.91	8.37	6.05	7.70	6.60	6.93
	İnce agregası/Toplam agregası	(%)	50.00	60.45	43.98	57.79	48.52	50.00	38.9
Güç	Basınç, 3-gün	(MPa)	1,810	5,460	5,090 ₃	3,046	3570	3866	--
	Basınç, 28-gün	(MPa)	6,050	7,900	6,100	4,946	5,220	5,157	8,368
	Eğilme, 3-gün	(MPa)	525	690	611 ₃	493	--	--	--
	Eğilme, 28-gün	(MPa)	770	900	702	638	--	--	--
	Oran 28-gün eğilme/basınç	(%)	11.39	11.39		12.90	--	--	--

Not:

1. % 7 silis duman Portland katkılı çimento.

2. Su muhtevası fırında kurutulmuş agregalara göre toplam su miktarıdır. (Kanada ve Chattanooga karışımları hariç)

3. 7- gün basınç ve eğilme mukavemeti.

Beton tutarlılık yöntemi

Beton tutarlılık yöntemi, agrega su veya çimento miktarı gibi özel karışım parametrelerin önceden belirlenmesini gerektirir. Bu parametrelerden bir tanesi sonradan çok kere a Vebe Consistometer cihazıyla ölçülen gerekli tutarlılık seviyesine göre ayarlanır. Bu yöntem esas olarak Baraj yapılarında kullanılmıştır.

Katı süspansiyon modeli

Son yıllarda, SSB karışım tasarım oranlaması için daha teorik ve kökten bir yaklaşım olan katı süspansiyon modeli tanımlanmıştır. Bu model, verilmiş SSB karışımında kuru yoğunluğunu optimize etmek için her bir kuru içeriğin (çimento, uçucu kül, slika füme, kum, ve iri agrega) oranını belirlemekten ibarettir. Optimize kuru yoğunluğu kullanarak, kuru malzemeler (kum, çakıl..) arasındaki boşlukları tümüyle kaplıyacak su miktarı kolaylıkla hesaplanabilir. Bazı kuru malzemeleri her bir özelliklerini (gradasyon, özgül ağırlık, ve hava boşluk içeriği) bilinmesi durumunda, güvenli bilgisayar simülasyon programları bu model kullanarak çalıştırılabilir. Katı süspansiyon modelin en büyük avantajı, çok sayıda laboratuvar deneme karışımları gerek kalmadan optimum SSB karışım oranlarını tekrardan hesaplanabilir.

Optimum hamur hacim yöntemi

Bu yöntem büyük beton yapılar için kullanılacak SSB karışımın tasarımı için geliştirildi. Bu yöntem temelde, kompaksiyon altında granüler iskelet maksimum yoğunluğu ulaştığında taneler arasındaki boşlukları dolduracak yeteri miktarda çimento hamurunu içerecek optimum SSB karışımın elde edilmesine dayanmaktadır. Eğer az miktarda çimento hamuru kullanılırsa, kompaksiyondan sonra geriye kalan boşluklar, betonun mukavemetini azaltabilir ve su geçirimliliğini artırabilir.

Karışım Tasarımı Yöntemleri

Tablo 4.1'de dört farklı karışım oranlama yönteminden bahsedilmiştir. Bu yöntemler içerisinde en yaygın kullanılan yöntem zemin sıkıştırma yöntemi olduğu için bu yöntem aşağıda detaylı bir şekilde anlatılacaktır. Ama önce diğer üç yöntemden kısaca bahsedilecektir. Bunlar:

Zemin Sıkıştırma Yöntemi

Bu oranlama metodu SSB karışımları için bir dizi su muhtevasına sahip sıkıştırma numuneleri üzerinde maksimum sıklığı elde etmek için yapılan sıkıştırma deneyleri ayrıca su muhtevası ile yoğunluk arasındaki ilişkiyi kurmayı içermektedir.

Bu yöntem aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

1. İyi derecelenmiş agreganın seçimi
2. Orta seviyeli bir çimentonun seçimi
3. Su muhtevası-yoğunluk ilişkisi grafiğinin oluşturulması
4. Basınç mukavemetini ölçmek için numunelerin dökülmesi
5. Deney numuneleri ile gerekli çimento miktarının seçimi
6. Karışım oranlama hesabı

1. İyi Derecelenmiş Agreganın Seçimi

İlk adım agregayı gradasyon, ayrışma mukavemeti ve sıkıştırılabilirlik açısından optimize etmek zorundadır. Agrega karışımının dizilimi maksimum yoğunluktaki dizilime yaklaşmalıdır. Şekil 4.3'te önerilen SSB dizilim şeriti ve 19 mm (3/4 in9 için 0.45 Enerji eğrisi görülmektedir. 0.45 Enerji eğrisi maksimum boyuttaki herhangi bir agreganın sıkı dizilimdeki maksimum yoğunluğuna yaklaşımını tanımlamak için kullanılan bir yöntemdir. Şekilde görülen şerit SSB üretiminde 4 no'lu elekten yavaşça artırılmış maksimum yüzde geçen hariç gradasyonuna göre çizilmiştir.

Genellikle, şekildeki şeritin arasına düşen bir gradasyon için agrega karışımının maksimum yoğunluğa yakın sıkıştırılabilir bir ürün olması amaçlanır. Dikkat edilmesi gereken bir husus, verilen şerit 19 mm nominal maksimum boyut ile gradasyonun üst limitine ulaşır. Yani maksimum agrega boyutu için 0.45 Enerji çizgisine yaklaşır.

2. Orta Seviyeli Bir Çimentonun Seçimi

CSC Çimento malzemesinin seçimi proje özelliklerine, ekonomik beklentilere, malzemenin elde edilebilir olup olmadığına ve elde edilecek ürün hakkındaki düşüncelere bağlıdır. Aşınma tabakası uygulamaları için SCM ilavesi olmadan yüzde 11 ile 13 arası çimento iyi bir başlangıç noktası olabilir.

Karışım içerisindeki kuru malzemeler arasındaki çimento yüzdesi aşağıdaki formülle ifade edilebilir:

$$\text{Bağlayıcı malzeme (\%)} = \frac{\text{Bağlayıcı malzeme ağırlığı}}{(\text{Bağlayıcı malzeme} + \text{kuru agrega ağırlığı})} \times 100$$

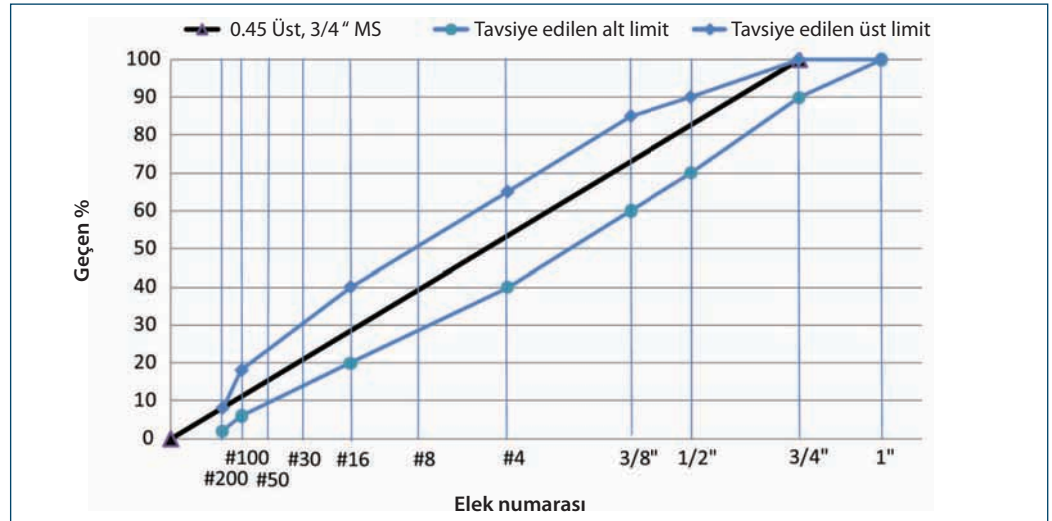
3. Su Muhtevası-Yoğunluk İlişkisi Grafiğinin Oluşturulması

Belirli bir bağlayıcı malzeme yüzdesi için, Şekil 4.4'te görülen su muhtevası-yoğunluk ilişkisine benzer bir grafikten farklı su muhtevaları seçilir. Birçok agrega için optimum su muhtevası yüzde 5 ile 8 arasında bulunmuştur. Şekil 4.4'te de agregalar üzerinde önceden yapılan deneylere göre su içeriğinin bu aralıkta değiştiği görülmektedir. Su içeriği aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

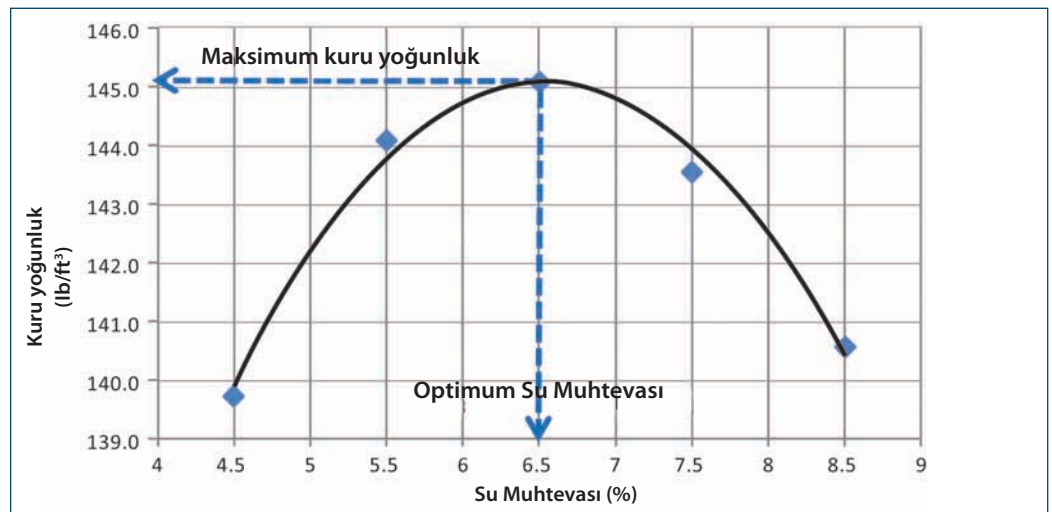
$$\text{Su muhtevası (\%)} = \frac{\text{Su ağırlığı}}{(\text{Bağlayıcı malzeme} + \text{kuru agrega ağırlığı})} \times 100$$

Her bir çimento oranı için modifiye proktor deney yöntemi (ASTM D1557) kullanılabilir. Aşınma agregaları için deney sırasında agregaların sürtünmesini engellemek için standart Proktor deneyi (ASTM D698) düşünülebilir. ASTM C1170, Sarsma Tablası Kullanılarak Silindirle Sıkıştırılmış Betonun Yoğunluk ve Sürekliliğinin Belirlenmesi İçin Standart Deney Yöntemi, SSB'nin su muhtevası-yoğunluk ilişkisini belirleyebilmek için kullanılabilecek bir diğer yöntemdir.

Şekil 4-3. Tavsiye edilen agrega gradasyon eğrisi ve 0.45 üstel eğrisi



Şekil 4-4. Su muhtevası-yoğunluk ilişkisi



Üç farklı bağlayıcı içeriği için en az üç eğrinin çizilmesi gerektiği belirtilmiştir. Örneğin; üç bağlayıcı içeriği %10, %12 ve %14 olabilir.

4. Basınç Mukavemetini Ölçmek İçin Numunelerin Dökülmesi

Her bir çimento içeriği için, basınç mukavemeti şekil 4.5'te görülen çekici vibratör (ASTM C1435) veya sarsma tablası metodu (ASTM C1176) kullanılarak üretilir. Tüm örnekler karışımın çimento içeriğine göre optimum su içeriğinde biçimlendirilmelidir.

5. Deney Numuneleri İle Gerekli Çimento Miktarının Seçimi

Seçilmiş su içeriğindeki örnekler basınç mukavemetinin belirlenmesi için deneye tabi tutulur. Elde edilen verilerden her bir çimento içeriğine o içeriğin basınç mukavemetinin karşılık geldiği Şekil 4.6'da görülen bir eğri oluşturulur. İstenilen mukavemet için gerekli çimento içeriği bu eğriden belirlenebilir. Gerekli mukavemet (f'_c), bilinen mukavemet (f')'e belirli bir güvenlik faktörünün eklenmiş hali olmalıdır.

6. Karışım Oranlarının Hesaplanması

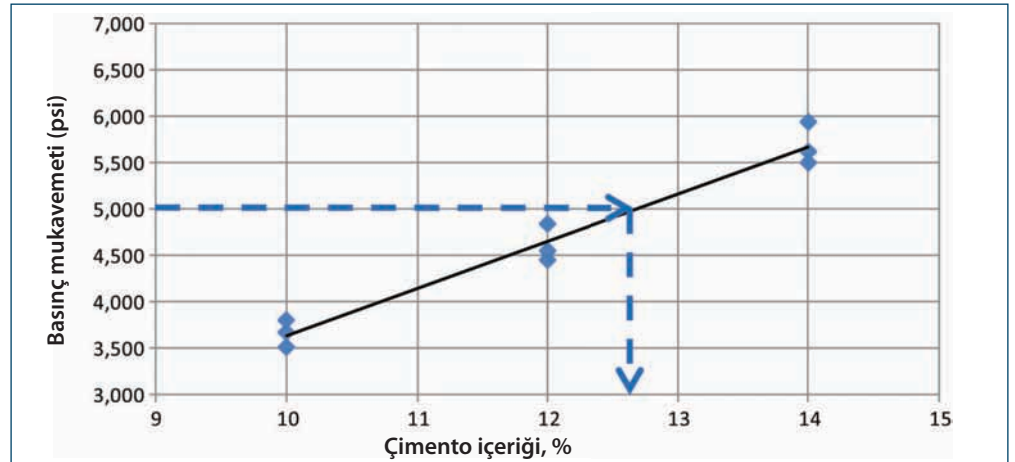
Gerekli çimento içeriği deneylerde kullanılan çimento içeriği ile arasında oldukça büyük farklılık varsa, gerekli çimento içeriğindeki optimum su muhtevasının farklı bir su içeriği-yoğunluk ilişkisi deneyine ihtiyaç duyulabilir. Diğer taraftan, su muhtevasının değeri deneylerde kullanılan çimento içeriğinin değişimi ile çok fazla değişmiyorsa optimum su muhtevasının enterpolasyon ile belirlenmesi mantıklıdır.

Optimum su muhtevası ve çimento içeriğinin nihai seçiminden sonra, proje için nihai karışım oranları hesaplanabilir. Karışımın ağırlık ve hacmi belirlenirken doymuş yüzey koşullarındaki (SSD) agregalar hesaplarda kullanılabilir.

Şekil 4-5. SSB silindir numunesinin vibrasyonlu çekiçe sıkıştırılması



Şekil 4-6. Mukavemet-çimento içeriği grafiği



Bölüm 5

SSB KAPLAMALARIN YAPISAL TASARIMI



Tasarımın Temelleri

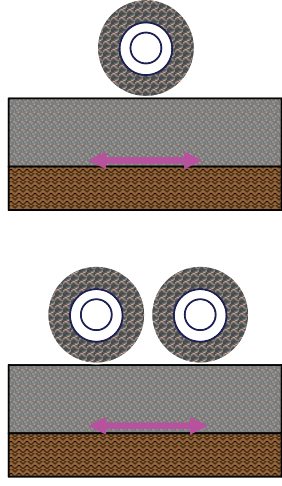
SSB kaplamalarının sahip olduğu mühendislik özellikleri sıradan betonunkine benzerdir. İkisi arasındaki en büyük farklılık SSB kaplamaları daha az su içeriği ve çimento içeriğine sahip olduğu için büzülmesi azdır. SSB kaplamalar düz, sabitlenmeden ve donatısız olarak yapılmaktadır. SSB kaplamalarının yapısal davranışları kendisine denk sıradan beton kaplamanın özelliklerine benzerdir.

SSB kaplamasının kalınlığının tasarımında sıradan beton kaplamalarda da kullanılan basit bir yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem esas olarak tekerlek yüklerinden dolayı meydana gelecek eğilme gerilmeleri ve kalıcı hasarlarının izin verilen sınırlar içerisinde olması esasına dayanmaktadır.

Beton kaplamaların yapı tasarımında kaplama kalınlığı gelecek yüklere, beton dayanımının(kopma modülünün) ve zemin özelliğinin bir fonksiyonudur. SSB kaplamalarının minimum kalınlığı genellikle 10cm, tek tabaka ile maksimum kalınlığı 25.4 cm'dir. (yapım detayları için 7. bölüme bkz.)

Ağır endüstriyel uygulamalardaki SSB kaplamaları için kalınlık tasarım yönetmeliği Portland çimento şirketi ve USACE tarafından geliştirilmiştir. Tasarım yaklaşımı, kaplamaların belirli bir büyüklükte ve periyotta kendini tekrar eden yükleri kaplamada kırılma olmadan taşıyabileceği esasına dayanmaktadır.

Kaplama çekme gerilmesi



Kaplama çekme gerilmesi önemli olup;

- Yük
- Tekerek basıncına ve aralıkları
- Kalınlık
- Alttemel tabakası mukavemeti
- Beton sertliği parametrelerinden etkilenir

Çünkü; SSB'deki kritik gerilmeler eğilme, deformasyonlar eğilme gerilmelerinden meydana gelen deformasyonlar kalınlık tasarımı için kullanılmaktadır. Deformasyon ilişkisini tanımlamak için kullanılan gerilme oranı eğilme gerilmelerinin eğilme dayanımına oranıdır:

$$\text{Gerilme Oranı} = \frac{\text{Uygulanan kritik eğilme gerilmesi}}{\text{Eğilme Mukavemeti}}$$

burada:

Uygulanan kritik eğilme gerilmesi, beton kaplamanın tabanında oluşan maksimum çekme gerilmesi ve

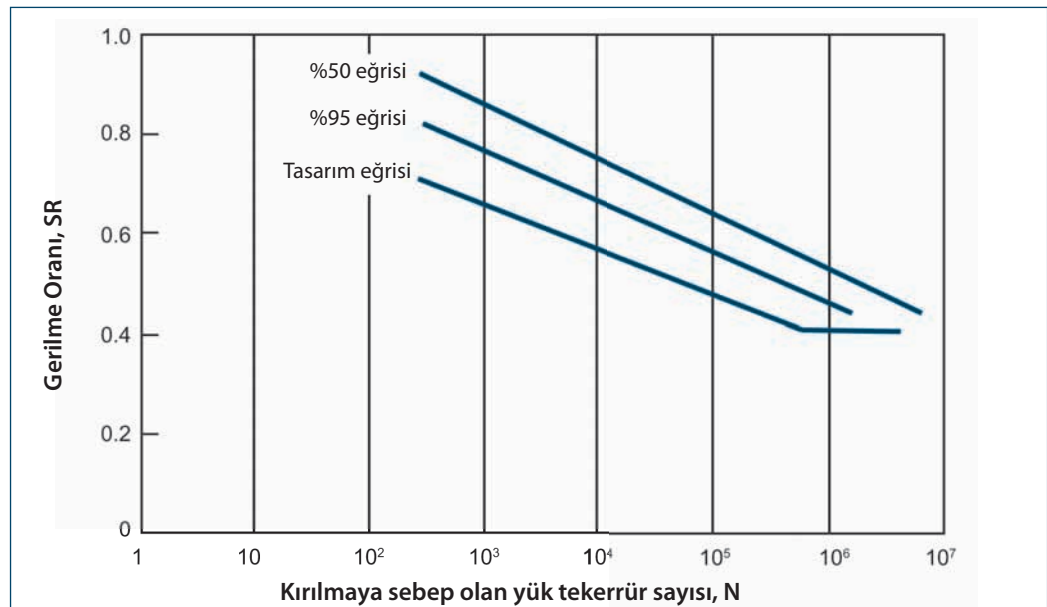
Eğilme mukavemeti, Betonun 3 nokta yükleme deneyine (ASTM C78; AASHTO T97 veya CSAA23.2-8C) tabi tutularak elde edilen eğilme mukavemetidir.

SSB kalınlık tasarımında, kaplama kalınlığı ve beton mukavemeti artırılır ta ki yeterli yorulma performansı sağlamak için gerilme oranı azaltılır.

SSB üzerinde yapılan eğilme yorulması araştırmaları SSB ile sıradan betonun yorulma performansının benzerlik olduğunu göstermiştir. Şekil 5.1'de 4 farklı SSB karışımı için tam ölçekli kaplama deneyinden elde edilen yorulma testi sonuçları görülmektedir. Bu çizgilerin altındaki SSB tasarım eğrisi sıradan betonlar için kullanılan RCA'nın standart yönetmeliğine benzer olarak bir tutuculuk eğrisi kurmayı sağlamaktadır (PCA, 1987).

Genellikle SSB kaplamaları için kullanılan yorulma eğrisi sıradan betonlar için kullanılan eğriye göre daha tutucudur. SSB kaplamalarını sıradan beton kaplama programları (WinPAS veya Street-Pave gibi) ile tasarlarlarken, önceden verilmiş güvenlik seviyesinin %5 civarında artırılarak elde edilen sonuçların bilindik SSB kaplama programlarından (SSB-PAVE gibi) elde edilen sonuçlarla karşılaştırılabilir olacağı önerilmiştir.

Şekil 5-1. SSB için yorulma ilişkisi (PCA 1987)



Kalınlık tasarımını etkileyen temel SSB özellikleri eğilme mukavemeti ve yorulma davranışdır. Tasarım sürecinde; tekerlek yüklerinden oluşan eğilme gerilmeleri ve yorulma etkisini güvenli sınırlarda tutacak bir kaplama kalınlığı seçilmelidir. Tekerlek yükünden dolayı meydana gelen gerilmeler ve yorulma kaplamanın kenar ve birleşim noktalarında kaplamanın iç bölgelerine göre daha fazladır (PCA, 1987). Bu nedenle birleşim performansı (etkili bir şekilde transfer edilen yükün yüzdesi) beton kaplamanın yorulma ömründe önemli rol oynar.

Kenar yüklemelerinden oluşan gerilmeleri azaltmak için kaplamanın kenarlardan taşındığı varsayımına dayanarak kaplamanın kenar ölçüleri 1 foot (0.3048 m) veya daha fazla artırılır. Ticari ve endüstriyel SSB kaplamalarında serbest kenarlar için oldukça az bitişik alan olduğundan araç yükleri genellikle iç kaplamalara aktarılır. Bu nedenle kaplamayı kenarların taşıdığı düşüncesiyle tasarım yapılabilir.

Kaplama birleşim noktalarındaki gerilmeleri azaltmak için, yük transferinin etkili bir şekilde gerçekleşmesi amacıyla yeterli agrega kenetlenmesinin olması gerekmektedir. Kaplama tasarım programları kullanılırken; programa önceden tanımlanmış yük transfer sınırlayıcılarının bilinmesi çok önemlidir.

Taban, Alt Temel ve Temel Tasarımı

Tabii temel altı, taneli alt temel ve işlenmiş temel sıradan beton kaplamalar ile aynı gerksinimlere göre yapılmalıdır. SSB kaplamasının en altı en büyük eğilme gerilmelerine maruzdur, aşırı su ise kaplamanın temelindeki su/çimento oranını artırarak alanın mekanik dayanımının azalmasına neden olur. Bu nedenle ıslak alanlarda drenaj, yeniden sıkıştırma bu nemli malzemeyi uygun malzeme ile değişme yoluna gidilmelidir. Temel altı ve alt temel alanları yeterli drenaj ile kontrol edilmelidir.

Tasarım Yöntemleri

Tasarım amacıyla, SSB kaplamaları yoğun hizmet veren endüstriyel kaplamalar (liman ve çok yönlü işletmeler gibi) ve karışık araç trafiğini taşıyan kaplamalar (farklı boyutlarda, karayolu yük lisanslı kamyonlar ve diğer hafif araçlar) olmak üzere 2 ana guruba ayrılmıştır.

Yükleyiler ve çekiciler gibi ağır endüstri araçlarına hizmet veren kaplamalar için tasarım yapılırken ağır araçların yük tekrarına dikkat edilir ve nispeten daha hafif araçların durumu göz ardı edilebilir (Delatte 2007). Bu yaklaşım PCA (SSB-PAVE bilgisayar programı) ve USACE sistemleri tarafından kullanılır.

Otomobiller, kamyonlar ve otobüsler gibi karışık araç trafiğine hizmet eden kaplamalar için PCA (SSB-PAVE bilgisayar programı) ve USACE sistemleri yorucu olabilir. Bu kaplamalar için (ACI tabloları veya StreetPave bilgisayar programı gibi) geleneksel beton kaplamalara uygun olan tasarım türleri tatmin edici sonuçlar verir. Bazı mühendisler ACI tabloları veya StreetPave programlarını kontrol için WinPAS'ı kullanırlar.

SSB-PAVE Yazılımı (PCA Yöntemi)

SSB_PACE tasarım yazılımı ağır trafik araçları ve ekipmanlarına maruz kalan konteynır limanı, tren veya kamyon garajları ve endüstriyel depolar gibi endüstriyel kaplamalar için SSB tasarımını sağlar. Yazılım karışık trafik kullanan geleneksel beton yollar için uyarlanabilir fakat bu yorucu ve uzun bir iştir.

SSB-PAVE doğal zemindeki rijit kaplamaların mekanik tepkisi için Watergaard'ın elastik analizine dayalı PCA prosedürüne uyarlanmıştır. Program PCA'nın bilgisayar programı ve *Structural Design of Roller-Compacted Concrete for Industrial Pavements (IS233)* adlı yayının- dan elde edilmiştir. Bu program Windows 98, Windows 2000, Windows NT, ve Windows XP işletim sistemleriyle uyumludur.

Tasarım prosedürü birkaç temel varsayımı içerir:

- Eğer SSB kaplama ardışık çoklu tabaka şeklinde inşa edilirse, monolitik yapı katmanlar arası yeterli bağı sağlayan önlemler sağlanmış olur.
- Tasarım prosedüründe güvenlik katsayısı göz önünde bulundurulmuştur:
 - Şekil (5-1)' deki tasarım yorulma eğrisi yorulma testi sonuçlarına göre aşağı yönlüdür. SSB zamanla dayanım kazanmaya devam eder.
 - Şöyle ki kaplamanın servis ömrü boyunca kaplamanın eğilme dayanımı tahmin edilen tasarım dayanımından daha büyük olacaktır.
- SSB_PAVE ilk olarak 700.000 toplam geçişden daha az endüstriyel kaplama ve karayolu kaplamalarının tasarımı için geliştirildi. Şekil (5-1) de gösterildiği gibi tasarım yorulma eğrisi, yaklaşık 0,38 gerilme oranında keskin bir şekilde düzleşmiştir. Sonuç olarak izin verilen 700.000'i aşan geçiş tekrarları tasarımda hesaba katılmaz.

Aşağıdaki bilgiler SSB pavement kalınlık tasarımında gereklidir (PCA 1987):

1. Doğal zemin veya doğal zemin- alttemel kombinasyonunun taşıma dayanımı (k değeri)
2. Araç özellikleri:
 - Sürüş koşullarındaki teker yükü
 - Teker boşluğu
 - Lastik özelliği (alana teması, basınç teması)
 - Kaplamanın tasarım ömrü boyunca yük tekrar sayısı
3. SSB'nin eğilme dayanımı
4. SSB'nin elastik modülü

Kaplamanın değerlendirmesinde SSB-PAVE programı endüstriyel kamyonlar, kereste taşıma ekipmanı, liman vinci, forkliftler ve dört ayaklı taşıyıcılar gibi herhangi bir araç yüzünden oluşan kritik kaplama eğilme gerilmesini belirler. Bu tür tesislerde, trafiğin yükü kaplamanın içinde oluşur. Gerektiğinde mesnetsiz kısımlarda bütün kaplama kalınlığını artırmaktan ziyade bir kalınlaştırılmış kenar kullanılarak kenar problemi çözülebilir.

Kaplama tasarımı için bu program trafiğe maruz kalan kaplama kalınlığını belirler.

SSB-PAVE programı altyazılı seçenek butonları, komut butonları, yazı kutuları, yardımcı ekranlar ve diğer yönetim araçlarına sahiptir. Program çok farklı türdeki araçların yükleme durumlarını içerir. Aynı zamanda yük ve aks durumlarının girdi ve kaydedilmesi için kullanıcılarına imkan sunar.

Malzeme özellikleri için varsayılan değerler kullanılabilir veya kullanıcı SSB ve doğal zemini temsil eden mühendislik özelliklerini özelleştirebilir. Hassas şekiller eğilme, dayanımı veya alttemel değerlerini değiştirerek kalınlık tasarımına etki edecek değerlendirmelerde kullanıcıya izin verecek şekilde yürütülebilir. (Ek B'deki) Tek sayfalık özet, SSB-PAVE kullanılarak elde edilen parametreleri ve tasarım sonuçlarını içerir.

SSB-PAVE bilgisayar programı tarafından sağlanan elektronik kısma ek olarak PCA yöntemi tablo ve nomograflar kullanarak tamamen ellede tamamlanabilir. SSB-PAVE'e eşit el metodlarını kullanarak tek ve çift tekerlekli tasarım örnekleri aşağıda mevcuttur. Tek veya çift tekerlekli tasarımları belirleyebilmek için tasarımcı kullanılan program kriterlerini kontrol etmelidir.

PCA Tasarım Örnekleri

Örnek 1 (Tek Tekerlek)

Liman istif taşıyıcılarının çalıştığı yükleme rıhtımında bir SSB kaplama yapılacaktır. Şekil 5-2 deki liman istif taşıyıcısının (dört tekerlek) maksimum ağırlığı 120,000 lb(54.4 metrik ton) dur. Lastik şişme basıncı ve temas alanı 100 psi (0.69 MPa) ve 300 in² (0.19 m²) dir. Yapılacak SSB kaplamanın eğilme dayanımı 650 psi (4.48 MPa) ve doğal zeminin k değeri 100 pci (psi/inç)dir. Kaplama alanındaki tahmini teker yük uygulama sayısı 30. SSB kalınlığı 20 yıllık hizmet ömrü için tasarlanmalıdır.

20 yıl sürede tekerlek yük uygulaması sayısı = $30 \times 365 \times 20 = 219,000$

Tasarım gerilme oranı (Tablo 5-1)), $SR = 0.433$

İzin verilen gerilme, $\sigma = f_s \times SR = 650 \times 0.433 = 281 \text{ psi (1.9 MPa)}$

Maksimum tek tekerlek yükü $P = 120,000 / 4 = 30,000 \text{ lb (13.6 metric tons)}$

1,000 lb yük için izin verilen gerilme = $\sigma / (P/1,000) = 281/30 = 9.37 \text{ psi/kip (0.14 MPa/metrik ton)}$

Şekil 5-2. Straddle taşıyıcı

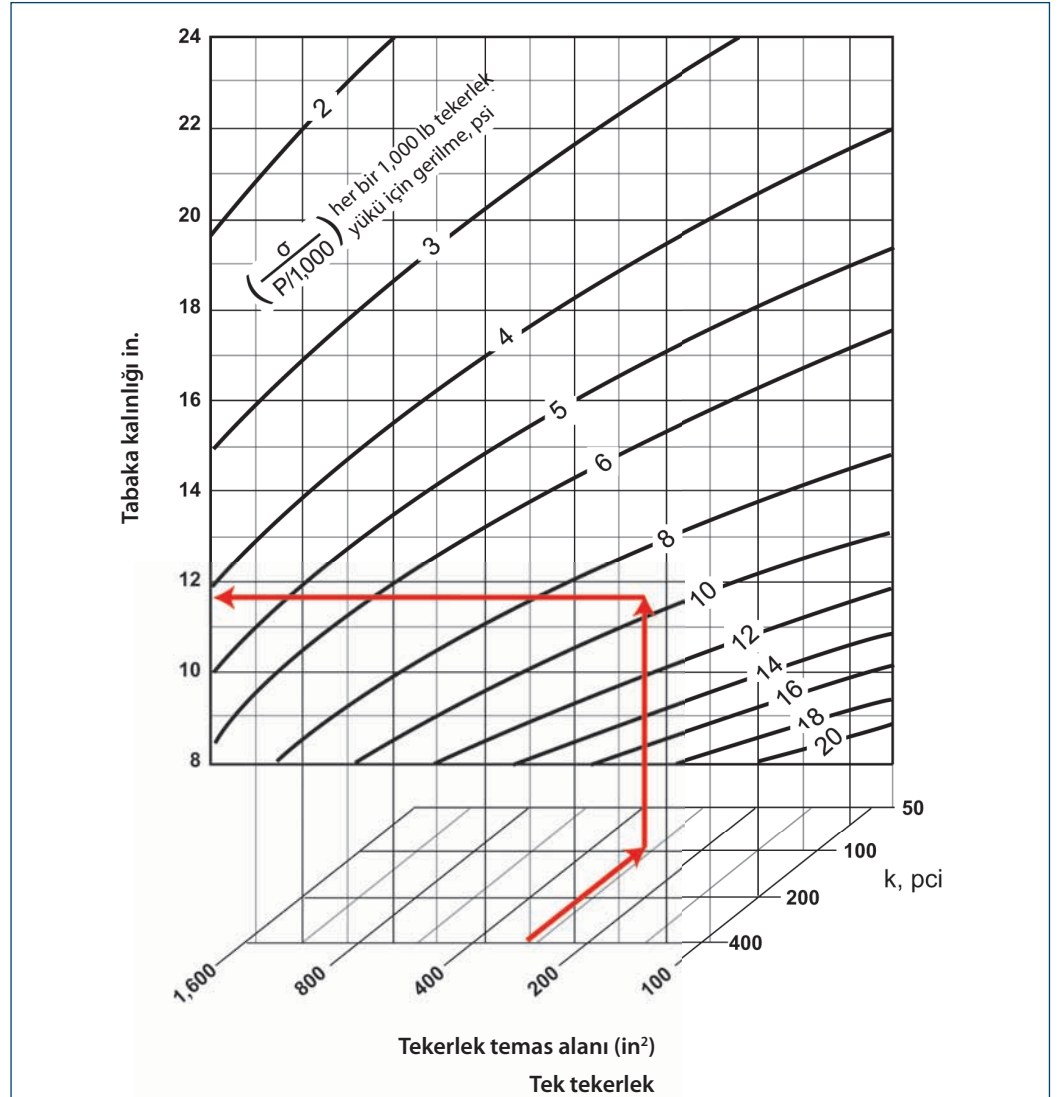


Şekil 5-3'te gösterilen tek tekerlek tasarım grafiğinde lastik temas alanı için 300 in² (0.19 m²) k-değeri için 100 pci girilir. İzin verilen gerilme 9.37 psi/kip (0.145 MPa/metrik ton), kaplama kalınlığı 11.5 in. (29.2 cm) olur.

Tablo 5-1. Gerilme oranları ve izin verilen yük tekrerrüleri (PCA IS233)

Gerilme oranları	İzin verilen yük tekrerrü	Gerilme oranları	İzin verilen yük tekrerrü
0.41	465,000	0.56	9,700
0.42	360,000	0.57	7,500
0.43	280,000	0.58	5,800
0.44	210,000	0.59	4,500
0.45	165,000	0.60	3,500
0.46	130,000	0.61	2,700
0.47	100,000	0.62	2,100
0.48	76,000	0.63	1,600
0.49	59,000	0.64	1,200
0.50	46,000	0.65	950
0.51	35,000	0.66	740
0.52	27,000	0.67	570
0.53	21,000	0.68	440
0.54	16,000	0.69	340
0.55	12,000	0.70	260

Şekil 5-3. Tekil tekerlek yükleri için tasarım grafiği (PCA 1987)



Örnek 2 (Çift Tekerlek)

Liman istif taşıyıcılarının çalıştığı yükleme rıhtımında bir SSB kaplama yapılacaktır. Şekil 5-4 deki liman istif taşıyıcısının (iki dümen tekerleği, dört sürüş tekerleği) vardır. Sürüş tekerleklerindeki maksimum yük her bir çift için 60,000 lb (27 metric ton) dur ve çift tekerlekler arası boşluk 20 in. (51 cm) dir. Lastik şişme basıncı 120 psi (0.82 MPa). Yapılacak SSB kaplamanın eğilme dayanımı 700 psi (4.83 MPa) ve doğal zeminin k değeri 200 pci (psi/inç)dir. Kaplama alanındaki tahmini teker yük uygulama sayısı 40. SSB kalınlığı 20 yıllık hizmet ömrü için tasarlanmalıdır.

$$\text{Lastik temas alanı} = 60,000/2/120 = 250 \text{ in}^2 (1,612.9 \text{ cm}^2)$$

$$20 \text{ yıl sürede tekerlek yük uygulaması sayısı} = 40 \times 365 \times 20 = 292,000$$

$$\text{Tasarım gerilme oranı (Tablo 5-1), } SR = 0.43$$

$$\text{İzin verilen gerilme, } \sigma = f_s \times SR = 700 \times 0.43 = 301 \text{ psi (2.08 MPa)}$$

- PCA tasarım yöntemi uygun deneme kalınlığı gerektirir. Bu örnek için 15 in. (38.1 cm) iyi bir başlama noktasıdır.
- Çift tekerlek için tasarım grafiği Tablo 5-2'den (SSB için 4,000,000 psi (26,600 MPa) elastisite modülü ve 0,15 poison oranı) bağıl bir rijitlik değeri 'I' gerektirir. 15 in. kaplama kalınlığı ve 200 pci k -değeri için bağıl sertlik 49.0. Dolayısıyla Şekil 5-5 kullanılarak gerilme etki faktörü 1,000 dir.

Yük etkisiyle gerilme hesabı:

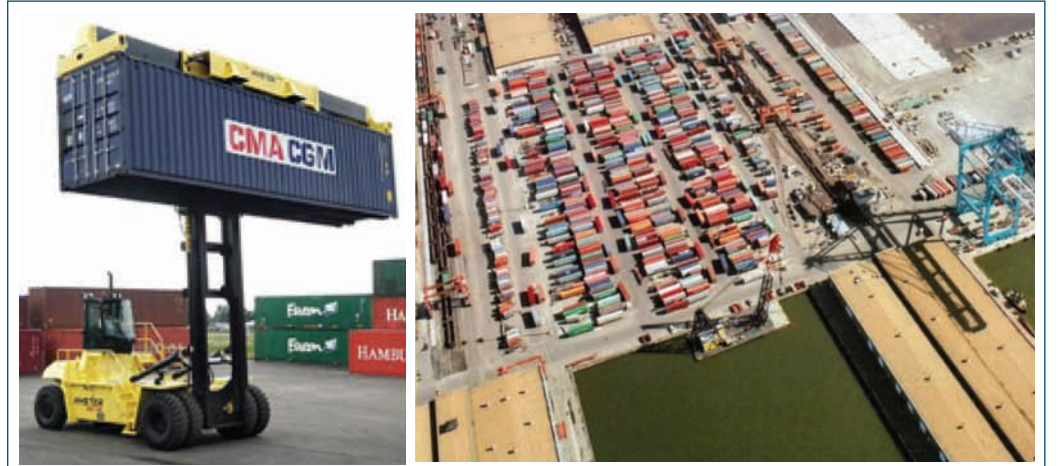
$$\text{Gerilme} = \frac{\text{Çift teker yükü}}{1,000} \times \frac{1}{(\text{kaplama kalınlığı})^2} \times F$$

$$\text{Gerilme} = \frac{60,000}{1,000} \times \frac{1}{(15)^2} \times 1,000 = 266 \text{ psi (1.83 MPa)}$$

- Diğer kalınlıklar için tekrar süreci. Deneme sonuçları Tablo 5-3 de gösterilmiştir.
- Tasarım kalınlığı olarak kaplama kalınlığı yaklaşık 13.5 ile 14 in. (34.3 ile 35.6 cm) seçildi çünkü bu kalınlığa eş gerilme değeri izin verilen gerilme değerinden 301 psi (2.08 MPa) küçük olan 294 psi (2.03 MPa) dir.

Karışık araç trafiği olduğunda PCA yöntemi karışık trafik yüzünden oluşan toplam yorulma hasarının hesabını gerektirir. Ek olarak sıralı tekerlekler için düzeltilir ve elastisite modülü değeri 4,000,000 psi (27,600 MPa) den başkadır.

Şekil 5-4. Çift tekerlek Straddle taşıyıcı ve yükleme rıhtımı (Wayne Alaska)



Tablo 5-2. İzafi rijitlik yarıçap değerleri, *I*-değerleri (in.)

<i>h</i> , in.	<i>K</i> = 50	<i>K</i> = 100	<i>K</i> = 150	<i>K</i> = 200	<i>K</i> = 250	<i>K</i> = 300	<i>K</i> = 350	<i>K</i> = 400	<i>K</i> = 500
8	43.23	36.35	32.85	30.57	28.91	27.62	26.58	25.70	24.31
8.5	45.24	38.04	34.37	31.99	30.25	28.91	27.81	26.90	25.44
9	47.22	39.71	35.88	33.39	31.58	30.17	29.03	28.08	26.55
9.5	49.17	41.35	37.36	34.77	32.89	31.42	30.23	29.24	27.65
10	51.10	42.97	38.83	36.14	34.17	32.65	31.42	30.39	28.74
10.5	53.01	44.57	40.28	37.48	35.45	33.87	32.59	31.52	29.81
11	54.89	46.16	41.71	38.81	36.71	35.07	33.75	32.64	30.87
11.5	56.75	47.72	43.12	40.13	37.95	36.26	34.89	33.74	31.91
12	58.59	49.27	44.52	41.43	39.18	37.44	36.02	34.84	32.95
12.5	60.41	50.80	45.90	42.72	40.40	38.60	37.14	35.92	33.97
13	62.22	52.32	47.27	43.99	41.61	39.75	38.25	36.99	34.99
13.5	64.00	53.82	48.63	45.26	42.80	40.89	39.35	38.06	35.99
14	65.77	55.31	49.98	46.51	43.98	42.02	40.44	39.11	36.99
14.5	67.53	56.78	51.31	47.75	45.16	43.15	41.51	40.15	37.97
15	69.27	58.25	52.63	48.98	46.32	44.26	42.58	41.19	38.95
15.5	70.99	59.70	53.94	50.20	47.47	45.36	43.64	42.21	39.92
16	72.70	61.13	55.24	51.41	48.62	46.45	44.70	43.23	40.88
16.5	74.40	62.56	56.53	52.61	49.75	47.54	45.74	44.24	41.84
17	76.08	63.98	57.81	53.80	50.88	48.61	46.77	45.24	42.78
17.5	77.75	65.38	59.48	54.98	52.00	49.68	47.80	46.23	43.72
18	79.41	66.78	60.35	56.16	53.11	50.74	48.82	47.22	44.66
19	82.70	69.54	62.84	58.48	55.31	52.84	50.84	49.17	46.51
20	85.95	72.27	65.30	60.77	57.47	54.92	52.84	51.10	48.33
21	89.15	74.97	67.74	63.04	59.62	56.96	54.81	53.01	50.13
22	92.31	77.63	70.14	65.28	61.73	58.98	56.75	54.89	51.91
23	95.44	80.26	72.52	67.49	63.83	60.98	58.68	56.75	53.67
24	98.54	82.86	74.87	69.68	65.90	62.96	60.58	58.59	55.41

Not: 1 in. = 25.4 mm; 1 psi = 0.0069 MPa; ve 1 psi/in. = 0.27 MPa/m

ℓ, Relatif Rijitlik Yarıçapı, 50 in.

$\sigma = \frac{P/1,000}{h^2} F$

s, çift tekerlek aralığı, in.

tekerlek temas alanı in² (her bir tekerlek)

Sıra: ℓ -> a, s -> F
P= çift tekerlek yükü

Çift tekerlek

F, gerilme etki faktörü, her bir 1,000 Lb (454 kgf) çift tekerlek yükü

Deneme	Deneme kalınlığı, in. (cm)	ℓ -değeri, in. (cm)	F	Gerilme, psi (MPa)
1	15 (38.1)	49.0 (124.5)	1,000	266 (1.83)
2	14 (35.6)	46.5 (118.1)	960	294 (2.03)
3	13.5 (34.3)	45.3 (115.1)	930	306 (2.11)

SSB kaplama tasarımı için USACE yöntemi geleneksel beton kaplama yöntemiyle benzerdir. Araç yükü 18 kip (8.2 metrik ton) tek-aks yüküne eş tekrar sayısı ve daha basit (Tablo 5-4) deki sayısal ifadelerle tasarlanan ana yüke eşit olarak ifade edilir.

49

USACE yöntemi (kaplama kalınlığının 10 in. [25.4 cm] den fazla olduğu) çok tabakalı uygulamalarda üç tür bağ durumunu göz önüne alır:

- *Tam Bağ.* Yapı monolitik kabul edilir.
- *Kısmi Bağ.* Kalınlık, kısmi bağlı rijit temel kaplamasının rijit bir tabakası olarak tasarlanır.
- *Bağ Yok.* Kalınlık, bağımsız temel kaplamasının rijit bir tabakası olarak tasarlanır.

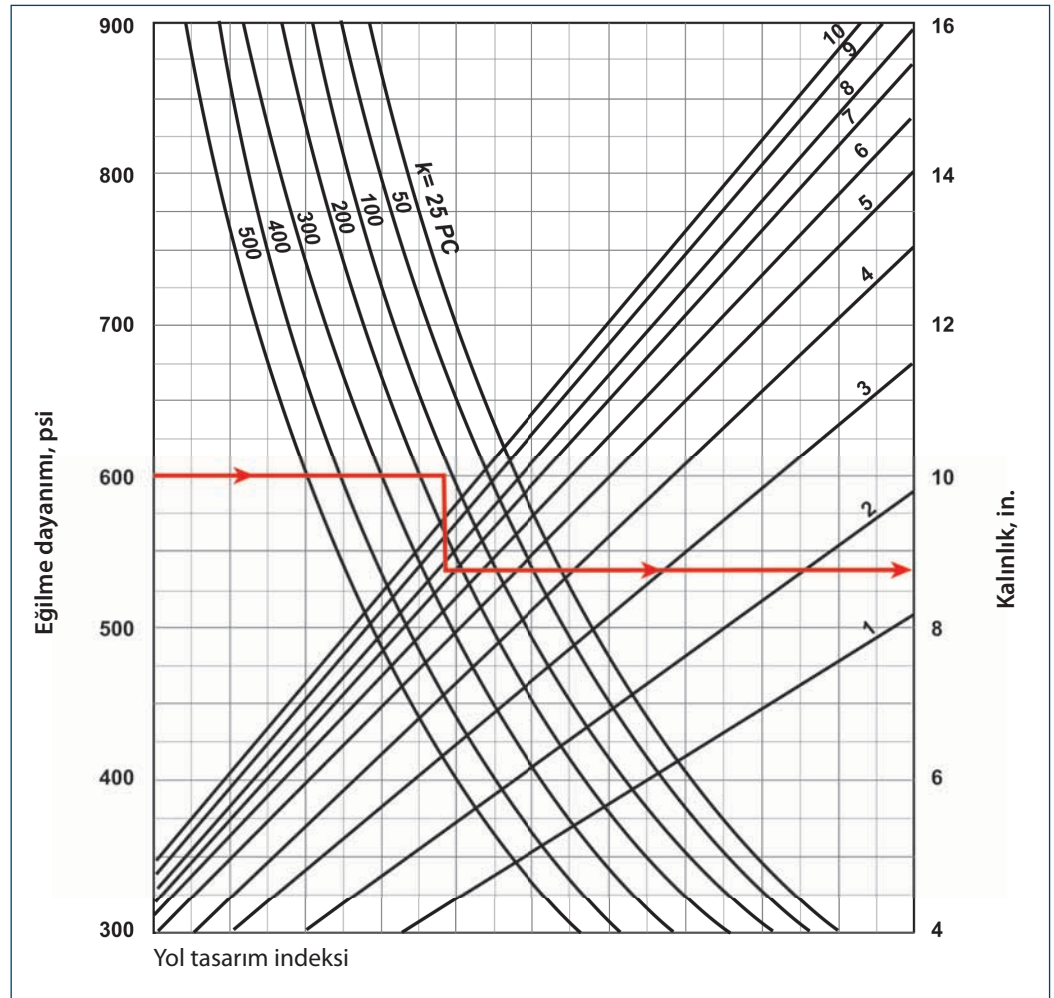
USACE yöntemi tablo ve nomografları kullanarak elle veya USACE yazılımını kullanarak elektronik olarak uygulanabilir. Aşağıdaki tasarım örnekleri elle çözümü kullanır. Hem % 0 hemde % 10 luk yük transferi için USACE yazılımını kullanan tasarım örnekleri Ek B de verilmektedir. Yazılım programına <https://transportation.wes.army.mil/pcase/software.aspx> sitesinden ulaşılabilir.

USACE Tasarım Örnekleri

80,000 lb (36 metric ton) toplam ağırlığa sahip palet tekerlekli araçlar için bir SSB açık otoparkı yapılacaktır. Trafik günlük 30 aracı kapsar. SSB kaplama k değeri 100 pci olan doğal zemine yapılacaktır. SSB eğilme dayanımı 600 psi (4.1 MPa).

Bu örnekteki açık otopark E sınıfı olacaktır. 80 kip (36 metrik tonluk) araç Kategori VI olarak sayılabilir. E sınıfı için Kategori VI günlük 30 araç sıklığıyla kaplanacak, kaplama tasarımı Tablo 5-4 ten 7 olarak alınacak.

Şekil 5-6. Geleneksel beton yollar, caddeler ve SSB yollar için tasarım eğrileri (Army Air Force 1992)



Şekil 5-6 tasarım grafiği kullanılarak 600 psi eğilme dayanımından başlanır, 100 pci k değerine sağa gidilir, sonra kaplama tasarım 7 eğrisine inilir ve kaplama kalınlığını belirlemek için sağa gidilir. Kaplama kalınlığı 8.7 in. (22.1 cm) olarak bulunur. Son tasarım kalınlığı (Tablo 5-4) den günlük araç trafiği 40 dan az olduğu için 8.5 in. (21.6 cm) olabilir.

ACI Tasarım Yöntemleri

Tablolardan elle tasarım metodu, karışık araç trafiğini taşıyan caddeler, yerel yollar ve açık otoparklar için SSB kaplama kalınlığı belirlemek için kullanılabilir. Aşağıda ACI tarafından geliştirilen iki tasarım metodu vardır; kullanıcılar tabloları kullanmadan önce yazılı rehberi anlamaya çalışmaları yerinde olacaktır.

Park Alanları

Beton Park Alanları Tasarım ve Yapımı (ACI 330R-08) den alınan Tablo 5-5 SSB kaplama kalınlığını belirlemek için kullanılabilir. Bu tablo bağ demiri olmayan 20 yıllık tasarımlara dayalıdır.

Tasarım örneği: Park Alanı, günlük ortalama kamyon trafiği 10 (ADTT), $k = 100$ psi/in. (27 MPa), kopma modülü 600 psi (4.1 MPa), SSB kalınlığı 5 in. (12.7 cm).

Tablo 5-4. Yol tasarım indeks değerleri, USACE yöntemi

Trafik Kategorisi	Anayol ve cadde sınıflandırılması için yol tasarım indeksi					
	A	B	C	D	E	F
I	2	2	2	1	1	1
II	3	2	2	2	2	1
III	4	4	4	3	3	2
IV	5	5	5	4	4	3
IV A	6	6	6	5	5	4
V (60 kip track-laying araçları veya 15-kip forkliftler)	7	7	7	7	7	(*)
500/gün	6	6	6	6	6	(*)
200/gün	6	6	6	6	6	(*)
100/gün	6	6	6	6	6	6
40/gün	6	6	6	5	5	5
10/gün	5	5	5	5	5	5
4/gün	5	5	5	5	4	4
1/gün	5	5	5	4	4	4
VI (90 kip track-laying araçlar veya 25-kip forkliftler)						
200/gün	9	9	9	9	9	(*)
100/gün	8	8	8	8	8	8
40/gün	7	7	7	7	7	7
10/gün	6	6	6	6	6	6
4/gün	6	6	6	6	6	6
1/gün	5	5	5	5	5	5
1/hatfa	5	5	5	4	4	4
VII (120 kip track-laying araçları)						
100/gün	10	10	10	10	10	10
40/gün	9	9	9	9	9	9
10/gün	8	8	8	8	8	8
4/gün	7	7	7	7	7	7
1/gün	6	6	6	6	6	6
1/hatfa	5	5	5	5	5	5

*Trafik 100 araç /gün sınıflandırılmış

Tablo 5-5. Beton park alanların tasarımı (ACI 330R-08)

Tavsiye edilen 20 yıllık yol kalınlık tasarımı, in. (dowel yok)													
		k = 500 psi/in. (CBR = 50; R = 86)				k = 400 psi/in. (CBR = 38; R = 80)				k = 300 psi/in. (CBR =26; R = 67)			
		MOR, psi:	650	600	550	500	650	600	550	500	650	600	550
Trafik sınıfı*	A (ADTT =1)	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.5
	A (ADTT = 10)	4.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.0	4.5	4.5	4.0	4.5	4.5	4.5
	B (ADTT = 25)	4.0	4.5	4.5	5.0	4.5	4.5	5.0	5.5	4.5	4.5	5.0	5.5
	B (ADTT = 300)	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	6.0
	C (ADTT = 100)	5.0	5.0	5.5	5.5	5.0	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0
	C (ADTT = 300)	5.0	5.5	5.5	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0	5.5	6.0	6.0	6.5
	C (ADTT = 700)	5.5	5.5	6.0	6.0	5.5	5.5	6.0	6.5	5.5	6.0	6.5	6.5
	D (ADTT = 700) [†]	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5	6.5
		k = 200 psi/in. (CBR = 10; R = 48)				k = 100 psi/in. (CBR = 3; R = 18)				k = 50 psi/in. (CBR = 2; R = 5)			
		MOR, psi:	650	600	550	500	650	600	550	500	650	600	550
Trafik sınıfı*	A (ADTT =1)	4.0	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	5.0	4.5	5.0	5.0	5.5
	A (ADTT = 10)	4.5	4.5	5.0	5.0	4.5	5.0	5.0	5.5	5.0	5.5	5.5	6.0
	B (ADTT = 25)	5.0	5.0	5.5	6.0	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.0	6.5	7.0
	B (ADTT = 300)	5.5	5.5	6.0	6.5	6.0	6.0	6.5	7.0	6.5	7.0	7.0	7.5
	C (ADTT = 100)	5.5	6.0	6.0	6.5	6.0	6.5	6.5	7.0	6.5	7.0	7.5	7.5
	C (ADTT = 300)	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	6.5	7.0	7.5	7.0	7.5	7.5	8.0
	C (ADTT = 700)	6.0	6.5	6.5	7.0	6.5	7.0	7.0	7.5	7.0	7.5	8.0	8.5
	D (ADTT = 700) [†]	7.0	7.0	7.0	7.0	8.0	8.0	8.0	8.0	9.0	9.0	9.0	9.0

*ADTT = Ortalama günlük kamyon trafik sayısı. Kamyon: en az 6 tekerlekli (panel kamyonları, pickup kamyonları ve diğer 4 tekerlekli araçlar hariç) araçlardır.

k = taban zemin reaksiyon modülüsü; CBR = Kaliforniya taşıma oranı; R = mukavemet değeri; ve MOR = Kopma modülü.

Not: 1 in. = 25.4 mm; 1 psi = 0.0069 MPa; ve 1 psi/in. = 0.27 MPa/m

1. Otomobil park alanları ve giriş şeritleri_Kategori A
2. Alışveriş merkez girişleri ve servis şeritleri_Kategori B
3. Otobüs park alanları, şehir ve okul otobüsleri
Park alanları ve iç şeritleri_Kategori B
Giriş ve dış şeritleri_Kategori C
4. Kamyon park alanları_Kategori B, C veya D

Kamyon tipi	Park alanları ve iç şeritler	Giriş ve dış şeritler
Tek üniteler	Kategori B	Kategori C
Çoklu üniteler (en az bir treyler ve daha fazla traktör treyler üniteler)	Kategori C	Kategori D

*Tablo 5-5 kullanınız için A,B,C veya D seçiniz 5-5.

Zemin tipi	Destek	k, psi/in
Silt ve killerin ağırlıkta olduğu ince taneli zeminler	Düşük	75 -120
Oldukça silt ve kil içeren kum ve kum-çakıl karışımları	Orta	130 -170
İnce tane içermeyen kum ve kum-çakıl karışımları	Yüksek	180 - 220

Caddeler ve Yerel Yollar

Caddeler ve Yerel Yollardaki Derzli Beton Kaplamaların Tasarım Rehberi'nden (ACI 325.12R-02) alınan Tablo 5-6 ve 5-7, ACPA StreetPave veya AASHTO WinPAS programlarını kontrol ve alternatif amaçlı olarak kullanılabilir. Bu tablolar 30 yıllık tasarıma dayalıdır ve bu rehberde İngiliz birim sistemine çevrilidir.

SSB'de bağ çubuğu olmamasından dolayı Tablo 5-6 banketler SSB olduğunda ve banketle yol arasındaki derz soğuk derz olarak değilde yeni derz olarak kabul edildiğinde kullanılır. Verilen doğal zemin k değeri, beton eğilme dayanımı (kopma modülü), trafik sınıflandırması ve yıllık ortalama günlük kamyon trafiği (ADTT), kaplama kalınlığı tablodan doğrudan okunabilir.

Tasarım Örneği: Kurp ve hendeksiz toplayıcı yol, 50 ADTT, $k = 100$ psi/in. (27 MPa/m), kopma modülü 650 psi (4.5 MPa), SSB kalınlığı 7 in. (17.8 cm).

ACPA StreetPave Tasarım Yöntemi

StreetPave tasarım programı, geleneksel beton ve SSB kaplamaları tasarımı için mühendislere imkan sunar. Programa ACPA websitesinden ulaşılabilir (www.pavement.com). StreetPave hesaplaması birkaç farklılıkla PCA yöntemini takip eder. Muhtemelen çoğu istisnalar, istenen güvenilirlik ve izin verilen kaplama çatlağına dayalı değişik yorulma eğrilerindendir. İki diğer önemli değişiklik de benzer asfalt kaplama tasarım ilavesi ve hizmet ömrü döngüsü maliyet modülü ilavesidir.

StreetPave tasarım programı geleneksel beton yorulma eğrisini kullanır. SSBPAVE programı daha ölçülü bir yorulma eğrisi kullanır. Her iki programı kullanarak aynı sonuçları elde etmek ek ölçüleri sağlamak için StreetPave programı kullanıldığında güvenilirliğin % 5'e çıkması yaygın değildir.

StreetPave kullanıldığında bağdemiri olmayan derzler bir seçenek olabilir. Kullanıcı 8 in. (20.3 cm) veya daha kalın kaplamalarda dikkatli olmalıdır çünkü program otomatik olarak bağ demiri gerektirir. Bundan dolayı 8 in. (20.3 cm) veya daha kalın kaplamalarda *Caddeler ve Yerel Yollardaki Derzli Beton Kaplamaların Tasarım Rehberi*'nden (ACI 325.12R-02) alınan Tablo 5-6 ve 5-7 nin kullanılması gereklidir. 10 in. (25.4 cm) e kadar olan SSB kaplamalar için uygun olan karışık araç trafikli diğer tasarım yöntemleri örnekleri Delatte (2004) tarafından verilmiştir.

Tasarım Örneği: StreetPave kullanılarak yapılan tasarım örnekleri için Ek B ye bakın. Bu tasarım örnekleri ACI 325.12R-02 ve aynı kalınlığı veren tasarım örnekleriyle aynıdır.

Tablo 5-6. Yol kalınlığı, in., bütün veya birleşik kurb ve oluk veya kaldırım (kenarları desteklenmiş) (ACI 325.12R)

k = 50 psi/in.					k = 100 psi/in.					Trafik sınıfı	
MOR psi					MOR psi						
490	550	600	650	700	490	550	600	650	700		
6	6	6	5	5	6	5	5	5	5	ADTT = 3	Sokak
7	7	6	6	6	7	6	6	5	5	ADTT = 10	Cadde
7	7	6	6	6	7	6	6	5	5	ADTT = 20	
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 50	
8	8	7	7	7	8	7	7	6	6	ADTT = 50	Kollektör
9	8	8	7	7	8	7	7	7	6	ADTT = 100	
9	8	8	8	8	8	8	7	7	7	ADTT = 500	
9	8	8	8	8	8	8	7	7	7	ADTT = 100	Küçük arter
9	9	8	8	8	9	8	7	7	7	ADTT = 500	
10	9	9	8	8	9	9	8	8	7	ADTT = 400	Ana arter
10	10	9	9	9	9	9	8	8	8	ADTT = 800	
11	10	10	10	10	10	9	9	9	9	ADTT = 1,500	
9	8	8	7	7	8	8	7	7	6	ADTT = 300	Ticari
9	9	8	8	8	8	8	7	7	7	ADTT = 700	
10	9	9	8	8	9	9	8	8	7	ADTT = 400	Endüstriyel
10	10	9	9	9	9	9	8	8	8	ADTT = 800	
k = 200 psi/in.					k = 300 psi/in.					Trafik sınıfı	
MOR psi					MOR psi						
490	550	600	650	700	490	550	600	650	700		
5	5	5	4	4	5	5	4	4	4	ADTT = 3	Sokak
6	5	5	5	5	6	5	5	5	4	ADTT = 10	Cadde
6	6	5	5	5	6	5	5	5	4	ADTT = 20	
6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	ADTT = 50	
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 50	Kollektör
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 100	
8	7	7	6	6	7	7	6	6	6	ADTT = 500	
8	7	7	6	6	7	7	6	6	6	ADTT = 100	Küçük arter
8	7	7	7	7	7	7	7	7	7	ADTT = 500	
8	8	7	7	7	8	7	7	7	7	ADTT = 400	Büyük arter
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 800	
9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	ADTT = 1,500	
7	7	7	6	6	7	7	6	6	6	ADTT = 300	Ticari
8	7	7	7	7	7	7	6	6	6	ADTT = 700	
8	8	7	7	7	8	7	7	7	7	ADTT = 400	Endüstriyel
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 800	

Not: 1 in. = 25.4 mm; 1 psi/in. = 0.27 MPa/m.

ADTT: Ortalama günlük trafik

Tablo 5-7. Yol kalınlığı, in., birleştirilmiş kurb ve oluk veya kaldırımlar (kenarları desteksiz) (ACI 325.12R)

k = 50 psi/in.					k = 100 psi/in.					Trafik sınıfı	
MOR psi					MOR psi						
490	550	600	650	700	490	550	600	650	700		
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 3	Sokak
8	8	7	7	6	7	7	7	6	6	ADTT = 10	Cadde
8	8	8	7	7	8	7	7	6	6	ADTT = 20	
8	8	8	7	7	8	7	7	7	6	ADTT = 50	
10	9	9	8	8	9	8	8	7	7	ADTT = 50	Kollektör
10	9	9	8	8	9	8	8	8	7	ADTT = 100	
11	10	9	9	8	10	9	8	8	8	ADTT = 500	
11	10	9	9	8	10	9	8	8	8	ADTT = 100	Küçük arter
11	10	10	9	9	10	9	9	8	8	ADTT = 500	
12	11	10	10	9	11	10	9	9	8	ADTT = 400	Ana arter
12	11	11	10	10	11	10	10	9	9	ADTT = 800	
12	12	11	11	11	11	10	10	10	10	ADTT = 1,500	
10	10	9	9	8	9	9	8	8	7	ADTT = 300	Ticari
11	10	9	9	9	10	9	9	8	8	ADTT = 700	
12	11	10	10	9	11	10	9	9	8	ADTT = 400	Endüstriyel
12	12	11	10	10	11	10	10	9	9	ADTT = 800	
k = 200 psi/in.					k =300 psi/in.					Trafik sınıfı	
MOR psi					MOR psi						
490	550	600	650	700	490	550	600	650	700		
6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	ADTT = 3	Sokak
7	6	6	6	5	6	6	6	5	5	ADTT = 10	Cadde
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 20	
7	7	6	6	6	7	6	6	6	5	ADTT = 50	
8	8	7	7	6	8	7	7	6	6	ADTT = 50	Kollektör
8	8	7	7	7	8	7	7	6	6	ADTT = 100	
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 500	
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 100	Küçük arter
9	8	8	8	8	9	8	8	7	7	ADTT = 500	
10	9	9	8	8	9	9	8	8	7	ADTT = 400	Ana arter
10	9	9	8	8	9	9	8	8	8	ADTT = 800	
10	9	9	9	9	10	9	9	9	9	ADTT = 1,500	
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 300	Ticari
9	8	8	7	7	8	8	7	7	7	ADTT = 700	
10	9	9	8	8	9	9	8	8	7	ADTT = 400	Endüstriyel
10	9	9	8	8	9	9	8	8	8	ADTT = 800	

Not: 1 in. = 25.4 mm; 1 psi/in. = 0.27 MPa/m.

Sınıf	Günlük araç veya ortalama günlük trafik, iki-yönlü	Ağır ticari araçlar (iki dingil, 6 tekerlek ve daha ağır olanlar)	
		%	Günlük geçen sayı
Sokak	200	1 ile 2	2 ile 4
Cadde	200 ile 1,000	1 ile 2	2 ile 4
Kollektör	1,000 ile 8,000	3 ile 5	50 ile 500
Küçük arter	4,000 ile 15,000	10	300 ile 600
Ana arter	4,000 ile 30,000	15 ile 20	700 ile 1,500
Ticari	11,000 ile 17,000	4 ile 7	400 ile 700
Endüstriyel	2,000 ile 4,000	15 ile 20	300 ile 800

Derz Yapımı

Geleneksel betona benzer şekilde, SSB inşa derzleri, kesilmiş derzler, yalıtım derzleri ve genleşme derzleri gibi farklı türlerdeki derzlere sahip olabilir.

Boyuna ve enine inşa derzleri SSB kaplama yapımı için gereklidir. (İnşa derzleri üzerine daha fazla bilgi için bölüm' 7 ye bkz.)

Boyuna ve enine kesilmiş derzler rastgele çatlakları kontrolü ve yerleşme için gerekli düzenli ince boşluklardaki işleyişi sağlamak için kullanılabilir. Kesilmiş derzler, SSB kaplamaların uzun dönemli performans ve dayanıklılık sağlamaları açısından gerekli değildir. Bunlar geleneksel betona kıyasla büzülme ve derin çatlakları azaltmak için SSB de kullanılan düşük su ve çimento içeriğinin bir gereğidir. Büzülmenin azaltılması kür ve bozulma gerilmelerinin azalmasına yardım eder.

Çoğu durumda SSB kaplamalar, SSB kaplamaların ekonomisine katkıda bulunacak ve başarıyı sağlayacak doğal çatlakların oluşumuna izin verir. SSB'nin doğal çatlaklara izin vermesi durumunda agrega kilitlenmeleri genelde çatlaklar arası yeterli yük transferini sağlar. 20 ile 60 ft (6.1 ile 18.3 m) arasında meydana gelen çatlaklar SSB'nin özelliğine ve kalınlığına bağlıdır. Agrega kilitlenmeleri yük transferi içi önemlidir çünkü SSB kaplamalarda bağ demiri ve kayma çubuğu kullanılmaz.

Belirli koşullarda SSB kaplamalar için kesilmiş derzler istenebilir. SSB kaplamalarda kullanılan derzlerin başlıca nedeni rastgele çatlakları engellemektir. Bunlar, aşırı büzülmenin olacağı soğuk havalara ve ağır yük tekrarına maruz kalan SSB kaplamalarda, mühendisin bir derz boyunca mümkün olan en yüksek yük transferinin gerçekleşmesini istediği durumlarda ve kaplamanın yüzey görünümünün iyileştirilmesinin istediği durumlarda kullanılabilir.

Örneğin 20 ile 30 ft (6.1 ile 9.1 m) arasında kesilmiş derzlerle, agrega kilitlenmeleri çatlak oluşumunu minimize etmek için derzlerde artırılabilir. Agrega kilitlenmelerinin gelişimi derz boyunca yük transferini artırır ve derz etkileşimi için ölçülür. Rastgele çatlakların kontrolüne ek olarak, kesilmiş derzlerin diğer faydaları aşağıdaki gibidir:

- Estetiklik önemli olduğunda veya derz yüzey bozulması riski dikkate alındığında rastgele çatlaklardan sonra yalıtım derzlerine göre daha kolaydır.
- Derzler SSB kaplamalardan baca ve hava giriş deliği gibi yapıların yalıtımına izin verir.
- Erken giriş kesilmesi kullanıldığında, kesimin derinliği derz örtüsünü gerektirmeyecek yeterlilikte incedir.

Kesilmiş derzler SSB kaplamalarda kullanıldığında, geometrik ve enine, boyuna derz tasarım teorisi ve yalıtım derzleri geleneksel betonunkine aynıdır. Geleneksel beton kaplamanın yerleşimini gerektirebilecek, sınırlı boyutlarda düzensiz yüzey alanları istisnadır.

SSB kaplamalardaki kesilmiş derzler ek proje maliyeti gerektirir. Dolayısıyla kesmek veya kesmemek verilmesi gereken önemli bir karardır.

Yük Transferi (Derz Verimliliği)

SSB kaplamalarda derz ve çatlak etkeninin işleyişi derz ve çatlakların dik yüzeyindeki agrega kilitlenmeleri veya sürtünmesinden etkilenir. SSB kaplamaların derz veya çatlaklarının derz etkeni, derzin yüklenme olmayan tarafının maksimum eğilmesinin, derzin diğer tarafına gelen dikey yükün sonucu olarak oluşan maksimum eğilmesine bölümü olarak tanımlanır.

$$\text{Derz Etkeni} = \frac{\text{Yüklenmemiş tarafın maksimum eğilmesi}}{\text{Yüklenmiş tarafın maksimum eğilmesi}} \times 100$$

Derz etkeni sadece tek yön için uygulanan yükün sonucu olarak derz ve çatlak eğiliminin her iki tarafında aynı miktarda % 100 derz etkisiyle oranlanarak ifade edilir. Bu % 100 agrega kilitlenmesi ve sürtünmesi ile açıklanır. % 0 derz etkeni olduğunda yüklenmemiş kaplama tamamen eğilmez ve % 0 agrega kilitlenmesi ve sürtünmesi olur.

Derz veya çatlak testlerine dayalı sınırlı testler SSB kaplamaların derz etkeninin % 22'den % 89'a değiştiğini göstermiştir (Pittman 1996).

Çalışmalar aşağıdaki maddelerin SSB derz etkeninin azalmasına neden olduğunu göstermiştir:

- Ağır yüklerin tekrarı
- Küçültülmüş iri agregalar
- Soğuk kaplama sıcaklıkları
- Derz ve çatlakların girişinin artışı

Enine Derz Aralıkları

Kesilmiş derz



SSB kaplamalar için evrensel olarak kabul edilmiş enine derz boşluğu tanımı yoktur. Nispeten SSB kaplamalardaki enine çatlaklar geleneksel beton kaplamalardaki enine çatlaklardan daha boşlukludur, sebebi SSB kaplamalardaki büzüşmenin az oluşudur.

Derz etkisi SSB'nin enin derzlerinin temel konusudur ve kaplama kalınlığının 8 in. (20.3 cm) veya daha kalın olması özellikle soğuk bölgelerde göz öünde bulundurulmalıdır. Eğer agrega kilitlenmesi kritik düzeyde ise kesilen derzin derinliği kaplama kalınlığının 1/4 ünü geçmemelidir. 8 in. (20.3 cm) veya daha kalın kaplamalar için yeterli derz boşluğunu elde etmek için kullanılan kaplama kalınlığını 3 ila 4 le çarpmak mantıklı olacaktır. 8 in. (20.3 cm) den daha ince kaplamalar için boşluğun 15 ila 20 ft (4.6 ila 6.1 m) olması uygundur.

Boyuna Derz Aralıkları

Boyuna kesilmiş derzler, SSB kaplamalarda kür ve bozulma gerilmesini azaltmak için kullanılır. Fakat SSB kaplamalardaki bu gerilmeler, düşük hamur içeriği ve bu sayede azalan büzülmeyle azaltılır.

Genellikle yol yapımında boyuna derzlerin açılması enine derzlerle kıyaslandığında daha azdır. Böylece soğuk derzli iki şeritli SSB yol kaplamasında, iki şerit arasında agrega kilitlenmesi vardır fakat derzler aynı zamanda gerilmenin zayıflatılmış bölümü olarak hizmet verir.

8 in. (20.3 cm) kalınlığından daha az olan kaplamalar için boyuna kesilmiş derz aralığının 15 ila 20 ft (4.6 ila 6.1 m), 8 in. (20.3 cm) ve daha fazla kalınlıktaki kaplamalar için kaplama kalınlığının 2,5 katı olması uygundur. Endüstriyel alanlar gibi geniş kaplama yüzey alanları için kaplama kalınlığının 2,5 katı boşluğa sahip kare şekilli derzler tercih edilmektedir.

Yalıtım ve Genleşme Derzleri

Yalıtım ve genleşme derzleri kaplama ve hasarsız diğer yapılar arasında oluşan yatay ve dikey farklı hareketlerin oluşumuna izin verir. Yalıtım derzleri ya bir yapıyı diğer kaplama alanlarından veya hareketsiz nesnelerden ayırır.

Bu derzlerin kullanımı, kaplama ve yapı veya iki kaplama bölümü arasında gelişen basınç gerilmelerini azaltır. Bina temel tabakaları, hendekler, rögarlar ve sabit yaya yolları gibi kaplama sınırları boyunca veya içinde bulunan sabit yapıları yalıtım için SSB kaplamalarda kullanılan yalıtım derzleri vardır. Yapıların etrafını çevreleyen betona bitişik SSB ile geleneksel betondaki aynı özelliklere sahip rögar ve hava girişleri gibi yapılara sahip SSB kaplamalarda yalıtım derzleri bulunur.

Genleşme derzleri kaplamalara düzenli aralıklarla yerleştirilen tam derinlikli enine derzlerdir. Bu derzler bazen yanlışlıkla yalıtım derzi gibi algılanır. Genleşme derzleri Şekil 5-7'deki gibi sıcak havalar boyuca aşırı genişlemenin olduğu SSB'nin büyük alanları için kullanılabilir. Bazı kuruluşlar sıcak hava ikliminde soğuk havalar boyunca SSB kaplamaların yapılması durumunda genleşme derzleri kullanır. Genleşme derz detayları geleneksel beton genleşme derzlerinde olduğu gibi takip edilmelidir.

Sıcak havada, SSB'nin genişlemesi, % 100'lük derz ve çatlak etkenini harekete geçirmek için yeterlidir. Nadir olmasına rağmen SSB basınç patlaması sıcak havalarda meydana gelir. Fakat bu patlamaların soğuk hava ve sıcak bir dönem takibi boyunca yapıldığında olması normaldir. Bu koşullar için pratik mevsimsel genleşme derzlerinin yapımı geliştirilmiştir. Bu derzlerin aralıkları SSB kalınlığına, su ve çimento içeriğine ve kaynak kısıtlamalarına bağlıdır.

Şekil 5-7. SSB plaklarında genleşmeye bağlı olarak oluşmuş bozulmalar



Bölüm 6

SSB ÜRETİMİ



Giriş

SSB üretimi aşağıdaki adımları gerektirir.:

- Malzeme seçimi ve kaynak verileri (Bölüm 2'ye bkz.)
- Malzemelerin taşınması ve depolanması
- Karıştırılması
- Harmanlanması ve denetlenmesi
- Üretim planlaması
- Taşınması (Bölüm 7'ye bkz.)
- Kalite kontrol (Bölüm 7'ye bkz.)

SSB birkaç şekilde üretilebilir:

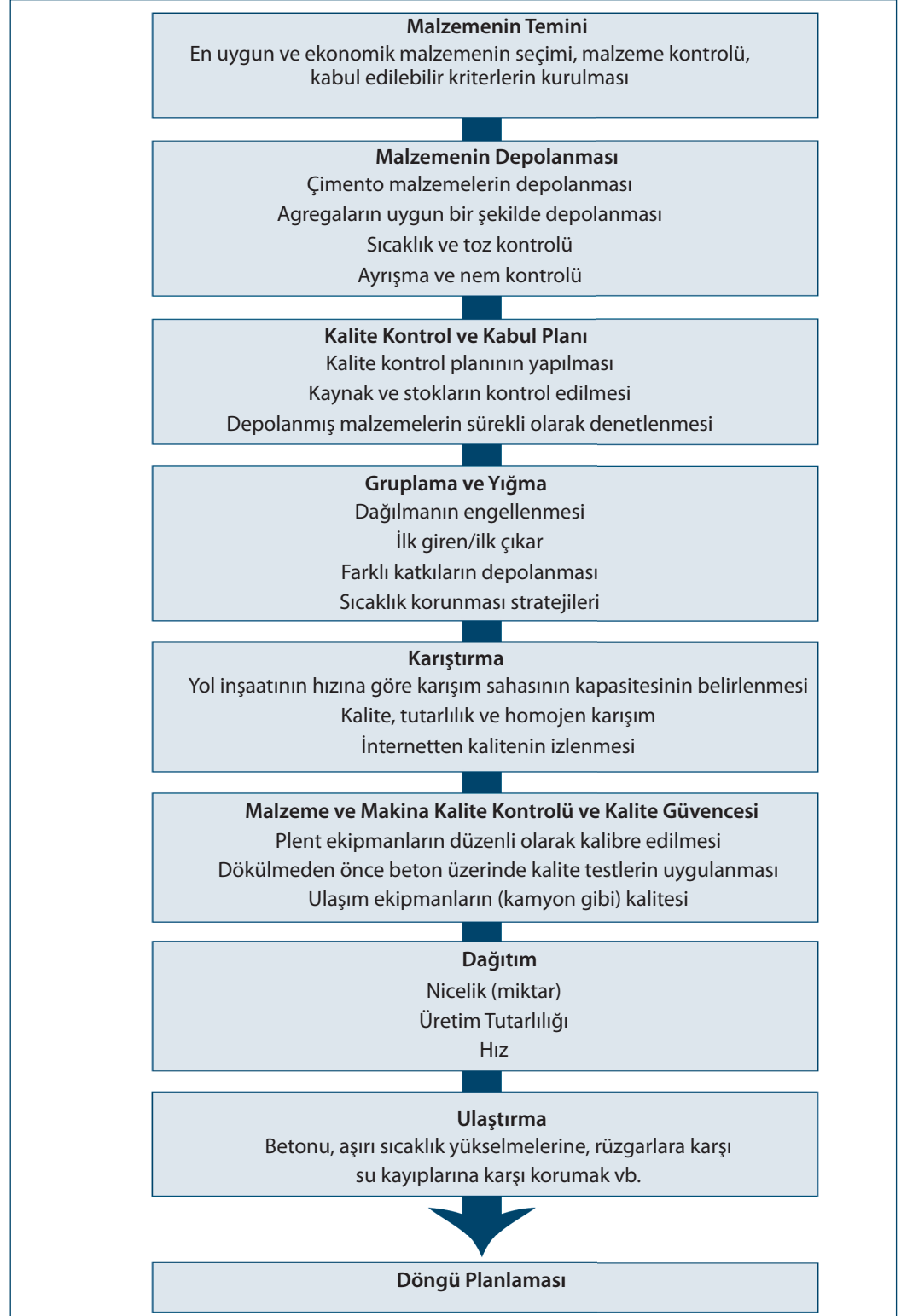
- Merkezi harmanlama plantleri (ikiz shaft mikseri ve pan mikser)
- Hazır karıştırma mikserlerinden faydalanarak kuru harmanlama plenti
- Devamlı dönen mikserler (harç mikseri ve yatay shaft mikseri)
- Tambur mikseri

Karıştırma plantiden betonun dağıtımı üretimin önemli bir kısmıdır çünkü SSB'nin kuru hali ayrışma riskini artırır. SSB genelde döküm kamyonlarla dağıtılır fakat transit mikserler bazen küçük projeler için kullanılabilir. SSB üretimindeki kalite kontrol adımları dağıtılacak malzemelerin depolanmasını ve denetlenmesini kapsar.

SSB üretim teknikleri özel alan koşullarına, maliyeti azaltacak bölgesel ulaşılabilir malzemeye ve karışım kalitesine bağlıdır.

Şekil 6-1. SSB üretim aşamasının akış diyagramını gösterir.

Şekil 6-1. SSB üretim akış diyagramı



SSB Malzemelerinin Kullanımı ve Depolanması

SSB malzemelerinin kullanımı ve depolanması geleneksel betonunkiyle benzerdir ve çimento-toların yapımının, SCM'nin yaşının, agregaların ayrışmasının bilinmesi bu konuda önemlidir. Müteahhit alana yayılacak karışım için istenen agregada gradasyonunu sağlamalıdır. Kullanılacak su ve kimyasal katkıların kalitesi periyodik olarak takip edilmelidir. Çimento ve SCM sevkiyatında malzemenin kaynağında alınan yeterli güvenlik önlemleriyle birlikte sahaya boşaltılmadan öncede kalite, sıcaklık ve nem konusunda dikkat edilmelidir. PCA'nın Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kalite Kontrol Rehberi kullanım ve depolanma konusunda iyi bir öğreticidir.

Agrega Kullanımı ve Ayrışma

SSB için agregada kullanıldığında minimum ayrışma ve aşırı nem değişimini engelleme konusunda dikkat edilmelidir. SSB'de kullanılan agregalar oldukça önemlidir çünkü sahadaki betonun sıkışabilirliğine agregada etki eder. İş boyunca bahsedilen aynı agregaların, ince ve iri agregada yüzdesi için testler ve ayarlamalar gereklidir. Birleştirilmiş agregada gradasyonu, sıkıştırma enerjisindeki küçük değişikliklerle hedeflenen yoğunluğun sağlanması için sabit tutulmalıdır.

İnşaat Öncesi Testler

Tablo 6-1 harmanlama ve karıştırmayı amaçlayan kalite kontrol testleri ve sertifikaları için referans sağlar.

Tablo 6-1. Numune kalite kontrol testleri (silindirle sıkıştırılmış beton kalite kontrol rehberinden)

Test edilen malzemeler	Test prosedürü	Test Standartları	Alınma sıklığı
Su	Kalite	ASTM C1602 *CSA A23.1	İnşaattan önce veya istenildiğinde
Çimento	Fiziksel ve kimyasal özellikleri	ASTM C150 veya dengi ASTM C1595 ASTM C1157 CSA A3000	Üreticinin onayı ile veya ön yeterlilik
Puzzolan	Fiziksel ve kimyasal özellikleri	ASTM C618 veya dengi CSA A3000	Üreticinin onayı ile veya ön yeterlilik
Kaktılar	Kimyasal içerikler	ASTM C494 ASTM C260 CSA A23.1	Üreticinin onayı
Agregalar	Kalite	ASTM C33 CSA A23.1	Proje başlangıcında haftalık veya aylık

*Kanada Standartları Derneği

SSB Karışım Tesisleri

SSB'yi karıştırmının harmanlamalı ve sürekli karıştırıcılar olmak üzere iki türü vardır. Harmanlamalı karıştırıcılar eğik ve yatay tamburları, gezici karıştırıcıları kapsar. Harmanlamak karıştırıcılar tek bir seferde SSB üretmek ve küçük projeler için kullanılır. Her bir karışım döngüsünden sonra mikserler tamamen boşaltılmalı ve gelecek sefer için yeniden doldurulmalıdır.

Sürekli karıştırıcılar harç ve yatay saftlı karışım plantlerini kapsamaktadır. Sürekli karıştırıcılar sabit bir oranda büyük çaplı SSB projelerinde ve üretimlerinde kullanılmaktadır. Malzemenin mikse giriş, var olan SSB karışımı bittikçe yenilenmelidir.

Karıştırıcı seçimi homojen ürününün performans özelliklerine, projenin kapsamına, ekipman ulaşılabilirliğine, maliyet ve mesafelere bağlı olarak müteahhit tarafından yapılmalıdır. Doğru karıştırıcı kaplamadaki sabit kaliteyi tutturabilmek adına oldukça önemlidir. Kuru SSB karışımlar plantin karıştırma yükünü azaltabilmek için sağlanması gereken üniform bir karışım sağlamak adına hassas karıştırma enerjisi gerektirir. Yani beton santralleri genelde plant kapasitesinde SSB karıştırmak için gerekli enerjiye sahip değildirler bu yüzde tamburdaki SSB karışım hacmi uygun enerjiyle işlenebilmesi için azaltılır.

SSB karışımlar merkezi beton santralinde veya gezici mikserlerde karıştırılığında geleneksel betondan daha uzun karıştırma süreleri gerektirirler. Karıştırma zamanı malzeme içeriği ve oranına bağlıdır. Belirli bir agreg a karışımı için yığın boyutu ve karışım zamanının kararının alınmasından önce üniformluğu sağlamak adına yığından önce ve sonra gradasyon ve dayanım sonuçları için standart beton testlerini yapmak önemlidir.

Harmanlamalı tesisler genelde agreg a, çimento, SCM, hacmi ölçülmüş karışım suyu karışımlarını tartarak ayarlar. Sürekli dönen karışım plantleri her bir elemanın ağırlık ve hacmini ölçer. SSB üretimi boyunca yığının ağırlık ve hacimsel oranlarını izlemek kalite kontrol için çok önemlidir.

Plantdeki üretim boyunca kalite kontrol için plantin ölçüm ve kontrol sistemini anlamış olmak önemlidir. Ölçüm türü ve kontrol sistem tanımı karışım oranları, plant kayıtları ve plant operatörü ile kalite kontrol görevlisi arasındaki net iletişimi sağlamak için önemlidir.

Beton Santrali

Eğimli Silindir Karıştırıcılar

Genelde beton santrali karıştırıcılarının kapasitesi agreg a ayrışma riski ve ekipmanlar üzerindeki yüksek mekanik gerilme yüzünden SSB üretimi için yaklaşık % 50-90 azaltılır. Agregalar genelde yığın hunisi üzerindeki silolarda depolanır ve çimento bir burgu aracılığıyla huni içine serpilir. Tipik beton santrali Şekil 6-2'de görülmektedir. Agreg a ve çimentonun belirli bir miktarı her bir yığın için tartılır. Su karıştırıcılar üzerine monte edilmiş spray demirlerle eklenir ve sonra SSB içerikleri özel bir zaman periyodu ile karıştırılır.

Şekil 6-2. Eğimli döner mikser hazneleri



Gezici Karıştırıcılar (Hazır Karıştırıcı Kamyonlar)

Gezici mikserler veya hazır karıştırıcı kamyonlar ile hazır kuru yığın karıştırma SSB üretiminin diğer bir yoludur. Sürekli veya eğimli silindir karıştırıcılar kadar hızlı olmamasına rağmen gezici mikserler SSB üretiminde geniş çapta ulaşılabilir ve kullanılabilir.

SSB taşıyan gezici mikserlerin karıştırma kapasitesi geleneksel beton taşıyan mikserlerin karıştırma kapasitesinden % 50-60 oranında azdır. Normal karıştırma hacmi her 7.7 m³'lük yük kapasitesine (3,8 ile 4,6 m³) dür. Karıştırma zamanı yaklaşık 1dk/yd³ (1.3 dk/m³) ve damperli kamyona boşaltılması 1dk/yd³ (1.3 dk/m³) dir.

Agrega, su ve katkıların tartılması ve depolanması merkezi yığın karıştırıcısı için aynıdır. Hazır karıştırıcı kamyonlar, aşırı yükleme veya uygun karışıma mani olmayacak hasarsız mikser kanatçıklarının sağlanması için denetlenmelidir. Bir rampa veya tepede gezici kamyonun damperli kamyona boşaltılması Şekil 6-3'te gösterilmektedir.

Şekil 6-3. Transmikserler kamyona karışımları dökerken



Mütemadi Santraller

Mütemadi santraller SSB'nin boşalmasıyla aynı oranda malzemeler miksere sürekli bir şekilde eklenir. Bu mikserler büyük çapta SSB projeleri için kullanılır. Bu mikserler yan yatmaz ve tamburun ortasında burgulu bıçakların döndüğü karıştırma bölümlerine sahiptir. Karışım zamanı 15 derecelik tambur eğimiyle kontrol edilir.

Mütemadi santraller için başlama anından itibaren heba olabilen 1 ile 5 yd³ [0.8 ile 3.8 m³] arasında ki malzeme eklenmelidir. Mütemadi santrallerin çoğu işin ortasında durdurulabilir ve aynı oranlarla yeniden başlatılabilir. Sürekli karıştırma sürecinde, uzun süreli durdurma işleminden sonra SSB üretmeye başlamak projenin gereksinimlerine uygun olmayabilir. Yeni bir başlatmadan sonra artan malzeme miktarı adım adım değerlendirilmelidir ve istenmeyen malzemenin durumu görselliğe, test karışımına ve plentin durdurulma süresine bağlı olarak değişir.

Harç Karıştırıcı

Harç karıştırıcı, sürekli çalışan bir plant türüdür. Harç karıştırıcı, bir veya iki agrega ekleyici, bir çimento silosu ve ekleyicisi, bir ana ekleyici bant, bir su sağlama sistemi, bir harç karıştırıcı, bir boşaltma bandı ve boşaltma bandının sonunda bir atık silosundan oluşmaktadır. Eğer SCM gerekirse, plantin yanına bir dağıtıcı silo eklenebilir ve bir ekleme sistemi harç karıştırıcısına bağlanabilir.

Tipik bir harç karıştırıcı Şekil 6-4'te görülebilir. Agregaya ana bandın üzerinde ölçülür ve suyla çimentolu malzemenin eklendiği harç karıştırıcısına iletilir. Malzemeler ton/saat esasına göre hesaplanarak eklenir. Malzemeler harçkarıştırıcısının bir tarafından girer ve hızlandırılmış paletlerle, karıştırıcıya doğru hareket eden bantla diğer tarafa taşınır. Toplam karıştırma süresi genelde 10 ila 30 sn. arasında gerçekleşir. Karıştırma süresi çoğu harç karıştırıcılarda artırılmaz.

Büyük projeler için horizontal milli karıştırıcılar (Şekil 6-5) kullanılabilir çünkü bu karıştırıcılar fazla miktarda malzeme üretip, güzel bir karışım sağlayabilirler.

Şekil 6-4. Sürekli beslemeli karışım (sol) karışım odasından yakın görünümü (sağ)



Şekil 6-5. Yatay şaft mikser (sol) karışım odasından yakın görünümü (sağ)



Harmanlama ve Gözlem

Malzemenin doğru harmanlanması, kaliteli SSB karışımların ön şartıdır. Harmanlama için hata payları ASTM C94 ile belirlenmiştir. Karışım plentleri (harmanlayan veya sürekli çalışan) çalıştırıldığı andan itibaren düzenli kalibre edilmelidir.

Her iki türünde kalibre ve çalışması kolaydır. Her bir elemanın kalibrasyonu, projeye uygun minimum, orta ve maksimum üretim oranlarında olmalıdır. Eğer plentler mekanik bir nedenden yada SSB karışımının özelliğinin değiştirilmesi gerektiğinden durdurulacak olursa yeniden kalibre edilmelidir.

SSB harmanlama şartnamesi geleneksel betonunkiyle aynıdır. Harmanlama için kapsamlı bir şartname ASTM C94 de bulunabilir. Fakat SSB için aşağıdaki durumlara dikkat edilmelidir:

- İdeal olarak, plentler, toplu halde harmanlanan malzemelerdeki değişikliklerin veya agregaların nem içeriğindeki değişikliklerin takibi için nem sensörleriyle donatılmalıdır
- Agregalar siloları ve diğer karışım bileşenleri minimum ayrışma olacak şekilde tasarlanmalıdır. Gözlemciler fazla agreganın uzaklaştırılması için yerleştirilmelidir
- Yüksek hızda ve sürekli üretim için toplu harmanlamada, her tartma işleminin sonunda belirlenmemiş malzemenin eklenme işine dikkat edilmelidir.
- Agregalar boyutlandırma kalibrasyonu ve kesinliği sıklıkla doğrulanmalıdır.
- Agregalar ayrışmanın azaltılması ve karıştırma işleminden yerleştirmeye kadar olan zamanda kuruma riskinin azaltılması için nem veya SSD koşullarında tutulmalıdır.

Kalite Kontrol

Bölüm 7’de anlatılacaktır.

Üretim Aşamaları

Üretimden sıkıştırmaya olan yapım aşamalarında, herhangi bir yapım evresinde gecikmeye neden olmayacak sürekli bir yönetimin sağlanabilmesi için koordinasyon gereklidir. SSB üretim oranı sahadaki yapım hızına bağlıdır çünkü kaplama yerleştirme makinasına sürekli bir şekilde taze SSB betonunun sağlanması kalite ürün üretimi için gereklidir. Eğer üretim, yapıyla bir gitmezse serici makinalarının durma ve yeniden başlama hareketleri malzemenin ayrışması, yüzey bozuklukları, yetersiz sıkışma ve zayıf sürüş kalitesi gibi problemlerle sonuçlanabilir. Eğer serme işlemi, karıştırma plentinden çıkan malzemeyle aynı oranda gitmezse, plentteki üretim oranı, karıştırmadan yerleştirmeye geçen zamanda yüklü kamyonların bekletilmesi ve malzemenin muhtemelen istenmeyecek olmasından, azaltılmalıdır.

Bölüm 7

SSB İNŞAASI



Giriş

SSB kaplamaların yapımı aşağıdaki adımları gerektirir:

- Harmanlama ve karıştırma (Bölüm 6'ya bkz.)
- Doğal zeminin ve temel tabakasının hazırlanması
- Ulaşım
- Yerleştirme
- Sıkıştırma
- Derz yapımı
- Kür işlemi ve koruma

SSB kaplamalar, asfalt serici ekipmanları ve hem asfalt hemde beton kaplama yapımında kullanılan teknik kombinasyonların kullanılmasıyla yapılır. SSB kaplamalar bağ demiri, çelik takviye veya türleri kullanılmadan yapılır.

Gelenekesel beton sericilerinin aksine SSB sericiler vibratörlü çelik silindirler ve lastik tekerlekli silindirlerle donatılmıştır. Bundan dolayı sericiler, yerleştirme sırası (serici ekipmanla-

rının boyutları, tabakaların en ve boyu), derz konumu ve SSB üretim plentinin konumunu belirlemek için çalışmalar başlamadan önce donatılmalıdır. Sürekli yerleştirme, yerleştirmeye uygun çizelge ve minimum soğuk derzin sağlanması için plan yapılmalıdır. Üretimden kür işlemine kadar olan sürede, beton ayrışmasından ve nem kaybından kaçınmak için önlem alınmalıdır.

Taban Zemin, Alttemel ve Temel Tabakasının Hazırlanması

Doğal zemin (Şekil 7-1) ASTM D1557 ye uygun olarak maksimum kuru yoğunluğun minimum % 95 'inin düzgünce sıkıştırılması gerekir. SSB kaplamanın doğal zemini, pürüzlü alt temeli ve temel tabakası kaplamanın yetrince sıkıştırılabilmesine imkan tanıyacak şekilde desteklenmelidir. SSB süreci başlamadan önce serilecek alan, planda gösterilen çizgi ve kotlara uygun veya mühendisin müdahalesiyle kota getirilmeli ve düzeltilmelidir. Bu süreç boyunca herhangi uygun olmayan zemin ve malzeme uygun malzemeye yer değiştirmeli veya uzaklaştırılmalıdır.

Pürüzlü alttemel, kaplamanın altındaki suyun drenajı için kullanılır ve böylece donma çözülme sürecine maruz kalan kaplamanın altında kalan alanlardaki betonun ayrışması önlenmiş olur. Temel tabakasının pürüzsüzlüğü kaplamanında pürüzsüz olması açısından gereklidir.

SSB, pürüzlü alttemelden gelen fazla neme karşı hassas olduğu için aşırı nemli alan kuru olacak şekilde yeniden sıkıştırılmalı veya kazılmalı ve uygun malzemeye doldurulmalıdır. Eğer bütün bunlar yeterli olmazsa, nem, yeterli dreanajla kontrol edilmelidir.

Eğer serme işlemi zayıf zemin, ıslak doğal zemin veya daha güçlü platform gerektirecek bir bölgede olacaksa iyileştirilmiş bir temel geliştirilebilir.

SSB yerleştirilmeden önce doğal zemin, pürüzlü alttemel ve iyileştirilmiş temel tabakasının yüzeyi yabancı maddelerden, göllenmiş sudan ve dondan arındırılmalıdır. Doğal zemin, alttemel ve temel tabakası, SSB yerleştirilme esnasında SSB'den suyu çekecek olan doğal zemin, alttemel ve temel tabakasının engellenmesine yardım etmek için uygun bir şekilde nemlendirilmelidir. Yeniden nemlendirilecek alanlar için suyun püskürtülmesi gerekiyorsa, çamur oluşumu, su göllenmesi ve su kamyonlarının tekerlek iz oluşumundan kaçınmak için dikkat edilmelidir. SSB yerleştirmeden önce doğal zemin temeli uygun yoğunluk, yumuşak ve tarım arazisi bakımından kontrol edilmeli ve yumuşak alanlar tespit edilmelidir.

Şekil 7-1. Taban zeminin hazırlanması



**Kamyonlara dökülecek
SSB'nin karışım odasından
nakledilmesi**



SSB'nin Taşınması

Karıştırma ve dozajlama yöntemi ne olursa olsun, SSB karışım iş sahasına damperli kamyonlarla taşınır. SSB'nin çok kuru yoğunlukta olmasından ötürü, SSB gezici karıştırıcılarla taşındığı zaman sıvılaştırıcı katkıları bazen kullanılmaktadır.

SSB taşınması sırasında aşağıdaki noktalar dikkate alınmalıdır:

- Filo kapasitesi ve yapılandırma; mikser hacmi, çekme mesafesi, serme tesisi kapasitesi, iklim, ve serme süresi (gündüz/gece) hesaba katılarak belirlenmelidir.
- SSB, damperli kamyonu eğimli silindirden ve horizontal milli karıştırıcılardan direkt olarak yerleştirilebileceği gibi, gezici karıştırıcının kullanımı sevkiyat için damperli kamyonların içine boşaltılmasına ek bir adım içerir.
- Damperli kamyonlar (Şekil 7-2) sık sık yıkanarak temiz tutulmalıdır. Eğer yıkanmazsa SSB, damper yüzeyine yapışabilir ve bu durum, boşaltma sırasında sorunlara sebep olabilir. İlave olarak, bir sonraki yükleme kadar içeride kalan eski ve kurumuş SSB oluşumunu engellemek için mikserin içi her sevkiyat sonrasında temizlenmelidir.
- SSB, aşırı nem kaybını önlemek için brandalar veya diğer uygun kaplama malzemeleriyle örtülmelidir. Çünkü aşırı nem kaybı; yerleştirme, sıkıştırma ve performansta problemlere neden olabilmektedir. Ayrıca karışım, nakliye sırasında oluşacak olan nem kaybını karşılamak için optimum nem içeriğinin biraz üzerinde tutulmalıdır. Optimum nem içeriği, uygun bir sıkıştırma için gereklidir.
- Ayırışmanın önlenmesi için tahliye noktasındaki salınım hunisinin her bir yüklemede açılıp kapatılması gerekmektedir.

**Şekil 7-2. SSB'nin homojen
olarak kamyonlara
yüklenmesi
(California ve PCA)**



Dar alanlarda damperli kamyonların manevra yapması zor olmakla birlikte, yerleştirme sahasına SSB sağlanmasında konveyör ve önden yükleyiciler kullanılabilir.

Karışımın kamyonlara yüklenmesi ve nakliyesi sırasında SSB'nin ayrışmasını engellemek için gerekli önlemler alınmalıdır. Yükleme ve boşaltma işlemleri esnasında SSB'nin öbekleşmesinden kaçınılmalıdır. SSB, kamyon kutusunun içine tüm uzunluğu boyunca düzgün bir şekilde boşaltılmalıdır: ön kısmın üçte biri, merkezin üçte biri ve arka kısmın üçte biri. Konveyör sistemler, nakliye noktalarında ayrışmayı en aza indirmek için kullanılabilir. SSB'nin serici haznesine boşaltılması sırasında ayrışmanın önlenmesi için gerekli tedbirler alınmalıdır.

Yeterli yerleşme için, taşıma süresi- karıştırma tesisinden serici haznesine boşaltılmasına kadar geçen süre- minimumda tutulmalıdır. Taze SSB'nin işlenebilirliği zamanla artar; sonuç olarak da taşıma süresi genellikle 45 dakikadan daha fazla sürmez, başlangıçtaki ölçülen su-çimento esaslı malzemeler serici haznesine boşaltmak için temasa geçer. Süre, buharlaşma derecesi kontrol edilmek şartıyla geciktiriciler kullanılarak uzatılabilir. Ortam sıcaklığı 80 °F (27 °C) veya daha yüksek olduğunda, taşıma süresi daha da düşürülmelidir.

Deneme İnşaatı (Test Bantları)

Yüklenicinin deneyimi ve projenin büyüklüğüne bağlı olarak test bantları; herhangi bir projede verilen tasarım, inşaat metodu, kür işlemi, müşterek inşaat ile saha ve laboratuvar testlerini doğrulamak için kullanılabilir. Test bandı gerçek projede önerilenle aynı malzemeler ve inşaat teknikleri kullanılarak uygun bir sıkıştırılmış temel tabakası üzerinde inşa edilebilir. Projedeki test bandı üretimsiz alanlarda olabilir ve eğer tatmin ediciyse yerinde bırakılabilir. Test kesiti, tasarım ve inşaat metodlarının yeterli olarak değerlendirilmesi için yeterli uzunlukta olmalıdır ve en az iki serici genişliği kadar geniş olmalıdır.

Deneme test alanı aşağıdakileri yapma imkanı sağlamalıdır:

- Temel tabakayı gradasyon eğrisi, yoğunluk, su muhtevasını da içerecek şekilde değerlendiriniz
- Örnekler alınız ve bütün malzemeleri şartnamelere ve standartlara göre test ediniz
- SSB ferekli üretim oranlarına ihtiyaç verecek homejen SSB karışımını elde edebilecek plant üretim kapasitesini doğrulayınız
- Karışım oranlarının şartnamelerle uygunluğunu doğrulayınız
- SSB'nin depolanması ve nakliyatın prosedürlerine uygunluğunu kontrol ediniz
- Malzemenin serimi ve sıkıştırılmasının kalitesini kontrol ediniz
- Belirlenen yoğunluğun elde edilmesi için gerekli sıkıştırma makine geçiş sayısını ve geçiş doğrultularını kontrol ediniz (Şekil 7-3)
- Bitişik kaplamaların serilmesi, sıkıştırılması ve zamanlamasını kontrol edin ve derzlerin (taze ve soğuk derzler) kalitesini değerlendiriniz
- İnşaat esnasında silindir numunelerin hazırlanması için örnekleme tekniklerini değerlendiriniz
- Gerektiği durumda, SSB karışımlarda nihai değişiklikleri yapınız
- Yüzey kalitesini ve homojenliğini değerlendiriniz
- Proje spesifikasyonları doğrultusunda testlerin uygulanması için silindir ve giriş numuneleri alınız

Şekil 7-3. Tek problu nükleer yoğunluk aletiyle yoğunluğun kontrol edilmesi



Yerleştirme

SSB genellikle bir asfalt serici ile yerleştirilir, bazense serici boyunca hareket eden nispeten büyük miktardaki malzemeyi karşılamak için değiştirilebilir. Değişiklikler, besleme haznesi ve beton döküm mastarı arasındaki kapıların genişletilmesini ve döşeme hattının genişliği boyunca düzgün biçimde yayılan betonu sağlayacak mastarın önündeki yayma burgularının ayarlanmasını sağlamalıdır. Serici, sıkıştırma başlamadan önce döşeme genişliği boyunca ıslak yoğunluğun en az % 80 i için SSB yerleştirmelidir. Serici mikserlerin üretim kapasitesinin en az 1,5 katı kadar SSB serme kapasitesine sahip olmalıdır.

Yerleştirme boyunca ayrışmayı önlemek için serici haznesi asla tamamen boşaltılmamalı, hazne tarafı asla yükseltilmemeli ve SSB her zaman serme burgularının üzerini kaplamalıdır.

SSB yerleştirme işlemi yüzey düzgünlüğünü ve tabakaların gerekli kalınlığını karşılamalıdır. Serici kalınlığı otomatik olarak ayarlayan kızak gibi seviye kontrol cihazlarıyla donatılmıştır.

Sericiyle ileri doğru hareketin sağlanması tümsek oluşumunun ve son kaplama yüzeyinin çöküntüsünün önlenmesine yardım eder. Sürekli ileri doğru hareket sabit dağıtma oranlı, serici hızının ayarlanmasıyla başarılıdır. Sericiler, dış sıkışmanın sağlanması için titreşimli mastarlarla donatılır. Saha tecrübeleri göstermiştir ki, serici ve onun çelik silindir ve lastik tekerlekli silindirlerle sıkıştırmadan sonraki kalınlığıyla yerleştirilen SSB kalınlığı arasındaki % 10 ila 25 arasındaki fark, serici ve SSB karışıma bağlıdır.

Tipik SSB serilmesi



Tabakaların üstünden altına uygun sıkıştırmayı sağlamak için, SSB karışım ve serme ekipmanlarıyla yapılan uygulamaların aksi söylenmedikçe geleneksel asfalt makineleri 6 inç. (15 cm.) kalınlığındaki ya da daha ince tabakalarda kullanılabilir. Yüksek yoğunluklu asfalt serme makinaları (Şekil 7-4) 10 inç. (25 cm.) kalınlığındaki kaplamalar için başarıyla kullanılır.

Eğer bir tabakadan daha fazla varsa tasarım kalınlığının sağlanması gerekir, mevcut uygulama iki tabakaya eşit kalınlığın yerleştirilmesidir. Üst tabaka (karışım ve çevresel koşullara bağlı olarak değişmesine rağmen) tabakalar arası yeterli bağın oluşabilmesi için alt tabaka yerleştirildikten sonra 60 dk. içerisinde yerleştirilmelidir.

Eğer üst tabaka altındaki tabakanın yerleştirilmesinden 60 dk. sonra yerleştirilirse, yapısal zayıflıkla sonuçlanan bölgesel bağlanmanın olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu durumda alt tabakanın yatay yüzeyi, üst tabaka yerleştirilmeden önce, hava ve su püskürtmesi yapılarak atıklardan ve tozdan arındırılmalıdır. Tabakalar arasındaki tam bağ, üst tabakaların yerleştirilmesini amaçlayan yüksek slamp değeri harçla veya sulu harçla ince bir tabaka halinde uygulanmasıyla kolayca sağlanabilir.

Yerleştirmenin zamanı ve serilen hattın sıkıştırılması, sonlanmış SSB kaplamanın yeterli yoğunluğunun ve pürüzsüzlüğünün elde edilmesi bakımından önemlidir. Beton hala taze ve işlenebilirken 60 dk. içerisinde yerleştirilir ve sıkıştırılır. Betonun sıkıştırılması için bu zaman sınırlaması bitişik şeritler arasındaki zamanı sağlamaktadır çünkü birleşim bölgesi genelde sıkıştırılan hattın son bölümüdür. Şerit genişliğinin ayarlanması ve daha önemlisi uzunluğu düzgün bir uygulamanın temel şartıdır. Zikzaklı pozisyonda en az iki sericilerin kullanılması bitişik şeritler arasındaki zaman farkını azaltmaya yarar. Bazı durumlarda SSB üretimi daha fazla sericinin sağlanmasıyla yeterli olabilir.

SSB kaplamaların açıkta kalan bütün yüzeyleri kuruma gerçekleşinceye kadar nemli tutulmalıdır. Sis püskürtme ve buharlaştırma geciktiriciler, yüzeyden ince malzemenin ve harcın yıkanmaksızın, yüzeyin nemli tutulmasında ekonomik ve etkili yöntemlerdir. Çok tabakalı kaplamalarda kaplamanın yüzeyinin yanısıra her bir tabakanın kenarında, SSB'nin bir sonraki tabakasıyla kaplanmasına yada kür işlemi tamamlanıncaya kadar nemli tutulmalıdır. Gerçekte bağ çözücü olan kür bileşenleri tabakalar arasında kullanılmamalıdır.

Kaldırım taşları, kanalizasyon bacaları ve gömme drenaj boruları genelde SSB yerleştirilmeden önce ve sonra yapılır. SSB yerleştirilmeden önce yapılırsa kaplamanın kenarındaki sıkışmaya yardım edecek kapatmayı sağlar. SSB yerleştirildikten sonra yapılırsa onların üst seviyeleri SSB kaplamanın üst seviyesiyle eşleştirilirken daha kolay bir durum söz konusu olur.

Rögar bacaları SSB yerleştirildikten sonra daha kolayca kurulur ve çelik bir kapakla örtülerek temel tabakasının seviyesi rögar bacası seviyesinde yapılarak sıkıştırılır ve rögar bacalarının üzerine serme yapılır. Sonraki gün tam derinlikte bir SSB bloğu kesilebilir ve rögar bacasının üzerinden uzaklaştırılır. Rögar bacaları kaplama yüzeyine sonradan yapılabilir ve kalan boşluklar geleneksel betonla doldurulabilir. Hava bacaları ve rögar bacaları için birleşik derz kesme işlemi geleneksel beton kaplamalardaki gibi yürütülür.

Şekil 7-4. Sericiden yakın görüntü çekimi



Sıkıştırma

İnşaatın sıkıştırma evresi, yoğunluk, dayanım, geçirgenlik ve SSB kaplamanın düzlüğünün, yine kaplamanın dayanımına etkisinden dolayı önemlidir. SSB genellikle hemen yerleştirmeden sonra 10 tonluk çift tamburlu titreşimli silindirle sıkıştırılır. Kauçuk lastikli silindirler, özellikle son geçişte yüzeydeki çatlakların ve yarılmaların önlenmesi ve pürüzsüz, sıkı bir yüzeyin sağlanmasında başarılıdırlar (Şekil 7-5). Arkasına monteli çoklu tekerleklerle tek çelik tamburlu titreşimli silindirinin birleştirilmesi bütün türdeki silindirlere yarar sağlar. Dar alanlarda plaka veya elle sıkıştırma en uygun olanıdır.

Şekil 7-5. Pnömatik (tekerlek) ve çelik silindir sıkıştırma makinelerin yan yana görüntüleri (Edwards)



SSB kaplamaların yüzeyinde sızan su olmadığı için SSB'nin sıkıştırmaya hazır olduğunun belirlenmesinde, statik silindir geçişleri altındaki taze SSB'nin davranışını gözlemlemek iyi bir yöntemdir. Sıkıştırma için uygun kıvama sahip SSB, silindir geçişleri altında düzgün olarak döner. SSB iyi bir sıkıştırma için çok ıslak iseyüzey parlak ve yapışkan görünür, ayrıca SSB, silindir trafiği altında hatta yaya trafiği altında bile "pompalama" davranışı gösterir.

SSB çok kuru ise yüzey, tozlu veya pürüzlü ve hatta yatay olarak kesilmiş (yırtılmış) görünecektir. İlâveten, agrega ayrışması oluşabilir ve özellikle düşük sehimli tabakalarda yeterli yoğunluğu elde etmek zorlaşacaktır. Çoğu durumunda, nem içeriğindeki değişikliklerin neden olduğu çözülebilir karışım problemleri küçük düzeltmelerle belirlenebilir. Su içeriğindeki ayarlamaların başarısız olması halinde agrega dağılımını veya plent kalibrasyonunu kontrol etmek gerekir.

Özellikle sıcak havalarda SSB yayıldıktan sonra mümkün olduğunca sıkıştırılmalıdır (PCA R&D Serial No. 2975). Genellikle sıkıştırma işlemi yayılırken 15 dk. içinde ve karıştırmanın başlamasından itibaren 45 dk. içerisinde tamamlanmalıdır. Eğer SSB 30-45 dk. geçtikten daha sonra ve karışım sıcaklığı 70° F (21° C) den daha fazla olması durumunda sıkıştırılırsa dayanımda azalma olabilir. Her bir SSB karışımı katkı maddelerine, sıcaklığa, neme, rüzgara, ince agrega plastikliğine, gradasyonuna ve NMSA etmenlerine bağlı olarak kendi karakteristiğine sahip olmaktadır.

SSB, üniform derecelendirilmiş ve sıkıştırılmış temel üzerine yerleştirildiğinde, arzu edilen yoğunluğun, pürüzsüzlüğün ve yüzey dokusunun elde edilmesinde silindirleme işlemi inşaat sürecinin en önemli unsurudur. Silindir operatörünün becerisi, arzu edilen bu özelliklerin sağlanmasında önemli rol oynar. Titreşimli sıkıştırma esnasında, silindir operatörü kaplama üzerinde titreşim modunda durmamalı ve aşırı silindir geçişleri, kaplama yüzeyi boyunca gerilme olulumu engellemek için şaşırtmalı olarak yapılmalıdır. Serme şeridinin sonunda silindirler, şerit sonundaki serbest kısımda sonraki şeritler yapılmadan önce kaldırılacak olan yuvarlak bir beton rampa oluşturacak şekilde yuvarlanır.

Genel olarak, 10 tonluk titreşimli çift tamburlu silindir 4 ila 6 defa geçerek 6-10 inç (15-25 cm) aralığındaki SSB lifts için en az %98 oranında arzu edilen yoğunluk elde edilmektedir. Aşırı sıkıştırma veya aşırı silindirlemeden kaçınılmalıdır, çünkü bu durumlar liftin en üst kısmındaki yoğunlukta düşüşlere neden olabilmektedir. Titreşim geçişleri özellikle yolun kenar kısımlarında ve sonlarında dikkatle yapılmalıdır çünkü aşırı titreşim, kenar kısımların çökmesine ve yol kesitinin bozulmasına dolayısıyla sürüş kalitesine etki etmektedir.

Boylam Derz Oluşturulması

Boyuna derzler, serme doğrultusundaki bitişik şeritler arasında oluşturulur. Taze bir yapı derzi, şeritlerin yekpare bir birleşim yeri oluşturabilmesi için birlikte sıkıştırılmasına müsaade etmek için şeritlerin yerleştirme ve sıkıştırma zaman aralığı yeterince kısa olduğunda ardışık serme şeritleri arasında oluşturulur (Şekil 7-6). Geciktirici katkılar kullanılmadığında, bu zaman aralığı genellikle 60 dakika olmakla beraber, karışım ve çevre koşullarına bağlı olarak değişmektedir.

Taze oyuna derzler, silindirleme işlemi esnasında sıkıştırılmamış serme şeridin dışında 12 ila 18 in. (30 ila 45 cm) bırakılacak şekilde inşa edilirler. Bu sıkıştırılmamış kenar daha sonra bitişik şerit seriminde sericinin beton döküm masterının yüksekliğinin ayarlanması için kullanılır.

Bitişik şeritler yerleştirildikten sonra derzler, çift tamburlu silindir derz kenarının merkezine yerleştirilerek sıkıştırılır ve aynı anda bitişik şerit kenarları da sıkıştırılır. Derz boyunca

Şekil 7-6. Taze boylam derz



yeterli pürüzsüzlüğü ve belirtilen yoğunluğu elde edebilmek için derzlerde, şeridin iç kısmına göre daha fazla geçiş gerekmektedir.

Boyuna yapısal soğuk derzler, bir şeritin yerleştirilmesi, bitişik şeritlerin yerleştirilmesinden bir saatten daha fazla olduğunda yapılır. Çoğu durumda soğuk derzler önceden planlanır ve şerit, tüm genişliği boyunca sıkıştırılır. Yapı derzleri genellikle serme şeridinin sıkıştırılmamış dış kenarının bir beton testere ve serici ile, elde edilen temiz dikey kenara doğru kırılmasıyla oluşturulur (Şekil 7-7).

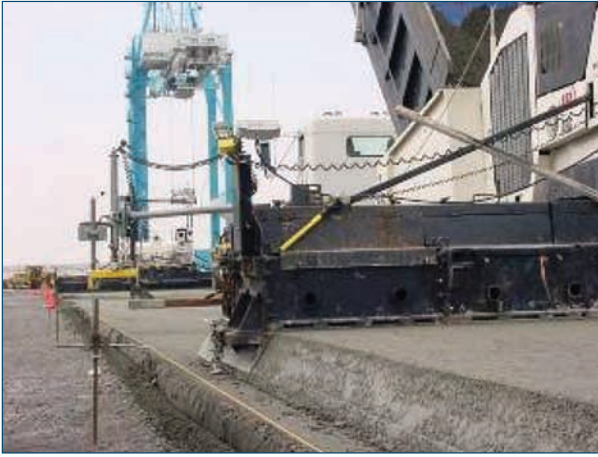
Şekil 7-7. Bitmiş boylam soğuk derz



Kenarların kırılmasına alternatif olarak sericiye bir serme pabucu eklenebilmektedir (Şekil 7-8, sol). Serme pabucu bir kayar kalıp olarak hizmet verir ve genellikle dikey eksenin 15 ila 30 derece dışına doğru hizalanır. Kenar, pabuç ile yerinde tutulur ve yüzey ve kenar boyunca silindirlenerek sıkıştırılır. Bu uygulama kesim giderlerini ve sarfedilen süreyi ortadan kaldırır, fakat liftlerin alt ve üst kısımları arasında oluşan kısmi bağlar nedeniyle yansıma çatlakları bazen bitişik şeritlerin üst liftlerinde oluşur (Şekil 7-8, sağ).

Ağır dönüş alanlarında (liman tesisleri gibi) kullanılan bir diğer metod da, SSB'nin derinliğinin 1,5 veya 2 ft genişliğin üzerine arttırarak boyuna kalınlaştırılmış kenar inşa etmektir. Bu kalınlaştırılmış kenar, alttemeldeki küçük bir kenar hendeği ve kenarların silindirlenmesini içeren bir şerit inşaatıyla birlikte tek bir işlemle yerleştirilebilir.

Şekil 7-8. İkinci tabaka yol kenarların döşenmesi (sol) ve birinci tabakadan yukarı doğru yansıma şeklinde oluşan çatlak ve boylam derz çatlağı (sağ)



Enlem Soğuk Derz Oluşturulması

Enine yapısal derzler serme yönüne dik serme şeritlerinin uçlarında oluşur. Enine yapısal taze derzler genellikle SSB kaplamalarda bulunmaz, çünkü yapım işlemi belirli bir şerit genişliği yapıldıktan sonra durur. Çoğu enine yapısal derz soğuktur ve uygun gradasyondaki tamamen sıkıştırılmış beton içindeki bir beton testere ile rampaların sonunda kesilerek oluşturulur. Kenar bölgeleri bozulma tehlikesi oluşturmayacak biçimde temiz ve dik olmalıdır.

Serme işlemi sürdükçe yeni SSB, sıkıştırma boyunca çapraz derz oluşumuna ve müsaade edilebilir tümsek oluşumuna engel oluşturacak şekilde yerleştirilir. Bindirme malzemeleri sertleşmiş derz yapısının üstünde kaldığında, ileriki zamanlarda derz yapısının bozulması ve kabarmasıyla sonuçlanır. Böylece bindirme malzemeleri derz sıkıştırılmadan önce bölgeden uzaklaştırılmalıdır.

Sıkıştırma Şablonları -İlk Şeritin Sıkıştırılması

Taze SSB, su ile çimentolu malzemenin buluşma anından itibaren 60 dk. içinde sıkıştırılmalıdır.

Dönen bir kalıp, ya inşaattan önce ya da inşaatın birinci gününde test şeridinde kullanılarak doğrulanmalıdır. Bazı müteahhitler sıkıştırma başlamadan önce yüzeye kurularak taze beton yüzeyinde iki hareketsiz geçiş yapabilen (iki geçişe eşit olacak biri geri dört hareketli) dönen bir kalıp kullanır (Şekil 7-9). Bu hareketsiz geçişler titreşimli silindirlerin durdurulmasıyla sağlanır. Bazı müteahhitlerde bu hareketsiz geçişlerin, titreşimli geçişlerle bile halledilebilmenin zor olduğu SSB kenetlenmelerine sebep olacağına inanır.

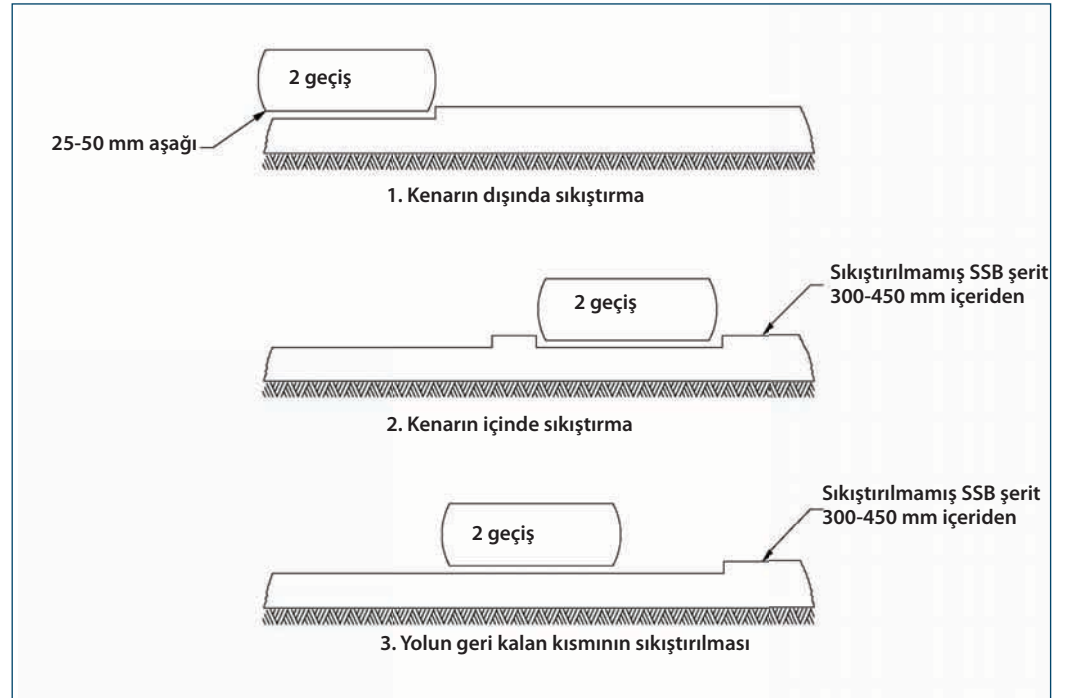
Kenetlenme söz konusu olduğunda, proje, durdurulmadan önce hareket eden ve durabilen silindirlerden sonra titreşimli silindirlere dönüşü gerektirebilir. Bu işlem silindirlerin hareketsiz kalması durumunda titreşimin sonlanmasıyla sonuçlanan SSB de kenetlenmeyi engeller ve çukur oluşumunu azaltır.

Başlangıçtaki hareketsiz geçişler faydalı olduğunda istenilen yoğunluk sağlanıncaya kadar genelde iki veya daha fazla titreşimli geçişle bu işlem takip edilir. Titreşimli sıkıştırmayı, daha sonra herhangi bir yüzey boşluğu ve çatlağını yok etmek için kauçuk lastikli silindir geçişleri izler. Bütün geçişler 12 inç. (30 cm) ye kadar devam etmelidir. Sonuç olarak hareketsiz silindir, titreşimli veya kauçuk lastikli silindirlerin bıraktığı izleri yok etmek için kullanılabilir. Bu silindir kalıp çeşitleri şunları içerir.

- Silindirlerin titreşim modu kullanılmaz ve hareketsiz geçiş sayısı artar,
- Yüzey desenini sıkılaştırmak için kauçuk lastikli bir silindir kullanılmaz,
- Çoklu havalı lastiklerle çelik tamburlu titreşimli silindirin bir kombinasyonu kullanılır.

Lastikle kaplanmış çelik tamburlu titreşimli silindirler kullanılmaktadır.

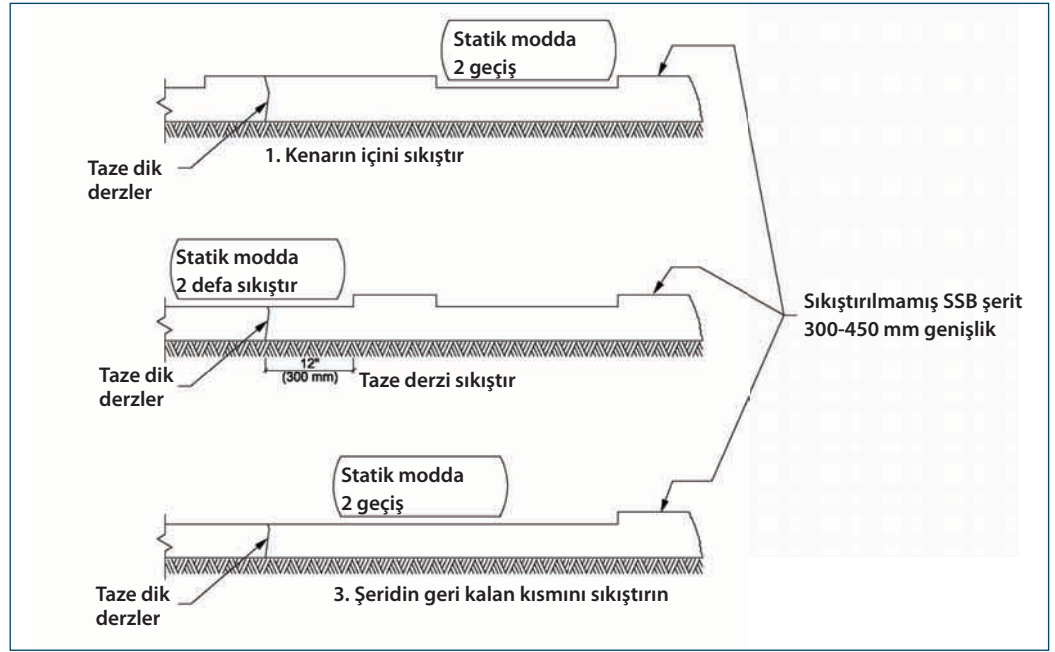
Şekil 7-9. Yolu birinci tabakasının sıkıştırılması



Taze Dik Boylam Derzin Sıkıştırılması

SSB'nin iki şeridi arasındaki dikey bir derz, genelde bir şeridin yapımıyla takip eden şeridin betonunun yığılması arasında geçen zaman 60 dk. yı geçmedikçe taze olarak kabul edilebilir. Şekil 7-10 da gösterildiği gibi kenar bölgelerdeki hareketsiz moddaki ilk iki silindir geçişi, 30 ila 45 cm. genişliğinde sıkıştırılmamış SSB şeridini sonraya bırakarak yapılır. Daha sonra taze derz, yüksekliği 30 cm olacak şekilde hareketsiz moda iki geçişle sıkıştırılır. Sıkıştırılmamış şerit bitişik şeritin yerleştirilmesinde kullanılacak serici yüksekliğine eklenerek kullanılır. Şeridin geri kalanı daha sonra hareketsiz moda iki geçişle sıkıştırılır. Takip eden silindir geçişleri titreşimli moddadır.

Şekil 7-10. Taze dik derzin sıkıştırılması



Dik Soğuk Boylam Derzin Sıkıştırılması

SSB'nin iki şeridi arasındaki dikey bir derz, genelde bir şeridin yapımıyla takip eden şeridin betonunun yığılması arasında geçen zaman 60 dk. dan daha fazla olması durumunda soğuk olarak kabul edilebilir. Bu zaman sınırı karışıma ve çevresel koşullara bağlı olarak değişir.

Şekil 7-11'de görüldüğü gibi silindirle sıkıştırma, kenarların dışı boyuca başlar, sıkıştırılmamış SSB'den 1 ila 2 inç. (2,5 ila 5 cm.) daha düşük sıkıştırılmış bir kalınlıkla sonuçlanır. Sıkıştırma işlemi tamamlandığında kenar kısımlar şerit derinliğinde bir testere ile ve kenardan en az 12 inç. (30 cm.) mesafede tıraşlanır. Yeni bir SSB şeridi yerleştirilmeden önce dikey yüzey hava veya su püskürtme sayesinde temizlenmelidir. Eğer yüzey hava ile temizlenirse yeni SSB'nin dışında işlenmeye başlayan nemi engellemek için, yüzey, SSB yerleşiminde olması gerektiği gibi nemlendirilmelidir.

Bazı kuruluşlar serme işlemine devam etmeden hemen önce, açık yüzeylerde 0,35 su-bağlayıcı oranlı bağlayıcı bir harç kullanarak, boyuna soğuk bir derzde bir bağ oluşturmaya çalışmışlardır. Bu yaklaşım projeye sadece ek maliyet değil aynı zamanda ek zaman demektir, genelde işe yaramamaktadır. Nedeni, iki SSB şeridi arasında farklı boyuna hareketlerin olmasıdır ve bu yüzden bu uygulama tercih edilmemektedir.

Aşırı taze SSB, yeni şeride hafif bir tümsek oluşturacak şekilde dökülür. Taze derz 12 inç. (30 cm'e) kadar taze SSB birikimiyle oluşan hareketsiz modda iki geçişle boyuna olarak silindirle sıkıştırılır. Taze bindirme malzemesi asla başlangıçta sıkıştırılmış sert şeridin üzerinde bırakılmamalıdır. Eğer bırakılırsa bu malzeme sonraki dönemlerde muhtemelen parçalanacaktır.

Kesilmiş Derzler

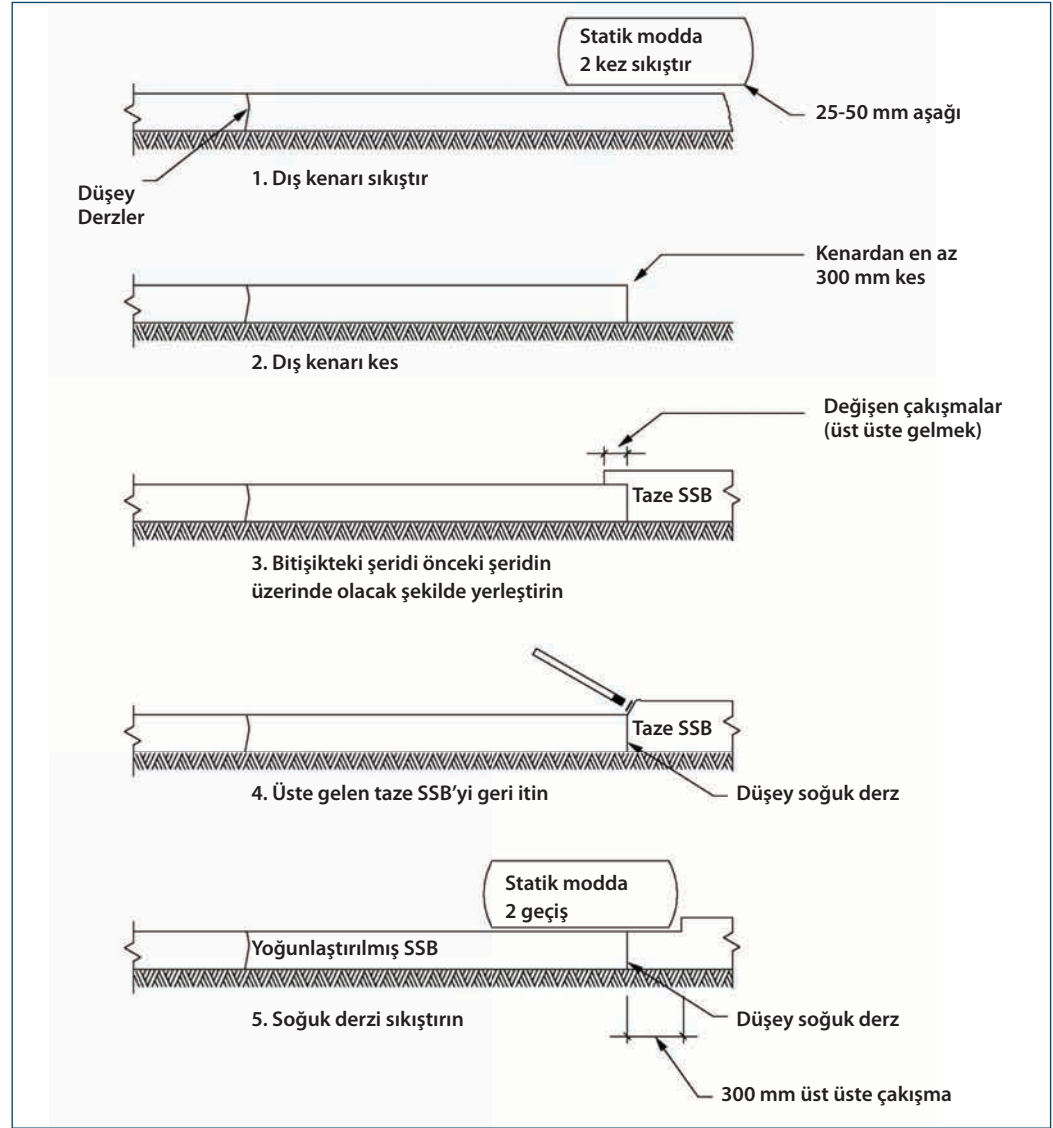
Rastgele çatlakların kontrolü için kesilmiş derz inşaatı (Şekil 7-12) SSB kaplamalarda büzülme ve bu yüzden oluşacak çatlak boylarının az olmasından dolayı gerekli değildir. Çatlaklar, SSB özelliğine ve kaplama kalınlığına bağlı olarak genelde 20 ila 60 ft (6.1 ila 18.3 m) aralıklarda oluşur.

Drenaj uygulamaları geleneksel beton uygulamalarındaki gibidir. Drenaj konusunda daha fazla bilgi için *Beton Kaplamalarda Bütünleşik Malzemeler ve İnşaatı Uygulamaları* rehberine başvurulabilir.

Geleneksel betonda olduğu gibi kesme işlemi zamanlaması, sökölme ve rastgele çatlakların önlenmesine bağlıdır. Kesme derinliğikaplama derinliğinin 1/4 ü kadar olmalıdır.

İnce erken kesme, hız ve güvenilirliği yüzünden daha sık kullanılmaktadır. Kesme işlemi son sıkıştırma işleminden sonra bir ila dört saat geçer geçmez başlatılabilir. Erken kesme için kesme derinliği kaplama kalınlığına bakılmaksızın 1 ila 1.25 in. (2.5 ila 3.2 cm) arasında değişir.

Şekil 7-11. Dik soğuk boylam derzin sıkıştırılması (SSB yolların tasarım ve inşaatına göre, Quebec 2005)



Şekil 7-12. Kesilmiş enlem ve boylam derzler



Enine Kesilmiş Derzler

SSB kaplamalarda kesilmiş derzlerin başlıca kullanılma sebebi, rastgele çatlakların azaltılması veya önlenmesi içindir. Kesme işlemi, rastgele çatlaklar daha uzun boşluklar oluştururken, azaltılmış kesme derz boşlukları yüzünden oluşan çatlak açıklıklarını azaltarak derzlerdeki kenetlenmiş agrega miktarını artırır. Gelişmiş agrega kenetlenmesi, derz boyunca yük transferini artırır ve derz etmeni olarak değerlendirilir.

Enine kesilmiş derzler (Şekil 7-13) 8 inç (20,3 cm.) kalınlığından daha az kalınlıktaki kaplamalar için 20 ft. (6,1 m.) aralıklarla yapılır ve kaplamanın 8 inç (20,3 cm.) kalınlığında veya daha fazla olması durumunda kaplama kalınlığının 3/4 ü kadardır. Kesme işlemi, bu işlem yüzünden betonun bozulmasına sebep olmayacak kadar sertleştikten hemen sonra başlayabilir.

Boyuna Kesilmiş Derzler

SSB kaplamaların boyuna yükü enine yükünden farklı olduğu ve daha fazla mafsallı hareketine neden olduğu için boyuna derz boşlukları (Şekil 7-14) genelde enine derz boşluklarından daha küçüktür.

Endüstriyel alanlar gibi geniş kaplama yüzeyleri için kare derz şekilleri tercih edilmektedir. Normalde 8 inç. (20,3 cm) den daha az kalınlıktaki kaplamalar için boşluklar 15 ila 20 ft (4.6 ila 6.1 m) dir ve 8 inç.(20,3 cm.) kalınlığında ya da daha fazla kalınlıktaki kaplamalar için kaplama kalınlığının 2,5 katı kadardır.

Şekil 7-13. Yol kenarı enlem derzin kesilmesi



Şekil 7-14. Boylam derz



Yalıtım ve Genleşme Derzleri

İzolasyon derzleri kaplama sınırları boyunca veya içinde oluşan bina temel plakaları, oluklar ve bacalar gibi sabit yapıların izole edilmesinde SSB kaplamalarda kullanılmaktadırlar (Şekil 7-15). İzolasyon derz malzemesi genellikle bitişik şerit yerleştirilmeden önce soğuk derz yüzüne, oluğa veya binaya tutturulur. SSB kaplamalar ve binalar arasındaki izolasyon derzleri, kaplamanın tam deriliğine kadar genişleyebilen sunta şeritlerden oluşur.

Enine genleşme derzleri sıcak havalarda aşırı SSB genleşmesine izin verir. Genleşme derzleri normal olarak SSB'nin sıkıştırılmasını takiben kesilir ve genleşme derzlerinin yapılandırılması ve derz dolguları geleneksel betonunki ile aynıdır.

Öngörülen yükleme ve kaplama alınışına bağlı olarak, derzde oluşabilecek hasarları önlemek için bir ihtiyaç doğabilir. Bu gibi durumlarda 6 ila 10 ft (1,8 ila 3 m)'lik bir geçiş alanı boyunca SSB kalınlığı artırılarak, derz üzerine kalınlaştırılmış bir kenar inşa edilebilir. Başarıyla uygulanan diğer bir metod, öngörülen derzin bulunduğu yere bir enine SSB serme şeridi (6 ila 8 ft [1,8 ila 2,4 m] genişlikte) yerleştirmektir. Bu şerit geçidi genellikle nihai gradasyondaki veya civarındaki alttemel/temelden sonra döşenir.

Şekil 7-15. Karot alımı (sol) kanalizasyon kapağı etrafında izolasyon derzi (sağ)



Kesilmiş Derzlerin Doldurulması

Doğal olarak, 1/8 in.'den (3,2 mm) daha az genişlikteki çatlaklar ve erken kesilmiş derzler genellikle sızdırmaz değildirler, fakat 1/4 in. veya daha geniş kesilmiş derzlerin kapatılması gerekmektedir. SSB derzlerinin contalaması geleneksel beton derzlerinin prosedürü ile aynıdır. Kapatma malzeme uygulanmadan önce, derzler kum, hava veya basınçlı su ile temizlenmelidir. Derz geometrisi ve derz dolgu malzemelerini uygulanması sırasında, üretici tavsiyelerine uyulması gerekmektedir.

Kür

Kür, SSB'nin nihai sağlamlık ve dayanımında çok önemli bir unsurdur. Kür işlemi tasarım dayanıklılığının geliştirilerek ve sökölme, tozlaşma ve sertleşmiş yüzey topraklarını önleyerek kaplamaya fayda sağlar.

SSB'nin su kusmamasından dolayı, buharlaşma hemen hamurdan suyu uzaklaştırır. Bu durum da büzülme çatlakları ve sığ mikro çatlaklar gibi yüzey bozulmalarına neden olur.

SSB için etkili kür uygulamaları karışım suyunun buharlaşmasını önler ve nihai sıkıştırma-
dan mümkün olduğunca sonra uygulanmalıdır.

Çoğu projede ASTM C309'daki Beton Kürü için Likit Membran-Şekillendirme Bileşiklerini Özellikleri'ne uygun beyaz bir kür malzemesi kullanılmaktadır (Şekil 7-16). SSB nispeten düşük su içeriğine sahip olması ve hiç su kusması göstermemesinden dolayı, yüzeyin erkenden kurumasını önlemek için kür malzemesi, nihai sıkıştırmadan hemen sonra uygulanmalıdır. Bundan ötürü yeterli bir kür membranı yüzeyi kapatmalı ve buharlaşmayı en aza indirmelidir. Açık yüzey dokusunun derecesine ve yüzey emiciliğine bağlı olarak kür malzemesinin miktarı, geleneksel betonun uygulama oranına göre 1,5 ila 2 kat daha fazla olabilmektedir. Uygulama bütün SSB yüzeyinde düzgün serilmiş hava boşluğu oluşturmayacak şekilde, membranlarla yapılmalıdır.

Genellikle SSB'nin neminin kurumasının mali etkisi doğrulanmamıştır çünkü minimum 7 gün çok sayıda sulama uygulaması gerekmektedir. Nemin kuruması gerçekleştiğinde spreycubuklu bir su kamyonu ilk gün yüzeyi nemli tutmak için kullanılır sonra bir sulama arazözü, ıslak çuval bezleriyle veya yine su kamyonlarının kullanımıyla yüzeyde kuru bölgelerde yüzey nemini korunur (Şekil 7-17). Çevresel koşullara bağlı olarak su spreylemesi yapan kamyonlar, yüzey kurumasından kaçınmak için yeteri kadar hızlı su sağlamayabilir.

Şekil 7-16. Kür malzemesinin uygulanması



Şekil 7-17. Nem kür işlemi. Sulama ve püskürtme ile kür uygulaması



Erken Mukavemetin Oluşması

SSB kaplamaların trafiğe açılma zamanı aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- SSB'nin mekanik özelliklerine ve mekanik dayanımın erken oluşmasına
- Kaplama yüklemesine
- Gündüz ve gece çevre sıcaklığına

SSB kaplamaların erken dayanım oluşumu için belirli bir kriter yoktur fakat yaklaşık hesapla 2,500 ila 3,000 psi (17,2 ila 20,7 MPa) basınç dayanımına sahip olmalıdır. Genellikle bu dayanım (70 °F üzerindeki) sıcak havalarda iki günde oluşur ve (40 ila 70° F) arasında ki daha soğuk havalarda ise bu işlem üç ila dört gün sürer.

Dayanım, özellikle kimyasal katkıların veya SCM nin kullanıldığı karışımlara bağlı olarak hızlandırılabilir veya geciktirebilir.

Kalite Güvencesi ve Kalite Kontrolü

Çoğu SSB projesinde, özel projelerde uygulama, prosedür ve sorumluluklardan bahseden kalite güvencesi ve kalite kontrol programlarına sahip olmak gereklidir. Kalite güvence programı, genellikle müteahhitin, mühendisin veya işin sahibi ya da temsilcisinin sorumluluk alanıdır. Kalite kontrol programı, müteahhitin sorumluluğundadır ve yerleştirilecek ya da üretilen ürünlerin doğruluk ve kesinlik sınırında olmasını sağlayacak tasarımların bir dizi test ve gözleminde içerir. Kontrolün kapsamı ve test programları, projenin durumuna ve boyutuna bağlı olacaktır.

Kullanılan bütün malzeme çeşitleri ve kaynakları (çimento türü, karışım suyu, iri ve ince agregalar, mineral ve kimyasal katkıları gibi) SSB için önerilen proje gereksinimlerini ve standartlarını karşılayacak nitelikte olmalıdır. Taşıma işlemleri, SSB'nin iş alanlarına uygun taşınma zamanını sağlayacak şekilde izlenmelidir. Bunlar yapılırken ayrışmadan ve/veya kirlenmeden kaçınılmalıdır ve inşaat boyunca SSB'nin yüklenme ve boşaltılması düzgün olmalıdır. Bütün bunlar SSB kalitesini etkilemektedir.

Uygulanan SSB özellikleri büyük oranda saha inşaatındaki kalite kontrole bağlı olduğu için sahadaki kalite kontrol ve kalite güvencesi işlemleri, SSB teknolojisinde tecrübe ve kabiliyet sahibi personeller tarafından yürütülmelidir.

SSB kaplamalarda kalite kontrol için detaylı bilgiye sahip olabilmek için *Quebec'de Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kaplamaların Tasarım ve Yapımında Kalite Kontrol* Bölüm 7'ye bakınız. (Kasım 2005).

Daha fazla bilgi için eklerdeki PCA'nın *Guide Specification for Construction of Roller Compacted Concrete Pavements* (June 2004) rehberine bakın.

Bölüm 8

SSB KAPLAMALARDA YAPISAL SORUNLARIN ÇÖZÜMÜ



Bölüm 8, SSB kaplamalarda oluşacak problemlerin belirlenmesinde bir bakış açısı ve iyileştirme çözümleri sunmaktadır. SSB kaplamalarda meydana gelen problemler genelde malzeme ve inşaat uygulamalarıyla alakalıdır bu yüzden uygun ön yeterlilik, testler ve değerlendirmeler gereklidir.

Belirli hava koşulları altındaki inşaat uygulamalarıyla beton malzemelerin ham bileşenlerinin bilinmesi ve üretilmesi, problemlerin gerçek nedenini belirlemede ve tespit etmede başlama noktasıdır. Bu sırada malzeme bileşenleri ve onların iklim ve hava koşullarıyla olan ilişkisinden ötürü istenmeyen etkiler oluşabilir. Çoğu durumda birçok nedenin olabileceğinden özel bir nedene indirgemek zor olacaktır.

SSB hem sıcak hemde soğuk havada yapılabileceğinden farklı hava koşullarında katkıların davranışlarının farklılıklarını da belirlemek önemlidir. SSB katkıları uzun süreli performans gösterdiklerinden üretim boyunca, taşımada, sermede, sıkıştırımda ve kür işlemi esnasında ya da daha sonraki dönemlerde problemler çıkabilir.

Problemin nedenini belirlemedeki genel strateji, sebep ve sonucu bağlayabilecek duruma bakmaktır. Sıklıkla özel bir problem meydana geldiğinde, bireysel nedenler adım adım azaltılabilir. Genel olarak problemler hava değişiklikleriyle, malzeme kaynağındaki veya sürekliliğindeki değişikliklerle ve istihdamla ilgili değişikliklerle bağlantılıdır. Bazende problemler; tasarımı, detayları, malzeme kaynağını, yığmayı ve inşaat uygulamalarının da kapsayan bir kombinasyonla bağlantılı olabilir. Arasıra herhangi bir etmende küçük bir değişiklik orantısız sonuçlara yol açabilir.

Tablo 8-1 gözlemlenmiş problemleri ve muhtemel nedenlerinin karşılaştırılmasını içeren bir SSB çözüm bulma özetidir.

Karışım kıvamı ve sertleşmesi



Karışım çok kuru



İşlenebilirlikteki dalgalanmalar

Dağılma



Besleme hunisi altında dağılma



Karışım serme ve sıkıştırma sırasında dağılma eğilimi göstermesi

Sıkıştırılabilirlik/yoğunluk



Peteklenme



Sıkıştırma sonrası yüzeyde dalgalanmalar



İstenen yoğunluk elde edilmemiş



Kenar çökmeleri/kenarda zayıf sıkıştırma



Kenar farklılıklarındaki problemler

Yüzey görünüşü



Yüzey topaklanması



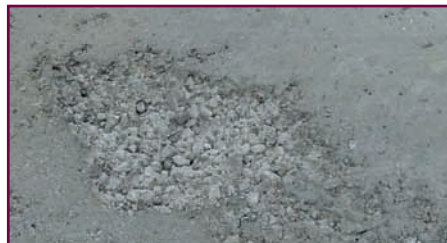
Yüzey topaklanması



Soğuk derzde parçalanma ve uflanma



Sıkıştırma sonrasında yarılmalar



Kaya kovukları

Tablo 8-1 SSB İnşaatında karşılaşılan sorunlar ve çözümler

Özellikleri		Karışım tutarlığı						Dağılıma		Sıkıştırılabilirlik /yoğunluk				Yüzey görünümü				
	Gözlenen problemler	Karışım kuru gözükmüyor	Erken sertleşme/ betonunu priz alması	Karışımın stabilite yetensizliği	Karışım yapışkan	İşlenebilirliğin sürekli değişmesi	Isıklığın aşırı yüklenmesi	İşleme, nakliyat ve boşaltma esnasında karışım dağılıyor	Karışım serme ve sıkıştırma esnasında dağılmaya başlıyor	Sıkıştırma işleminde dalgalı yüzeyin oluşması	İstenilen yoğunluk elde edilemiyor	Bal- petek yüzeyler	SSB serme işlemi esnasında yırtilıyor	SSB sıkıştırma işlemi sırasında yırtilıyor	Kaya cepleri oluşumu fark ediliyor	Yüzey dalgalan- ması	Beklenmeyen çatlaklar	
Malzemeler	Çimento veya SCM tipi		X	X	X													
	Yüksek çimento /SCM içeriği		X	X	X											X		
	Düşük çimento/SCM içeriği							X							X			
	Karışım çok az ince taneler veya bağlayıcılar içeriyor(çimento/SCMs)		X					X		X		X	X		X		X	
	Kum çok ince veya karışım çok kumlu	X								X								
	İnce Agregaların Kalite/miktar oranı	X	X		X						X			X				
	Agregaların kırılma yüzey sayısı	X																
	Gradasyonun tutarsızlığı veya gradasyondaki değişiklikler	X					X				X	X			X			
	Agregalardaki su içeriğindeki değişimler		X				X		X		X	X	X					
	Karışım aşırı derecede su içeriyor						X											
Depolama, stifleme ve karışım	Karışımda yeterli miktarda su yok	X			X													
	Aşırı derece veya az miktarda veya uygun olmayan katkı malzeme kullanımı		X	X	X		X				X							
	Aşırı malzeme sıcaklığı, özellikle agregalar	X				X	X				X						X	
	Tamamlanmamış karışım	X		X	X			X		X	X				X	X		
	Plant kalite edilmemiş.							X			X							
	Yük hücreleri veya nem ölçerler çalışmıyor	X				X					X							
	Karışım esnasında su kayıpları hesaba katılmamış																	
	Buharlaşmadan dolayı su kayıpları	X				X		X	X		X	X		X	X	X	X	
	SSB karışımı örtülmeden naklediliyor	X																
	Üretim ile döküm sahası arasındaki mesafe ve zaman uzun	X	X			X	X				X							
Nakliyat	Kamyonlar brandayla kaplanmamış	X				X												
	Kamyonlar düzenli olarak yıkanmıyor					X												
	Serme hızı tavsiye edildenden fazla								X									
	Serme hızı tavsiye edildenden yavaş						X		X				X					
Serme	Screed konfigürasyonu, yası, yük, aşınma vb.									X			X	X	X			
	Auger ile ilgili karışım sorunları								X									
	Silindir tamburları temiz değil									X				X	X			
	Vibrasyon erken uygulanıyor								X									
Kompaksiyon	Farklı sıkıştırma hızları uygulanıyor									X								
	Yeterli sıkıştırma enerjisi sağlanmıyor										X							
	Sıkıştırma işlemi ertlenmiş													X		X		
	Karışım sıkıştırma için hazır değil (sıcaklık yüksek)									X	X	X		X		X		
Diğerleri	Düşük kalite veya zayıf kür															X		
	Kürün geç uygulanması															X		
	Derz kesme işlemlerinin gecikmesi															X		
																	X	

Problemın Sebepleri

Referanslar

- Adaska, W. 2006. *Roller-Compacted Concrete (SSB)*. PCA Research & Development Information Serial No. 2975. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Adaska, W. 2008. Applications and design of SSB pavements. Presentation at the SSB Design Seminar, Atlanta, GA. [http://www.secpa.org/PDFs/2008%20SSB %20Appl%20and%20Design%20-%20Adaska.pdf](http://www.secpa.org/PDFs/2008%20SSB%20Appl%20and%20Design%20-%20Adaska.pdf)
- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1998. *Guide for Design of Pavement Structures and 1998 Supplement*. Washington, D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- American Concrete Institute Committee 214. 2002. *Evaluation of Strength Test Results of Concrete*. ACI Report 214R-02. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute Committee 325. 2002. *Guide for Design of Jointed Concrete Pavements for Streets and Local Roads*. ACI Report 325.12R-02. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute Committee 325. 2004. *State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements*. ACI Report 325.10R-95. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- American Concrete Institute Committee 330. 2008. *Guide for the Design and Construction of Concrete Parking Lots*, ACI Report 330R-08. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Bager, D.H. 1992. Paver-compacted concrete for roads. Presentation at the First International Symposium on Techniques and Technology in Road Construction, Munich, Germany.
- California Department of Transportation. 2008. *Roller Compacted Concrete: Literature Review and Specification*. State of California, Department of Transportation.
- Choi, Y.K. and J.L. Groom. 2001. SSB mix design—soils approach. *American Society of Civil Engineers Journal of Materials in Civil Engineering* 13.1: 71–76.
- Delatte, N. 2004. Simplified design of roller-compacted concrete composite pavement. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1896: 57–65.
- Delatte, N. 2008. *Concrete Pavement Design, Construction, and Performance*. Abingdon, UK: Taylor and Francis.
- Delatte, N. and C. Storey. 2005. Effects of density and mixture proportions on freeze-thaw durability of roller-compacted concrete pavements. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1914: 45–52.
- Department of the Army and the Air Force. 1982. *Pavement Design for Roads, Street, Walks, and Open Storage Areas*. Technical Manual No. 5-822-5, Air Force Manual (AFM) 88-7, Chapter 1. Washington, DC: Department of the Army and the Air Force.
- Dolen, T.P. 1991. Freezing and thawing durability of roller-compacted concrete. In *Durability of Concrete: ACI Special Publication SP-126*. Farmington, Michigan: American Concrete Institute.
- Gauthier, P. and J. Marchand. 2002. *Conception and Implementation of the Roller-Compacted Concrete Pavements in Quebec*. Quebec, Canada: Association Beton Quebec.
- Gauthier, P. and J. Marchand. 2005. *Design and Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements in Quebec*. Quebec, Canada: Department of Civil Engineering, Laval University.
- Halsted, G.E. 2005. Pavement thickness design and SSB-PAVE software. Presentation at the SSB Design Seminar, Atlanta, GA. [http://www.secement.org/PDFs/3%20HALSTED%20-%20SCA-PCA%20SSB %20Design%20Seminar.pdf](http://www.secement.org/PDFs/3%20HALSTED%20-%20SCA-PCA%20SSB%20Design%20Seminar.pdf)
- Halsted, G.E. 2006. Roller-compacted concrete pavement: design and construction. Presentation at the SSB Design Seminar, Atlanta, GA. <http://www.secpa.org/PDFs/3%20g%20halsted-ssb%20design.pdf>
- Hazaree, V.C. 2007. Transport properties and freeze-thaw resistance of roller compacted concrete (SSB) for pavement applications. MS Thesis, Iowa State University.
- Hutchinson, R.L.; S.A. Ragan; and D.W. Pittman. 1987. Heavy-duty pavements. *Concrete International* 9.2: 55–61.
- Kim, Y.S. 2006. Roller-compacted concrete shoulder construction on an interstate highway in Georgia. Presentation at the Transportation Research Board 2007 Annual Meeting, Washington, D.C.
- Luhr, D.R. 2006. *Frost Durability of Roller-Compacted Concrete Pavements: Research Synopsis*. Publication IS692. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Marchand, J.; R. Gagne; E. Ouellet; and S. Lepage. 1997. Mixture proportioning of roller-compacted concrete: A review. From *Proceedings of the Third CANMET/ACI International Conference: ACI Special Publication SP-171*. Auckland, New Zealand.

- National Stone, Sand & Gravel Association. 1991. *Aggregate Handbook*. Arlington, VA: National Stone, Sand & Gravel Association.
- Pigeon, M. and J. Marchand. 1993. *The Frost Durability of Dry Concrete Products*. Research Report GCS-93-06. Quebec, Canada: Department of Civil Engineering, Laval University.
- Piggott, R.W. 1987. Ten years of heavy-duty pavements in western Canada. *Concrete International* 9.2: 49–55.
- Piggott, R.W. 1999. *Roller Compacted Concrete Pavements-A Study of Long Term Performance*. Publication Number RP366. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Pittman, D.W. 1994. *Development of a Design Procedure for Roller-Compacted Concrete (SSB) Pavements*. Technical Report GL-94-6. Vicksburg, MS: U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.
- Pittman D.W. 1996. Load transfer characteristics of roller-compacted concrete pavement joints and cracks. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1525: 1–9.
- Pittman, D.W. and G.L. Anderton. 2009. The use of roller-compacted concrete pavements in the United States. Presentation at the Sixth International Conference on Maintenance and Rehabilitation of Pavements and Technological Control (MAIRE PAV 6), Torino, Italy. <http://www.mairepav6.it.uk/>
- Pittman, D.W. and S.A. Ragan. 1986. *A Guide for Design and Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements*. Vicksburg, MS: U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station.
- Pittman, D.W. and S.A. Ragan. 1998. Drying shrinkage of roller-compacted concrete for pavement applications. *American Concrete Institute Materials Journal* 95.1: 19–26.
- Portland Cement Association. 1987. Structural design for roller-compacted concrete for industrial pavements. *Concrete Information*. Publication IS233.01. Skokie, Illinois: Portland Cement Association.
- Portland Cement Association. 2002a. *SSB-PAVE Computer Program*. Item Code MC043. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Portland Cement Association. 2002b. *Roller-Compacted Concrete Quality Control Manual*. Publication EB215.02. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Portland Cement Association. 2004. *Guide Specification for Construction of Roller-Compacted Concrete Pavements*. Publication IS009. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Portland Cement Association. 2005. *Roller-Compacted Concrete Pavements for Highways and Streets*. Publication IS328. Skokie, IL: Portland Cement Association. <http://www.cement.org/bookstore/download.asp?mediatypeid=1&id=7927&itemid=IS328>
- Portland Cement Association. 2007a. Paving equipment and SSB: The next generation? Skokie, IL: Portland Cement Association. http://www.cement.org/pavements/pv_ssb_pcc.asp
- Portland Cement Association. 2007b. Roller-compacted concrete (SSB) performance. Skokie, IL: Portland Cement Association. http://www.cement.org/pavements/pv_ssb_chart.asp
- Ragan, S.A. 1991. *The Use of Air Entrainment to Ensure the Frost Resistance of Roller-Compacted Concrete Pavements*. ACI Special Publication SP-126. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Reid, E. and J. Marchand. 1998. High-performance roller-compacted concrete pavements: Applications and recent developments. Presentation at the Second Transportation Specialty Conference, Halafax, Alaska.
- Schrader, E.K. 1992. Roller-compacted concrete for dams—State of the art. Presentation at the International Conference on Advances in Concrete Technology, Athens, Greece.
- Service d'Expertise en Matériaux, Inc. 2004. *Frost-Durability of Roller-Compacted Concrete Pavements*. Publication RD135. Skokie, IL: Portland Cement Association.
- Tayabji, S. D. and P.A. Okamoto. 1987. Engineering properties of roller-compacted concrete. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1136: 33–45.
- Taylor, P.C.; S.H. Kosmatka; G.F. Voigt; et al. 2006. *Integrated Materials and Construction Practices for Concrete Pavements: A State-of-the-Practice Manual*. Ames, IA: National Concrete Pavement Technology Center, Iowa State University.
- U.S. Army Corps of Engineers. 2000. *Roller Compacted Concrete: Engineering Manual*. Publication EM-110-2-2006. Washington, D.C.: U.S. Army Corps of Engineers. <http://140.194.76.129/publications/eng-manuals/em110-2-2006/entire.pdf>
- Vorobieff, G. and C. Whitaker. 2003. State of the art of SSB pavements in Australia. Presentation at CIA Conference, Brisbane, Australia.

Ek A

Toprak Sıkıştırma Analjisi Metoduna Bağlı Karışım Hazırlama Yöntemi

Aşağıdaki örnek toprak sıkıştırma metodunu kullanarak bir tasarım işlemini adım adım gösteriyor. Veriler tasarım işlemini göstermek için örnek olarak verilmiştir.

Örnek Karışım Tasarımı Problemi

Bir otopark tesisi için SSB (silindirle sıkıştırılmış beton) kaplama gerekmektedir.

Belirtilen basınç dayanımı 28 günde 4000 psi'dir. Proje belgelerine göre beton karışımı için belirtilen karakteristik basınç dayanımının 1000 psi'nin üzerinde olması gerekmektedir. İyi durumda olan yerel agrega kaynakları NMSA 3/4 olan karışımı elde etmek için kullanılacaktır. 1 yd³ SSB karışım tasarımı için verilen malzeme özellikleri:

- 3,15 özgül ağırlığa sahip ASTM tip 1 portland çimentosu
- 2,70 (SSD) özgül ağırlığa ve yüzde 2 emişe sahip iri agrega
- 2,55 (SSD) özgül ağırlığa ve yüzde 1 emişe sahip ince agrega

Adım 1- Birleşik agrega taneleri. İri ve ince agrega için elek analizleri gerçekleştirilmiştir. Elek analizi sonuçları yüzde 55 iri agrega yüzde 45 ince agrega ile birleştirilip iyi derecede bir agrega elde edileceğini gösterir.

Adım 2- Orta sınıf bir çimento içeriği seçin. Çimento oranı agrega ile kuru ağırlığının yüzde 12'si olarak şekilde seçilmiştir.

Adım 3- Nem-yoğunluk çizelgelerinin çıkarılması. Üç çeşit Tablo oluşturulmuştur: biri yüzde 12 çimento içeriği (orta sınıf) için ve diğer ikisi seçilen orta sınıf çimentonun yüzde 2 üstünde ve altındaki çimentolar için. Tablo A-1 yüzde 12 çimento içeriği için nitelendirilmiş Proktor verilerini göstermektedir. Yüzde 4.5 ile 8.5 arasında değişen nem içeriğini kullanarak beş noktada nitelikli Proktor eğrisi geliştirilmiştir.

Her bir Proktor noktası için, 13 lb birleşmiş agrega (yüzde 45 veya 5.85 lb ince agrega ile yüzde 55 veya 7.15 lb ince agrega) ile karıştırılmak için belirlenen çimento ve su içerikleri Tablo A-1'de gösteriliyor. Ayrıca Tablo Şekil 4.4 deki nem yoğunluk ilişkisi eğrisi hazırlamak için kullanılan Proktor yoğunluk sonuçlarını gösterir. Eğride, yüzde 6.5 optimum nem seviyesinde maksimum kuru yoğunluk 145.1 pcf olarak belirlenmiştir.

Tablo A-1. Yüzde 12 çimento içeriği için proktor verisi

Nem içeriği, %	4.5	5.5	6.5	7.5	8.5
Kuru agrega, lb	13	13	13	13	13
Tip I çimento, lbs	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
Su, lb	0.66	0.81	0.96	1.11	1.26
Islak yoğunluk, lb/ft ³	146	152	154.5	154.3	152.5
Kuru yoğunluk, lb/ft ³	139.7	144.1	145.1	143.5	140.6

Adım 4- Numuneleri test etmek ve basınç dayanımlarını belirlemek. Test numuneleri yapmak için, SSB örneği çimento içeriği ile karıştırılır. Örnekte yüzde 12 çimento içeriği için veriler görülmektedir. Toplu ağırlıkları belirlemek, ilk olarak kabul edilen çimento içeriğinin ağırlığı ve daha sonra buna uygun verimliliği sağlamak için gerekli oranları ayarlayan bir yöntemdir. 450 lb/yd³'ü kabul edilen bir çimento içeriği ve kalan karışım oranları yüzde

12 çimento ve yüzde 6.5 nem içeriği korunarak hesaplanmıştır. Hava içeriğinin 1.5 olduğu varsayılır. Karışım agregasının özgül ağırlığı ve emilimi yüzde 45 ince agrega ve yüzde 55 iri agregaya dayanarak hesaplanır:

$$\text{Karıştırılmış agregaların özgül ağırlığı} = (0.45 \times 2.55) + (0.55 \times 2.70) = 2.63$$

$$\text{Karıştırılmış agregaların emme oranı} = (0.45 \times 1) + (0.55 \times 2) = 1.55 \%$$

Tablo A-2 kabul edilen çimento ağırlığı ve orantılara dayanarak uygun verim için ayarlanmış karışım oranlarını gösterir.

Tablo A-2. Yüzde 12 çimento içeriği ve yüzde 6.5 nem içeriği için karışım oranları

	Denem oranları		Uygun verim için oranlar	
	Ağırlık (lb/yd ³)	Hacim (ft ³)	Ağırlık (lb/yd ³)	Hacim (ft ³)
Çimento	450	2.29	464	2.36
Fırın kurusu agrega ağırlığı	3300	---	3399	---
Katı agrega ağırlığı	3351	20.42	3452	21.04
Su emilimi	51	---	53	---
Optimum nem içeriğindeki su	244	---	251	---
Optimum nem içeriğindeki serbest su	193	3.09	198	3.18
% 1.5 hava	---	0.41	---	0.41
Toplam	3994	26.21	4114	26.98

Adım 5- Test numuneleri ve gerekli çimento içeriği seçimi. Yukarıdaki 3. ve 4. adımları yüzde 10 ve yüzde 14 çimento içeriği için tekrarlayın ve basınç dayanımlarını hesaplayın. Şekil 4-5' te görüldüğü gibi çimento içeriği eğrisine karşı bir güç çizilmiştir. 28 günlük dayanımı 5000 psi (karakteristik dayanımı 1000 psi üzerinde) olan yüzde 12.7 çimento içeriği olan bir çimento seçildi.

Adım 6- Seçilen çimento içeriği için karışım oranları hesaplayın. Bu örnekte, varsayılan yüzde 10 ve yüzde 14 çimento içerikleri için optimum nem içeriği sırasıyla yüzde 6.6 ve yüzde 6.3 olarak bulundu. Tasarımcı yüzde 12.7 çimento kullanarak Proktor testini yapabilir ve ilgili optimum nem içeriğini hesaplayabilir. Bu örnekte, optimum nem içeriği enterpolasyon yöntemiyle yüzde 6.4 olarak tahmin edildi. Karışımın tasarım oranları Tablo A-3'te gösterilmiştir.

Sahada yapılan testlerin veya proje başındaki üretim yerinin sonuçlarına dayalı olarak karışımın küçük ayarlamalar gerektirebileceği unutulmamalıdır.

Tablo A-3. Yüzde 12.7 çimento içeriği ve yüzde 6.4 nem içeriği için son karışım oranları

	Denem oranları		Uygun verim için oranlar	
	Ağırlık (lb/yd ³)	Hacim (ft ³)	Ağırlık (lb/yd ³)	Hacim (ft ³)
Çimento	491	2.50	492	2.51
Fırında kurutulmuş agrega ağırlığı	3375	---	3385	---
SSD agrega ağırlığı	3427	20.88	3438	20.95
Su emilimi	52	---	52	---
Optimum nem içeriğindeki su	247	---	248	---
Optimum nem içeriğindeki serbest su	195	3.13	196	3.14
% 1.5 hava	---	0.41	---	0.41
Toplam	4114	26.92	4126	27.00

Ek B

SSB-PAVE Kullanılarak Elde Edilen Sonuçlar (Tek Tekerlek Yükü)

SSBPave

(Ana sayfaya dönmek ve raporu sonlandırmak için sağ üst köşedeki "x" basınız)

Kalınlık Tasarım Raporu

GENEL TASARIM BİLGİSİ

Proje Numarası: Tasarım Ex1 Uygulayıcı:
Yapılış Tarihi : 9 / 1 / 2009

GENEL TASARIM GİRDİSİ

Tasarım Periyodu: 20 yıl
Birim: ABD Birimleri Toplam Proje Trafiği: 219000 Yük Tekrarı

KULLANICI GİRDİSİ

Proje Aracı/Uçağı: Ayırma Taşıyıcısı- tek tekerlek
Tekerlek/Aks konfigürasyonu: Tek-Tek Döşeme Tipi: SSB
Elastisite Modülü (E): 4 milyon psi
Kopma Modülü (MR): 650 psi
Alt zeminin Reaksiyon Modülü (k): 100 pci
Hesaplama Yöntemi: Aks döndürme Yükleme Koşulu: İç Yükleme
Tekerlek Sayısı: 1 Temas Alanı: 300 inç²
Temas Basıncı: 100 psi
Toplam Yük: 30000 lbf

HESAPLAMA SONUCU

X_Max: 0 inç
Y_Max: 0 inç
Maksimum Aç: 90 derece
Maksimum Gerilme: 281 psi
Gerilme Oranı: 0.433

ÇIKTI

İzin Verilen Toplam Tekrarlar : 257203 İzin Verilebilir Günlük Tekrarlar: 35
Nihai Levha Kalınlıkları: 11.5 inç

TEKERLEK KORDİNATLARI inç

x: 0
y: 0

NOT

Bir gerilme oranı (tasarım gücüne bağlı gerilme) gerekli üst yapı tasarımını karşılamak (kalınlığı yetersizdir) için 0.75 den çok daha fazla olabilir, ancak döşemede beklenmedik ağır yüklerin etkisini değerlendirmek için kullanılabilir. SSB kaplama için hesaplanan kalınlık 4 inçten veya 200mm (20 cm)'den az ise tasarımda 4 inç veya 200 mm (20 cm) kullanılmalıdır.

SSB YOL

(Ana sayfaya dönmek ve raporu sonlandırmak için sağ üst köşedeki "x" basınız)

Kalınlık Tasarım Raporu

GENEL TASARIM BİLGİSİ

Proje Numarası: Proje 1 Uygulayıcı:
Yapılış Tarihi : 12 / 7 / 2009

GENEL TASARIM GİRDİSİ

Tasarım Periyodu: 20 yıl
Birim: ABD Birimleri Toplam Proje Trafığı: 292000 Yük Tekrarı

KULLANICI GİRDİSİ

Proje Aracı/Uçağı: 6-21 Tekerlek
Tekerlek/Aks konfigürasyonu: Tek-Çift Döşeme Tipi: SSB
Elastisite Modülü (E): 4 milyon psi
Kopma Modülü (MR) : 700 psi
Alt zeminin Reaksiyon Modülü (k): 200 pci
Hesaplama Yöntemi: Aks döndürme Yükleme Koşulu İç Yükleme
Tekerlek Sayısı: 2 Temas Alanı: 250 inç²
Temas Basıncı: 120 psi
Toplam Yük: 60000 lbf

HESAPLAMA SONUCU

X_Max: -10 inç
Y_Max: 10 inç
Maksimum Açı: 135 derece
Maksimum Gerilme: 286 psi
Gerilme Oranı: 0.409

ÇIKTI

İzin Verilen Toplam Tekrarlar: 475087 İzin Verilebilir Günlük Tekrarlar: 65
Nihai Levha Kalınlıkları: 13.5 inç

TEKERLEK KORDİNATLARI inç

x -10 10
y 10 -10

NOT

Bir gerilme oranı (tasarım gücüne bağlı gerilme) gerekli üst yapı tasarımını karşılamak (kalınlığı yetersiz) için 0.75 den çok daha fazla olabilir, ancak döşemede beklenmedik ağır yüklerin etkisini değerlendirmek için kullanılabilir. SSB kaplama için hesaplanan kalınlık 4 inç'ten veya 200 mm (20 cm)'den az ise tasarımda 4 inç veya 200 mm (20 cm) kullanılmalıdır.

USAGE (ABD Ordu Mühendisleri) Tasarım Örneği Sonuçları

Vehicles Show Mixed Traffic / ACNPCN

Create Pattern Delete Pattern Modify Pattern Copy Pattern Import Patterns

Standard Patterns
Edit Standard Patterns
Choose Standard Pattern

RCC
Analysis Type: Individual Design Type: Road ? English

Add Vehicle Delete Vehicle Modify Vehicle

Vehicle	Weight (lb)	Passes
MHU-196 ROADS	80000	30

Trafik Girdisi

Tasarım Adı: SSB

Tasarım Tipi: Yollar

Döşeme Tipi: Rijit

Analiz Tipi: K

Yol Tipi: Otopark

Arazi Tipi: Engebeli

Trafik Modelleri: SSB

Eğilme Dayanımı (psi) : 600

Çelik Yüzdesi: 0

Yüzde Ortak Yük Transferi: 0

Modül (psi) 4,000,000

Poisson Oranı: 0.15

K (pci) : 100

Designs	Design Type	Pavement Type	Road Type	Terrain Type	Analysis Type	Depth of Frost (in)	Seasons	Traffic
RCC	Roads	Rigid	Parking	Flat	K	0.00	ANNUAL	RCC

Add Copy Delete Modify English Edit Seasons

RCC	Layers				Layer Strengths	
	Material Type	Flexural Strength (psi)	Analyze	Non-Frost Design Thickness	K (pci)	
PCC	N/A	600	Compute	9.14		0.00
Natural Subgrade	Cohesive Cut	0	N/A	8.88		100.00

Add Edit Delete Eff K: 100 Compaction Joints/Dowels

Layer Details View Alternatives Sensitivity Subgrade Prep Reports Save and Calculate Exit

LTE' de Tasarım Sonuçları = 0 %

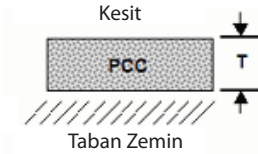
Yol Dolgusu (Kaplama)
Dolgu (Kaplama) Tasarımı & Analiz Programı
Amerikan Beton Yol (Dolgu) Birliği

Beton Kaplama Dizaynı için Rapor:

Proje ismi:
Güzergâh:
Yer:
Proje Tanımı:
İşveren/Yüklenici:
Tasarım Mühendisi:

Önerilen Beton Kaplama Tasarımı

Kalınlık: 7 inç
Ek Yeri Genişliği (Joint Spacing) : 14 ft (4 m)
Filiz demiri (Dowel Bar) : Bağlantı demiri tercih edilmelidir.



Kalınlıkta Yuvarlamanın Etkisi

Kesin Kalınlık: 6.6 inç

Teorik Beton Kalınlığının Yukarı Yuvarlanması
59 yıl % 85 güvenilirlik

Beton Kalınlığının Yukarı Yuvarlanmasının Güvenilirliği
30 yıllık tasarım için % 93 güvenilirlik

Beklenen Beton Kalınlığının Aşağı Yuvarlanması
22 yıl % 85 güvenilirlik

Beton Kalınlığının Aşağı Yuvarlanmasının Güvenilirliği
30 yıllık tasarım için % 81.2 güvenilirlik

Yuvarlatılmış Kalınlık

7 inç

Kalınlık Değerini Aşağı Yuvarlama

6.5 inç

Girdiler

Tasarım Ömrü 30 yıl

Trafik

Trafik Tipi: Tüm Araç Tipleri

Şerit Sayısı: 2

Yön Dağılımı: 50

Şerit Tasarım Dağılımı: 100

ADDT (Ortalama Günlük Trafik) Günlük 50
(Ortalama günlük kamyon trafiği, çift yönlü, tüm şeritler)

Kamyon Trafiği Büyümesi: % 2 yıllık

3/10/2010

10:16:33AM

Mühendis _____ Sayfa 1 ve 3

***Not: Dowel barlar SSB yollarda kullanılmıyor**

KAPLAMALAR

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON KAPLAMALARIN İNŞAASI İÇİN
PCA ŞARTNAME KILAVUZU

HAZİRAN 2004

1. Genel Bakış

1.1 Tanım. Serme beton; agrega, kaliteli çimento, diğer çimento malzemeleri (kül, cüruf, silika tozu) ve sudan oluşmaktadır. Serme beton şartnameye göre belli oranlarda, karıştırılmış, sıkıştırılmış olmalıdır. Kalınlıklar, ana hatlar ve tipik kesitler planlarda gösterilir ya da mühendis tarafından belirlenmelidir.

1.2 Uyarı. Bu şartname serme beton dolgu yapımı için biçim ve içerik açısından bir rehber olarak tasarlanmıştır. Çoğu projelerin proje dokümanlarında yazılan özellikleri ve gereksinimleri bulunmaktadır.

2. Referans Gösterilen Dokümanlar

2.1 Test ve Materyaller için Amerikan Birliği (ASTM):

C31	Uygulama (Sahadaki beton test örneklerinin yapımı ve kürlenmesi için)
C33	Tanımlama (Beton agregası için)
C39	Test yöntemi (Silindirik beton numunelerinin basınç dayanımı için)
C42	Test yöntemi (Beton Kirişler ve Test Çukurları için)
C78	Beton eğilme dayanımı için test yöntemi (Basit kirişler kullanılarak üç nokta yükleme deneyi)
C150	Portland çimento özellikleri
C171	Saç malzeme özellikleri (Beton Küllemesi için)
C309	Beton küllemesi için sıvı membran bileşen özellikleri
C494	Beton için kimyasal bileşen özellikleri
C496	Test Yöntemi (Silindirik beton numunesi çekme dayanımı)
C595	Katkılı sulu çimento özellikleri
C618	Kömür uçucu külü ve beton mineral katkısı doğal puzolan veya doğal kalsine edilmiş puzolan için şartname



Portland Çimento Birliği

C989	Granüllü yüksek fırın cürufu için özellikleri
C1040	Test yöntemi (Nükleer metodlar kullanılarak sertleştirilmiş veya sertleştirilmemiş beton yoğunluğun tespiti)
C1157	Hidrolik çimento için Performans Özellikleri
C1176	Titreşim masası kullanılarak silindirik beton kabı içinde sıkıştırılmış beton yapımı uygulaması
C1240	Hidrolik çimento beton, derz, sulu harç içinde mineral karışımı olan silika tozu kullanımının özellikleri
C1435	Titreşim çekici kullanılarak silindirik beton kabı içindeki sıkıştırılmış betonun kalıba dökülme uygulaması
D977	Asfalt Emülsiyon Özellikleri
D1557	Test Metodları (Laboratuvar ortamında farklı basınçlarda belirlenen zeminin sıkışma karakterleri)

3. Sunum

3.1 Sunulması Gerekenler. Yüklenci, sıkıştırılmış beton üretimine başlamadan en az 30 gün önce aşağıda belirtilenleri mühendise sunması gerekmektedir.

- 3.1.1. Tüm sıkıştırılmış betonla ilgili faaliyetlerin takvimi.
- 3.1.2. Asfaltlama prosedürleri (asfalt genişliği, planlanan boyuna ve enine ekler ve kür metodları ve modelleri).
- 3.1.3. Şartnamede belirtilen agrega kaynağının, kalitesinin ve miktarının belgelenmesi.
- 3.1.4. Şartnamede belirtilen portland çimentosu ve çimento malzemelerinin belgelenmesi.
- 3.1.5. Üretim verileri ve SSB için karıştırma, sıkıştırma ve taşımada kullanılacak ekipmanların kapasite özellikleri.
- 3.1.6. Karıştırma, çimento, agrega stoğu ve su rezervinin bulunduğu tesisin konumu.

3.1.7. Sıkıştırılmış beton tasarımı. Eğer tasarım yüklenici tarafından geliştirilmiş ya da tasarımda bir değişiklik yapılmış ise, serme betonun üretiminden 4 hafta önce mühendise bildirilmesi gerekmektedir. Bu değişiklikler agrega dağılımını, çimentolamayı, çimentolama malzemelerini, ek ilaveleri (eğer kullanılmış ise), sıkışma ve yanal kuvvetleri, nem ve yoğunluk parametrelerini içerebilir.

4. Materyaller

4.1 Genel. Laboratuvar testleri ya da kesin üretimde kullanılacak örnek malzemelere dayalı sıkıştırılmış beton üretiminde kullanılacak tüm materyaller mühendis tarafından onaylanmalıdır.

4.2 Portland Çimentosu. Portland çimentosu (ASTM 150 ve ASTM C 1157) ya da karıştırılmış hidrolik çimento için ise (ASTM C 595 ve ASTM C 1157) için olan en son standartlara uygun olmalıdır.

4.3 Agrega. Agrega kalitesi ASTM C33 uygun olmalıdır. Agrega plastisite indeksi 5'i geçmemelidir. Agrega tek bir malzemeden ya da karışımdan (Kuars veya iyi derecelenmiş agregadan) oluşabilir. Agrega boşluk olmaksızın iyi derecelenmiş olmalıdır. Dağılım aşağıdaki Tabloda sunulmaktadır:

Elek Analizi	Elekten Geçen (%)
1" (25 mm)	100
3/4" (19 mm)	90 – 100
1/2" (12.5 mm)	70 – 90
3/8" (9.5 mm)	60 – 85
No. 4 (4.75 mm)	40 – 60
No. 16 (1.18 mm)	20 – 40
No. 100 (150 µm)	6 – 18
No. 200 (75 µm)	2 – 8

4.4 Mineral Karışımları. Mineral karışımları; ASTM C 618 (kü), ASTM C 989 (cüruf) ve ASTM C 1240 (Silika tozu) standartlarına göre uyumlu olmalıdır. Özellikle mühendis tarafından yönetilmediği sürece, katkı çimentodaki toplam mineral karışım oranı, sıkıştırılmış beton karışımı içindeki portland çimento ağırlığını geçemez.

4.5 Kimyasal Bileşenler. Su azaltıcı ve geciktirici içeren kimyasal karışımlar ASTM C 494' e uygun olmalıdır. Kullanılmadan önce mühendis tarafından onaylanmalıdır.

4.6 Su. Su; asidik olmayan, tuz içermeyen, alkali olmayan ve beton kalitesi için zararlı olan organik materyaller barındırmayan, temiz ve saf olmalıdır. İçme suyu olmayan su ya da suyun her çeşidi bir kısım için kullanılabilir. Bu suyun kullanılmasında sıkıştırılmış betonun duraylılık özelliklerinde ve taşıma gücünde herhangi olumsuz bir etkisinin olmadığı vurgulanmalıdır.

4.7 Külleme Bileşeni. Beton külleme bileşenleri ASTM C 309 ve ASTM D 977 standartlarına uygun olmalıdır.

5. Malzemeler

5.1 Genel. İşe başlamadan önce gerekli tüm ekipmanlar hazır ve mühendis tarafından onaylanmış olmalıdır. Sıkıştırılmış beton şartnamede belirtilen karışım, transfer, yerleştirme, sıkıştırma, sonlandırma ve külleme için belirtilen malzemelerle yapılacaktır.

5.2 Karışım Tesisi.

5.2.1 Tesis Yeri. Tesis yeri; sıkıştırılmış betonun döküldüğü yer yarım saatlik mesafeye kurulmuş olmalıdır. Test öncesi ve mühendis onayı ile geciktirici karışım kullanılarak bir miktar süre uzatılabilir.

5.2.2 Tesis Kapasitesi. Tesis, nihai raporda belirtilen karışım dizaynı ve belirtilen toleranslar için sıkıştırılmış beton üretimine uygun olmalıdır. Tesisin kapasitesi yerleştirme ekipmanı ile uyumlu bir oranda homojen bir karışım elde etmek için yeterli olmalıdır. Karışım haznesi içindeki sıkıştırılmış beton materyalinin hacmi, kuru beton karışımının normal kapasitesinden fazla olmayacaktır. Tek bir tesis asfaltlama operasyonlarını karşılayamıyorsa, çoklu tesis uygulamasına gidilebilir.

5.2.3 Beton Karma Tesisi. Beton Karma Tesisi, ölçüm cihazları ile doğru oranda agrega, çimento, mineral ve su ile besleyen, harman kapasitesi iyi, devamlı karışım yapan iki shaft beton mikser ile tesisin merkezinde yer almalıdır.

5.2.3.1 Agrega Depolama. Daha önceden katkılı agrega tedarik edildiyse, depolama; yedek stoktan direk olarak karıştırıcıdan beslenen taşıyıcıya olabilir. Eğer 2 veya daha fazla büyüklükte agrega grubu tedarik edildiyse, stoklarda agrega ayrımı yapılmalıdır.

5.2.3.2. Agrega Tutma Hunisi. Agrega tutma hunisinin ilerleme hızı; çeşitli hız bantları tarafından ya da her tür malzeme için açılabilir kapılar tarafından kontrol edilmektedir. Eğer iki veya daha fazla büyüklükteki agrega stoğu kullanıldıysa, ihtiyaç duyulduğunda agreganın özelliklerine göre her bir hunideki ilerleme hızı ayarlanıp değiştirilebilir.

5.2.3.3. Tesis Ölçeği. Ağırlık kutusu ya da huni için tesis ölçeği ağırlıklı ya da yaylı sistem ve ihtiyaç duyulan maksimum yükün %5' ine duyarlı olması gereklidir.

1. SSB'nin çok kuru kıvamda olması nedeniyle, arazide özellikle kamyon mikserlerde karışımın hacmi üretici firmanın belirlediği geleneksel beton karışım hacminden daha az olması gerekebilir.

Ağırlıklı ölçeklendirmede her bir agregası boyutuna göre ayrı ağırlığa sahip olmalıdır. İlerleme bandı onaylanan tasarımda olmalıdır. Kontrol edilen tesis ölçeği için standart test ağırlıkları “+”, “-” % 0.1 hassasiyetle temin edilmelidir.

5.2.3.4.Çimento ve Mineral Karışım Materyalleri Depolaması. Ayrı ve bağımsız depolama siloları portland çimento ve mineral karışımı için kullanılmaktadır. Her bir silo; silo yüklemeleri boyunca bozulmamalıdır. Eğer yüklenici harmanlanmış çimento materyali seçtiyse, yüklenici mühendisin kabul ettiği katkılı malzemeyi uygulamalıdır. Ön karışımli çimento malzeme testi; homojenlik ve uygun oranlar sağlamak için günlük olarak yapılacaktır.

5.2.3.5.Çimento ve Mineral Karışımı Besleme Birimi. Portland çimentosu ve mineral karışımı dağılımı için; mikser girecek homojen ve hassas oranlarda çimentolama materyalleri hacimsel ya da ağırlık olarak temin edilmelidir.

5.2.3.6 Su Kontrol Birimi. Onaylanan karışım için ihtiyaç duyulan su miktarı ağırlık ya da hacimce ölçülmelidir. Bu birim hassas ölçüm aletleri ile donatılmalıdır. Su akışı metre ve kapakçık tarafından kontrol edilmeli ya da ıslaklık ayarını korumak için diğer onaylanan düzenleyici alet kullanılmalıdır.

5.2.3.7 Dalgılanma Hazne Hunisi: Tesisin sürekli üretim yapılması ve SSB boşaltımının geçici olarak tutmak için hazne hunisi nihai boşaltım kısmının en sonuna eklenmelidir.

5.2.4. Dönen Mikser Varil Tesisi. Dönen varile sahip mikser renk olarak ve homojen karışım üretebilecek kapasiteye sahip olmalıdır. Harmanlama ekipmanları ile mikser aşağıdaki ihtiyaçları karşılamalıdır.

5.2.4.1.Sıkıştırılmış beton yığınının giren çimento mineral karışım oranı ve agregası direkt ölçüm cihazları ile ölçülmelidir. Agreganın ıslaklık içeriği için ağırlıklandırma ekipmanları kolay ayarlanabilir olmalıdır. Bu ağırlıklandırma ekipmanı sıfırdan tam kapasite ölçeğini içermelidir. Çimento ve mineral karışımı ayrı ya da aynı ölçekte aynı huni içerisinde kümülatif ölçülebilir.

5.2.4.2. Ağırlık hunileri dökülürken, dökme çimento ve mineral karışım ağırlık hunileri otomatik ve devamlı olarak vibratörle donatılmış olmalıdır. Ağırlık hunileri; bir parti için gerekli olan çimento malzemesinin en az %10 'unu tutabilecek kapasiteye sahip olmalıdır.

5.2.4.3. Sıkıştırılmış betonun her bir kısmına giren su miktarı ağırlıkça veya hacimsel olarak ölçülmelidir. Ölçüm aleti; su ölçü-

mü için +, - % 1 toleransa sahip olmalıdır. Su sadece su ölçüm cihazı ile mikser kabul edilir.

5.2.4.4. Mikser hassas saat ayarına ya da zamanlayıcıya sahip olmalıdır.

5.2.5. Alternatif Karıştırma Elemanı. Diğer depolama tipleri, karıştırıcı özellikleri, kuru yığın tesisini içeren konfigürasyonlar ve beton karıştırıcılar mühendis tarafından onaylanarak kullanılmalıdır. Yüklenici; Bölüm 5.2.2' deki minimum kapasitede ihtiyaç duyulan devamlı, iyi karıştırılabilen, ayrılmış olmayan serme beton karışımı üreten karıştırıcı ekipmanlarını tedarik etmekle yükümlüdür. Tolerans limitleri ise bölüm 6.3.2'de sunulmaktadır.

5.3 Serici.

5.3.1. Sıkıştırılmış betonda; mühendis tarafından onaylanan yüksek yoğunluklu ya da asfalt tipi beton kaplama makinesi tercih edilmelidir. Serici; SSB betonu ASTM D 1557'ye veya eşdeğer test metodlarına göre maksimum ıslak yoğunluğun % 85'ine eşdeğer olacak şekilde sermelidir. Makina uygun ağırlıkta ve ihtiyaç duyulan kalınlıkta, düzgünlükte ve boyutlarda olmalıdır.

5.3.2. Alternatif Yol Kaplama Ekipmanı. Alternatif yol kaplama ekipmanı olan grayder ve dozerler kullanılmadan önce mühendis tarafından onaylanmalıdır. Ekipman; düzgünleştiriciye sahip, ayrışma yapmayan, boşluklar bırakmayacak son üretimi yapabilecek kapasitede olmalıdır.

5.4 Sıkıştırıcılar.

5.4.1. Birincil sıkıştırma için; minimum 10 ton ağırlığa sahip çelik vibratör ruloları olanlar kullanılmalıdır. Son sıkıştırma için ise; statik mod'da kullanılan çelik silindir ya da hava ile çalışan silindir faydalı olacaktır.

5.4.2. Yürüyen titreşimli vibratör, silindirler ya da titreşim modunda çalışan büyük silindirlerle erişilemeyen sıkıştırma alanları için kullanılmalıdır.

5.5 Taşıma Kamyonları. Tesisten yol kaplama yerine SSB materyalin nakli esnasında yağmurdan ve aşırı ısı kayıplarından korumak için kamyonlarda kapaklar bulunmalıdır. SSB malzemenin devamlı tedarikinin sağlanması için kamyon sayısı yeterli olmalıdır.

5.6 Su Kamyonları. En azından bir su kamyonu ya da diğer benzer ekipmanlar; serme adımları boyunca çalışma sahasında hazır olmalıdır. Bu tür ekipmanlarca, son yüzeye zarar vermeden; sıkıştırılmış beton yüzeyine suyun ince spreyle uygulanabilir olması gerekmektedir.

5.7 Ekipmanların Denetlemesi. İşe başlamadan önce; yüklenicinin ekipmanları dikkatlice denetlenmelidir. Ekipmanlardan herhangi biri düzgün işlemediğinde, eksiklikler düzelene kadar hiçbir iş devam etmemelidir.

5.8 İnceleme ve Kalibrasyon için Erişim. Mühendis her zaman kalibrasyon, terazi, kontrol veya işletim ayarlamaları kontrol etmek için bu projede kullanılacak herhangi bir fabrikanın, ekipman veya makine erişebilir olmalıdır.

6. İnşaat Gereksinimleri

6.1 Alt temel/Alt zemin Hazırlığı. ² SSB işlemi başlamadan önce, döşeli olduğu alan kademeli ve mühendis tarafından planlarda gösterildiği veya belirtildiği şekilde hazırlanır. Bu işlem sırasında uygun olmayan toprak veya malzeme kabul edilebilir malzeme ile değiştirilir. Zemin ASTM D 1557' ye uygun olarak, maksimum kuru yoğunluğu % 95 olacak şekilde sıkıştırılır. Yüklenici tüm alanı üzerinde yüklü damperli kamyon veya pnömatik-lastik silindir ile yumuşak alanlar için kontrol eder. Zemin tüm yumuşak veya verimli zeminin alanları düzeltilmiş ve SSB inşaatı başlamadan önce kararlı hale getirilmiş olmalıdır. Alt taban kararlılık göstermez ise, muntazam ASTM D 1557 ile uygun olarak maksimum kuru yoğunluğu % 95 olacak şekilde sıkıştırılır.

6.2 Test Bölümü (Opsiyonel).

6.2.1 En az 30 gün asfaltlama işlemleri başlamadan önce yüklenici deneme beton karışımı kullanarak bir test bölümü inşa edecektir. Bu test bölümü mühendis tarafından malzemenin mukavemeti, inşaat yöntemleri, süreç kür ve tamamlanan test bölüm yüzey koşullarını değerlendirmeyi sağlayacaktır. Test bölümünü en az 50 feet (15 metre) uzunluğunda olmalıdır. Bu kritik olmayan bir bölgede olacak ve planlarda belirtilecektir. Test kaldırım bir boyuna ve enine yönde, hem de taze ortak inşaat hem de soğuk derz yapımı göstermek için uzun bir süre boyunca inşa edilecektir.

6.2.2 Bu test bölümü oluşturmak için kullanılan ekipman, malzeme ve yöntemleri, ana SSB kaplama oluşturmak için kullanılacaktır.

6.2.3 Bu test bölümü yapımı sırasında yüklenici, ASTM D 1557 ya da eşdeğer bir test yöntemine uygun olarak nemli yoğunluğu % 98' den az olmayan olan bir yoğunluğa elde etmek için optimum bir haddeleme kalıbı ve prosedürü sağlayacaktır. Ek olarak, yüklenici aşırı yırtık, parçacıklı gevşek malzemeden ucuz pürüzsüz, sert ve düzgün bir yüzey elde etmek için yeteneğini göstermelidir.

6.2.4 Dayanım Testi (Opsiyonel Testler).

6.2.4.1 Alan Örnekleri. Örnekler ASTM D 1557, ASTM C 1435, veya ASTM C 1.176 uygun olarak hazırlanır. Tedavi ve ASTM C 31 uyarınca laboratuara örnekleri taşıma. Örnekler yarma çekme dayanımı (ASTM C 496) ve basınç dayanımı (ASTM C 39) 7, 14, ve 28'inci günlerde test edilecektir. (2. Alt zemin/alt temel hazırlanması çoğu zaman kazı/yıkım işlerini yüklenici firmanın sorumluluğundadır.)

2. Taban zemini/alttemel tabakaların hazırlanması kazı, tesviye ve hafriyat yapan firmanın sorumluluğundadır.

6.2.4.2 Çekirdek ve Kirişler. Test bölümü kiriş ve çekirdek testlerinde en az 5 gün önce kurutulmalıdır. Çekirdek ve kirişler ASTM C 42 uygun olarak elde edilecektir. Çekirdekler bölme çekme dayanımı (ASTM C 496) ve basınç dayanımı (ASTM C 39) 7, 14 ve yaş 28 gün boyunca test edilecektir. Ek olarak, 6x6x21 inç (150x150x525 mm) kirişler 7 test bölümü ve eğilme mukavemeti, 14 biçilen ve 28 gün ASTM C 78 uygun olarak belirlenecektir. Test bölümünün tüm karot, kesme ve testleri test Sahibi tarafından ödenecektir.

6.3 Karışım İşlemi.

6.3.1 Genel. Aksi proje dokümanlarında belirtilmedikçe nem içeriğindeki küçük farklılıklar dışında, aynı karışım oranları, tüm proje için kullanılacaktır. Su içeriği etkili yerleştirme ve sıkıştırma için en elverişli bir tutarlılık sağlamak için, gerektiğinde, yüklenici tarafından değiştirilebilir. Çimentolu malzemeler veya agregası türü materyallerin temininde değişiklik olduğunda karıştırma sırasında ise, karıştırma askıya alınmalı ve yeni bir beton karışımı geliştirilmelidir.

6.3.2 Karışım İçeriği Toleransları. Karışım birimi mutlaka aşağıda belirtilen materyalleri toleranslar dahilinde almalıdır:

Malzeme	Ağırlığın % değişimi
Çimento esaslı malzemeler	+/- 2.0
Su	+/- 3.0
Agrega	+/- 4.0

6.3.3 Karıştırma süresi tüm materyallerin tam ve homojen olarak karışmasını sağlayacak kadar uzun olmalıdır. Bu süre test sonuçları ile belirlenmelidir.

6.3.4 Tüm materyaller yükmeden önce deşarj edilmelidir. Karıştırma odası ve karıştırıcı bıçak yüzeyleri sertleştirilmiş SSB ve diğer kontroller yapılmalıdır. Mikser bıçakları karıştırma nedeniyle aşınma olup olmadığı rutin olarak kontrol edilmeli ve değiştirilmelidir.

6.3.5 Tesis Kalibrasyonu. SSB üretim başlamadan önce, yüklenici üreticinin tavsiye edilen uygulamalara uygun olarak tesisin tam ve kapsamlı kalibrasyonunu yürütür. Kalibrasyon tamamlamak için gerekli tüm ölçerler, kapları ve diğer öğeleri yüklenici tarafından sağlanacaktır. Mühendis tarafından örnek ilk kalibrasyonun tamamlanmasından sonra, tesis kalibre edilir.

6.3.6 Günlük Raporlar. Yüklenici fabrikanın günlük üretim ve kullanılan malzemeleri günlük olarak raporlamalıdır.

6.4 Nakliye. Çalışma yapılacak tesis alanlarına SSB kaplama malzemesinin taşınması yağmur veya aşırı buharlaşmaya karşı koruma için geri çekilebilir koruma kapaklı, gerektiğinde, donatılmış ve donanımlı

dampirli kamyonlar ile olacaktır. Kamyonlar SSB malzemesini temiz bir şekilde boşaltabilmelidirler. SSB malzemenin belli bir süre içinde sıkıştırılması gereklidir bu kısıtlı süre içerisinde kamyon planlaması yapılmalıdır.

6.5 Yerleşim

6.5.1 Alt zemin / Alt Taban durumu. SSB yerleştirme öncesinde, SSB kaplama karışımının yerleştirilmesi öncesinde alt temel / alt zemin yüzeyi ve birikinti sularındaki yabancı maddeler temizlenmeli. Alt zemin/ alt temel SSB yerleştirme sırasında düzgün ve nemli olmalıdır. Su serpmeye belirli alanlarda yeniden nemlendirme için gerekli ise, serpmeye yöntemi çamur veya su birikintisi oluşturmamalı. SSB kaplama yerleştirme öncesi, alt zeminin / alt temelin uygun yoğunluğu ve yumuşaklığı veya verimli alanları ve bu alanların bölüm 6.1 'de belirtildiği gibi doğru olması kontrol edilmelidir.

6.5.2 Kaplama Gereksinimleri. SSB bölüm 5.3 'de belirtilen aşağıdaki unsurları karşılama onayı ile yerleştirilir:

6.5.2.1 Kaplama içindeki SSB malzeme miktarları yükler arasında boşluğa izin vermez. Malzeme kaldırım boyunca her zaman burgu şaftı üzerinde muhafaza edilmelidir.

6.5.2.2 Kaplama, yırtılma, çekme veya dürtmek olmadan ayrımı önlemek ve düzgün sürekli bir yüzey üretecek bir şekilde çalışacaktır. Yayılmış SSB geçerli hava sıcaklığı, rüzgar ve iklim koşulları altında sıkıştırılabilirliği ve bitmesi için gerekli süre SSB'nin uzunluğu ile sınırlıdır.

6.5.2.3 Kaplama sürekli olarak devam etmeli, sürekli çalışma asgari düzeyde başlar ve biter. Kaplama hızı yerleştirme işlemi boyunca bölüm 5.3.1'de belirtildiği gibi yüzey gerilmesi karşılama en aza indirilmesi için gerekli hızı geçmemelidir.

6.5.2.4 SSB kaplama yüzeyi kaplamadan farklı olarak aşırı katman, sırt veya agrega ayrımı olmadan pürüzsüz, düzgün ve sürekli olmalıdır.

6.5.3 Kalınlık Yükleme. Sıkıştırılmış SSB kaplamanın kalınlık yüklemesi planlarda gösterildiği gibi olmalıdır. SSB kaplamalar 10 inç (250 mm)'ten daha büyük bir kalınlıkta inşa edilecekse, iki döküm kullanımından yararlanılacaktır. Döküm 4 inç (100 mm)'ten daha az olacaktır.

6.5.4 Bitişik Şerit Yerleştirme. Komşu kaplama şerit 60 dakika içinde yerleştirilmelidir. Bitişik şerit yerleştirilmesi arasında 60 dakikadan fazla süre geçerse düşey birleşme noktası soğuk nokta olarak kabul edilmelidir ve mühendisin takdirine bağlı olarak bölüm 6.8.2 göre hazırlanan katkı maddelerine

veya ortamın sıcaklık, rüzgar ve nem koşullarına bağlı olarak bu süre arttırılabilir veya azaltılabilir.

6.5.5 Çoklu Yük Yerleştirme. Birden fazla yük Sıralama için, toplam kaplama kalınlığı planda gösterildiği gibi olacak ve yüklenicinin yerleştirilmesi kendi yöntemini kullanabilir ve kaplama planının bir konusu olan yük kalınlığı mühendis tarafından onaylanır. Birden fazla yük inşası, ikinci yük ilk yük tamamlanmasından 60 dakika içinde yerleştirilmelidir. 60 dakikadan fazla süre geçmişse, birinci ve ikinci yük arası soğuk ortak nokta olarak kabul edilir ve mühendisin takdirine bağlı olarak bölüm 6.8.3.1 göre hazırlanan katkı maddelerine veya ortamın sıcaklık, rüzgar ve nem koşullarına bağlı olarak bu süre arttırılabilir veya azaltılabilir.

6.5.6 Elle Yayma. Sıkıştırılmış olan alanları arasında kalan SSB malzemelerinin yayılmasına veya havalandırılmasına izin verilmez. Bu tür eklemeler, sadece kaplamanın hemen arkasından ve herhangi bir sıkıştırma işlemi yapılmadan önce gerçekleştirilebilir.

6.5.7 Ayrılma. Kaplama işlemi sırasında ayrılma meydana gelirse nedeni tespit edilir ve yayılma gerçekleşmeden düzeltme işlemi gerçekleştirilir.

6.5.8 SSB kaplama işlemi önceki kaplamalardan dolayı mevcut olan su kuru ile sorun teşkil etmeyecek bir düzende yapılmalıdır.

6.5.9 Erişilemeyen Alanlarda Kaplama Yapılması. Kaplama veya rulo erişilemeyen alanlar elle yerleştirilmiş ve bölüm 5.4.2 'de belirtilen ekipman ile sıkıştırılmış olabilir. Bölüm 6.7.7 'de belirtildiği gibi bu alanların asgari sıkıştırılma yoğunluğu gereksinimleri karşılama gerekir. Hava kabarcıklı beton kullanılarak dökme yerinde en az 4000 psi (27Mpa) büyüklüğünde veya mühendisin belirttiği bir basınç kuvvetiyle sıkıştırma, Erişilemeyen alanlarda kaplama için alternatif ve tercih edilen bir yöntemdir.

6.5.10 SSB yerleştirme grayder, dozer ve diğer yerleştirme elemanlarıyla bölüm 5.3.2'de belirtildiği şekilde yapılmalıdır.

6.6 Hava Koşulları.

6.6.1 Soğuk Hava Önlemleri. SSB malzemeleri donmaya yakın yada donmuş zeminlere uygulanmamalıdır. Hava sıcaklığı 40°F (4°C) altında olduğu ve 35°F (2°C)'nin altına düşeceği durumlarda yüklenici mühendise SSB kaldırımı korumak için bir öneri sunmak zorundadır. Herhangi bir işlem yapmadan önce bu öneri mühendis tarafından onay görmelidir. Bu yalıtım battaniye, plastik kaplama, saman, çuval bezi veya başka uygun bir malzeme olarak koruyucu malzeme yeterli miktarda olacak şekilde yüklenici firma tarafından sağlanacaktır. Kullanılan yöntemler ve malzemeler kaplama yüzeyini 40°F (4°C)'de en az 5 gün muhafaza edecek şekilde olmalıdır.

6.6.2 Sıcak Hava Önlemleri. Sıcak havalarda ve rüzgarlı koşullarda, buharlaşma yüzünden olan nem kaybını minimize etmek için özel önlemler alınmalıdır. Hava sıcaklığı, bağıl nem, beton sıcaklığı ve rüzgar koşulları kombinasyonu nedeniyle aşırı yüzey buharlaşması koşulları altında, yüklenici mühendise nem kaybını en aza indirmek ve SSB korumak için ayrıntılı bir rapor sunmak zorundadır. Bu önlemler; su spreyi kullanımı ile toplam stokları soğutma, damperli kamyonlar üzerinde koruyucu kapaklar, rüzgar etkisini azaltmak için geçici rüzgar kırıcılar, beton karışım suyunun soğutulması ve karıştırma ve son sıkıştırma arasındaki izin verilebilen zamanı azaltma olabilir.

6.6.3 Yağmur Sınırlamalar. Sert mamul için zararlı olacak kadar yağmur yağıyor ise SSB kaplama yerleştirme yapılmayacaktır. Yerleştirme SSB kaplama yüzeyi akıp temizlenmemiş veya bağıl damperli kamyonlar veya silindirler ile takibi ya da pikap hasar görmemiş olması şartıyla hava hafif yağmurlu ve sisli ise devam edebilir. Damperli kamyon kapakları bu dönemlerde kullanılmalıdır. Mühendis yağmur yüzünden yerleştirmenin ne zaman duracağına karar verebilecek tek kişidir.

6.7 Sıkıştırma.

6.7.1 Sıkıştırma yerleştirme işlemleri hemen arkasında başlar ve karıştırma tesisi başında 60 dakika içinde tamamlanır. Bu süre; geciktirici katkı kullanımına, ortamın havasının sıcaklığı, rüzgar ve neme bağlı olarak mühendisin takdirine göre artabilir veya azalabilir.

6.7.2 Yuvarlama. Yüklenici en az belirtilen yoğunluk ve yüzey elde etmek için yapılan titreşimli ve titreşimsiz haddelenin numaralarını ve sırasını açıklamalıdır. Silindirler hareket ederken yalnızca titreşimli modda kullanılmalıdır. Hava basınçlı lastikli silindirler son sıkıştırma sırasında yüzeyi yoğurmak ve kapatmak için kullanılabilir.

6.7.3 Boyuna ve Enine eklemler haddeleme. Silindir taze yerleşmiş şeridin kenarındaki 300 mm içinde komşu şerit yerleşene kadar kullanılmamalıdır. Daha sonra iki şerit birlikte izin verilebilen süre içinde silindirilmelidir. Soğuk bir eklem planlanmış ise, tam şerit haddelenmiş olacak ve soğuk eklem prosedürleri bölüm 6.8.2 'de belirtildiği şekilde takip edilecektir.

6.7.4.uzunlamasına eklem kısımlarının asansör boyunca spesifik yoğunluğu üretmek için gerekli olan haddeleme verilecektir ve eklem boyunca sıkı pürüzsüz bir geçiş oluşur. Titreşim sırasında geride herhangi bir titreşimli yüzey kalırsa haddeleme titreşimsiz veya kauçuk lastik haddelenmesi yapılarak düzeltililecektir.

6.7.5 Silindirlerin hızı SSB kaplamayı kaldırmayacak kadar yavaş olmalıdır. Eğer kaplama kalkacak olursa hemen yerine geri yapıştırılmalıdır.

6.7.6 Büyük silindirlerin erişemediği alanlara bölüm 6.5.9'da belirtildiği gibi uygulama yapılır.

6.7.7 Yoğunluk Koşulları. Alan yoğunluğu testleri, ASTM C 1040 doğrultusu yerine, en kısa sürede doğrudan iletim olmasına rağmen en geç haddeleme tamamlanmasından sonra 30 dakikada yapılmalıdır. Yalnızca nemli yoğunluk değerlendirilmesi için kullanılacaktır. Gerekli yoğunluk, ASTM D 1557 veya 96% 'in altında herhangi bir test ile beş ardışık testin hareketli ortalaması esas eşdeğer test yöntemi ile elde edilen en yüksek nemli yoğunluk değerinin % 98 den az olmamalıdır.

6.8 Eklemler.

6.8.1 Yeni Dikey eklemler. Dikey bir eklem; geciktiriciler veya ortam koşulları kullanımına bağlı olarak ayarlanabilir zamanla, bir bitişik SSB şeritli bir önceki şerit yerleştirilerek 60 dakika içinde yerleştirilir yeni bir eklem olarak kabul edilir. Yeni eklem Özel işlem gerektirmez.

6.8.2 Soğuk Dikey Eklemler. Yeni eklem olarak geçerli olmayan herhangi bir planlı ya da plansız inşaat derzlerinde soğuk derz olarak kabul edilir ve aşağıdaki gibi kabul edilecektir:

6.8.2.1 Boyuna ve Enine Soğuk eklemler. Bölüm 6.7.7 ve tüm şekilsiz eklem minimum yoğunluk gereksinimlerini uymayan oluşan eklemler tam derinliği için dikey olarak kesilmelidir. Dikey kesme maruz kenarından en az 6 (150 mm) olmalıdır. Sıralama iki saat içinde kesilmiş soğuk derz onaylı bir tekerlek kesici, motor greyder veya diğer onaylı yöntemle önemsiz bir kenar topraklarını ortaya çıkması koşuluyla kesilebilir. Sıralama iki saat sonra kesilmiş soğuk derzin elle veya mekanik ekipman tarafından kaldırılması geri kalanı ile SSB kaldırım 1/4 1/3 derinlik kesilmiş testler olacaktır. Testere kesme işlemi herhangi bir modifikasyon veya ikame gösterilmiş ve mühendis tarafından kabul edilmelidir. Eklem kesim tüm fazla malzeme kaldırılacaktır.

6.8.2.2 Soğuk SSB karışımı yerleştirmeden önce, eklem yeri gevşek veya yabancı maddelerden tamamen temizlenmelidir. Dikey eklem yüzü ıslak ve bitişik şerit yerleştirme için nemli bir durumda hemen önce yapılır.

6.8.3 Yeni Yatay eklemler. Çok katmanlı yapı için yatay bir nokta bir sonraki SSB yükü ile önceki yük yerleşimi 60 dakika içinde yerleştirilir ve burası yeni bir eklem kabul edilir. Bu süre geciktirici katkı maddesi kullanımına veya ortam hava koşulları bağlı olarak mühendisin takdiriyle ayarlanabilir. Yeni eklem tüm gevşek malzeme yüzey temizleme önceki ve sonraki yük yerleştirme için yüzeyin nemlendirilmesi dışında özel bir işlem gerektirmez.

6.8.3.1 Yatay Soğuk Yük Eklemleri. Yatay soğuk derz için yük yüzeyi sürekli nemli tutulmalı ve yük yerleştirilmesinden önce tüm gevşek malzemeler temizlenmelidir. Mühendis yükler arasında veya diğer işlemlerde çimento harcı kullanımını gerektirebilir. Ek yapıştırma malzemeleri kullanılırsa, bunlar daha sonra yük yerleştirilmesi için hemen uygulanır.

6.8.3.2 SSB Yük Derzleri. SSB kaplama ve beton yapılar arasındaki derzler soğuk dikey derz olarak kabul edilir.

6.8.4 Kontrol Derzleri (Opsiyonel). Kontrol derzleri SSB kaplama üzerinden önceden belirlenmiş noktalarda yapılmalıdır. Kontrol derz noktaları planda gösterilmiş veya mühendis kontrolünde yapılabilir. İlk derzler mümkün olduğunca üretici tavsiyelerine uygun yapılmalıdır. Geleneksel olarak kontrol derzleri 1/4 derinliğinde kesilir. Kontrol derzleri herhangi bir hasar meydana gelmeden mümkün olan en kısa sürede kesilmelidir.

6.9 Bitirme.

6.9.1 Zemin Pürüzsüzlüğü. Tamamlanmış SSB yüzeyi 3 metrelik bir çizgi üzerinde test edilmelidir. 3 metrelik bu kenar üzerinde 10mm'den fazla sapma olmamalıdır. Yüzey düzgünlüğü belirtilen yüzey toleransı dışında olduğunda yüklenici kendinden tahrikli elmas taşıyıcı kullanılarak tolerans içinde yüzeyi frezeleyebilir. Bu kaplamanın kaldırılması için olmadıkça, son yüzey frezelemesi kabul edilebilir değildir.

6.9.2 Kalınlık. SSB kaldırım kalınlığı planları üzerinde gösterilenden eksi veya artı 1/2 inç (12.5 mm)'den daha fazla olmalıdır. Yetersiz derinliklerdeki beton tamamen kaldırılarak yeniden yapımı sağlanır. Yama kabul edilmeyecektir.

6.9.3 Yüzey düzensizlikleri yukarıda belirtilen toleranslar dışında olduğunda yüklenici, sahibi hiçbir ek ücret ödemediği toleransı karşılamak için yüzey inceltilecektir.

6.10 Kür. Son haddeleme ve sıkıştırma test edildikten hemen sonra, SSB kaldırım yüzeyi 7 gün boyunca sürekli olarak nemli tutulur veya onaylı olgunlaştırma yöntemleri uygulanır.

6.10.1 Su Kürü. Su kürü, püskürtme ağızlıkları şişleme, SSB için tek tip nemli durumu sağlayacak hortumlar, sprinkler sistemi veya başka yollarla soğutma hortumlarıyla su kamyonları ile uygulanacaktır. Bu nem uygulaması bitmiş bir SSB zemine zarar vermeyecek şekilde yapılmalıdır.

6.10.2 Kür Bileşimleri. Belirtilen membran kür bileşiği, ikinci uygulamadan önce izin verilen ilk kat ile, birbirine dik iki ayrı uygulama yapılacaktır. Bu uygulama, tüm SSB kaldırım üzerinde tek tip boşluksuz bir membran sağlamalıdır. Uygulama oranı aşırı ya da yetersiz olduğu tespit edilirse, mühendisin onayı ile yüklenici, azaltmak veya göllenme olmadan boşluksuz bir yüzey elde edebilecek seviyede uygulama oranını artırabilir.

6.10.3 Tabaka Malzemeleri. ASTM C 171'e uygun kür kağıdı, plastik veya diğer tabaka materyalleri SSB zemine uygulanabilir. Kaplamaların yerinde güvenli bir şekilde düzenlenen ve tüm kuruma süresi boyunca SSB yüzeyi ile yakın temas sağlaması için ağırlık dengeli dağıtılmalıdır. Bitişik levha kenarları, basınç yapışkan bant ya da diğer mühendis onaylı yöntemler ile yerinde yapılır.

6.11 Trafik. Yüklenici zemini kuruma süresince araç trafiğine karşı korumalıdır. Tamamlanan bölümler 7 gün sonunda yada mühendis onayı ile trafiğe açılabilir.

6.12 Bakım. Yüklenici tüm iş tamamlanıp kabul edilene kadar SSB zeminin bakımını üstlenmelidir. Bu bakım masrafları yüklenici sorumluluğundadır.

7. Ölçüm ve Ödeme

7.1 Ölçüm. İş dökümanında yer alan tüm maddelerin gerçekleştirilip gerçekleştirilmediği kontrol edilerek SSB alanların ölçümü yapılarak iş dökümanından kontrol edilir.

7.2 Ödeme.

7.2.1 Bu belgede anlatılan çalışmalar tamamlanmış ve kabul SSB metrekaresi başına sözleşme birim fiyat için ödenecektir. Fiyat yerleştirme, sıkıştırma, kür, denetim ve test yardımı ve diğer tüm arazi işlemlerini içerecektir. Ayrıca ödeme karma sözleşmede birim yada küp başına fiyattan (metre küp) veya ton (metrik ton) karışım başına fiyattan yapılır ve SSB malzeme kontrol edilecektir. Fiyat, karıştırma çekme ve tüm malzeme maliyetlerini içerecektir. Bu tür ödeme SSB kaplama tamamlamak için gerekli tüm iş için tam geri ödeme teşkil edecektir.

7.2.2 Test Bölümü. Eğer test bölümü inşa edildiye götürü esasına göre ödeme yapılacaktır. Bu ödeme tüm malzeme, işçilik, ekipman, seferberlik, terhis ve bölüm 6.2 uyarınca test bölümü oluşturmak için gerekli olan tüm diğer masraflar için tam geri ödeme teşkil edecektir.

Portland Çimento Birliği (PCA) kar amacı gütmeyen bir kuruluş olup, yetkili profesyonellerin eğitimleri için bu rehberi tedarik etmektedir. Bu yayın, bütün gerekli lisanslara sahip, bu rapordaki bilgilerin önemini ve sınırlarını idrak etmiş ve bu bilgilerin uygulamadaki tüm sorumluluğunu kabul etmiş etkin profesyonel mühendisler tarafından kullanılmalıdır. Diğer okuyucular uygulamaya geçmeden önce yetkin profesyoneller tarafından yardım almalıdır.

PCA ve üyeleri, özellikle belli bir gayeye yönelik pazarlama için, bu yayınla ilgili olarak hiçbir garanti vermemektedir.



Portland Çimento Birliği
5420 Old Orchard Road
Skokie, Illinois 60077-1083
847.966.6200 Fax: 847.966.9781
www.cement.org

Çimento firmaların portland çimentonun ve betonunun piyasadaki kullanımının artırılması, geliştirilmesi, mühendislik, araştırma ve eğitiminin yaygınlaştırılması için kurulmuş bir organizasyondur.