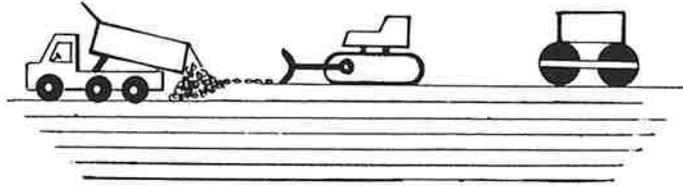


T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü  
Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı



MLZ : 921

# SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJ TASARIM VE İNŞA ESASLARI



HAZİRAN 1999, ANKARA

T.C.  
ENERJİ VE TABİİ KAYNAKLAR BAKANLIĞI  
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü  
Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı

MLZ : 921

# SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJ TASARIM VE İNŞA ESASLARI

**“Guidelines For Designing and Constructing  
Roller-Compacted Concrete Dams”  
(U.S. Department of the Interior BR, 1987)**

(ÇEVİRİ)

Daire Başkanı : Doç. Dr. Ergün DEMİRÖZ  
Daire Bşk. Yrd. : Dr. Yusuf Z. GÜRESİNLİ  
Çeviren : İnş. Müh. Ali ÖZTÜRK

(ÜÇÜNCÜ BASKI)

HAZİRAN 1999, ANKARA



# İÇİNDEKİLER

## SAYFA

1-	GİRİŞ .....	1
1.1-	Silindire Sıkıştırılmış Beton Kavramı .....	1
1.2-	Agrega Seçimi .....	2
1.3-	Bağlayıcı Madde ve Katkı Seçimi .....	3
1.4-	SB Ağırlık Baraj Tasarım Detayları .....	3
1.5	Sıcaklık Kontrolü .....	4
1.6-	İnşa Metodları ve Ekipmanları .....	5
2-	TASARIM VE İNŞAADA GÖZ ÖNÜNE ALINACAK HUSUSLAR .....	5
2.1-	Tasarım Kriterleri .....	5
2.2-	Tabakalar Arasındaki Bağ Dayanımının Geliştirilmesi .....	6
2.3-	Sızma Kontrolü .....	7
2.4	Tabaka Yüzeylerinin Hazırlanması .....	8
2.5-	SSB Üretimi ve Dökümü .....	8
2.5.1-	Genel .....	8
2.5.2-	Karıştırma (Karma) .....	9
2.5.3-	Taşıma .....	9
2.5.4-	Döküm ve Yayma (Dağıtım) .....	10
2.5.5-	Sıkıştırma .....	11
3-	SSB MALZEMESİ .....	12
3.1-	Genel .....	12
3.2-	Agrega Özellikleri .....	13
3.3-	En Büyük Tane Çapı (EBTÇ) .....	13
3.4-	Agrega Tane Dağılımı .....	14
3.5-	Agregada İnce Madde Oranı Tayini .....	15
3.6-	Agreganın Diğer Fiziksel Özellikleri .....	16
3.7-	Bağlayıcı Maddeler .....	17

3.8-	Katkılar -----	18
4-	SSB KARIŞIM TASARIMI -----	20
4.1-	Genel -----	20
4.2-	Kıvam Testleri -----	21
4.3-	Minimum Pasta İhtiyacı İçin İnce Agrega Oranlaması -----	24
4.4-	Minimum Harç İhtiyacı İçin İri Agrega Oranı Tayini -----	24
4.5-	Maksimum Islak Birim Ağırlık Yaklaşımı İle Karışım Elemanları Tayini -----	28
4.6-	Düşük Dozlu SSB Karışım Oranları Tayini -----	36
4.7-	Çimentolu Zemin Metodu İle Karışım Oranları Tayini -----	36
5-	SSB KALİTE KONTROLÜ VE DENEYLERİ -----	40
5.1-	Deneyler -----	40
5.1.1-	Genel -----	40
5.1.2-	Basınç Dayanımı ve Elastik Özellikler -----	41
5.1.3-	Birim Ağırlık -----	41
5.1.4-	Tabaka Birleşimi -----	42
5.1.5-	Termal Özellikler -----	43
5.1.6-	Dayanıklılık -----	43
5.1.7-	İşlenirlik ve Kıvam -----	43
5.2-	Kalite Kontrolü -----	44
	KAYNAKLAR -----	47

# SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJ TASARIM VE İNŞA ESASLARI

## 1- GİRİŞ

### 1.1- Silindirle Sıkıştırılmış Beton Kavramı

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) kabaca çökmesiz, katı kıvamlı, 30 - 60 cm tabakalar halinde serilip vibratörlü silindir ile sıkıştırılan bir beton olarak tanımlanabilir. Özellikle kütle yapıların inşasına uygun olup ayrıca beton ağırlık baraj inşasında tüm dünyada kabul görmektedir.

SSB, beton endüstrisinde en ilginç ve tartışmalı konu olmuştur. Bu görece yeni bir teknik oluşu ve mevcut yaklaşım ve pratiklerin çok çeşitlilik göstermesi neticesidir. Henüz SSB karışım oranları tayini konusunda bir fikir birliği sağlanamamıştır. Herhangi bir mühendislik alanındaki yeni bir tekniğin yeni yaklaşım ve metodları ortaya çıkarması kaçınılmaz ve tabiidir. Başlıca farklılıklar malzemenin yerleştirme metodlarını etkileyen, kıvam ve karışım oranları tayininide görülür. Yeni inşa edilen her SSB barajda, yapının geçirimsizliğini sağlama ve açık yüzeylerin biçimlendirilmesinde değişik metodlar kullanılmıştır. Metodlardaki pekçok farklılık şantiyedeki özgül koşullar ile ilgilidir. Doğal yapı gereçleri özellikleri ve temini (özelliklerle agrega kalitesi) hidrolojik faktörler, yapının amacı ve yapının dış etkilere açıklığı SSB tasarımını etkileyen veya sınırlayan başlıca etkenlerdir. SSB uygulamaları konusundaki çeşitlilikler, ICOLD (International Committee On Large Dams) büyük barajlar uluslararası komitesinin 1985 yılı Lozan , İsviçre'deki toplantısında kabul edilmiştir. Bu çeşitlilik nedeniyle SSB teknolojisinin kullanılan beton tipine bağlı olarak üç gruba ayrılması önerilmiştir. Önerilen grup ve tanımları :

- Rollcrete (Rolkrit): Kazı malzemesi benzeri agregalı ve düşük çimento içerikli beton.
- Lean Concrete (Düşük Dozlu-Grobeton): Normal yapı betonu agregasına yakın kalitede agregalı, düşük çimento içerikli beton.
- High Paste Content Concrete (Yüksek Dozajlı Beton): Klasik yapı betonu agregasına yakın kalitede agregalı ve toplam beton hacminin % 20'si veya daha fazla çimento pastası içeren beton.

Rolkrit, Pakistandaki Tarbela Barajında yapılan çeşitli onarımlarda ve Tayvandaki Shimen Barajı çekirdek dolgusu tesviyesinde uygulanmıştır.

(Lean Concrete) Düşük dozajlı-Grobeton karışımı ise ABD ordu mühendisler birliğince (Corps of Engineers) Oregondaki “Willow Creek Dam” ve Exxon’s şirketince Kolorado’daki “Middle Fork” barajlarında uygulanmıştır.

Yüksek Dozajlı Beton İse İngilterede “Milton Brook Dam” ve ABD Utah’ta Upper Stillwater Dam” projelerinde uygulanmıştır.

Beton ağırlık baraj inşaatlarında kullanılan SSB betonlar, “Düşük Dozajlı Beton” İle “Yüksek Dozajlı Beton” aralığı içine düşer.

## **1.2- Agregası Seçimi**

Agregası kalitesi ve tane dağılımı seçimi iklim koşulları ve SSB dayanım hedefleri gözönüne alınarak yapılır.

Agregası tane dağılımının göstereceği değişkenlik belirgin olarak su ve çimento ihtiyacını ve dolayısıyla dayanımı etkiler. Yapılan son denemeler, klasik beton amacı haricinde üretilen agregaların SSB için kullanılabilceğini göstermiştir. Bu özellikle rolkrit ve düşük dozlu (grobeton) uygulamaları için geçerlidir.

Düşük dozlu grobeton karışımında tane dağılımı sınır aralığı, yüksek dozajlı SSB ağırlık baraj beton agregalarına göre oldukça geniştir. SSB karışımları: % 50-55 oranında iri agregası ihtiva eder. Pek çok durumlarda en büyük tane çapını 3 inç (75 mm) ile sınırlama gereği doğmuştur. Upper Stilwater barajında en büyük tane çapı 2 inç (50 mm) dir. Tecrübeler küçük tane çaplı karışımların yerleştirme sırasında segregasyona daha az meyilli olduğunu ve tabaka yüzeylerindeki birleşimlerde daha az sorun çıkardıklarını göstermiştir.

Barajlarda kullanılacak SSB’ lar % 35 dolayında ince agregası, ve çok az miktarda (plastik ince ) çok ince madde ihtiva eder. Genellikle düşük dozlu SSB karışımları için 200 no elekten geçen çok ince madde oranı, ağırlıkça toplam agreganın % 5’i ile sınırlandırılmıştır. İnce agregası (k<sub>200</sub>) incelik modülü ve tane dağılımı asgari çimento pastası ihtiyacını etkiler.

Gerekli olduğunda boşluk oranını azaltmak amacıyla karışık kum kullanımı veya ince filler ilavesi ekonomik olabilir.

Baraj inşaatı için iyi kalite SSB; iyi kalitede agregası gerektirir. Yüksek kalitede SSB inşaatında kullanılacak agregası özellikleri ilgili ASTM standartlarında belirtilen özellikleri sağlamalıdır. Aksine düşük dayanım ve sınırlı tabaka kaynaşması beklenen işlerde kullanılacak SSB agregalarında ASTM’ye uygunluk aranmaz. Hiçbir durumda kullanılan sıkıştırma ekipmanı ile agregası parçalanmamalı veya zarar görmemelidir.

Alkali agregası reaktivitesi göstermeyen agregası kullanımı oldukça önem arz eder. Aksi durumda düşük alkalili çimento ve özellikli puzzolun kullanımı gerekecektir.

### **1.3- Bağlayıcı Madde ve Katkı Seçimi**

SSB da kullanılacak bağlayıcı maddelerde aranan özellikler klasik yapı betonu bağlayıcıları ile aynıdır. Bağlayıcı madde genellikle portland çimento ve uygun bir puzzolan (genellikle F sınıfı)'dan teşekkül eder. Bağlayıcı madde miktarı projede öngörülen dayanımı sağlarken aynı zamanda hidrasyon ısısını da en düşük seviyede tutacak şekilde ayarlanmalıdır. Bu amaçla mineral filler kullanılabilmesi gibi düşük ısı yayımı ve bağlayıcı özelliği nedeniyle SSB'lar için puzzolanlar özellikle tercih edilir. SSB da kullanılacak bağlayıcı madde seçiminde yapı cinsi ve boyutları, agrega özellikleri, dış koşullar ve bağlayıcı maddelerin temini gibi hususlar esas alınır.

Tip II çimento ile puzzolan kullanımı veya katkı çimento kullanımı hidrasyon ısısı kontrolünü gerekli kılabilir. Sülfat etkisinin önemli olmadığı, ince kesitli yapılarda hidrasyon ısısı problem yaratmayacağı için herhangi bir çimento kullanılabilir.

Ağırlık barajları gibi kütleli SSB kullanılan yapılarda, yapı özgül koşullarına bağlı olarak, 60-240 kg/m<sup>3</sup> bağlayıcı madde kullanılmaktadır. Bazı baraj tasarımlarında iki karışım öngörülmüştür. İçte, daha düşük dozajlı bir karışım ve dış yüzlerde daha zengin karışımlar kullanılmıştır. Genellikle SSB karışımları yaklaşık olarak bir ölçek çimento ve bir ölçek puzzolandan oluşan bağlayıcı ihtiva ederler.

SSB' larda katkı kullanımı henüz tamamiyle aydınlanmamış bir konudur. Mevcut görüş, katkıların SSB'larda özel bir avantaj sağlamadığı yolundadır. Özellikle 200 no elekten geçen madde oranı yüksek karışımlarda ne hava sürükleyici katkı maddesi kullanımı pratik görülmekte nede su azaltıcı bir katkı maddesi kullanımı etkili görülmektedir. Priz geciktirici katkı maddeleri SSB karışımlarında başarı ile kullanılmışlardır.

### **1.4-SSB Ağırlık Baraj Tasarım Detayları**

SSB baraj dış cepheleri çeşitli yollarla işlenebilir. İhtiyaç duyulan cephe tipi, büyük ölçüde barajın maruz kalacağı iklim koşullarına bağlıdır. Şiddetli donma-çözülme koşullarının hüküm sürdüğü bir bölgede, baraj dış cephesi; kalınlığı dış sıcaklık derecesine bağlı olarak belirlenecek hava katkılı klasik beton olacaktır. Cephe yüzleri normal kalıp sistemi, kayar kalıp sistemi veya arkası klasik beton ile doldurulan prekast (ön dökümlü) beton panel ile imal edilebilir. Bazı projeler dış etkiler ile bozulacak betonu da gözönüne alarak, kalıpsız SSB mansap yüzünü ana hattan bir miktar daha geniş tutarlar.

Su geçirimsizliğini artırmak üzere genellikle barajın düşey menba yüzünde klasik betondan bir kabuk teşkil edilir. Soğuk iklim bölgelerinde, yüzeydeki çatlakları hissetmeyecek bir kalınlıkta klasik beton perde ihtiyacı doğar. Japonyada kalınlığı 3 m'ye varan perdeler kullanılmıştır. Baraj memba yüzünden itibaren 1,5-6 m (5-20 feet) derinliğe kadar, SSB beton tabakaları arasına serilecek çimentoca zengin bir yataklama betonu, SSB su geçirgenliğini azaltır. Bu yataklama betonu genellikle, 19 mm (3/4") tane çaplı olup, 25 mm (1") kalınlıkta serilir. "Elk Creek Dam" projesinde bütün SSB tabaka yüzeyine 12 mm (0,5 inç) kalınlıkta bir harç uygulanmıştır. Baraj memba yüzüne elastomerik bir kaplama yapılması halinde ve prekast elemanlar kullanıldığında derzlerin yalıtımı ile su geçirimsizliği sağlanır. SSB kütle ile prekast ön elemanlar arasında elastomerik bir membran kullanımı ile başarılı bir şekilde su geçirimsizliği temin edilebilmektedir. Membran bariyer, kütle betonunda oluşacak çatlaklardan gelecek deformasyonu alacak esneklikte olmalıdır.

SSB barajlarda sızmaları kontrol ve iç hidrostatik basınçları azaltmak amacıyla, genellikle dahili drenler kullanılır. Bu drenler düşey olarak kret ekseninden temel galerisine inen delikler olabilir. Veya herbir kademe hizasında memba yüze yakın bölgeden mansaptaki su toplama noktalarına kadar uzanan yatay delikler olabilir. Şayet baraj stabilitesi hidrostatik basınç azaltılmasına bağlı ise drenaj sistemi yapı ömrü boyunca çalışır durumda tutulmalıdır. Bu, çoğunlukla kapanan deliklerin yeniden delinmesini veya yeni deliklerin delinmesini gerekli kılar. Drenlerin, yeniden delmeye ihtiyaç göstermeyen servis ömrü en az bir yıl olmalıdır. Yüksek hızlarda su akışına maruz yüzeylerin yüksek dayanımlı beton ile inşa edilmesi gereklidir.

SSB barajlarda düşey yönde 30 m aralıklarla galeriler teşkil edilir. Bu galeriler, klasik kalıp yöntemiyle, yatay kayar kalıp yöntemiyle, prekast panellerle veya SSB dökümü esnasında kum ile doldurulan hacmin sonradan boşaltılması yolu ile inşa edilirler. Bu galeriler, ilk olarak temel sondajı ve enjeksiyon perdesi inşasında ve sonra da drenaj sisteminin bakımı ve barajın içten gözlem ve kontrolü amacıyla kullanılırlar.

Ağırlık baraj enkesiti tasarımında, betondaki dayanımın gelişmesi, çalışır durumdaki iç drenaj sistemi ve stabilite faktörleri gözönüne alınmalıdır. Düşük dayanımlı malzeme kullanılması, nedeniye birçok baraj tasarımında mansap şevi 0,8: (Y:D) gibi yayvan bir eğimle sonuçlandırılmıştır. "Upper Stilwater Dam" projesinde yüksek bağlayıcı bir SSB kullanıldığından mansap şevi 0,6: 1,0 (Y:D)\* olarak düzenlenmiş olup daha yayvan bir mansap şevine göre genelde bir ekonomi sağlanmıştır.

Dipsavak kondüvisi inşaatı, SSB dökümü ile en az kesişecek şekilde projelendirilmelidir. İdeal olarak , baraj temelinde bir kanal açılmalı ve kondüvi, klasik beton ile bu kanal içinde inşa edilmelidir. Aksi takdirde, kondüvi baraj temelini kateden normal betonlu bir ano içinde inşa edilmelidir. Betonarme dipsavak su alma yapısı, baraj memba yüzü dışında kalacak şekilde yerleştirilmelidir.

Birçok SSB baraj, kret boyunca ve kapaksız dolusavaklı olarak projelendirilir ki bu, birim genişlikten geçen debiyi en az'a indirir. "Stillwater" projesinde olduğu gibi kayar kalıp kullanılarak basamaklı olarak yapılan şüt kanallı SSB Baraj inşaatlarında mansapta gerekli enerji kırıcı yapı açısından büyük ekonomi sağlarlar.

### **1.5- Sıcaklık Kontrolü**

SSB da sıcaklık kontrolü birkaç yolla sağlanır. Bunlar; çimentonun önemli bir kısmı yerine puzzolan kullanımı; SSB'nun günün ve/veya yılın daha soğuk bölümlerinde dökümü ve SSB karışımının buz kullanılarak veya sıvı azot ile soğutulması gibi. Agreganın kışın tabii olarak soğuması ve ilkbaharda kullanılması ve agrega soğutma sistemleri ile agreganın soğutulmasını da alternatif olarak düşünülebilir.

\* Y: Yatay, D: Düşey

## **1.6- İnşa Metodları ve Ekipmanları**

Uygun inşaat ekipmanları herhangi bir SSB yapı için çok önemlidir. Bir baraj inşasına başlamadan önce yüklenicinin bir SSB deneme dolgusu yapması gelenek haline gelmiştir. Bu, yüklenici için ekipmanın ve döküm tekniğinin uygunluğunu teyit açısından hayati önem taşır. Betonun yerleştirilmesi saatlik bir iş olduğundan beton karma santrali yüksek kapasiteli olmalıdır. SSB dökümü esnasında soğuk derz oluşumuna neden olacak gecikmeler arzu edilmez. Devrilir tip karıştırma haznesi kullanılan beton santralleri SSB üretimi için daha uygun bulunmaktadır.

Yerleştirilmiş bulunan beton tabaka yüzeyinin temiz tutulması da önemli bir husustur. SSB taşıyan kamyonların beton yüzeyine çamur benzeri kirletici taşıması önlenmelidir. Kirlenmeye bir çare olarak üretim tesisinden baraja bir (konveyör) hareketli bant sistemi ile betonun iletimi ve dolayısıyla beton kamyonlarının barajda kalmasının sağlanması, kirlenmeyi önlemesi açısından çok faydalıdır. Betonun serilmesi ekipmanı olarak dozerler, serme elemanı takılmış kamyonlar, sıkreyperler veya adapte edilmiş yol inşa makineleri kullanılabilir. Sıkıştırma işlemi için genellikle 10 ton ağırlığında, düz kasnaklı bir vibratörlü silindir uygundur. Kalıp çevresi ve temel ile birleşim noktalarında küçük el vibratörleri kullanılır. Bu tür el vibratörleri kullanıldığında tabaka kalınlıkları yaklaşık olarak 15 cm'ye indirilmelidir.

## **2. TASARIM VE İNŞAADA GÖZÖNÜNE ALINACAK HUSUSLAR**

### **2.1- Tasarım Kriterleri**

Klasik beton ağırlık barajlar için mevcut tasarım kriterleri SSB ile inşa edilen ağırlık barajların yapısal uygunluğu için bir asgari temel teşkil ederler. Bu kriterler USBR (United States Bureau of Reclamation) nin "Beton kemer ve ağırlık baraj dizayn kriterleri" isimli 19 nolu Mühendislik monografında verilmiştir. Bununla birlikte, klasik beton ile inşa edilen ağırlık barajlar ile SSB ile inşa edilen ağırlık barajların yapısal performansları arasındaki farklılık tasarımcılarca tam anlamıyla anlaşılmalıdır. 19 nolu monograf, klasik kütle betonu metodu ile inşa edilen barajların yapısal performansları üzerinedir. Geleneksel olarak inşa edilmiş kütle betonlu barajların ileri yaşlarda yapılan testlerinde bu yapıların genellikle monolitik (tek parça) bloklardan oluştuğu ve böyle analiz edilmesi gerektiğini göstermiştir.

SSB ile inşa edilen barajlar ise yatay derzlerin tamamına yakın kısmında kaynaşma olup-olmamasına bağlı olarak (monolitik) tek parça olarak davranır veya davranmaz. Proje, önerilen malzeme ve inşa metodu ile inşa edilecek yapının analizde tasarlandığı gibi davranacağını garanti etmekle sorumludur.

SSB basınç dayanımı genellikle beton silindir numune basınç dayanımı ile tayin edilir. Ancak bu sonuç tabakalar arasındaki kaynaşma konusunda bir fikir vermez. Küçük bir barajdaki basınç gerilmeleri için düşük basınç dayanımlı bir beton yeterli olabilir ancak kayma stabilitesi için her bir yatay derzde yeterli kayma dayanımının gelişmiş olması gereklidir. Kesme dayanımının en yüksek olması gereken yer baraj temelidir. Kesme dayanımı genellikle iki bileşene ayrılır; kohezyon ve  $\tan \phi$ . Kohezyon, bağ dayanımının bir ölçüsüdür. Kaynaşmanın olmadığı her yatay derzde kohezyon (bağ) dayanımı sıfır alınmalıdır. Görünen kohezyon dayanımının bir küçük değeri kayma-sürtünmesinden bulunan kesme

dayanımından bulunabilir ki bu derzlerdeki gerçek bağ dayanımı olamayacağından kullanılması uygun değildir. Tanjant  $\phi$ , veya içsel sürtünme açısı, kayma sürtünmesinin bir ölçüsü olup derzlerdeki kaynaşmaya bağlı değildir.

Mansap eğimi; 0,8:1,0 (Y:D) ve tanjant  $\phi$  değeri; 1,0 olan bir barajın; kesme-sürtünme faktörü güvenlik katsayısının 3,0 olması için baraj yüksekliğinin binde yüz on beşi seviyesinde ( $0,115 \text{ h kgf/cm}^2$ ) bir ortalama kesme dayanımı gerektirir. Daha dik mansap şevleri daha yüksek kohezyon kesme dayanımı gerektirir. Çalışan drenaj sistemi, yatay derzlerdeki sürtünme dayanımı ihtiyacını (kaldırma basıncının azalması nedeniyle) azaltacak ve bu arada derzlerdeki normal gerilmeleri artıracaktır.

## **2.2- Tabakalar Arasındaki Bağ Dayanımının Geliştirilmesi**

Tabakalar arasındaki bağ dayanımının geliştirilmesi birçok faktörün ciddi kontroluna bağlıdır. Bu faktörler genel olarak iki gruba ayrılırlar.

i- Karışım tasarımı

ii- Yüzey koşulları

Segregasyonun kontrolü, uygun kıvam ve boşluklu zayıf yüzeylere harç dökümü gibi tedbirler SSB dizaynında birinci derecede gözönüne alınacak tedbirlerdir. Bu ve SSB basınç ve bağ dayanımını etkileyen faktörler III. bölümde tartışılmıştır. Segregasyon ve yetersiz sıkıştırma genellikle tabaka alt kesitlerinde görülür.

Üniform bir tane dağılımı ile 75 mm (3") den küçük en büyük tane çapı seçimi segregasyonunun en az'a indirilmesine yardımcı olur. Daha büyük çaplı agregalar betonun boşaltılması ve serilmesi esnasında yığından ayrılıp yuvarlanarak tabaka yüzeyinde kümeleşip boşluklu bir yapı oluşturur. Böylece oluşan boşluklar, tabaka yüzeyinde büyük ölçüde bağlanma zaafiyetine ve önemli oranda barajdan su sızmasına neden olurlar.

SSB, vibratörlü silindirin belli sayıdaki geçişi (pas) ile sıkışacak ölçüde uygun bir işlenebilirliğe sahip olmalıdır. Şantiyede işlenebilirliği en iyi kontrol yöntemi karışım elemanlarının dikkatli kontrolü ve özellikle toplam su muhtevası ve agregata tane dağılımının kontrolüdür. Modifiye edilmiş (uyarlanmış) bir Ve-be test cihazı, döküm aşamasında işlenebilirliğin tayininde ve laboratuvar karışımı ile şantiyede üretilen beton karışımlarının kıyası açısından çok uygun bir alettir. Düşük çimento pastası ihtiva eden karışımlar ve/veya kontrolsüz gradasyonlu karışımlar hatalı sonuçlar verebilirler. İşlenebilir karışımlar; III. bölümde belirtildiği gibi: 15-30 saniyelik Ve-be sürelerinde yerleşmiş olurlar.

Not : [h(m) alınacaktır.]

### **2.3- Sızma Kontrolu**

SSB bir barajın içinde ve derzlerde meydana gelecek su sızıntısı kontrol altına alınmadığı takdirde; rezervuarın boşalmasına, yüksek kaldırma basınçlarına yenilmeye, mansap yüzünün bozulmasına ve belki de bağlayıcı maddelerin çözülmesine sebep olur.

SSB barajlarda su sızıntısını kontrol etmenin başlıca yolları şunlardır;

- Baraj memba yüzüne su geçirmez bir membran uygulama,
- Baraj memba yüzünde her SSB tabaka ile birlikte yükselen klasik betondan bir perde (kabuk) inşaatı,
- Baraj memba yüzüne yakın bölümde SSB tabakaları arasında özel bir yataklama betonu dökümü veya derz hazırlama prosedürü uygulanması,
- Baraj memba yüzüne yakın, kretten temel galerisine inen iç düşey drenaj deliklerinin açılması ve
- Geçirimsiz SSB derzlerinin projelendirilmesi ve inşaatı.

Baraj memba yüzüne su geçirmez membran, inşaatla birlikte veya doğrudan uygulanabilir. Memba yüze membran uygulanması, yüzeyin temizlenmesi, bir kat astar ve ardından iki veya daha fazla kat esnek membran tabakaları uygulanmasını içerir. Bazı uygulamalarda membran çatlaması, donma veya içten gelen su basıncı ile membranın ayrılması hızlı taşkın suları ile parçalanma veya insanlar tarafından yapılan tahribatlar sonucu bozulmalar görülmüştür. Kentakideki "Winchester" barajında inşaat safhasında membran uygulaması mevcuttur. Prekast alın elemanı ile SSB arasına 1.65 mm (0.065 inç) kalınlıkta bir PVC tabakası yerleştirilmiştir. Bu PVC tabaka prekast elemanlara tespit edilmiş olup, herbir panel derzinde kaynak yapılmıştır. Temelde ise PVC yalıtım tabakaları SSB barajı saracak şekilde uzatılmıştır. Su yalıtıcı PVC tabakalarının uzun dönem performansları henüz tam olarak kanıtlanmamıştır.

Memba yüzde, su tutucuları ve çatlak önleme derzlerini de içeren klasik betondan su geçirimsizliği için inşa edilecek bir kabuk , tatminkar sonuçlar verir. Kabuk kalınlığı, 3 m civarında olduğunda en iyi sonuçlar alınır. Ilıman iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgede, inşa edilecek bu tür bir kabuk yeterli olabilir.

Memba yüze bitişik SSB tabakalarının üzerine dökülecek özel yataklama karışımı, sızmaları önlemeye yardımcı olabilir. Memba yüzüne yakın serilecek ince ve 3 m veya daha fazla genişlikteki yataklama betonu bu iş için yeterli görülmektedir. SSB yataklama betonunun üzerine serilip sıkıştırılır. Yataklama betonunun inşaat safhasında kontrolü ve üniform yayılmasındaki noksanlıklar bu derzlerden sızıntılara yol açar. Yataklama betonu, barajın, çatlak derinliğinin ulaşamayacağı bir derinliğe kadar uzatılmış olmalıdır.

Dahili drenaj sistemi genellikle sızmaları önleme konusunda 30 m'yi aşan barajlarda ikinci bir tedbir olarak tasarlanır. Dahili sızıntıları engellemek üzere baraj içinde bir drenaj perdesi teşkil edilebilir. Sağlıklı sonuç elde etmek üzere bu perde, barajın memba yüzüne yakın olacak şekilde tasarlanmalıdır. Bu perde, merkez noktaları arası; 3 m olacak şekilde inşa edilir veya sonradan delinir. Delikler, bir galeriden veya baraj üst kademesinden önceki bir kademe yüzeyinden delinebilir. Delikler genellikle, sızıntıların toplandığı, ölçüldüğü ve deşarj edildiği temel galerisine kadar uzanırlar.

## **2.4- Tabaka Yüzeylerinin Hazırlanması**

İnşaat esnasında beton dökülecek yüzeylerde “canlı” (taze), işlenebilir; katı, sert ve kaynaşma güçlüğü gösteren yüzeylere kadar bir yelpazeye rastlanır. Bir gün içinde (24 saatte) 3 tabaka veya daha fazla döküm hızı genellikle taze (canlı) yüzeylere döküme izin verir. Günde bir tabaka veya daha az hızda bir döküm, şayet priz geciktiricileri kullanılmazsa özel yüzey hazırlama işlemi gerektirir. Ancak priz süreleri sıcaklık ve karışımın priz alma özelliğine bağlı olarak değişiklik gösterecektir.

Taze beton yüzeyleri, takibeden döküm için yüzeylerin temizliği ve normal kür işlemi haricinde bir hazırlığa ihtiyaç duymazlar. Yüzeyde hareket eden araç ve ekipmanların neden olacağı yüzeyel gevşemeler, silindirin vibratörsüz olarak geçirilmesiyle sıkıştırılabilir.

Günde bir tabakadan daha yavaş dökümlerde genellikle bazı yüzey hazırlama işlemlerine ihtiyaç vardır. Ekipman hareketi nedeniyle gevşeyen malzemeler alınıp atılmalıdır. Yeni tabaka dökümünden hemen önce sertleşmiş eski yüzeyde vakumlu bir aracın dolaştırılması uygundur. Basıncı su ile yüzey temizleme ve hazırlama yöntemi uygun görülmez, tavsiye de edilmez. Taze beton yüzeyinin basınçlı su veya kum püskürtme yolu ile temizlenmesi, gereğinden fazla malzeme kaybına ve kaynaşmayı zayıflatan harçsız bir yüzeye neden olur. İki günden fazla süre geçmiş yüzeyler, ihtiyaç duyulursa düşük basınçlı su ile temizlenebilir.

## **2.5- SSB Üretimi ve Dökümü**

### **2.5.1- Genel**

Kütle betonlu baraj inşaatının, bloklar halinde düşey olarak ilerlemesinin aksine, SSB barajlar bir yamaçtan diğerine yatay olarak ilerler. Bu birbirini izleyen bir yada iki vardiyada tüm yüzeyi kaplayan döküm şekli, malzeme kalite kontrolü, doğru inşaat ekipmanı seçimi ve döküm prosedürü yönünden artan bir güvenilirlik gerektirir. Belirlenmiş beton bileşenleri kalitesinde, karışım miktarlarında veya inşa yöntemlerinde olabilecek herhangi bir değişiklik baraj toplam yapı stabilitesini bozabilir. Örneğin bir hata sonucu bir tabaka betonunda eksik çimento kullanılması veya bir tek derzdeki kirlilik bütün baraj kayma stabilitesini zayıflatır. Kayma dayanımı etkisinin en yüksek olduğu yer baraj temelinde yakın olan bölgedeki derzlerdir. Burdaki yerleştirme tekniği, ekipmanı veya yapı malzemelerini sonradan iyileştirmek olası değildir. Dolayısıyla, barajdaki SSB dökümü, önceden bir test dolgusu veya batardo inşası deneyimleri ile mükemmel bir hale getirilmelidir.

Güvenilir yapı malzemeleri ve etkili inşa yöntemleri her bir uygulama sonucunda daha da geliştirilip ilerletilir. İnşa yöntemleri ile ilgili en önemli konular bu yayında tartışılmıştır. Uzun dönemli yapı performansı ile ilgili verilerle desteklenen değişiklikler yapılanaya kadar SSB baraj inşaatlarında bu önerilere uyulması tavsiye edilmektedir.

### 2.5.2- Karıştırma (Karma)

SSB, hem hazne tipli hem kasnaklı tipli betoniyelele başarılı bir şekilde karılabilir. Bilgisayar kontrollu kesintisiz çalışan, bir karışımdan diğetine hiçbir değışikliğe mahal vermeyen modern karışım tesisleri en uygunu olacaktır. Mikserler, karıştırma yeterliğı deneyi ile tespit edilen etkinlikte ve üniformlukta harman içinde bileşenleri karıştırmayı sağlayabilmeli. Soğutma için buz kullanılacaksa, buzun erime süresi de gözönüne alınarak gerekli karışım süresine bağılı olarak mikser hacmi tayin edilir. Mikserler karıştırma kolları ve paletleri ile haznede harç kalmayacak aynı zamanda sıfır slamplı betonu herhangi bir bozulma olmadan karıştıracak şekilde tasarlanmalıdır.

Mikserlerin uygun miktarda malzeme ile yüklenmesi (doldurulması) mikserden en yüksek randıman alınmasını sağlar. Agreganın hareketli bant ile mikserle verilmesi ve bu esnada su ilavesi de genellikle randımanı artırır. Gerekli görülür ise buz ilavesi de mikserle yükleme sürecinde yapılmalıdır. Sıvı nitrojen ilavesi de SSB betonun soğutulmasında etkili bir şekilde kullanılabilir.

Karışım değışkenlikleri harmanlama ve karıştırma işlemleri ile kontrol altına alınmalıdır. İşlenebilirlik kontrolunda ilk adım, karışım suyunun kontroludur ki bu agregata ne dağılımını da kontrol altında tutar. Kuru bir karışım segregasyona (ayrışmaya) meyilli olup, tabaka alt kesitinde sıkıştırılma güçlükleri yaratır. Sulu bir karışım, her ne kadar en kritik konu olan bağı dayanımını artırıcı olsada yüksek bir yoğunlukta sıkıştırılmaz.

### 2.5.3- Taşıma

SS Betonun iletilmesinde kullanılacak ekipman, beton karma tesisinden çıkacak malzemeyi hızla, segregasyona uğratmadan, işlenebilirliğı azaltmadan ve tabaka yüzeyinde bir kirlenmeye yol açmadan iletilecek kapasitede olmalıdır. Tesisten çıkan SS beton, 15 dakika içinde döküm yerine iletilmelidir.

“Upper Stilwater” barajındaki tecrübeler, beton tesisinden doğrudan döküm sahasına uzanan üzeri kapalı bir hareketli bant sisteminin, öngörülen gerekleri sağladığını göstermiştir. Kova ile beton iletimi segregasyona sebep olması taşıma süresini artırması ve tıkanma problemleri yaratması nedeniyle mümkünse ya hiç kullanılmamalı veya en az’a indirilmelidir. Küçük projelerde (30.000 m<sup>3</sup> ‘ten daha az hacimli işlerde) betonun tesisten doğrudan döküm alanına taşınması ve sonra ön tarafına bir serme elemanı monte edilmiş yükleyici ile dağıtılması başarı ile uygulanabilir. Daha büyük işlerde sürekli bir iletimi sağlamak üzere hareketli bant (konveyör bant) doğrudan beklemekte olan kamyonların içine boşaltılabilir. Bu durumda hareketli bant iletiminde en az iki boşaltım noktası gerekir. Kamyon veya sıkreyper gibi yük taşıma araçları; sürekli kirlenme problemi, baraja giriş noktasında sıkışmış tabakayı bozması, daha uzun süreli döngü, enerjinin düşük randımanda kullanılması ve sürekli bir yol yapımı ve bakımı ihtiyacından dolayı SS betonun karma tesisinden döküm alanına taşınması işinde kullanılması tavsiye edilmezler. Her ne kadar bahsedilen problemlerle tek-tek uğraşmak gerekse de küçük barajlarda ve göletlerde ekonomik kaygılarla kamyonlar kullanılabilir.

#### 2.5.4- Döküm ve Yayma (Dağıtım)

Sürenin ve segregasyon kontrolünün sınırlı olması SSB'nun döküm esnasındaki işlenirliğini en aza düşürür. Hareketli bir bant sistemi ile döküm en ideal fakat aynı zamanda da en pahalı sistem olacaktır.

Daha pratik bir döküm operasyonu hamuleyi hem döküp hem yayabilen kamyonlardan meydana gelir. Sıkreyperler; benzer döküm-serme işlemi yapabilirler, ancak özellikle yamaçlarla birleşim bölgelerinde yeteri esneklik gösteremezler. Bir yayma aracını besleyen bir yük kamyonu başarı ile kullanılır, ancak bu sistemde bir yamaçtan diğerine bir hat izlenmesini ve dolayısıyla bir sınırlı çalışmayı gerekli kılar. İlk döküm şekli olan bir noktaya SSB'nin dökümü ve dozerle yayılması pek tavsiye edilmez, dar bölgelerde yamaçlarla birleşim bölgeleri gibi yerlerde zorunlu görülmesine rağmen, başka bir önlem alınmaz ise böylesi durumlarda segregasyonu önlemek üzere en büyük tane çapı (2") 50 mm ile sınırlandırılmalıdır.

Beton döküm ve serilmesi işlemi, karışımdan itibaren 30 dakika içinde tamamlanmalıdır. Serme işlemi mümkün olan en az geçişle (pasla) tamamlanmalıdır ki, işlenebilme özelliği azalmasın ve yüzeyin kuruması önlenesin.

Tabaka dökümü bir yamaçtan diğerine doğru olmalıdır. Bu, tabaka kenarlarının kurumasını önlemeye yardımcı olur. Tabakalar, şeritler halinde dökülürken ikinci şerit ile ilk şerit arasında bir soğuk derz olmayacak sürede dökülmesine dikkat edilmelidir. Bu süre, karışımdan itibaren 1 saat veya dökümden itibaren 1/2 saat ile sınırlandırılmıştır.

Yayma ve yüzey sınıflandırma bir dozer ile yapılabilir. Tekerlekli yayma ekipmanları tavsiye edilmez. Lazer kontrollü bir bıçak daha sonra çok kalın tabakaya gereksinim duyacak ince tabakalardan kaçınmak üzere tabaka yüzeyi kontrol ve düzeltilmesinde çok yardımcı olur. Dozerlerin sıkıştırılmamış SSB üzerinde hareketi kısıtlanmalıdır. Bir saatten az süreli betonlarda SSB yüzeyinde oluşan bozulmalar yeniden vibrasyon ile giderilmeli, gevşek ve kurumuş malzemeler yerinden alınmalıdır.

Tabaka yüzeyleri genellikle memba yönünde % 2-5'lik bir eğime sahip olmalı ki yüzey temizleme ve ani yağışları drene edebilmek mümkün olsun. Yüzeylerde biriken suları tahliye etmek üzere vakumlu bir araç kullanılabilir. Ani ve şiddetli yağmur durumunda betonlamaya ara verilmeli ve dökülmüş bulunan SSB'ü mümkün olan en hızlı şekilde sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır. Zamanında sıkıştırılmayan ve yağış suyuna maruz kalmış SSB yerinden alınıp atılmalıdır. Yağış suyu SSB'nin yüzeydeki su içeriğini hemen değiştirir ki bu da yüzeyde fazla harç ve vibrasyonlu silindire yapışmalar ile belli olur.

Ortalama tabaka kalınlığı genellikle 30 cm olup, tolerans 2,5-5 cm dir. Bu kalınlıktaki beton bir vibrasyonlu silindir ile sıkıştırılabilir ve çok büyük bir beton santraline ihtiyaç duyulmaksızın bir tabaka 24 saat içinde tamamlanabilir. Daha kalın tabaka dökümü Japonya ve ABD de uygulanmaktadır. Daha kalın tabakalı döküm, yüzeyin yıkanması ve/veya tabaka bileşimini güçlendirmek üzere enjeksiyon yapılması gibi yüzey iyileştirme işlemlerini gerekli kılar. 90 cm ye kadar olan tabakalı dökümler 2-4 katman şeklinde dozerle serilir ve ayrılmış agrega tekrar yığına katılır ve dozerin hareketi ile bir miktar sıkışma da sağlanmış olur. Son sıkışma ise vibratörlü silindirin 10-12 geçişi (pas) ile yapılır. Bitirme işlemi ise lastik tekerlekli silindir veya tablalı vibratörle tamamlanır.

Soğuk havalarda döküm veya sıcak havalarda gece dökümü en uzun SSB döküm zamanını sağlar. Bu tür önlemler, içsel sıcaklık artışını ve dolayısıyla termal çatlakları azaltır. Donma görülen havalarda beton dökümü durdurulmalı ve SSB yüzey sıcaklığı + 2°C' nin altına düşerse yüzey koruma altına alınmalıdır. Don olayının sadece gece saatlerinde oluşması durumunda (sıcak su ile taze beton sıcaklığının artırılması ve hızlı döküm gibi önlemler betonu dondan korumak için önerilen yöntemler olabilir.

#### 2.5.5- Sıkıştırma

Çelik vibratörlü silindirler, betonun sıkıştırılmasında kullanılan ana ekipmandır. Silindirlerin çapları ve biçimleri farklı olabilir. Çift kasnaklı, 10 ton'luk asfalt sıkıştırmada veya zemin sıkıştırmada kullanılan vibratörlü silindir kullanılmıştır. 2200 (devir/dakika) veya daha yüksek frekanslı vibratörler Ve-be zamanı 15-30 s olan veya daha plastik kıvamlı betonların sıkıştırılmasında kullanılabilir. 1700 devir/dakikalık ve yüksek amplitütlü zemin sıkıştırma cinsi vibratörlü silindirler ise daha katı kıvamlı (Ve-be süresi  $\geq 45$  s) betonların sıkıştırılmasına uygun düşer. Vibratörlü silindir in ağırlığı en az 10 ton olmalıdır. Tek kasnaklı, lastik tekerlekli vibratörlü silindirler aynı kalınlıktaki tabakanın sıkıştırılmasında daha fazla sayıda geçişe (pas'a) ihtiyaç duyarlar.

Çift kasnaklı vibratörlü silindirlerin 6 geçişi (pas'ı) mütakiben iki pas vibrasyonsuz geçişi baraj inşaatında yeterli görülmektedir. SSB serilmesinden itibaren 15 dakika, karıştırmadan itibaren ise 45 dakika içinde mümkün mertebe sıkıştırma işlemi tamamlanmalıdır. Şayet 15 dakika içinde bitişik bir şerit dökülmeyecek ise şerit sevi de sıkıştırılmalıdır. Silindire yapışma ve yüzey çatlakları oluşumu genellikle fazla ıslak beton üretiminden ileri gelir ve son aşamadaki vibrasyonsuz pasların geciktirilmesi ile genellikle giderilir.

SSB konsolidasyonunun tespiti aşağıda verilen bazı faktörlerin konsolidasyonunu gerektirir.

i- Harcın ince kısmının alt tabaka yüzeyini kaplamasını,

ii- Üste gelen tabakadaki tüm boşlukların doldurulmasını,

iii- Yeterli dayanımı garantileyecek birim ağırlığın sağlaması gerekir. Bu önlemler içinde en önemlisi harcın alt tabaka yüzeyini kaplamasıdır. Beton dökümü öncesi yüzeye bir şerbet serilmesi yöntemi ile SSB dökümünde düşük birim ağırlık elde edilmesi olasıdır.

Doğrudan sıkışma oranını veren nükleer bir yoğunluk ölçer ile tabaka yoğunluğu ölçümü, tabaka geneli için yeterli bir ifade verebilir, ancak tabaka derzindeki durumu tam olarak belirtmesi mümkün değildir. Deneme dolgudaki durum ile gerçek dökümlerin ortak değerlendirilmesi ve malzemenin kontrolü ile derzlerin kontrol altına alınması en güvenilir yoldur.

Dar döküm alanlarında daha küçük silindirlere ihtiyaç duyulur. Bu tür silindirler genellikle tam kesit tabakayı sıkıştırmaya elverişli olmadığından daha az kalınlıkta ve sınırlı alanlarda kullanılmalıdır. Vibratörlü tokmaklar; kaya ile birleşim hatlarında çok sınırlı alanlarda plaka türü vibratörlü sıkıştırmacılara oranla daha iyi sıkışma sağlarlar.

Sıkıştırma işlemi esnasında betonun gözlenmesi, betonun işlenirliği hakkında önemli bilgiler verir. SSB'dan tam bir sıkışma arzu edildiğinde, silindirin hemen önünde bir miktar plastik malzeme hareketi görülmelidir. Son pas'tan sonra ayak ile sıkıca SSB yüzeyine basıldığında agregalar arasında hiçbir (harçsız) boşluk kalmamalıdır. Boşluk mevcudiyeti olan yüzeyde bir miktar sıkışma ihtiyacı gösteriyor denebilir. İlave sıkışmaya rağmen boşluklar dolmuyor ise beton içindeki harcın yetersiz olduğu ortaya çıkar ki, iri agregalar (kontakt) teması artık daha fazla sıkışmanın imkansızlığını gösterir. Yüzeyde kırılmış iri agregalar görülmesi de katı bir kıvamı ve yetersiz işlenirliğe işaret eder.

### **3- SSB MALZEMESİ**

#### **3.1- Genel**

SSB'nun karışım elemanları öyle tayin edilmelidir ki, vibratörlü silindiri emniyetle taşıyabilecek kadar katı kıvamlı ve dış vibrasyon etkisi ile tüm boşluk hacmini tamamıyla dolduracak kadar bir harca sahip olsun.

SSB imalinde su, bağlayıcı madde (çimento artı puzzolan) ince ve iri agregalar ve katkı maddeleri kullanılır. SSB karışımları agregalar kütleleri içindeki tüm boşlukları dolduracak kadar bir pasta içermelidir. Bu SSB'nu çimentolu zemin (soil cement) ve çimento ile zenginleştirilmiş temel yapılarından ayıran özelliğidir. SSB'da, malzeme seçimi ve karışım tasarımı çok az işlem görmüş kazı malzemesi ve düşük çimento dozajından, tam işlem görmüş agregalar ve orta dozajdan yüksek dozaja kadar değişen bir yelpaze gösterir. "Willow Creek Dam" projesinde kazı malzemesi üç fraksiyona ayrılıp,  $66,4 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı ile kullanılmıştır. "Shimajigawa Dam" projesinde (Japonya)  $130,5 \text{ kg/m}^3$  bağlayıcı ve  $75 \text{ mm}$  en büyük tane çaplı (3") normal beton karışımı kullanılmıştır. "Upper Stillwater Dam" projesi, SSB'nu  $50 \text{ mm}$  (2 inç) en büyük tane çaplı ve  $246 \text{ kg/m}^3$  ( $415 \text{ lb/yd}^3$ ) bağlayıcı bir karışıma sahiptir. Ancak SSB karışım tasarımında henüz bir fikir birliği oluşmuş değildir.

Karışım dizaynında temel prensiplerden biri, agregalar arasında kalan boşlukların harç ile tamamen doldurulmasıdır. Yetersiz harç, boşlukların tam dolmaması, artan hava boşluğu ve segregasyon ile sıkılaşmada güçlük anlamına gelir. Bu da tabakalar arasında yetersiz bağlanma, su sızması ve düşük basınç dayanımı ile neticelenir.

Baraj inşaatlarında büyük kütle betonlarında bir yandan tabakalar arasında kimyasal bağın oluşması arzu edilirken diğer taraftan çimento hidrasyon ısı neticesi oluşacak termal çatlakların en aza indirilmesi hedeflenir. Bu iki hedefin, karışım tasarımında bir çözüme ulaştırılması sıkı bir malzeme kalite kontrolünü gerektirir. Bağlanma ve hidrasyon ısısının bu kadar önemli olmadığı yapılarda karışım oranları tasarımında daha serbest davranılabilir. SSB barajlarda tabakalar arasındaki kaynaşma konusu temel sorunlardan biridir. Kuru karışımlar ve  $38,1 \text{ mm}$ 'den büyük en büyük agregalar tane çapları taze beton ve sertleşmiş beton tabakaları arasında kaynaşma noksanlıkları doğurur. Bu problem tabakalar arasındaki döküm sürelerinin kısaltılması, harç oranının artırılması veya iki tabaka arasına bir yataklama harcı dökümü ile giderilebilir.

### **3.2- Agregada Özellikleri**

SSB da kullanılan agregada; ince (4 nolu elekten geçen - 4,76 mm) ve iri agregadan oluşur. Genel kural olarak SSB'larda iri agreganın toplam agregaya oranı hacimsel olarak: % 50 den fazladır.

Taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin ikisi de agregada özelliklerinden açıkça etkilenir. Agregada özellikleri beton taze durumda iken segregasyon ihtimaline ve işlenebilirliğe ve dolayısı ile sertleşmiş beton özelliklerine tesir eder.

Beton karışımının yaklaşık % 85'ini oluşturan agregada, belirgin bir şekilde sertleşmiş betonun mukavemetini (basınç, çekme ve kesme) elastik özelliklerini, termal özelliklerini (kondüktivite, difüzyon, termal genleşme ve özgül ısı) ve durabilitesini etkiler. Boşluk hacmi ve tane şekli gibi agregada özellikleri betonun harç ihtiyacını belirler.

SS betonda kullanılacak agregalar, Tablo: 1 de verilen standard fiziksel deneyler ile test edilerek seçilmelidir. Uygun agreganın seçimi tasarımda büyük ekonomi ve servis ömrünün uzamasını sağlar.

**Tablo: 1- Beton agregalarının seçimi için yapılan deneyler**

- 
- 1- İri ve ince agregada elek analizi (ASTM : C 136)
  - 2- 200 elekten ( 75 m) geçen ince madde oranı (ASTM : C 117)
  - 3- Beton ince agregasında organik madde tayini (ASTM : C 40)
  - 4- Beton agregasının petroğrafik analizi (ASTM : C 295)
  - 5- İnce agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini (ASTM : C 128)
  - 6- İri agregada özgül ağırlık ve su emme oranı tayini (ASTM : C 127)
  - 7- Agregada birim ağırlık ve boşluk oranı (ASTM : C 29)
  - 8- Sodyum şülfat veya magnezyum şülfat ile dondayanıklılık tayini (ASTM : C 88)
  - 9- Los-Angeles aşınma oranı tayini (ASTM : C 131, 535)
  - 10- Agregada kil toprakları ve parçalanabilir malzeme oranı (ASTM : C 142)
- 

### **3.3- En Büyük Tane Çapı (EBTC)**

En büyük tane çapı SS betonun birçok özeliğini etkiler. Klasik yapı betonunda olduğu gibi en büyük tane çapı büyüdükçe agregada boşluk oranı azalır ve bu da harç ihtiyacını azaltır. Sonuçta agregada üretim işleminde büyük tasarruflara; bağlayıcı madde maliyetinde düşmelere ve termal çatlak oluşumu potansiyelinin azalmasına neden olur. Tane çapını büyütmenin dezavantajı ise öncelikle segregasyon dahil karıştırma ve işlemede görülecek zorluklardır. ABD de pek çok projede EBTC; 19-75 mm (3/8" - 3") aralığında değişir. Japonyada 150 mm (6") EBTC kullanılmış olup, çok sıkı döküm kuralları ve derz iyileştirme işlemleri ile birlikte uygulanabilmiştir.

Kırma agregası kullanıldığında 75 mm (3")'den daha büyük EBTC seçimi ile artan işleme zorluğu ve segregasyonun doğurduğu problemlerden dolayı bir tasarruf sağlanamaz. 75 mm den büyük EBTC seçimi aynı zamanda karıştırmada büyük özen gerektirir, paletli tip ve düşey eksenli tip beton karıştırıcıların kullanılmaması gerekebilir.

Yapı ve yamaçların birleşim yerlerinde küçük ebatlı sıkıştırıcılar kullanıldığında EBTC; 38 mm (1 1/2") ile sınırlandırılmalıdır. 38 mm den büyük tane çaplı beton yığnında ayrışmaya büyük bir eğilim görülür. Bu, beton taşıma ve yayma ekipmanı seçiminde ve sıkıştırılmamış beton tabakalarının teşkili ve iri agreganın uygun şekilde dağılımının sağlanmasının tasarımında gözönüne alınmalıdır. Ayrışmış ceplerin, boşlukları dolduracak yeterlikte harç bulunmaması nedeniyle sıkıştırılmaları çok güçtür. EBTC seçiminde agregası maliyeti çok önem arz ediyor ise yeterli dayanım, bağlanma ve geçirimsizliği sağlamak üzere segregasyonu önleme maliyeti de gözönüne alınmalıdır.

Kütle beton dökümünde, EBTC seçimi konusunda hidrasyon ısısının kontrolü agregası maliyetinden daha önemli ve önceliklidir. SSB'larda EBTC'nin 38 mm den 75 mm ye çıkarılması ile bağlayıcı ihtiyacındaki değişim klasik betonlardaki kadar olmasa bile, yine de % 15 lik bir tasarruf olasıdır. Bu da hidrasyon ısısında % 15'lik bir tasarruf demektir. Çimento yerine en yüksek oranda puzzolan kullanılması ile hidrasyon ısısının % 50 oranında düşürülmesi de mümkündür. Böylece, 75 mm (3") den daha büyük EBTC seçiminde, malzeme maliyeti ve hidrasyon ısısının düşürülmesi gibi gerekçeler yetersiz kalır.

Tabakalar arası bağın geliştirilmesi; segregasyonun etkilerinin azaltılması veya tabakalar arası yüzeyde bir özel işlem; (Elk Creek Dam projesinde önerildiği gibi) bir harç tabakası veya (Middle Fork ve Gallesville Dam projelerinde önerildiği gibi) iki döküm arasındaki sürenin 6 saatten daha kısa tutulması gibi sınırlandırılmalar ile sağlanır.

Klasik yapı betonlarında, EBTC'nin artırılması ile kum oranında sağlanan bir azaltım SSB'larda aynı şekilde geçerli değildir. EBTC : 75-150 mm olan karışımlarda kum oranı yaklaşık olarak % 35'lerde tutulur ki bu hem segregasyonun önlenmesi ve hemde iri agregası arası boşlukların doldurulması açısından gereklidir.

### **3.4- Agregası Tane Dağılımı**

SSB karışım tasarımında klasik betonlara göre en önemli fark agregası tane dağılımı aralıkları ile ilgilidir. SSB'larda tane dağılımı; yüksek dayanımlı klasik yapı betonu tane dağılımı hassasiyetinden; hiçbir sınırlama bulunmayan kazı malzemesi tane dağılımına kadar değişen tane dağılım aralıkları gösterir. Klasik yapı betonu agregalarında tane dağılımı, kum (0-4 mm) için ve iri agregası (4 no 3/4"); (3/4" - 1 1/2"); (1 1/2" - 3") için ayrı ayrı yapılır. İnce agreganın ASTM : C 33'te belirtilen tane dağılımını sağlaması aranır. İri agregası oranı; segregasyon durumu ve 4. bölümde belirtilen yöntemle izah edilen kıvam ölçümleri ile belirlenir.

Agregası tane dağılımı SSB kıvam ve işlenebilirliğini değiştirir. İnce agregası oranının artışı veya azalışı, su ihtiyacı ve işlenirlikteki artış veya azalış ile belli olur. Bazı durumlarda özellikle yağsız karışımlarda, iri agregası tanelerini ıslatabilmek üzere su miktarının artırılması zorunlu olur. Bu, yüksek EBTC'li kırma agregası kullanılması durumunda daha da belirgin hal alır. Bu durum gözle kolayca teşhis edilebilir ve klasik betondaki gibi düzeltilebilir. Japonyada 2,5 cm (1") lik bir harç tabakası üzerine 3-4 ince tabaka şeklinde taze beton serilir

ve oluşan 60-90 cm kalınlıktaki SSB tabaka birlikte sıkıştırılır. Bu tabakaların şekli yüksek EBTÇ seçiminde segregasyonu önler ve daha az bağlayıcı kullanımını olanaklı kılar.

Kazı malzemesi kullanılması durumunda bazen agrega tane dağılımı doğal haliyle sadece 2" ( 50 mm) çaplı elekten geçen, bir sınıf agrega şeklinde değerlendirilir. "Willow Creek Dam" projesinde agrega (1") 25 mm elek altı; (1" - 2") 25 - 50 mm ve (1" - 3") 25 - 75 mm'lik tane sınıflarına ayrılmıştır. Aynı zamanda ince bir kum sınıfı da ilave edilmiştir. "Galesville Dam" projesinde agrega (3/8") 9,52 mm altı, (3/8" - 1") 9.52 mm - 25.4 mm ve (1" - 3") 25.4 mm - 76.2 mm şeklinde sınıflandırılmıştır. (Daha sonra (3/8") 9,52 mm altı malzemenin yetersizliği nedeniyle ince bir kum ilave edilmiştir). Bazı SSB projelerinde sıkışmaya yardımcı olması amacıyla önemli oranda 200 nolu elek altı ince malzeme kullanılmıştır. Bu ince agreganın temini açısından kırma agrega kullanımı yararlı olabilir. Tane dağılımının istikrarlı olması için istikrarlı bir malzeme ocağı temini çok büyük önem taşır. Agreganın absorpsiyon oranı, su içeriği, plastisitesi ve toplam ince madde oranındaki bir değişiklik, karışımın su ihtiyacını ve dolayısıyla sıkıştırılabilirliğini etkiler. Bu da tabakalar arasında kalacak boşluk miktarını ve dayanımını etkileyecektir.

### **3.5- Agregada İnce Madde Oranı Tayini**

Plastik olmayandan düşük plastisiteliye kadar olan ince maddeler [200 no (75 µm) elekten geçen] SSB imalinde başarıyla kullanılmıştır. Plastisite indisi (PI) 4 veya daha az olan ince maddeler inşaat esnasında problem yaratmazlar. Plastisite indisi (PI) 5 ile 7 arasında olan ince maddeler, laboratuvar deneyleri ile yeterince araştırılıp artan plastisitedeki incelerin karışımında topaklamalar yaratmadığı ve malzeme işlenirliğini düşürmediği kanıtlanırsa kullanılabilir. Ancak plastisite indisi 7 den fazla olan incelerin SSB da kullanılması tavsiye edilmez.

Bu yayında kil toprakları olarak kil, silt ve normal karıştırma işlemi ile parçalanmayan kum topaklaşmaları kast edilmektedir. Yüksek oranda kil toprağı içeren SSB karışımları, yapının zayıflamasına neden olur. Karışım esnasında çimento, kil topraklarının içerisine işlememekle birlikte toprak yüzeyini sarar. Buna ilave olarak yüksek oranda kil toprakları SSB karışımı için gerekli ince maddeyi azaltır ve karışım oranlarını değiştirir. Agreganın ocak tayini esnasında, tabii rutubetteki agrega (4 no) 4.76 mm elek ile elenerek muhtemel kil toprağı oranı tespit edilmelidir. Yüzde on veya daha fazla oranda kil toprağı mevcudiyeti (ıslak kütle olarak) inşaat esnasında problemler ile karşılaşılacağına işaret eder.

Yüksek oranda çok ince madde (200 nolu elekten geçen) ihtiva eden karışımlar karışım esnasında veya doğal olarak kil, veya silt toprakları oluşturma eğilimi taşırlar. SSB karışımında bu tür bağlayıcısız topraklar yapışmada ve dayanımda zayıflatıcı rol oynamaları, (özellikle hidrolik yapılarda) kabarmalar, düşük dayanıklılık, karıştırma ve işlemede görülen (mikser paletleri ve hareketli banta yapışarak verimi düşürmeleri gibi) olumsuzluklar nedeni ile arzu edilmezler. Taze betonda, kil toprakları fasülye tanesi büyüklüğünde olup zamanla bağlayıcısız inceleri oluştururlar. Bu partiküller yüksek oranda su emme özellikleri ile taşıma esnasında taze SSB işlenebilirliğini düşürür ve sertleşmiş betonda da donma-çözülme etkileri ile çok çabuk bozulurlar. Agreganın yığıını içinde kümeleşen bu topraklar karışım esnasında dağılarak SSB su ihtiyacını artırabilirler.

SSB karışımlarında müsadde edilen en yüksek ince madde oranı; ince madde özelliğine bağılı olarak büyük farklılıklar gösterir. Genellikle “kayatozu” ve “kıırma ince” madde; kazı malzemesi incesine nazaran daha yüksek oranda kullanılabilir. USBR’ce denenen kazı malzemeli beton numuneleri ocaktaki ince madde oranı değişimine bağılı olarak çok farklı neticeler vermiştir. ASTM’deki tane dağılımına uygun, temiz ince agrega ile yapılan SSB’nin su ihtiyacında fazla bir oynama görülmemiş olup özellikle çekme dayanımında bir artış tespit edilmiştir. Kıırma agregalı SSB’lerde çok ince madde; kuma oranla, kütlece % 15 ile sınırlandırılmalıdır. Bu, yaklaşık olarak 38 mm - 75 mm tane çaplı karışımlarda toplam agreganın % 5’i ne tekabül eder. Kazı malzemeli karışımlarda çok ince madde oranı ASTM : C 33 de verilen sınır değerlere (kumda en çok % 5) (ocak istikrarı ve ince madde kalitesi ile eşit yapışma ve sıkışma sağlandığı tespit edilmedikçe) uymalıdır.

Tabakalar arası bağı, sıcaklık gelişimi ve dayanıklılık açısından daha geniş aralıklar öngörülen barajlarda, 200 nolu elekten geçen çok ince madde oranında olabilecek değişimlerinde gözönüne alarak çimento dozajı artırılmak koşulu ile daha yüksek oranlara izin verilebilir.

İnce madde su absorpsiyonunun SSB’ nun su ihtiyacı ile işlenirliğine etkisini araştırmak üzere yıkanmış agregalı testler yapılması tavsiye edilir. Bu; 200 no elekten geçen çok ince madde ihtiva eden veya etmeyen (ince agregaların) kumların absorpsiyon oranlarının karşılaştırılması ile yapılabilir. Net su-çimento oranının tespiti amacıyla karışımdaki serbest su miktarının tayini için, ince madde absorpsiyon oranının hassasiyetle tespiti zorunludur.

### **3.6- Agreganın Diğer Fiziksel Özellikleri**

Agrega ocağının seçimi ve karışım oranlarının tayini amacıyla tane dağılımından başka Tablo: 1 de belirtilen agrega fiziksel özelliklerinin tespiti gereklidir. Örneğin, SSB karışım oranlarının hassas tespiti ve taze betonun en büyük birim ağırlığını sağlamak üzere agrega özgül ağırlığı ve su emme oranlarının bilinmesine ihtiyaç vardır. Dayanım sonuçlarının analizinde net su-çimento veya su-bağlayıcı madde oranı için serbest su miktarının bilinmesine ihtiyaç vardır.

SS betonunu en az çimento pastası kullanarak dizayn etmek üzere ince ve iri agrega boşluk oranı tespiti aynı zamanda büyük ekonomi sağlar. En az çimento pastası ve harç içeriği için karışım tasarımı, IV. bölümde izah edilecektir. Boşluk oranı; kuru şişlenmiş birim ağırlık deneyinden (ASTM : C 29) elde edilir.

Daha yüksek boşluk oranlı agregalar en yüksek oranda sıkışma ve bağı için daha fazla oranda çimento pastası ve harça ihtiyaç gösterirler. Agregata taneleri arasındaki boşlukların tam dolmaması, çakıl tanelerinin üst üste gelmesi ve sonuç olarak birim ağırlıkta azalma, dayanımda düşme, segregasyon ve daha yüksek geçirgenlik ile sonuçlanır.

Çoğu SSB yapısı ve özellikle sert iklim koşullarına açık SSB’lerde agreganın dayanıklılığı ve sağlamlılığı çok önemlidir. Agreganın bu yapısal özelliklerinin tayini için donma çözülme deneyi’ (ASTM : C 535 ve C 131) den faydalanılır. Sodyum sülfat ile don deneyi neticesinde yüksek oranda kayıplar, agregada ıslanma-kuruma; donma-çözülme tesirleri ve sıkıştırma esnasında tanelerin parçalanma yoluyla yapıyı zayıflatacağı ihtimali olduğuna işaret eder. Yüksek oranda aşınma kayıpları da SSB’ nun karışım, taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri esnasında aşırı agrega parçalanmaları olabileceğini gösterir.

SSB'nun uzun süreli bir tahribat etkeni olan alkali reaksiyonuna yeterli dayanımı olmalıdır. Betonda arzu edilmeyen alkali silika ve alkali-karbonat reaksiyonlarının tespiti bakımından agregada petrografik analiz (ASTM : C 295) yapılmalıdır. Alkali reaktivite, puzzolan veya alkali çimento kullanımı ile önemli ölçüde azaltılabilir.

### **3.7- Bağlayıcı Maddeler**

Bağlayıcı maddeler çimento, puzzolan ve katkılı maddeleri içerir. Bu yayının amacı doğrultusunda, sadece çimento ve puzzolanlar sözkonusu edilmiş, özellikle çimentolar ve F sınıfı uçucu kül puzzolanlarına değinilmiştir. Küçük beton tesisi ile inşa edilen küçük barajlarda hidrasyon ısı bir miktar önem arz ediyor ise katkılı çimento kullanımı uygun bir seçim olacaktır.

SSB da bağlayıcı madde seçimi (çimento+puzzolan) yapının boyutları ve amacı ile dış koşullar ve agregata özelliklerine bağlıdır. Her türlü çimento ve puzzolan kullanılarak SSB üretilebilir. Sülfat etkileri ve alkali agregata reaktivitesine karşı bağlayıcı madde seçiminde klasik beton yapım kurallarına uyulmalıdır.

SSB dayanımı, (kalitesi istikrarlı agregata kullanılan) çok önemli ölçüde çimento, puzzolan ve su oranına bağlıdır. Çimento tipinin, hidrasyon ilerleme derecesine ve bağlı olarak dayanım kazanma oranına, dolayısıyla da erken yaşlardaki dayanım üzerinde çok önemli etkisi vardır. Düşük ilk dayanım kazanan birçok çimento tipi, 28 günden sonraki yaşlarda; gittikçe artan dayanım gelişmesi gösterir.

Sıcaklık artışının önem arz ettiği büyük hacimli SSB karışımında düşük ısı çimento veya çimentoya puzzolan katkısı önerilir. Kütle içinde yayılan ısı, karışımın toplam bağlayıcı miktarı ve yer değiştiren puzzolan oranı ile ilgilidir. SSB yapıda hiçbir soğutma yapılmadığında hidrasyon ısı önem kazanır. Normal koşullar altında, düşük dayanımlı ve düşük bağlayıcı ile inşa edilen yapılarda önemli boyutlarda termal çatlaklar görülmez. Daha yüksek dayanımlı ve dolayısıyla yüksek bağlayıcılı karışımlarda termal çatlakları önlemek üzere daha yüksek oranda puzzolan-çimento yer değiştirmesi yapılır. Bir yılda 35 Mpa (5000 lb/in<sup>2</sup>) ve 5 yılda 49 Mpa (7000 lb/in<sup>2</sup>) dayanımlı SSB karışımında % 75 oranında uçucukül-çimento yer değiştirmesi başarı ile uygulanmıştır. Çimento tipi seçimi; proje mukavemeti ve bu mukavemetin hangi yaş için istendiğine de bağlıdır. Dahası, dış koşullar ve agregata reaktivitesi hesaba alındığında belli kimyasal bileşime sahip olması da gerekecektir. Kütleli SSB yapılarda düşük ısı çimentolar (tip II gibi) veya katkılı çimentolar önerilir. Düşük ısı çimentolarda dayanım kazanma hızı standart çimentolara göre daha yavaş olmasına rağmen SSB nihai dayanımında herhangi bir tolerans gösterilemez.

SSB da kullanılacak bir puzzolan seçimini; onun ilgili standarda uygunluğu, betonda göstereceği performans ve proje mahallinde temin edilebilme imkanlarına bağlıdır. SSB inşaatlarında puzzolan kullanımı, dayanım kaybı olmaksızın ısı gelişimini azaltması bakımından, 180 gün sonrası dayanımını artırması ve harç hacmindeki artış yoluyla sıkıştırma işlemini kolaylaştırması açılarından başarı sağlar. Puzzolan ile çimento yer değiştirilmesi; hacimsel olarak % 30 ile % 75 arasında bir oranda (öncelikle F sınıfı puzzolanlarda) olmaktadır. Uçucu kül: (küresel şeklinden dolayı) özellikle standart gradasyonlu kum içeren SSB'larda ince madde temini yolu ile sıkışmaya yardımcı olur.

En az pasta hacmi için karışım tasarımında, puzolan veya çok ince madde ilavesi için temel bir gerekçede, su ve çimento ile doldurulması gereken boşlukları doldurmalarıdır. Boşluk hacminin su ile dolması açıkça dayanımda düşme ile sonuçlanır. “Tennessee Valley Authority” kurumunca yıllardır ince agrega veya çimento yerine ikame edilen uçucu küllerin reaksiyonu için çimentodan ayrılan serbest kirecin çok küçük bir miktarının bile yeterli olduğu görülmüştür. Yapılan testler puzolanik aktivitenin ilerleyen yaşlarda da devam ettiğini göstermiştir. Puzolanlar sadece boşluk doldurmakla kalmaz aynı zamanda dayanım gelişimine de iştirak ederler. Puzolanların ısı gelişimine katkısı uçucu kül/çimento oranının tersine olumsuzdur. Belirli bir dayanım için (gerekli dayanımı sağlamak koşulu ile) en düşük çimentolu karışım, en düşük sıcaklık artışı ile sonuçlanır.

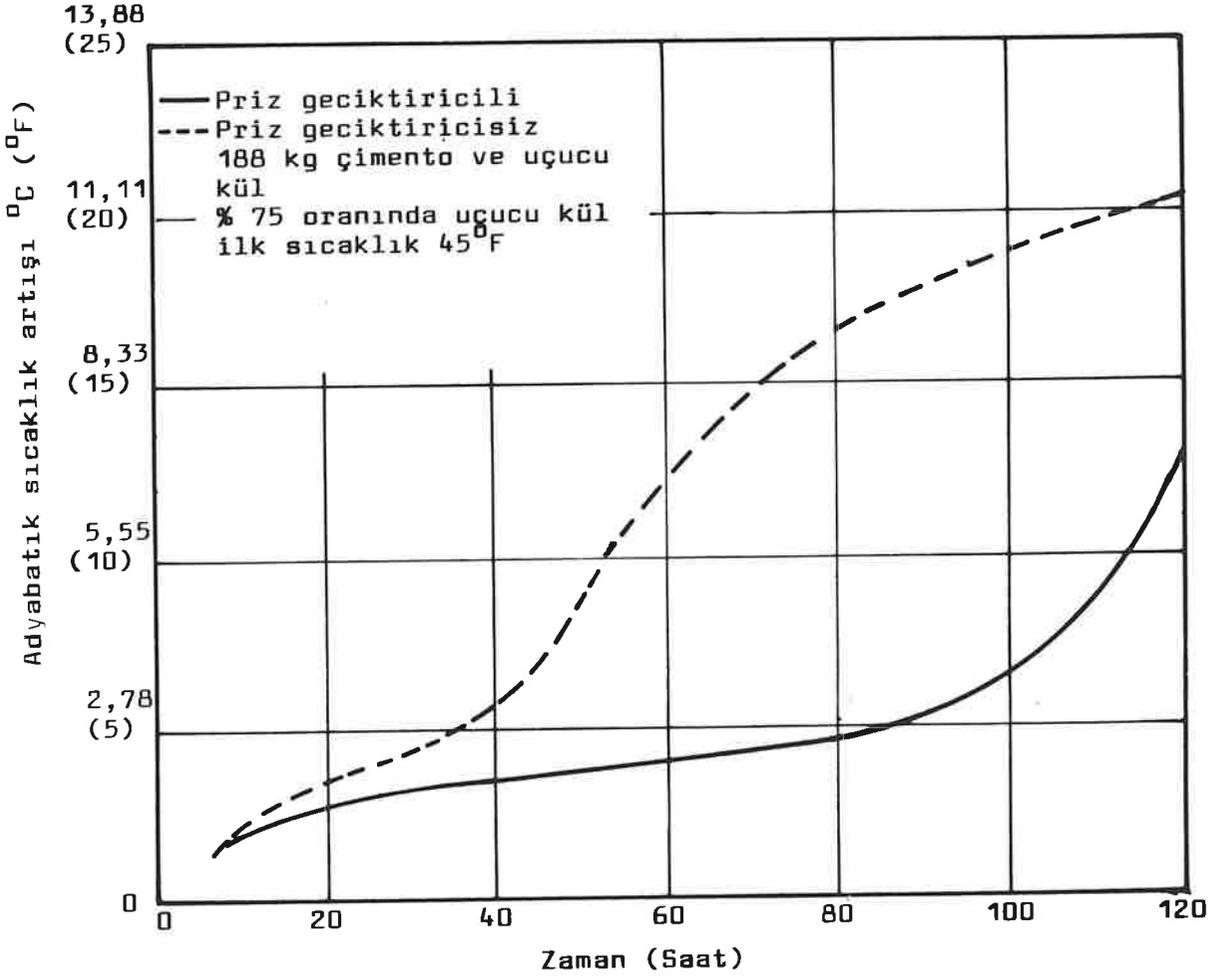
Puzolan ihtiva eden betonların erken yaşlardaki dayanım azalması iyi bilindiğinden optimum puzolan oranı, erken yaşta erişilmesi gereken dayanım esas alınarak belirlenir. Bununla birlikte uzun süreli dayanımın esas alındığı kütleli SSB uygulamalarında önemli oranda ikame mümkündür. “Galesville Dam” projesi SSB testlerinde 60-180 kg/m<sup>3</sup> (100-300 lb/yd<sup>3</sup>) hacimce % 50 oranında uçucu kül ihtiva eden bağlayıcı kullanıldığında, 180 gündeki basınç dayanımları, sadece çimento kullanılanlara oranla daha yüksek değerler vermiştir.

Bir puzolanın kalitesi, puzolanın bağlayıcı olarak etkinliği ve belirli bir dayanım için çimento ile ikame oranı ve puzolanik aktivitesine bağlıdır. Bir puzolanın kullanımında ekonomik avantaj değerlendirmesi puzolan maliyeti, temin edilebilirliği ve çimento ile reaktivitesi gözönüne alınarak yapılmalıdır. Bağlayıcı olarak kullanımının dışında, düşük kaliteli puzolanlar filler malzeme olarak ve sıkışmayı kolaylaştırıcı etkisinden dolayı ince madde noksanlığını tamamlayıcı olarak kullanılır.

Çimento ve puzolan tane aralığında ilave ince malzeme içeren karışımlarda, belirli bir yaş için gerekli dayanımı sağlaması için su/bağlayıcı (W/C+P) oranının bir miktar azaltılması gerekir. Bir harcın hacminin % 20'sinden fazlasını bağlayıcılar (çimento+puzolan) oluşturduğunda, akıcılığı sağlamak üzere gereken su ihtiyacı hızla artar. (Bak şekil.1). Böylece bağlayıcı oranı artırımına rağmen, dayanımın düştüğü bir noktaya ulaşmak mümkündür.

### **3.8- Katkılar**

Birçok SSB uygulamasında, su ihtiyacını azaltmak (ASTM:C 494, tip A) ve priz süresini geciktirmek (ASTM:C 494, tip B ve D) üzere kimyasal katkı maddeleri önerilmektedir. “A” tipi katkı, ancak temiz kum ve çakıllı karışımlarda kullanılır. Yüksek oranda 200 no elek altı bulunduran, düşük su içerikli karışımlardaki işlenebilirliğe etkinliği konusunda soru işaretleri mevcuttur. Tip B ve D katkıları SSB karışımlarının priz alma sürelerini geciktirmede başarı ile kullanılmıştır. Bu yolla SSB tabaka yüzeyi işlenebilir durumda tutularak daha iyi bir kaynaşma sağlanabilir veya geciktiricisiz ortaya çıkacak hidrasyon ısısının tutulmasında yardımcı olabilir. Şekil. 1’de, priz geciktiricili tip D ve su azaltıcı tip A katkılı iki karışıma ait hidrasyon ısısı gelişimi görülmektedir. Yüksek uçucu kül oranlı SSB karışımlarında, katkılar bağlayıcı toplam külesine oranla olduğu için priz süresinde önemli gecikmeler göstermektedir. Bu nedenle, kimyasal bir katkı sadece çimento ağırlığına oranla hesaplanmalıdır.



Şekil 1. Priz geciktiricili ve geciktiricisiz SSB laboratuvar karışımlarında adyabatik sıcaklık artışı. [29]

SSB karışım tasarımında, hava sürükleyici katkı maddesi kullanımı sınırlıdır. Pekçok geleneksel hava sürükleyici katkı ilave metodu ile SSB'a hava sürüklemeye çok az başarı sağlanmıştır. Şayet SSB'a hava sürükleme mümkün olsaydı, donma-çözülme etkilerine dayanıklılıkta önemli yarar sağlayacaktı ve muhtemelen işlenebilirliği de artıracaktı. SSB'a hava sürüklemekle donma-çözülme dayanıklılığın artışına dair elde sınırlı veri mevcuttur.

## 4. SSB KARIŞIM TASARIMI

### 4.1- Genel

SSB yapılar için yapılan karışım tasarımları oldukça değişiklik gösterirler. Bu metodlar üç ana kategoride gruplandırılabilir.

- i- Kıvam ölçümü klasik kütle betonuna benzer şekilde yapılan karışım tasarımı,
- ii- Düşük dozlu SSB karışım tasarımı,
- iii- Zemin sıkıştırma metodu ile yapılan karışım tasarımları.

İlk iki metod genellikle SSB baraj yapımında, son zamanlarda baraj yüzeylerinde ve bazı döşemelerin inşasında kullanılmıştır.

SSB karışımları, klasik kütle betonlarına benzer şekilde, değişen çimento, su miktarları ve agrega ile amaçlanan bir dayanım ve işlenebilirliği sağlamak üzere oranlanır ve tasarımlanırlar. Bu metod, derz bileşimlerinin kritik olduğu belirli bir dayanımın (genellikle 105 kgf/cm<sup>2</sup> den fazla) elde edilmesinin zorunlu olduğu ve termal ısı gelişiminin gözönüne alınması gerektiği yerlerde tavsiye edilir. Karışımlar mutlak hacim esasına göre malzeme miktarları ve bağlı olarak mutlak hacimleri üzerinden, birim beton için, (1m<sup>3</sup>) oranlar ve miktarlar hesap edilir. Belirli bir işlenebilirlik düzeyi için her bir eleman oranı değiştirilerek kıvam testi ile optimize edilir. Karışımlar, katı sınır değerler ile kontrol altına alınmalı ki, çeşitli değişkenlikleri en aza indirerek ekonomi sağlanabilsin.

Karışımlar, belirli bir yaş için öngörülen basınç, kesme veya çekme dayanımı gibi özgül kriterler gözönüne alınarak yapılır. Japonyada birkaç barajda 90 günlük basınç dayanımı esas alınarak karışımlar hesap edilmiştir. Oregondaki "Elk Creek Dam" projesinde karışımlar 18 aylık basınç dayanımı: 10,5 Mpa esas alınarak yapılmıştır. "Upper Stillwater Dam" projesinde SSB tasarımı, derzlerde 1 yıllık direkt kesme dayanımının: 1,26 Mpa değeri esas alınarak karışım oranları belirlenmiştir. Pamo Dam projesi beton elemanları 1 yıllık yarmada çekme dayanımı: 2.45 Mpa olacak ve deprem yüklerini alacak şekilde belirlenmiştir.

Düşük dozlu SSB karışımları, görece sabit tane dağılımlı agrega, düşük bağlayıcı madde içerikli ve inşaat sırasında görsel muayenede "optimum kıvam" verecek şekilde değişen su miktarları ile hesaplanır. Yağsız karışım hesabı: 1 yılda 7 Mpa (100 lb/inç<sup>2</sup>) gibi düşük denebilecek basınç dayanımını sağlayacak şekilde geliştirilir. Tasarımda, birçok SSB baraj yüzeyinde görülen erozyon ve dış koşullara dayanım düşüklüğünün yol açacağı aşınmayı karşılamak üzere mansap sevi bir miktar geniş tutulur. Genellikle agrega işleme maliyetinin düşürülmesi ve hızlı döküm sayesinde tasarruf sağlanmaktadır. Yağsız SSB tasarımında esas kaygı sertleşmiş tabaka derzlerindeki kaynaşma ve buralarda yetersiz

harçtan ötürü oluşabilecek su geçirgenliği konularındadır. Bu sorunların üstesinden gelebilmek için, tabakalar arasında geçen süre en az olacak hızda, SSB dökümünün yapılması (dış sıcaklığa bağlı olarak yaklaşık 6-12 saat) veya ekstra derz iyileştirme işlemleri, harç tabakası veya yataklama betonu dökümü gibi önlemlerin alınması gerekecektir.

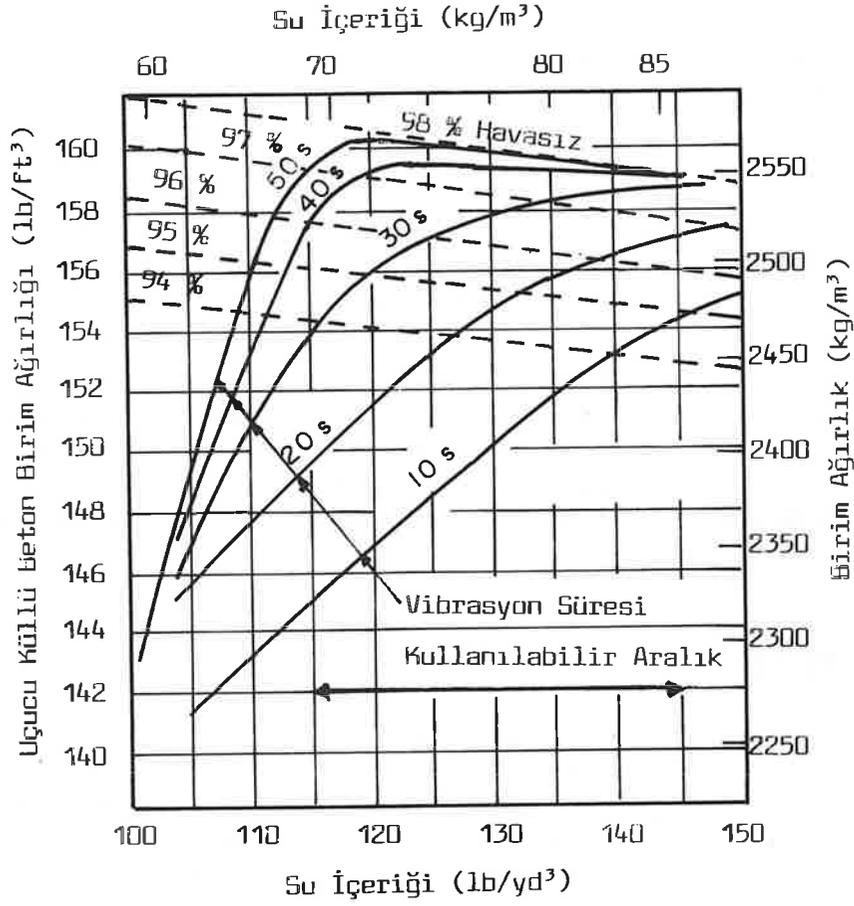
Bazı SSB karışımları, “soil cement” çimentolu zemin sıkıştırma teknolojisi kullanılarak dizayn edilir. Zemin, (agrega) kuru ağırlığı esas alınarak belirli oranda çimento veya bağlayıcı ile karıştırılır. Değişik rutubet oranlarında 5 ayrı SSB karışımında laboratuvar sıkışma oranı tespit edilir. En yüksek laboratuvar kuru birim ağırlığı ve optimum rutubet oranı karışım hesabında esas alınır. Bu yöntemin avantajı basitleştirilmiş bir yolla ve ucuz bir şekilde küçük işlerde kullanılabilmesidir. Bu yöntemin dezavantajı; rutubet oranının karışımında kullanılan zemin cinsine bağlı olarak önemli değişiklik göstermesi, test numunelerine uygulanacak sıkıştırma enerjilerinde olabilecek farklılık, rutubet oranını tayin edecek metod ve su/bağlayıcı (W/c+p) oranındaki değişikliklerdir. Rutubet oranının etüvde kurutma ile hassas bir şekilde (çimento hidratasyonu nedeni ile) tespit edilememesi nedeniyle sadece hesaplanan rutubet oranı kullanılmalıdır.

#### **4.2- Kıvam Testleri**

Belirli bir proje mukavemetini sağlayan, sıkışma için optimum işlenebilirliği veren karışım elemanlarının belirlenmesi, Japonya'daki Shimajigawa, Tamagawa ve Pirica barajlarında, “Bureau of Reclamation”ın Upper Stillwater barajında ve COE'nin “Elk Creek” barajında kullanılmıştır. Uyarlanmış (modifiye edilmiş) Ve-be sıkışma testi, kıvam tespiti ve agrega oranlamasında esas alınmıştır. Ve-be test aleti; frekansı ve amplitüdü belirli bir tabla ile onun üzerine sabitlenmiş silindirik 9.4 litrelik bir çelik kaptan oluşur. Gevşek SSB numunesi Ve-be aleti kabına konur ve 9,1 veya 22,7 kg'lık (20 veya 50 pound) bir ilave yük altında tamamen sıkışana kadar vibre edilir. Ve-be süresi, işyerinde vibratörlü silindir ile yapılan testler ile kıyaslanmak üzere belirlenir. Optimum süre, ıslak birim ağırlık esasına göre nükleer birim ağırlık cihazı ve karotlar ile belirlenir. Optimum Ve-be süresi; karışım oranları, özellikle su miktarı, EBTÇ, kum miktarı ve 200 no elekten geçen miktarca etkilenir. Sabit agrega oranlı, 38 mm EBTÇ temiz kumlu karışımlar genellikle sıkışma için 15-30 saniye süreye ihtiyaç duyarlar. EBTÇ 75 mm (3”) olan “Elk Creek Dam” projesindeki, yüksek ince maddeli (200 no elekten geçen) testler, 9,1 kg (20 lb) lik ilave yüklü Ve-be cihazında sıkışma için 20 saniye süreye ihtiyacı duymuştur.

Kıvam testi uygulayan karışım tasarımı metodlarında genellikle su içeriği, bağlayıcı madde miktarı veya agrega miktarı gibi bir kısım parametreler sabit olarak alınır ve belirli bir kıvam düzeyini elde etmek için diğer parametre değiştirilir. Bu yolla tüm elemanlar optimize edilerek amaçlanan taze ve sertleşmiş beton özelliklerine ulaşılır. Segregasyonu önleme veya derz birleşimlerini güven altına almak maksadıyla karışımında bir miktar ekstra pasta veya harç kullanımı yararlı olabilir.

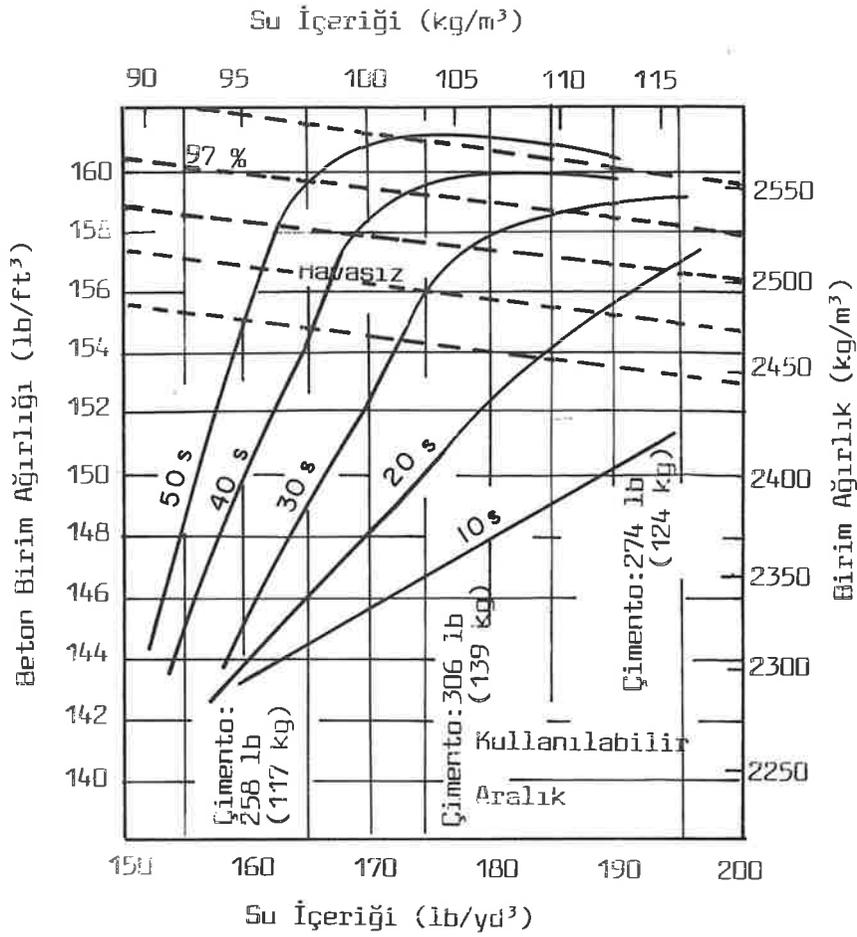
Şekil : 2 ve 3'te sıkıştırılmış uçucu küllü beton ile portland çimentolu betonun birim ağırlığına vibrasyon süresi ve su miktarının etkisi görülmektedir. Havasız birim ağırlığa oranla maksimum birim ağırlığın, yaklaşık 50 saniye dolayında ve artan vibrasyon süresine bağlı olarak arttığı görülmektedir. Şekil : 2 de, uçucu küllü betonun su içeriğinin alt ve üst sınır değerlerinin: 68 - 86 kg/m<sup>3</sup> (115-145 lb/yd<sup>3</sup>) optimum olarak: 77 kg/m<sup>3</sup> olduğu



Bileşenler	Ağırlık LBS (kg)	Hacim Ft <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
1 1/2" (38 mm) EBTÇ	2556 (1159)	14.5 (0.41)
Kum	1360 (617)	7.9 (0.22)
Uçucu Kül	336 (152)	2.34 (0.066)

NOT: Kırılmış agregaya kullanılmıştır.

Şekil:2- Uçucu küllü betonda su içeriği ve vibrasyon süresinin sıkıştırılmış birim ağırlığa etkisi. |19|



Bileşenler	Ağırlık LBS (kg)	Hacim Ft <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )
1 1/2" (38 mm) EBTÇ	2556 (1159)	14.5 (0.41)
Kum	1293 ( 587)	7.51(0.21)

NOT: Kırılmış agrega kullanılmıştır.

Şekil:3- Portland çimentolu betonda vibrasyon süresi ve su içeriğinin sıkıştırılmış birim ağırlığa etkisi. |19|

izlenebilir. Portland çimentolu betonda ise (Şekil:3) sınır değerler: 100 - 118,6 kg/m<sup>3</sup> (170-200 lb/yd<sup>3</sup>) ve optimum olarak 109 kg/m<sup>3</sup> (185 lb/yd<sup>3</sup>) tür. Uçucu küllü çimento kullanımı durumunda, aynı agrega ve bağlayıcı içerikli betonların optimum değeri, uçucu kül oranına bağlı olarak yukarıda verilen iki değer arasında bir yerde bulunacaktır.

Japonların (RCD) SS baraj karışım oranlaması aynen USBR (Amerikan) sistemine benzer. İşlenebilirliğin tayini için EBTÇ esas alınarak iki Ve-be aleti; biri 38 mm (1,5 inç) diğeri 150 mm (6 inç) için kullanılmaktadır. Vibrasyonla sıkışma süresi, VC değeri olarak alınır. Şekil: 4, sabit bağlayıcı içeriğinde su miktarı değişimi ile VC değerindeki değişiklikleri göstermektedir. Su miktarı arttıkça VC değeri düşer, ancak çok düşük VC değerli betonda vibrasyon sonrasında betondan su salma (kanama) olayı görülebilir. VC değeri, agrega miktarlarına, karışım oranlarına, vibratörlü silindirin etkinliğine, proje boyutlarına ve sıcaklığa bağlı olup, büyük hacimli kap için 60 s ve küçük boyutlu olan için ise, 20 s dolayında bir değer alır. Şayet su miktarı çok düşürülür ise, belli bir noktadan sonra W/(C+P) su/bağlayıcı oranının azalmasına rağmen dayanımda artış olmaz. Bu; agrega arasındaki boşlukların artık çimento pastası ile dolamamasından ötürüdür. Şekil:5, sabit bağlayıcı içeriğinde su miktarının değişimi ile dayanımdaki değişimi göstermektedir. Çimento pastası yetersiz olduğunda hapsolmuş hava oranı artacak ve basınç dayanımı düşecektir. Kıvam testi için kullanılan SSB karışım örnekleri tablo 2: de verilmiştir.

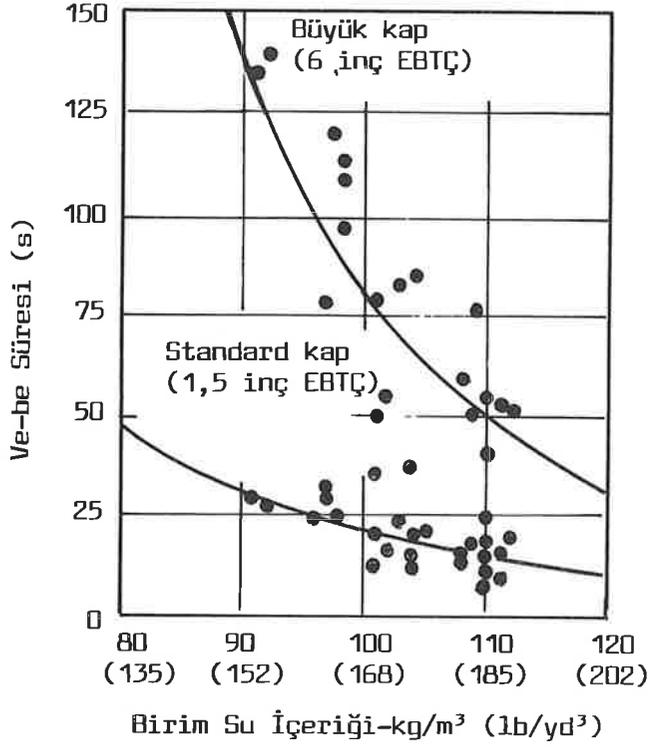
#### **4.3- Minimum Pasta İhtiyacı İçin İnce Agrega Oranlaması**

İnce agreganın kuru şişlenmiş haldeki hacmi % 30 ile 42 arasında değişir. Gerçek ince agrega hacmi ölçümden gelebilecek hatalardan dolayı bir miktar daha az olabilir ancak bunun etkisi, en az çimento, puzolan, hava ve su içerikleri ile boşluksuz bir yapı elde etmek üzere tüm ince agrega boşluklarının ve iri agrega yüzeyinin kaplanması ihtiyacı nedeniyle fazla fark etmez. Minimum pasta hacmi, zeminlerde optimum su muhtevası tayinindeki yöntemle, maksimum birim ağırlık eğrisinden tayin edilir. prosedür şöyledir. (a) Su-çimento veya su-bağlayıcı oranı karışıma esas alınarak, belli ağırlık artışıyla karışıma ince agrega ilave edilip yeterince vibre edilir. (b) Bu pasta birim ağırlıkları kum miktarlarına bağlı olarak işaretlenir. (c) Harçta maksimum birim ağırlığı veren pasta hacmi belirlenir. Kütle betonu karışımında toplam harç hacmine nazaran pasta hacmi % 5-10 oranında artırılmalıdır. Yataklama betonu gibi özel karışımlarda, pasta hacmi ilave olarak % 20-25 oranında artırılmalıdır.

#### **4.4- Minimum Harç İhtiyacı İçin İri Agrega Oranı Tayini**

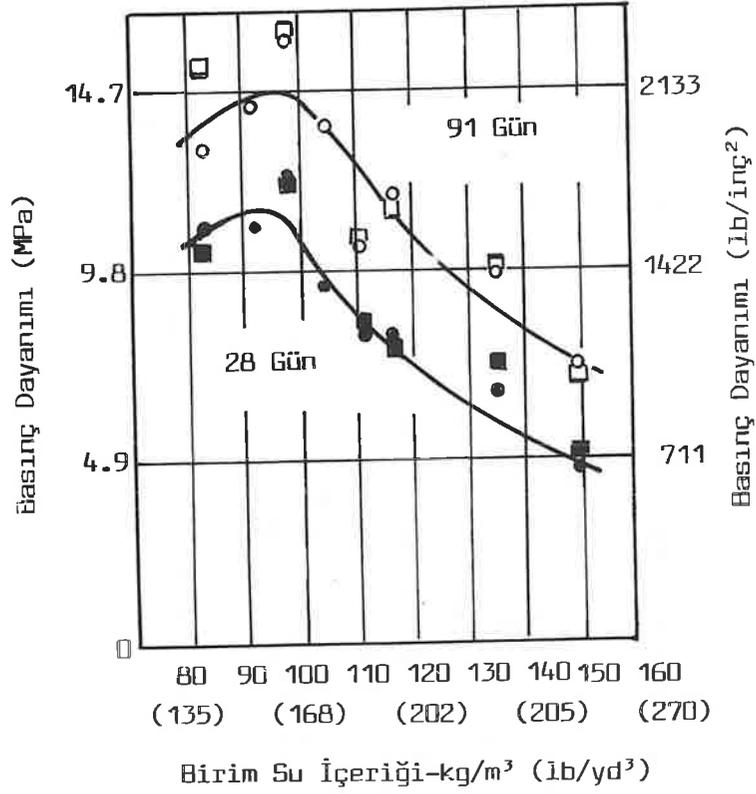
İri agrega miktarı; agrega boşluk oranı, özgül yüzey ve tane şeklinin bileşik etkisine bağlıdır. Agrega tane dağılımı yeterli sayıda tane sınıfına ayrılarak kontrol altında tutulmak suretiyle boşluk oranı limitler içinde tutulabilir. Kuru şişlenmiş birim ağırlıklar ve toplam agrega gradasyonu, tekil agrega sınıf sayısı, tane dağılımı ve karışım oranlarına bağlıdır. EBTÇ artışı ile kuru şişlenmiş birim ağırlık artışı, gradasyon kontrolünü sağlar. Bu nedenle, kuru şişlenmiş birim ağırlık artışı ile boşluk hacmi azaldığından, aynı özgül ağırlıklı agrega boşluk hacmi, herbir tane sınıfında tane çapı artışına bağlı olarak azalır. Belli bir gradasyondaki agregada iri agrega oranı arttıkça toplam özgül yüzey azalır. Kırılmış agrega tane şekli, kaya ocağı karakteristikleri ve kırıcı tipine bağlıdır. Sıkışabilirlik, kübik ve küresel şekilli agregada artar ve yassı malzemede azalır.

Çimento+Uçucu kül=120 kg/m<sup>3</sup> (202 lb/yd<sup>3</sup>)



Şekil:4- Büyük ve standard kap kullanımı durumunda birim su içeriği ile Ve-be süresi arasındaki ilişki. [21]

Çimento-Uçucu kül=120 kg/m<sup>3</sup> (202 lb/yd<sup>3</sup>)



Şekil:5- Birim su içeriği ile baraj betonu basınç dayanımı arasındaki ilişki. [21]

Tablo:2- Kıvam Ölçümü İle Tayin Edilmiş SSB Karışım Oranları

Baraj	Bitimi	Hacim yd <sup>3</sup> (m <sup>3</sup> )	EBTÇ İnç (mm)	S		Miktarlar lb/yd <sup>3</sup> (kg/m <sup>3</sup> )						
				C+uk	uk	Su (S)	Çimento (C)	Uçucu Kül (uk)	Kum	İri Agrega	Ve-be Süresi (s)	
Shimijigava	1980											
B-1		120 325 (92 000)	3.1 (80)	0.81	30	177 (105)	153.4 (91)	65.7 (39)	1262 (749)	2488 1476	(15)	
B-2		95 500 (73 000)	3.1 (80)	0.88	30	177 (105)	141.6 (184)	60.7 (36)	1267 (752)	2498 (1482)	(20)	
Tamagawa	İnşa halinde	980 900 (750 000)	6.0 (150)	0.73	30	160 (95)	153.4 (91)	65.7 (39)	1107 (657)	2602 (1544)	(20)	
Pirika	İnşa halinde	157 000 (120 000)	3.1 (80)	0.75	30	152 (90)	141.6 (184)	60.7 (36)	1126 (668)	2626 (1588)	(20)	
Upper Stillwater	İnşa halinde											
A		1 200 000 (917 500)	2.0 (50)	0.40	68	170 (101)	134 (79.5)	289 (171,5)	1140 (676)	2330 (1382)	17	
B		157 000 (120 000)	2.0 (50)	0.33	69	168 (100)	156 (925)	346 (205)	1190 (706)	2170 (1287)	15	
Elk Creek	İnşa halinde	1 000 000 (765 000)	3.0 (75)	1.12	32	195 (116)	118 (70)	56 (33)	1275 (756)	2610 (1548)	20	

\* Not: Tüm karışımlarda su azaltıcı katkı kullanılmıştır; Elk Creek Barajında su azaltıcı, geciktirici katkı kullanılacaktır.

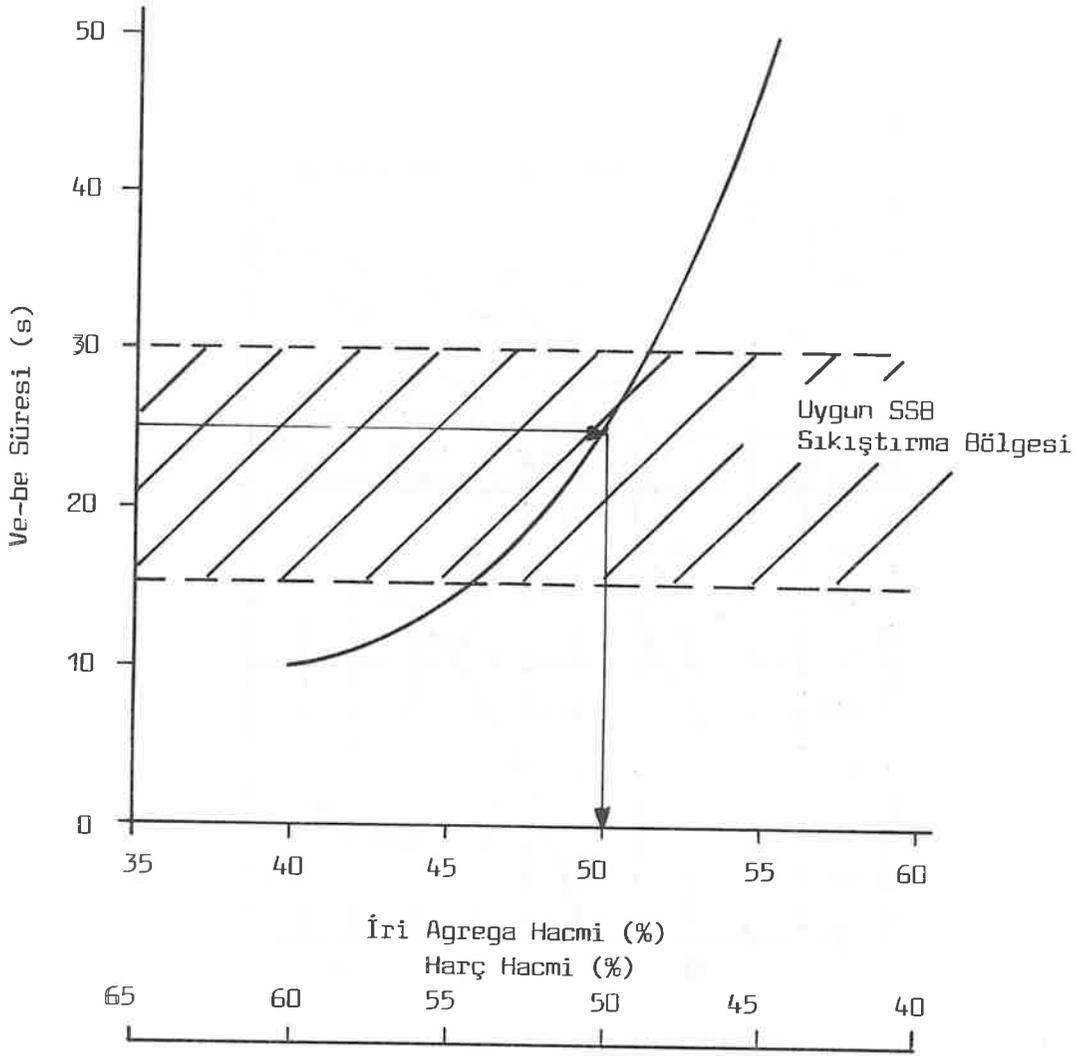
Herhangi bir gradasyon veya EBTÇ için çökmesiz kıvam veren minimum agrega hacmi; harç hacminin verime oranı, öngörülen dayanım ve sıfır slamp elde etmek üzere harç ve iri agrega oranlarından hesap edilir. İnce agrega oranı, bağlayıcı madde ve su oranı, bu ayarlamalar esnasında sabit tutulmalıdır. Harç hacmi üst sınırı, sıfır slamp şartını sağlayan miktara tekabül eder. Bu karışımı tamamen sıkıştırarak vibrasyon süresi, aynı zamanda vibratörlü silindiri taşıyacak en düşük kıvamda ve genellikle Ve-be aleti ile 5 saniye civarındadır. Harç hacminin ayarlanmasında, iri agrega hacmi artırılırken aynı oranda harç hacmi azaltılarak, tam sıkışma için vibrasyon süreleri Şekil: 6 daki gibi tespit edilir. Belirli bir kıvam için harç hacmi aşırı değeri, aynı sıkıştırma enerjisi seviyesinde iri agrega hacmindeki küçük bir artışa karşılık birim ağırlıktaki (şekil: 7 de görüldüğü üzere) önemli düşüştür fark edilir. İri agrega hacmi yaklaşık olarak bu iki sınır değer arasında ise sıkıştırma esnasında sorunlar en az'a inecektir. Çeşitli EBTÇ için tahmini iri agrega hacimleri tablo: 3' te verilmektedir.

Tablo:3- Birim SSB İçin İri Agrega Mutlak Hacmi

En Büyük Tane Çapı (EBTÇ) İnç (mm)	Birim Beton Hacmi İçindeki İri Agrega Mutlak Hacmi (%)
6 (150)	63 - 64
4.5 (114)	61 - 63
3 (75)	57 - 61
1.5 (38)	52 - 56
0,75 (19)	46 - 52
0,375 (10)	42 - 48

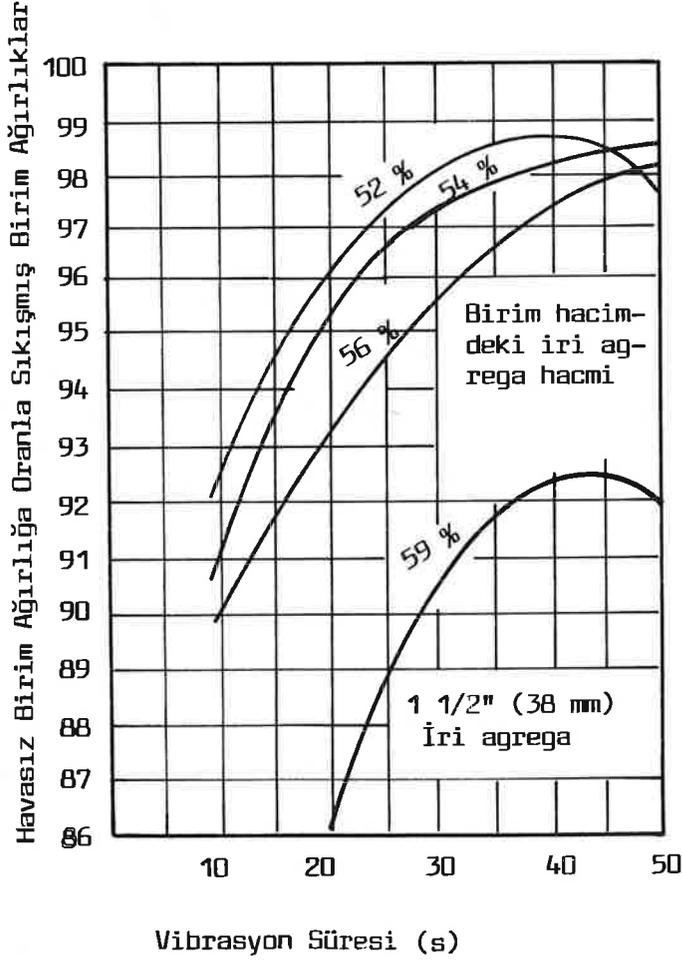
#### **4.5- Maksimum Islak Birim Ağırlık Yaklaşımı İle Karışım Elamanları Tayini**

SSB karışım oranlarının maksimum ıslak birim ağırlık yöntemi ile tayininde beton ve harcın bir miktar fazla süre vibrasyonu ile maksimum ıslak birim ağırlığın tespiti ve havasız birim ağırlık ile kıyası gerekir. Karışım uygun şekilde oranlandığında, SSB: % 1 - 2 oranında hapsolmuş hava içerir. Maksimum havasız birim ağırlık, agregaların doygun kuru yüzey (DKY) ağırlıklarının mutlak hacimlerine oranı ile bulunur. İyi ayarlanan bir karışım ile genellikle Ve-be aletinde 2 dakikadan kısa sürede bu birim ağırlığın % 98 - 99'una erişilir. Bu, birim ağırlığı sağlayamayan karışımlar ya agrega boşluklarını dolduracak kadar pasta ihtiva etmemekte veya agrega oranlaması (kum/agrega oranı) uygun değildir. Su, çimento ve puzolan oranlarının tayini maksadıyla bu malzemelerin tek tek ağırlık ve hacimlerinin katılım oranlarından (su/çimento+puzolan veya çimento/puzolan) hesaplanmalarına ihtiyaç vardır. Tablo : 4'de su/çimento+uçucu külün hacimsel ve ağırlıkça kıyası verilmektedir. Tablo: 5'te ise çimento/uçucu kül oranlarının hacimsel olarak ve ağırlıkça kıyası verilmektedir.



Şekil:6- SSBetonda harç hacminin Ve-be süresine etkisi.

(Referans: Upper Stillwater Dam Projesi Karışım çalışması)



Harç Karışımı (Havasız)  
 Kum= % 62,8 Hacimce  
 Su= % 16,5 Hacimce  
 Uçucu Kül= % 20,7 Hacimce  
 Çimento= 0

Şekil:7- Sıkışma üzerine iri agrega hacminin etkisi. |19|

Tablo: 4 - Ağırlık ve Hacimce Suyun, Çimento+Uçucu Küle Oranı

Ağırlıkça W/(C+F) (%)	Uçucu : Kül (%)	W/(C+F)				Hacimce (%)
		0	25	40	50	75
0.40		1.26	1.16	1.11	1.07	0.997
0.50		1.58	1.45	1.38	1.34	1.25
0.75		2.37	2.18	2.07	2.01	1.87
1.00		3.16	2.90	2.77	2.68	2.49
Tahmini Yoğunluklar	Su	= 1000 kg/m <sup>3</sup> (62.3 lb/ft <sup>3</sup> )				
	Çimento	= 3156 kg/m <sup>3</sup> (197 lb/ft <sup>3</sup> )				
	Uçucu Kül	= 2323 kg/m <sup>3</sup> (145 lb/ft <sup>3</sup> )				

Tablo : 5 - Ağırlık ve Hacimce Uçucu Kül oranı

Ağırlıkça Uçucu Kül Oranı (%)	Hacimce Uçucu Kül Oranı (%)	
25	31	
40	48	
50	58	
75	80	
Tahmini Yoğunluklar :	Uçucu Kül	= 2223 kg/m <sup>3</sup> (145 lb/ft <sup>3</sup> )
	Çimento	= 3156 kg/m <sup>3</sup> (197 lb/ft <sup>3</sup> )

Ağırlıkça veya hacimce bağlayıcı madde oranı  
(Çimento + Uçucu Kül)

Oranlamada şu adımlar izlenir.

1- Bölüm 4.3 te belirtildiği gibi minimum pasta hacmi belirlenir. Bu testler ışığında, havasız pasta hacminin, havasız harç hacmine oranı; "pv" iç beton için 0,38 ve yataklama betonu için 0,46 oranları uygun görülmektedir. Tablo: 6 dan da yararlanılabilir.

2- Şekil : 8 den proje mukavemetini sağlayacak deneme karışımı için F/C ve W/(C+F) oranları seçilir. Tablo . 7 de değişik yaşlardaki proje mukavemetleri için gerekli dayanım değerlerini verecek yaklaşık çimento/uçucu kül oranı kestirilir.

3- İri agrega hacmi “Vca” tablo: 2 den veya bölüm 4.4 de belirtildiği gibi deneme yoluyla belirlenir.

4- 1 m<sup>3</sup> için gerekli havasız harç hacmi “Vm” hapsolmuş hava oranı % 1,5 tahmini ile;

$$V_m = C_v (0.985) - V_{ca}$$

formülünden hesaplanır.

Burada; C<sub>v</sub> = Birim hacim beton (1 m<sup>3</sup>) tür.

5- Havasız pasta hacmi “Vp” 1. adımda seçilen “pv” oranı kullanılarak

$$V_p = V_m \cdot (pv)$$

eşitliğinden hesaplanır.

6- İnce agrega hacmi : “Vfa” ;

$$V_{fa} = V_m (1-pv)$$

eşitliğinden bulunur.

7- Deneme karışımı için su hacmi “Vw”;

$$V_w = [W/(C+F)] / [1+W/(C+F)]$$

eşitliğinden bulunur. Burada;

$$(W/(C+F)) = \text{su/bağlayıcı madde oranı hacimsel olarak,}$$

$$(\text{Şekil : 8 ve Tablo : 4})$$

8- Çimento hacmi “Vc”;

$$V_c = V_w / [W/(C+F)] (1+F/C)$$

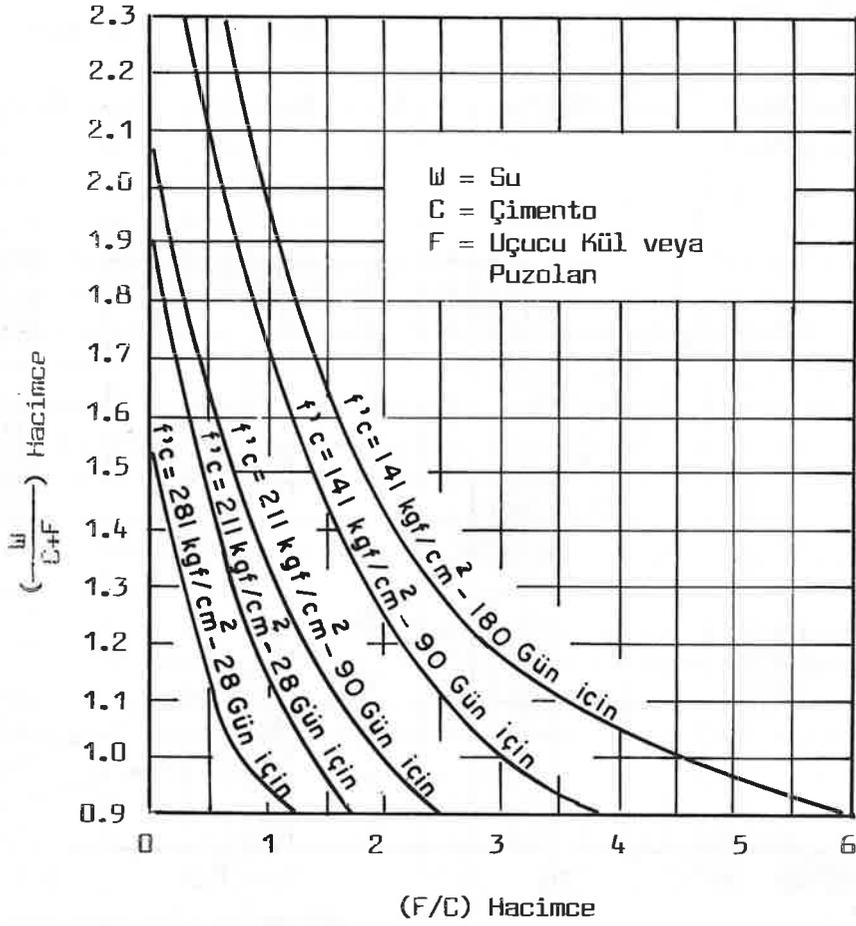
eşitliğinden hesaplanır. Burada;

$$F/C = \text{Uçucu kül hacmi/çimento hacmi}$$

9- Uçucu kül veya puzolan hacmi “Vf”;

$$V_f = V_c (F/C)$$

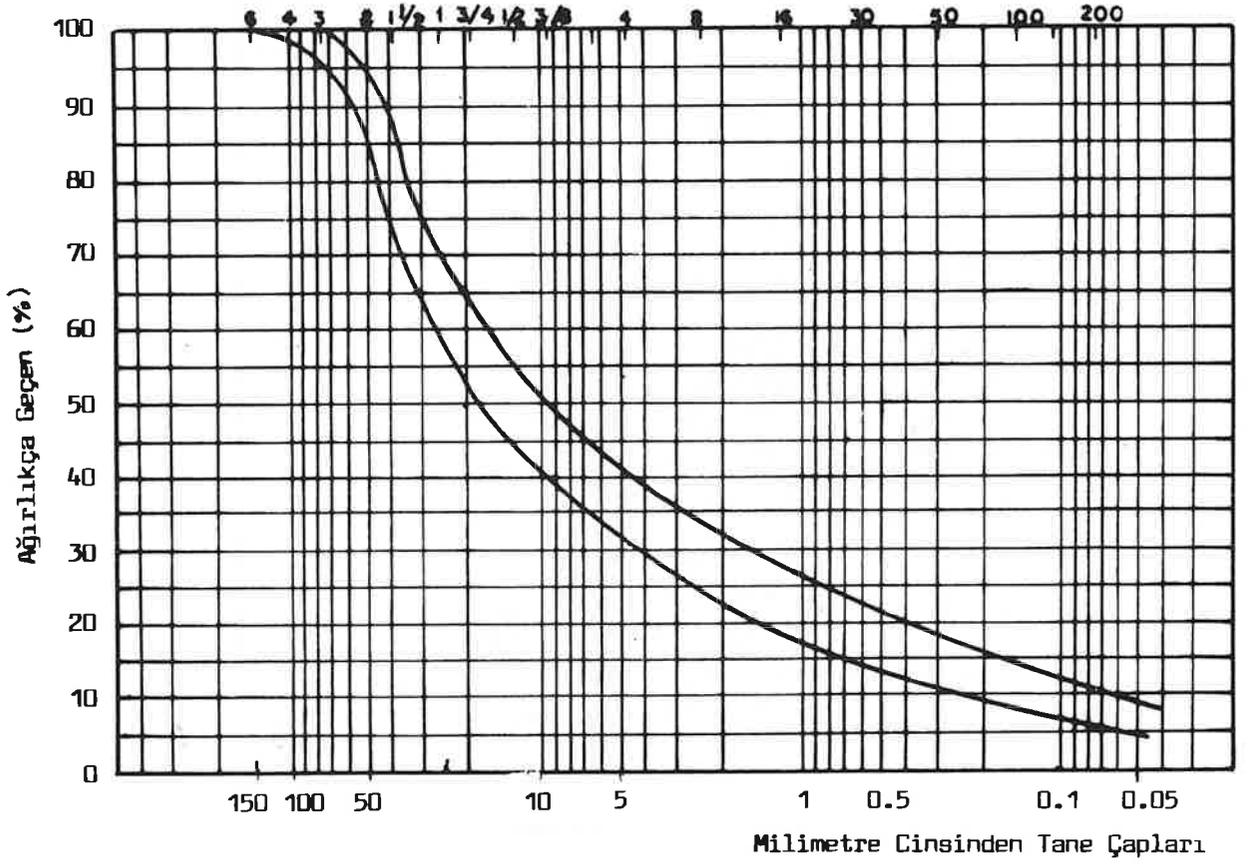
eşitliğinden hesap edilir.



Şekil:8- Eşit dayanımlı betonlar için orantı eğrileri. |19|

ABD Standard Elek  
Göz Açıklıkları(inç olarak)

ABD Standard Elek No'ları



Şekil:9- Yağsız SSB için önerilen gradasyon aralığı

10- Çeşitli malzemelerin miktarları; malzeme hacimlerinin birim ağırlıkları ile çarpımı sonucu bulunur.

11- Karışımın birim ağırlığı, en büyük birim ağırlığı sağlayacak ilave sıkıştırma süresini saniye cinsinden tespit etmek üzere hesap edilir. (Bölüm 4-2)

12- Belirlenmiş olan iri agreganın hacmi sabit tutularak biri daha yüksek, diğeri daha düşük  $W/(C+F)$  su/bağlayıcı oranlarında iki ilave karışım daha yapılır. Son karışımın seçimi amacıyla  $W/(C+F)$  değerlerine karşılık gelen dayanım değerleri işaretlenir.

Tablo: 6- Değişik Derz Koşulları İçin Pasta/Harç Oranları

pv	Derz/Bağ Durumu
0.30 - 0.35	Minimum/bağlanma yok
0.35 - 0.38	12 saat açıkta kalmış derz
0.40 - 0.43	24 saat açıkta kalmış derz
0.43 - 0.46	> 24 saat açıkta kalmış derz veya yüksek bağlanma ihtiyacı
0.46 - 0.50	Yataklama karışımı

Not: pv (pasta/harç) oranı; havasız pasta hacminin (çimento, uçucu kül veya puzolan ve-su) hacmine (pasta ve kum) oranına eşittir. SSB için en düşük pv oranı, kullanılan ince agreganın boşluk hacmine eşittir. Böylece % 34 boşluk oranlı bir agregada (boşluk oranı = 0.34) minimum pv = 0.34 olacaktır. pv değeri 0.34 olan bir  $m^3$  harçta: 0.34  $m^3$  pasta ve 0.66  $m^3$  ince agreganın bulunacaktır.

Tablo : 7 - Belirlenen Proje Dayanımı İçin Çimento-Uçucu Kül Oranı

Yaş * (Gün)	Çimento : Uçucu Kül Oranı (Ağırlıkça)
28	75:25
90	60:40
180	50:50
365	25:75

\* Proje dayanımının öngörüldüğü yaştır.

#### **4.6- Düşük Dozlu SSB Karışım Oranları Tayini**

Birçok SSB projesinde bağlayıcı ve su içeriği değişirken optimum sıkışma ve proje dayanımını veren kısmen sabit bir tane dağılımı kullanılmaktadır. Bu karışımlar ile klasik beton karışımları arasındaki belirgin farklılık, agrega boşluklarını doldurmak üzere önemli bir oranda 200 no elek altı plastik olmayan çok ince madde kullanılmasıdır. Yağsız betonlarda pasta hacmi, agregalar arası boşluk oranını dolduracak pasta hacmine çok yakındır.

Birçok projede düşük dozlu SSB karışım oranları tayininde aşağıdaki yol izlenir:

i- Doğal ocaktan veya inşaat esnasında kullanılacak şekilde işlem görmüş agregadan, yeteri miktarda bir numune alınarak 9 nolu şekilde tane dağılım aralığına uygun bir gradasyon kullanılır. Gerçek tane dağılımı: EBTÇ, tabaka kalınlığı ve maaliyet hesabına bağlı olarak tayin edilir.

ii- Laboratuvarda, değişik çimento içeriklerinde örneğin; 34, 45, 57, 68, 91 kg/m<sup>3</sup> (75, 100, 125, 150, 200 lb/yd<sup>3</sup>)lük bir seri karışım yapılır. Ortalama çimento dozajı kullanılarak birim ağırlık hesabı yöntemlerinden veya sıkıştırılma için uygun kıvama gelinceye kadar agrega çimento karışımına su ilavesi ile karışımlar için gerekli su miktarları bulunur. İlgili tüm yaşları kapsayacak sayıda, basınç dayanımı için birer seri silindir numuneleri dökülür. Her bir yaş ve çimento dozajı için en az iki adet silindir kırılmalıdır. Dayanım-zaman ilişkisi, yarı logaritmik bir diyagrama işlenir. Eğri ailesi için; daha sonraki yaşlarda ulaşılabilecek dayanımın kestirilmesine olanak sağlayacak bir eğim ortaya çıkar.

iii- Basınç dayanımı ile çimento dozajı ilişkisini, değişik yaşlarda veren bir diğer eğri grubu çizilir. Bu eğri setlerinden değişik yaşlar için talep edilen dayanımları sağlayacak en az çimento dozajı seçilir. Hapsolmuş hava oranı % 1-2 tahmini ve gerçek su miktarları kullanılarak her bir karışım için gerçek çimento dozajı hesap edilir.

iv- Şayet hesaplanan bu çimento dozajı zararlı miktarda hidrasyon ısısı doğuracak ise yukarıda izah edilen prosedür izlenerek ve çimentonun belli oranları yerine puzolan ikame edilerek deneyler tekrar edilir.

#### **4.7- Çimentolu-Zemin Metodu İle Karışım Oranları Tespiti**

Bu metod, çimento hidrate olmadan, kuru birim ağırlık ile SSB rutubet oranı arasında bir bağıntı kurmak üzere belirli bir enerji seviyesinde sıkıştırılan değişik su içeriklerinde en az beş adet numunenin hazırlanmasını içerir. Rutubet oranı, suyun katıların toplam kütesine oranı şeklinde belirtilir. Çimentonun hidrasyonundan ötürü, etüvde kurutma ile rutubet tayini hatalı sonuçlar verir. Bu nedenle karışım hesabındaki rutubet (karışım kuru kütesine oranla) kullanılır. Hesaplanan rutubet oranları ile kuru birim ağırlık değerleri grafik haline getirilir. Ve Şekil :10 da görüleceği üzere en büyük kuru birim ağırlık ve optimum su muhtevası belirleyecek uygun bir eğri çizilir. Şekil: 11'de ise ıslak birim ağırlıklara karşılık gelen rutubet oranları görülmektedir. Laboratuvar maksimum birim ağırlığı ve optimum su muhtevası, sıkıştırma eğrisi tepe noktasından bulunur. Sıkıştırma eğrisinden kesin bir pik elde etmek için, bağlayıcı oranı, agrega tane dağılımı ve agrega rutubet oranlarının deney süresince

sabit kalması şarttır. Sıkıştırma testleri, normal olarak gerekli basınç dayanımını sağlayacak bağlayıcı oranından daha yüksek oranlardaki bağlayıcı içeriklerinde yapılır. Bir kere herbir bağlayıcı madde oranı için laboratuvar maksimum kuru birim ağırlığı ve optimum rutubet oranı tespit edildikten sonra, sıkıştırma deneyindeki tarzda basınç dayanımı deney numuneleri de hazırlanır. Bu numunelere ait ıslak birim ağırlıklar, sıfır hava oranlı eğriden alınacak maksimum (havasız) birim ağırlığın, % 99'u dolayında olmalıdır.

SS Beton testlerinde zemin kompaksiyon aletlerini kullanabilmek için standart sıkıştırma aletinin modifiye edilmesi gerekir. Basınç mukavemeti için (2/1) yükseklik/çap oranlı numuneler oluşturmak ve  $\phi$  : 150 mm - h=300' mm lik moldlara iri agregaların yerleşmelerini sağlamak üzere aletler uyarlanır. Tarbela barajında, SSB optimum su muhtevası ve laboratuvar maksimum kuru birim ağırlığını belirlemek için 14" çaplı bir kap ve modifiye bir AASHTO prosedürü kullanılmıştır. Sıkıştırma (kompaksiyon) testinde kullanılan moldlar da beton numune silindirlere gibi uyarlanmalıdır. Bu moldların şekillerinin ve hacimsel kalibrasyonlarının bozulmaması için çelik borulardan imal edilmiş olmaları gerekir.

Proktor cihazı; 4-6 inç (10-15 cm) çapta ve yaklaşık 6 inç yükseklikte numunelerin sıkıştırılması için dizayn edilmiş olduğundan, 12 inç yükseklikteki numunelerin sıkıştırılabilmesi için bazı değişikliklerin yapılması gerekecektir. Sıkıştırma enerjisi, 4,5 kg'lık (10,0 pound) bir tokmağın 18 inç (45 cm) yükseklikten düşürülmesi ile sağlanır. SSB sıkışma sonrası 5 cm (2") kalınlık veren, 6 tabaka şeklinde sıkıştırılır.

Değişik sıkıştırma enerjilerinin SSB üzerindeki etkilerini araştırmak üzere, USBR tarafından yapılan deneylerde 4 ayrı enerji seviyesi kullanılmıştır.

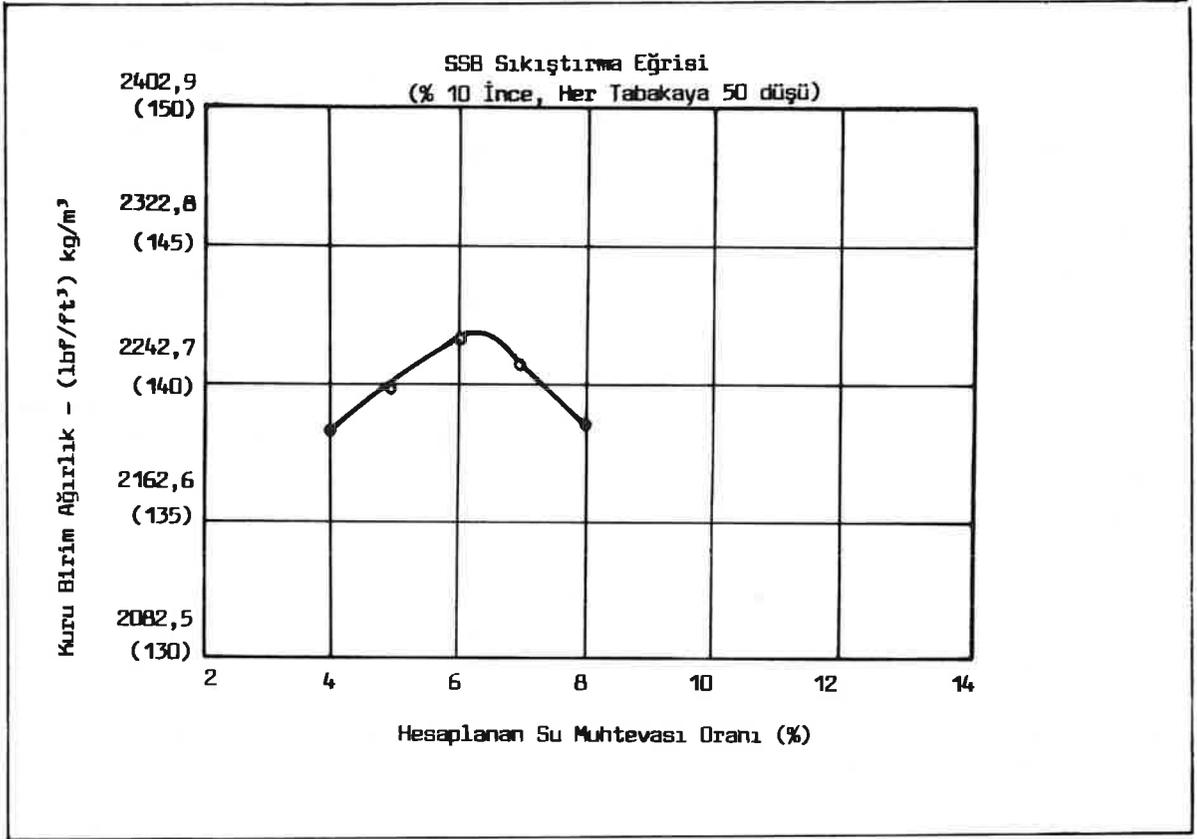
i- 7.2 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (bir tabakaya 27 düşü) ki bu yaklaşık olarak ASTM D 698'de verilene eşittir. (Zemin ve Zemin-Agrega karışımlarında rutubet-birim ağırlık ilişkisi standard test metodu, 12 inç yükseklikten 5.5 lb'lik tokmak kullanılması).

ii- 13.3 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 50 düşü) Teksas karayolları teşkilatının; Te x-113 E' de belirtilen sıkıştırma enerjisine yakındır. (Teksas Devlet Karayolları ve Kamu Taşımacılığı Malzeme ve Deney Laboratuvarınca kullanılan deney prosedürü);

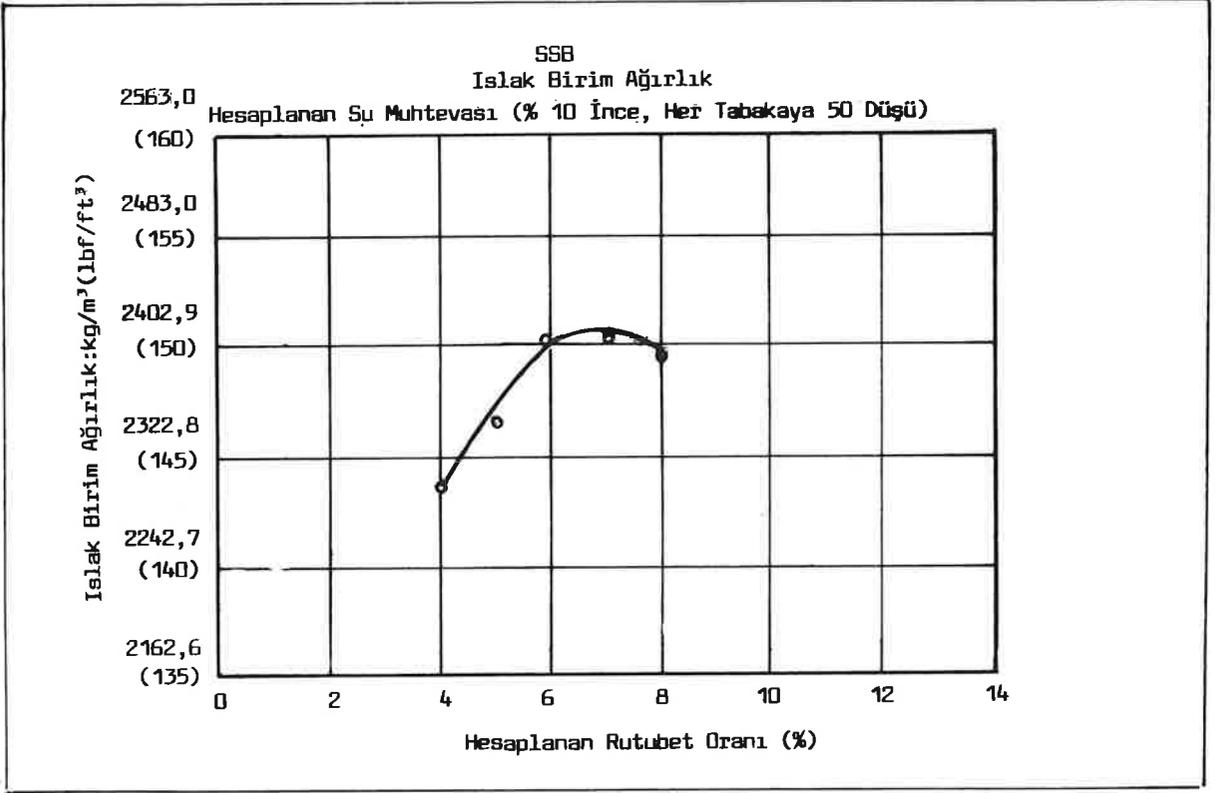
iii- 32.4 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 122 düşü); ASTM: D 1550 (Zemin ve Zemin - Agregas karışımlarında 10.0 lb'lik tokmak ve 18 inçlik yükseklikten düşü ile Rutubet-Birim Ağırlık Tayini Standart Test Metodu) ve

iv- 21.2 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 80 düşü) ortalama bir enerji seviyesi olarak seçilmiştir.

Deney sonuçları, sıkıştırma enerjisindeki artış ile laboratuvar maksimum kuru birim ağırlığının arttığını ve optimum su içeriğinin azaldığını göstermiştir. Bunun yanında her enerji seviyesinde agregalarda kırılmaların meydana geldiğini ve en fazla kırılmanın en büyük enerji seviyesinde meydana geldiğini ortaya çıkarmıştır. Agregas kırılma oranlarına bakıldığında; 7.2 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 27 düşü) ile 13.3 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 50 düşü) arasındaki enerji seviyesinde en az; 13,3 ft - lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 50 düşü) ile 21.2 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 80 düşü) arasındaki enerji seviyesinde ise azami oranda kırılma olduğu tespit edilmiştir. Agregas kırıldığında, ayrılma yüzeyleri muhtemelen pasta ile dolmayacak ve bu da kendini basınç dayanımı sonuçlarının düşüklüğü ile belli edecektir. Aynı zamanda bu sonuçlar işyerindeki uygulamaları da yeterince temsil etmeyecektir. En düşük enerji seviyesinde (7.2 ft-lbf/inç<sup>3</sup>)



Şekil:10- SSB kuru birim ağırlık sıkıştırma eğrisi, çimentolu zemin (soil-cement) sıkıştırma prosedürü kullanılarak, kuru birim ağırlık değişimlerine bağlı hesaplanan su muhtevaları.



Şekil:11- Çimentolu-zemin (soil-cement) prosedürü kullanılarak bulunan SSB ıslak birim ağırlık eğrisi. Islak birim ağırlıklara karşılık gelen rutubet oranları hesaplanmıştır.

sıkıştırılmada tabakalar arasında boşluklar gözlemlendiğinden enerji seviyesi yetersiz olarak kabul edilmiştir. Deneyler sonucunda; 13.3 ft-lbf/inç<sup>3</sup> (her tabakaya 50 düşü) enerji seviyesinin en iyi sıkıştırılmayı verdiği sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda plastik olmayan doğal çok ince maddelerin SS Beton özelliklerine etkileri de araştırılmıştır. Test sonuçları, çok ince madde miktarı artışının, maksimum kuru birim ağırlık ile basınç dayanımında düşüş ve optimum su içeriğinde artış meydana getirdiğini göstermiştir. Aynı zamanda artan ince ve rutubet oranına karşılık agrega kırılma oranı azalmıştır.

Test sonuçları, bu deney prosedürünün, sert, sağlam agrega içeren SSB karışımları ile sınırlandırılması gereğini ortaya koymuştur. Deneyler için seçilen enerji miktarıyla biryandan yeterli sıkışma sağlanırken diğer taraftan agrega kırılma oranı en az olmalıdır. Artan ince malzeme ve su içerikleri, daha çok temsil edici sonuçlar verirken sıkışma esnasında agrega kırılma oranında en az'a düşürür.

Çimentolu-Zemin (Soil-cement) metodu ile optimum su muhtevası tayini; agregaya, ince madde oranına, bağlayıcı madde miktarına ve uygulanan sıkıştırma enerjisine bağlıdır. Rutubet oranı optimumdan düşükse, aşırı yerleşme boşlukları nedeni ile veya optimumdan fazla ise yüksek su/bağlayıcı (W/C+P) oranı nedeni ile basınç dayanımında düşüşler görülür.

Optimum su muhtevası belirlenirken, sıkıştırma enerjisi seçiminde, çimento hidratasyonuna ve tüm boşlukları dolduracak pasta oluşumuna yetecek oranda bir rutubet bulunmasına özen gösterilmelidir. Değişik su/bağlayıcı (W/C+P) oranlarında hazırlanan karışımlara ait basınç dayanımı sonuçlarının kıyaslanmaları, farklı su içeriklerinden dolayı zor olacaktır.

## **5- SSB KALİTE KONTROLÜ VE DENEYLERİ**

### **5.1- Deneyler**

#### **5.1.1- Genel**

Pekçok SSB yapı için karışım deneylerinde klasik yapı betonları karışımlarında kullanılan yol izlenir. Dayanım, elastik özellikler, termal özellikler ve dayanıklılık gibi parametreler diğer klasik betonlarda olduğu kadar önemlidir. SSB döküm yönteminin geleneksel betondan farklı olması (tabakalı inşa ve hızlı döküm) nedeniyle tabakalar arası birleşim ve ısı gelişimi konusundaki testlere büyük önem verilmelidir. SSB karışımlarında yüksek oranlarda uçucu kül kullanımı, pekçok geleneksel betonda kullanılan 28 günlük test neticeleri yerine daha uzun süreli test sonuçlarının gözönüne alınmasını gerektirir. Şayet karışıma % 25 den fazla uçucu kül katılmış ise 90 günlük test sonuçları esas alınmalıdır. Şayet % 50 den fazla uçucu kül kullanılıyorsa; 180 günlük veya 1 yıllık test sonuçlarına itibar edilmelidir. Upper Stillwater Dam projesindeki testler (% 70 uçucu kül kullanılmıştır) 90 günlük dayanımlar ile 1 yıllık dayanımlar arasında % 80 oranında bir artış olduğunu ortaya koymuştur.

Bir yapı projesinde öngörülen özelliklerin, inşaaata başlamadan önce standard deneyler ile test edilmesi ve inşa esnasında da kontrol deneyleri ile özelliklerin sağlandığının teyidi gerekir. Şayet bir işe ait özgül deneyler yapılmamış ise, öngörülen SSB özellikleri için yapılan tüm tahminler kayıt altına alınmalıdır.

### 5.1.2- Basınç Dayanımı ve Elastik Özellikler

İnşaat süresince pek çok karışıma ait dayanımları tespit etmek üzere basınç dayanımı deneyleri yapılmalıdır. Şişleme veya dahili vibrasyon ile sıkıştırma için çok katı olduğundan , Ve-be aleti ile SSB test numunelerinin hazırlanması için standard bir test metodu mevcuttur. Bu metod, EBTÇ 75 mm (3") olan ( $\phi = 23$  ; h= 46 cm silindir) karışımlar dahil hemen-hemen her tip SSB karışımında başarı ile uygulanabilir. Numuneler, işyerinde ulaşılabilen maksimum birim ağırlığa denk olacak şekilde sıkıştırılmalıdır.

Basınç dayanımı deneyi, karışımı temsil eden numune üzerinde yapılmalıdır. Şayet büyük tane çapı (2" den büyük) kullanılırsa 6"x12" lik kalıplarla numune alınabilmesi için gerekli ıslak eleme yapılır. Bu, genellikle kütle karışımı dayanımından daha yüksek dayanım neticeleri verir. Karışım oranları tayini deneyinde şayet 6"x12" lik silindir numuneleri kullanılırsa, kütle betonunun proje basınç mukavemet değerini sağlayabilmesi için orantılı olarak daha yüksek hedef dayanımı ile çalışılmalıdır. Bu durumda kütle betonu basınç dayanımı ile kontrol numuneleri basınç dayanımı arasında bir kolerasyon kurabilmek üzere bir miktar büyük çaplı (numune çapı; EBTÇ'inin en az 3 misli) numune dökülmelidir. 1,5" (38 mm) EBTÇ'li ıslak elenmiş karışım, kütle betonuna kıyasla daha yüksek oranda harç ihtiva etmesi ve daha işlenir gözükmesi nedeni ile kütle betonu işlenirliği konusunda daha güvenilir bir görüntü verir.

ASTM: C 469'da belirtilen prosedür veya elektronik gerilme ölçerler (strain gauge) ile basınç dayanımından, betonun elastik özellikleri (elastisite modülü ve poison oranı) bulunur.

Hızlı inşa nedeniyle, bitiminden hemen sonra yüklenen büyük baraj yapılar için, SSB krip deneyi çok önemli bilgiler sağlar. Galesville barajında haftalık ortalama yükselme hızı 6 m (20 ft)' yi geçmiştir. Krip deneyinde de kullanılacak numunelerin, gerçekte dökülen karışımı temsil etmesinin önemi unutulmamalıdır.

### 5.1.3- Birim Ağırlık

Taze ve sertleşmiş SSB birim ağırlığını tayininde kullanılacak pekçok yöntem mevcuttur. Sonuçlar değerlendirilirken hangi yöntemin kullanıldığına dikkat edilmelidir. Yerindeki betonu daha iyi temsili açısından test numunelerinde ıslak birim ağırlık tayini tercih edilmelidir. Agrega karışım oranları, rutubet içerikleri ve absorpsiyon oranları tam olarak bilinmedikçe kuru birim ağırlığın tayini tavsiye edilmez. Aşırı kurutma neticesinde hatalı sonuçlar alınması muhtemeldir.

Taze beton birim ağırlığı, Ve-be test numunesi benzeri vibre edilmiş numuneden tespit edilebilir. Aynı zamanda deney silindir numunelerinden de bulunabilir, her ne kadar küçük boyutlu silindirlerde değişkenlikler görülürse de, (özellikle ıslak eleme kullanılmış ise). İşyerinde SSB ıslak birim ağırlığı genellikle nükleer birim ağırlık ölçer ile tespit edilir. Test neticelerinin ölçüm aleti geometrisi ve kalibrasyon hatalarından etkileneceği unutulmamalıdır. Tekli problu ölçücüler SSB birim ağırlığının ölçüm probu ucundan gösterge yuvasına kadar bütün tabaka boyunca ortalama değerini verir. Elde edilen birim ağırlıkta, tam sıkışmanın kolaylıkla sağlanabileceği derinliğin üst 2/3'sinin ağırlığı fazladır. Bir tabakanın alt kısmındaki düşük SSB birim ağırlığının tayini, en kritik bölge olmasına rağmen pek mümkün görülmemektedir.

Son zamanlarda SSB için çift problu bir nükleer ölçücü kullanılmaktadır. Bu cihaz iki prob arasında kalan herhangi bir derinlikteki birim ağırlığı ölçmeye elverişli olup, tabaka birleşim yüzü boyunca birim ağırlıkları da tayin eder.

Nükleer yoğunluk ölçerler, tek problu olanlar sadece SSB yüzeyindeki, çift problu olanlar ise prob çevresindeki 10-15 cm'lik bölgenin rutubetini verdiklerinden, bu amaçla kullanımları uygun değildir. Aynı zamanda ortamda hidrojen bulunması (katkılar v.b.) sonuçları etkileyecektir.

Yapılan deneylerden çok uygun neticeler alınamaması nedeni ile SSB taze birim ağırlığı tayininde kum hunisi kullanımı da tavsiye edilmemektedir.

#### **5.1.4- Tabaka Birleşimi**

SS Barajlar birçok yatay tabaka ile teşkil edildiğinden bu durum tabakalar arasındaki bağ dayanımına çok özel bir önem verilmesini gerektirir. Bağ dayanımı; derz yaşı ve dış koşullara açık olup-olmaması, SSB dayanımı, karışım pasta hacmi, sıkıştırma oranı, yüzey hazırlama metodları (yüzey temizliği ve/veya ilave iyileştirmeler) gibi parametrelerden etkilenir. Bağ dayanımı tayininde iki esas metod; doğrudan çekme ve direkt kesme deneyleridir. Deney numunelerinde derz eğimini temsil etme zorluğu nedeni ile eğik kesme ve eğilmeden çekme deney metodları ile bağ dayanımı tayini tavsiye edilmemektedir.

Laboratuvarda bağ dayanımı deneyi yapılırken, deney numunesindeki tabaka yüzeyinin inşa esnasında, yapıdaki durumu temsil etmesi konusunda çok özen gösterilmelidir. Bu özen özellikle tabaka yaşı, dış koşullar ve şayet kullanılmış ise yüzey iyileştirme metodları konularında olmalıdır. Örneğin, tabaka döküm aralığı 24 saat ve açık yüzey su jeti ile temizlendikten sonra bir tabaka harç dökülmüş ise aynı işlemlerin laboratuvarda hazırlanan numunelere de uygulanması gerekir. Şayet birden fazla iyileştirme metodu uygulanmış ise, derzi en iyi temsil edecek olan metod ve ilave olarakta en olumsuz koşul test edilmelidir. Laboratuvar koşulları bütün yüzey koşullarını özellikle sıcaklık ve temizliği tam temsil edemez. Laboratuvar test sonuçları değerlendirilirken bu durum gözönüne alınmalıdır.

Bir kesitten alınan karot numunelerde yapılacak bağ dayanımı deneyi, prototip özellikleri ile ilgili ilave veriler sağlayacaktır, ancak karot kesitinin, gerçek derzi temsil kabiliyeti yine gözönüne alınmalıdır. Bir test dökümünün maliyeti ve harcanacak zaman, kritik tahminlerin araştırılması açısından dikkate alınmalıdır.

Kesme deneyi sonuçları yorumlanırken, kimyasal bağlanmış bir derz gerçek kohezyon (c) değeri ile bağlanmamış bir derz, kesme dayanımı veya içsel sürtünme açısı (tan  $\phi$ )'nin farklılığının bilinmesi çok önemlidir. Kohezyon, numunelerin direkt kesme deneyinden bulunur, Tan.  $\phi$  ise kaymalı direkt kesme deneyinden elde edilir.

### 5.1.5- Termal Özellikler

SSB'da hızlı inşa ve sonradan soğutma amacıyla (serpantin) boru bırakılmaması nedeniyle karışımın termal özelliğinin tayini gerekir. Adyabatik sıcaklık gelişimi deneyi, SSB karışımının potansiyel sıcaklık gelişimini simüle eder. Adyabatik sıcaklık gelişimi karışımın çimento+puzolan (genellikle uçucu kül) içeriğine bağlıdır. Puzolanlar, birebir ikame oranında, çimentonun neşrettiği ısının yaklaşık yarısı kadar bir ısı açığa çıkarttıklarından, uygun bir puzolan ilavesi ile hidrasyon ısısının önemli ölçüde düşürülmesi mümkündür. Bu durumda ilave puzolan oranı ve beton ilk sıcaklığının da iş yerindeki temsil etmesi gerekir. USBR tarafından test edilen değişik karışımlara ait sıcaklık artış eğrileri mevcuttur.

Diğer termal özellikler ; özgül ısı, düffizite, kondüktivite ve termal genişleme katsayısıdır. Bu özellikler, SSB malzemeleri; agrega, bağlayıcı madde ve suyun miktar ve özelliklerine bağlıdır.

### 5.1.6- Dayanıklılık

SS beton, şayet doygunluğu önleyici bir önlem alınmamış veya hava sürükleyici katkı kullanılmamış ise, donma çözülme etkilerine dayanıklı olarak kabul edilemez. SS betona hava sürüklemenin güç olmasından dolayı diğer önlemler tercih edilir. Diğer önlemler; donma-çözölmeye maruz yüzlerde fazladan bir miktar SSB dökümü, geleneksel hava katkılı beton ile yüzeyin teşkili veya bir membran ile yüzey koruması şeklinde olabilir.

Kuruma rötresi deneyi, SSB yapıların rötre potansiyeli ve görece dayanıklılığı hususunda bir fikir vermesi açısından yararlı olabilir. Bu deney, özellikle pek çok ıslanma-kuruma periyoduna maruz kalan baraj yüzleri için gözönüne alınmalıdır.

SSB permeabilite (geçirgenlik) deneyi, SS kütle betonun aynı karışım oranlarına haiz klasik beton ile kıyaslanabileceğini göstermiştir. SSB geçirgenliği konusunda asıl kaygı, beton kütlesi içinden olabilecek olanı değil, tabakalar arası derzlerden oluşan sızmalardır. Bu problem sızma kontrol önlemleri, sıkışma ve derz bağ dayanımı konuları incelenirken gözönüne alınmalıdır.

### 5.1.7- İşlenirlik ve Kıvam

SS betonun işlenirliği ve kıvamının değerlendirilmesinde kullanılan tek yöntem Ve-be (veya VC) test aleti ile yapılan deneydir. Bu deney ile bir karışımdan diğerine kıvamın ölçüsü belirlenebileceği gibi SS betonun vibratörlü silindir ile rahatlıkla sıkıştırılabileceği çalışma aralığı da ortaya çıkar. Bu deney yöntemi klasik kütle betonu benzeri karışımlarda etkili bir şekilde kullanılır. Düşük pasta oranlı, daha kuru karışımlarda bu deney yöntemi büyük değişiklikler gösterir. Ve-be süresi; 15-30 s arasında değişen karışımların, vibratörlü silindirin 4-8 geçişi (pas) ile rahatlıkla sıkıştırılabileceği tespit edilmiştir. Ve-be aleti aynı zamanda taze beton birim ağırlığı deneyi ve dayanım deneyi numunesi hazırlanmasında da kullanılabilir.

Tabaka üst kısmında oluşan segregasyon gözle görülebilir olup sıkıştırılması mümkündür. Ancak tabaka alt kısmında oluşan segregasyonun tespiti ve sıkıştırılması pek kolay olmayacaktır. Birçok durumda, aynı işyerindeki sürveyanlar arasında veya bir karışımın çok kuru veya çok ıslak olması konusunda önemli görüş farklılıkları olabilmektedir.

## **5.2- Kalite Kontrolü**

SSB yapılar için kalite kontrol programları döküm öncesi planlanmalı, inşa esnasında izlenmeli ve inşa sonrasında teyidi ve tahkiki yapılmalıdır. SSB tasarım ve malzeme ihtiyaçlarındaki büyük değişiklikler nedeni ile projeciler herbir yapı için ayrı bir kalite kontrol programı planlamalıdır. Klasik betonlara nazaran SS betonların kalitelerinde büyük değişkenlikler görülür. Bu durum, proje dayanımının daha büyük emniyet faktörü kullanılarak hesaplanması ile dengelenmelidir.

İnşaat dönemi boyunca gerekli rutin deneylerin yanısıra ihtiyaç duyuldukça ekstra deneylerde yapılmalıdır. Deneyler, SSB da kullanılan tüm malzemeler üzerinde yapılmalı ayrıca taze ve sertleşmiş beton deneyleri de yapılmalıdır. Çimento ve uçucu kül gibi bazı malzemelere ait deney sonuçları üretici firmalardan temin edilebilir. Agregata tane dağılımı ve rutubet oranı gibi deneyler, harmanlama anında yapılmalıdır. Temsili numune alınabilmesi için karıştırıcının her noktasına ulaşım imkanının bulunması şarttır. Taze beton deneyleri işlenirlik ve sıkıştırılmış birim ağırlık ile ilgili değerlendirmeyi kapsamalıdır. Sertleşmiş beton deneyleri, numune birim ağırlığı ve basınç mukavemetlerinin en az proje dayanımında öngörülen mukavemet yaşına kadar olan sonuçlarını ihtiva etmelidir.

Agregata özellikleri, beton sıkışabilirliği üzerine olan önemli etkisinden ötürü, inşa esnasında sürekli kontrol edilmelidir. Tane dağılımı veya rutubetteki bir değişim taze betonun işlenebilirlik özelliklerini etkiler. Kum oranı ve 200 no elekten geçen madde niteliğine özel bir önem verilmelidir.

Karışım esnasında, SSB gerçek karışım oranları ile ilgili bilgilere kolayca ulaşılabilmesi çok büyük öneme sahiptir. Sıkışma oranının görece bir değerlendirilmesinin yapılabilmesi için, nükleer cihaz sıkışma oranı değeri ile SSB havasız maksimum birim ağırlığının bilinmesine ihtiyaç vardır. Düşük birim ağırlık test sonuçları ya yetersiz sıkıştırmadan veya rutubet oranındaki bir değişiklikten ileri gelir. Maksimum SSB birim ağırlıkları ancak belirli aralıkta su içeriğine sahip taze betonun aşırı vibrasyonu sonucu elde edilebilir. Çok kuru SS betonlar; tabaka üst kesiminde yüksek birim ağırlık vermesine rağmen alt yüzde boşluklar içerir. Nükleer ölçücü test sonuçları muhtemelen bu durumda genel birim ağırlıkta hafif bir düşmeyi tespit edecektir. Betonun maksimum havasız birim ağırlığı DKY haldeki bileşen ağırlıkları toplamının (çimento, uçucu kül, su ve agregata) toplam bileşen hacmine oranından hesap edilebilir. Yerindeki birim ağırlık, bu değer % 98'i ile % 99'una erişebilmelidir.

Birim ağırlık tespitinin iki nedeninden birincisi projede stabilite analizi için öngörülen birim ağırlığın sağlanıp sağlanmadığının tahkiki. İkincisi ise, özellikle tabakanın birleşim yüzeylerinin yeterince sıkıştırılıp- sıkıştırılmadığının dolaylı olarak tahminidir. SSB tabaka alt kesitinde oluşacak yetersiz bir sıkışma, kayma dayanımında düşüş veya bağlanamama ve tabakalar arasında önemli su kaçakları ile sonuçlanır. Dökülüp, sıkıştırılmış haldeki SS beton birim ağırlığının tespiti etkili bir şekilde bir nükleer ölçüsü ile yapılır. Ancak, bu aletten okunan birim ağırlık değerlerinin , sıkışmanın görece bir ortalama değeri olduğu

vurgulanmalıdır. En yüksek birim ağırlığa ulaşılmakla, SSB tabakaları arasında en yüksek oranda bağlanma sağlanamayabilir. Birim ağırlık açısından optimumdan daha fazla su içeren bir karışımın bağ dayanımını geliştirme şansı; (maksimum birim ağırlığa yakın birim ağırlıkta sıkıştırılabilme avantajından dolayı) sayısal olarak daha yüksek birim ağırlığa haiz fakat teorik birim ağırlığına oranla düşük bir sıkıştırma oranına sahip, kuru bir karışımdan daha fazladır. Upper Stilwater barajından alınan karotlarda, optimumdan daha ıslak karışımların, segregasyondaki azalma ve daha yüksek orandaki sıkıştırılma nedeni ile daha iyi bağlanma gösterdiği gözlenmiştir.

Nükleer birim ağırlık ölçücü aletle etkili bir kalite kontrolü yapmak üzere; sıkıştırma işlemi biter bitmez hemen birim ağırlık tespiti yapılmalıdır. Böylece, düşük birim ağırlık veren test tabakaları hidrasyon başlamadan sıkıştırılabilir. Karşılaştırma yapabilmek için testler aynı derinlikte yapılmalıdır. Birim ağırlık deney noktaları rastgele, ancak tüm yüzeyi tarayacak biçimde seçilmelidir. Yerleştirilen 230-380 m<sup>3</sup> (300-500 yd<sup>3</sup>) SS betonda bir adet sıkışma oranı tespiti yapılmalıdır. Yüksek silis ve kalker içeren agregada kullanıldığında, test sonuçlarının kimyasal kompozisyonlara uygun şekilde ayarlanması gerekir.

Sıkıştırma için, SSB karışımlarının rutubet içeriklerinin önemi büyüktür. Rutubet oranı tayininde, fırında kurutma, nükleer ölçücü ve kimyasal metod kullanılır. Malzeme kimyasal bileşimi, çimento hidrasyonu ve numunenin temsilde yetersizliği nedeni ile bu deneylerin kullanımı sınırlıdır. Rutubet içeriği tayininde en güvenilir yol, karma tesisinde karıştırıcıya boşaltılma anında malzemelerin ağırlıklarının hassas bir şekilde tespiti ve agregada su emme oranı ile rutubet durumunun bilinmesi ile mümkündür.

SS Betonun sıkıştırılmasının bağlı bir ölçüsü olarak ve işlenebilirliğin değerlendirilmesi için düzenli bir şekilde kıvam deneyi yapılmalıdır. SS Betonu temsil eden bir numune alındıktan sonra deneyin kendisi sadece 5 dakika sürer. En uygunu, numunenin alınması ve deneyin icrasının karma tesisinde yapılmasıdır. Karışımın sıkıştırılma süresi, (V-be veya VC) süresi ile nükleer yoğunluk ölçerden okunan birim ağırlıklar arasında bir korelasyon yapılmalı ve sonuçlar alınacak karot numuneleri ile teyit edilmelidir.

Kütle yapılarında SSB döküm sıcaklığı oldukça önemlidir. Şayet döküm sıcaklığı çok yüksekse, sonradan oluşan termal artış ile beton yapıda çatlaklar oluşabilir. Projede SSB için belli bir sıcaklık sınırı değeri konulması tavsiye edilir. Böylece sıcak yaz günlerindeki dökümlerde beklenmeyen gecikmelere mahal vermemek üzere projede öngörülen sıcaklık değeri aşılmalıdır.

SSB inşaat metodları henüz geliştirilme aşamasında bulunduğu için, baraj inşaatı edilmezden önce, barajda kullanılacak ekipman ve malzeme ile bir test dolgusunun yapılması tavsiye edilmektedir. Bu dolgu, batardo dolgusu veya kritik olmayan bir sahada temel dolgusu olabilir. Böyle bir test dolgusunun öncelikli amaçları, yüklenici ekipmanlarının betonu segregasyona uğratmadan iletebilme kabiliyetini, sıkıştırma ekipmanının uygunluğunu, SSB karışım hesabında son ayarlamaların yapılmasını ve müteahhit elemanları ile sürveyan ve kontrol elemanlarının beton imal prosedürü ve elde edilen nihai ürün ile tanışmasını teminidir. Günümüzde inşa edilen projelerde test dolgusu çok yararlı olmaktadır. Aynı zamanda baraj stabilitesi için çok önemli olan ilk tabaka betonu dökümünde gecikme ve aksamaların yaşanmaması için ekipmanın uygunluğunun önceden bir deneme dolgusunda teyit edilmesi zorunludur.

Test dolgusunun gerçek dökümlerdeki karıştırma, iletme ve yerleştirme işlemlerini çok yakından temsili gerekir. Tabakaların dökümü arasında geçen süre de gerçek dökümlerde beklenen sürelele uygun olmalıdır. Bu test dolgusu, dökümden itibaren 28 gün boyunca karot alımı, ıslak kesme ve tahribatlı beton muayenesine açık kalabilecek durumda olmalıdır. Proje kriterlerini sağlama dışında karot numuneleri öncelikle, görsel incelemeye tabi tutularak segregasyon, sıkışma ve tabakalar arası kaynaşmanın yeterliliği araştırılır.

Birçok baraj için dökümlerin tamamlanmasının ardından, tercihen doldurma işlerine başlamadan evvel bir karot alma proğramı yapılması önerilir. Karot apları, EBT'nin 3 misli olmalı ve barajı temsil edici noktalardan alınmalıdır. Değerlendirmede ilk amaç, tabakalar arası sıkışmanın ve kaynaşmanın görsel incelenmesidir. Tabakalar arası proje bağ dayanımının tahkiki için ilave karotlar alınabilir. Bu karotların alınmasında çift tüplü delici tavsiye edilir. Bu karot alma proğramı, drenaj delikleri delme proğramı veya baraj ölçüm cihazları (eğim ölçerler) yerleştirilmesi amacıyla yapılacak delme proğramı gibi normal iş proğramları ile birleştirilebilir. Baraj yapısal stabilitesinin uygunluğunun tayini amacıyla karot test sonuçları projede seçilen değerlerle kıyaslanmalıdır.

## **MAYNAKLAR**

1. Cannon, R. W., "Compaction of Mass Concrete With Vibrotary Roller." ACI Journal Proceedings, Vol. 71, No. 10, Oct. 1974, pp. 506-513.
2. Dunstan, M. R. H., "Rolled Concrete for Dams - A Laboratory Study of the Properties of High Fly Ash Content Concrete," CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) Technical Note 105, London, May 1981, 96 pp.
3. Dunstan, M. R. H., "Rolled Concrete for Dams - Construction Trials using High Fly Ash Content Concrete," CIRIA Technical Note 106, London, May 1981, 94 pp.
4. Karl, D., "Upper Stillwater Dam RCC Construction Program," Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Symposium on Roller Compacted Concrete, ASCE Convention, Denver, Colorado, May 1-2, 1985, pp. 102-110.
5. Chao, P. C., and H. A. Johnson, "Rollercrete Usage at Tarbela Dam," Concrete International: Design and Construction. Vol. 1, No. 11, November 1979, pp. 20-33.
6. Oliverson, J. E., and A. T. Richardson, "Design and Construction Concepts: Upper Stillwater Dam," Concrete International: Design
7. Schrader, E. K., and R. McKinnon, "Construction of Willow Creek Dam," Concrete International: Design and Construction, Vol. 6, No. 5, May 1984, pp. 38-45.
8. Mass, G. R., "Roller Compacted Concrete Provides Economical Solutions for Dam Constructions," Concrete, July 1983, pp. 32-35.
9. Logie, C. V., "Economic Considerations in Selection of a Roller Compacted Concrete Dam," Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Symposium on Roller Compacted Concrete, ASCE Convention, Denver, Colorado, May 1-2, 1985, pp. 111-122.
- 10- "Design of Gravity Dams," Bureau of Reclamation, Denver, Colorado 1976, 553 pp.

11. Tatro, S. B., and E. K. Schrader, "Thermal Considerations of Roller Compacted Concrete," ACI Journal, Proceedings Vol. 82, No. 2, March-April 1985, pp. 119-128.
12. ACI Committee 207, "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures," ACI Journal, Proceedings Vol. 67, No. 4, April 1970, pp. 273-309.
13. Hirose, T., and T. Yanagida, "Some Experiences Gained in Construction of Shimajigawa and Okawa Dams," CIRIA Conference on "Rolled Concrete for Dams," London, June 1981.
14. Schrader, E. K., "Watertightness and Seepage Control in Roller Compacted Concrete Dams," Proceedings, ASCE, Denver, Colorado, April 1985.
15. Oberholtzer, Gary L., "Galesville Project Materials Engineering for Roller-Compacted Concrete," Southern Idaho Section, ASCE, April 1985.
16. Parent, W. F., W. A. Moller, and R. W. Southard, "Construction of Middle Fork Dam," Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Symposium on Roller Compacted Concrete, ASCE Convention, Denver, Colorado, May 1-2, 1985, pp. 71-89.
17. Elias, G. C., D. B. Campbell, and E. K. Schrader, "Monksville Dam - A Roller Compacted Concrete Water Supply Structure," XV International Congress on Large Dams, Lausanne, Switzerland, Vol. II, 1985, pp. 215-238.
18. Crow, R. D., T. D. Dolen, C. D. Prusia, and J. E. Oliverson, "Mix Design Investigation - Roller Compacted Concrete Construction, Upper Stillwater Dam, Utah," REC-ERC-84-15, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado June 1984, 72 pp.
19. ACI Committee 207, "Roller Compacted Concrete," ACI Manual of Concrete Practice, Part 1, 1983.
20. Johnson, H. A., and P. C. Chao, "Rollcrete Usage at Tarbela Dam - Problems Solved by Novel Concretes," Civil Engineering, ASCE, December 1980.
21. Japan Ministry of Construction, "Development in Japan of Concrete Dam Construction by the RCD Method," 1984.

22. Corps of Engineers, "Roller-Compacted Concrete," Engineer Manual 1110-2-2006, Office, Chief of Engineers, Washington, D.C., 1985, 95 pp.

23. Reeves, G. N., and L. B. Yates, Jr., "Simplified Design and Construction Control for Roller Compacted Concrete," Proceedings of the American Society of Civil Engineers, Symposium on Roller Compacted Concrete, ASCE Convention, Denver, Colorado, May 1-2, 1985, pp. 48-61.

24. Saucier, Kenneth L. "No-Slump Roller-Compacted Concrete (RCC) for Use in Mass Concrete Construction," Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, October 1984.

25. "Spreader Box Aids RCC Placement," Engineering News-Record, July 18, 1985.

26. Hansen, K. D., "Roller Compacted Concrete Developments in the U.S.A," Water Power and Dam Construction, January 1986.

27. Hansen, K. D., "Roller Compacted Concrete," Symposium by Colorado Section - ASCE, Denver, Colorado, May 1985.

28. Concrete International, "Proportioning No-Slump Concrete for Expanded Applications," August 1982, p. 43.

29. Dolen, Timothy P., "The Use of Fly Ash Concrete for Upper Stillwater Dam Roller Compacted Concrete," Proceedings of the Seventh International Ash Utilization Symposium and Exposition, National Ash Association, Inc., Orlando, Florida, March 4-7, 1985.

DSİ TEKNOLOJİ D. BŞK.  
BASIM VE FOTO-FİLM ŞB.MD.  
ANKARA—1999