

38346

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) BARAJLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ)



İlyas DEMİRCİ

Mart 1995

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Bu Tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

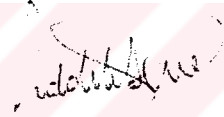
Danışman

Yrd.Doç.Dr. Fahri ÖZBAYOĞLU



Sınav Jürisi

Başkan : Prof.Dr. Sıddık ŞENER



Üye : Doç.Dr. Mustafa TOKYAY



Üye : Yrd.Doç.Dr. Fahri ÖZBAYOĞLU

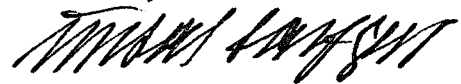


Üye : Yrd.Doç.Dr. Meral BEĞİMGİL

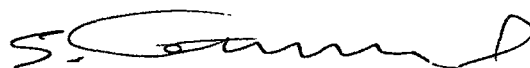


Üye : Dipl.ing. Ünsal SOYGÜR

(Yapılmayan bazı düzeltmelere
itirazım nedeniyle karşı
oy imzası)



Bu Tez Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım
esaslarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
SEMBOLLER VE KISALTMALAR	IV
TABLoların LİSTESİ	V
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	VI
RESİMLERİN LİSTESİ	VIII
GRAFİKLERİN LİSTESİ	IX
GİRİŞ	1
 BÖLÜM 1	
ROLKRİT NEDİR ?	2
 BÖLÜM 2	
SSB BARAJLARIN GEÇMİŞİ VE DÜNYADAKİ ÖNEMLİ GELİŞMELER	4
 BÖLÜM 3	
TÜRKİYE'DE SSB UYGULAMALARI	17
3.1. Karakaya Barajında SSB Uygulamaları	17
3.2. Atatürk Barajında SSB Uygulamaları	20
 BÖLÜM 4	
NEDEN SSB SEÇİLİYOR ?	29
 BÖLÜM 5	
SSB BİLEŞENLERİ	33
5.1. Agregat	33
5.2. Gradasyon (Tane Dağılım)	33
5.3. Bağlayıcılar (Çimento ve Puzzolanlar)	36
5.4. Katkı Maddeleri	40
5.5. Karma Suyu	40

BÖLÜM 6

SSB KARIŞIM HESABI	43
6.1. SSB Karışım Hesabı Örneği	46

BÖLÜM 7

SSB MEKANİK ÖZELLİKLERİ	48
7.1. Basınç Dayanımı	48
7.2. Elastisite Modülü	49
7.3. Çekme Dayanımı	51
7.4. Sünme	51
7.5. Geçirimsizlik (Permeabilite)	52
7.6. Isı Artışı	54
7.7. Donma-Çözülme	55
7.8. Yoğunluk	57
7.9. Elde Edilen Özelliklerin Özeti	59

BÖLÜM 8

SSB BARAJLARIN TASARIM İLKELERİ- PROJELENDİRİLMESİ VE İNŞAASI	60
8.1. SSB Barajların Tasarım İlkeleri	60
8.2. SSB Barajların Projelendirilmesi ve İnşası	60

BÖLÜM 9

SSB LABORATUVAR ÇALIŞMASI	64
9.1. Kullanılan Malzemeler	64
9.1.1. Çimento	64
9.1.2. Uçucu Kül	65
9.1.3. Agregası	65
9.2. Modelleme	66
9.3. SSB Karışım Oranları	68
9.4. SSB Deney Numunelerinin Hazırlanması	70
9.5. Deney Sonuçları	70

9.5.1. Birim Ağırlık	70
9.5.2. Basınç Dayanımı	71
9.5.3. Elastisite Modülü	74
9.5.4. Geçirimsizlik	77

BÖLÜM 10

GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ	80
10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	80
10.2. Genel Değerlendirme	84

BÖLÜM 11

SSB BARAJ İNŞAATLARINDAN GÖRÜNTÜLER	87
---	----

KAYNAKLAR	99
-----------------	----

ÖZGEÇMİŞ	101
----------------	-----

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB) BARAJLAR
(Yüksek Lisans Tezi)

İlyas DEMİRCİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mart 1995

ÖZ

Son 15 yıl içinde gelişmiş sanayi ülkelerinde küçük ve orta büyüklükteki bazı beton ağırlık barajları ve hava limanları klasik yol yapımında kullanılan iş makinelerinin yeni bir teknoloji ile birlikte uygulanmasıyla inşaa edilmişlerdir. Adına (SSB: SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON), (RCC: Roller Compacted Concrete), (ROLKRİT) denilen bu yeni teknolojinin ülkemizde de uygulamaya başlanması, maliyetlerin azaltılması ve inşaa sürelerinin kısaltılmasını sağlayarak faydalı olacağı düşünülmektedir. 1980'li yılların başında Amerika ve Dünya'nın birçok yerinde Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) kullanılarak baraj yapımına karar verilmiştir. Silindirle Sıkıştırılmış Beton'un (SSB) baraj yapımında kullanımı ise yurdumuzda henüz, KARAKAYA, ATATÜRK ve SIR BARAJI İNŞAATLARINDA uygulanması ile başlangıç yapmıştır.

Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB)'nin uygulanması ile klasik yöntemlerden farklı birçok mühendislik yapıları hızla bitirilebilmiş ve benzerlerine nazaran ekonomik kazançlar sağlamıştır. Karşılaşılan ortak sorunlar genelde, beton teknolojisinin uygulanmasında bilinen problemlerdir. Bunların azaltılabilmesi, uygulayıcı ekibin gereken bilgi ve deneyime sahip olmasına bağlıdır. Türkiye gibi su potansiyelinin yüksek olduğu bir ülke için bu yöntemin faydalı olacağı açıktır.

ROLLER COMPACTED CONCRETE (RCC) DAMS**(M.Sc. Thesis)****İlyas DEMİRCİ****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****March 1995****ABSTRACT**

In the last 15 years, a new technology, together with the machinery which were used previously for chassical road constructions, has been used in the construction of some small or/and medium sized concrete gravity dams and airports in the developed countries. This new technology is called Roller Compacted Concrete (RCC) Technology. Application of this new technology in our country as well as in the other countries is suposed to lower the construction costs and shorten the construction periods. In the early 1980's, mainly in the USA and some other countries, it was decided to construct dams by aplying Roller Compacted Concrete (RCC) Technology. In our country, it was used primarily in the construction of KARAYAKA, ATATÜRK and SIR DAMS.

By the application of Roller Compacted Concrete (RCC) Technology, a lot of engineering projects were accomplished in very short periods, and economical benefits were obtained as far as similar projects were concerned. The problems faced in the application are common to the concrete technology. These problems can be minimized by employing qualified and experienced staff. It is obvious that the application of this technology in a country especially having large water resources potentially like Turkey will be useful.

TEŞEKKÜR

Türkiye' de ve hatta Dünya'da sınırsız ihtiyaçlar karşısında sınırlı kaynakların optimum kullanılması düşüncesi ile baraj, yol ve liman yapımında yepyeni bir teknoloji olan SSB yönteminin araştırılmasını konu edinen bu tezin hazırlanmasında; değerli hocalarım; Prof.Dr.Sıddık ŞENER, Doç.Dr. Mustafa TOKYAY, Yrd.Doç.Dr. Fahri Uluç ÖZBAYOĞLU, Yrd.Doç.Dr. Meral BEĞİMGİL ve Dipl.Ing. Ünsal SOYGÜR'a; G.Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanı Prof.Dr. İbrahim GÜRER'e, İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkan Yardımcısı Doç.Dr. Tülay ÖZBEK'e ve İnşaat Mühendisliği Bölümünün değerli öğretim elemanlarına ve G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür Yardımcısı Prof.Dr. Süleyman PAMPAL'a ve bu tezi daktilo eden Bilgisayar Operatörü Leyla BİLGET'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Bu tez sevgili kızlarım Betül ve Büşra'ya armağanımdır.

SEMBOLLER VE KISALTMALAR

Sembol	Anlam
RCC	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
SSB	Silindirle Sıkıştırılmış Beton
RCD	Silindirilenmiş Beton Baraj
DKY	Doygun Kuru Yüzey
ODY	Orta Derecede Yapıştırıcılı
YDY	Yüksek Derecede Yapıştırıcılı
W/C	Su / Çimento
HES	Hidroelektrik Santral
D _{max}	En büyük tane çapı (mm)
P _v	Hacimce (Şerbet/Harç) oranı
F/C	Hacimce (Uçucu kül veya puzzolan/Çimento) oranı
W/(C+F)	Hacimce (Su/Bağlayıcı) oranı
V _{ca}	İri agreg a hacmi (m ³)
V _m	Havasız harç hacmi (m ³)
V _p	Hava katkısız şerbet hacmi ((m ³)
V _{fa}	İnce agreg a hacmi (m ³)
V _w	Karma suyu hacmi (m ³)
V _b	Bağlayıcı madde hacmi (m ³)
V _c	Çimento hacmi (m ³)
V _f	Uçucu kül veya Puzzolan hacmi (m ³)
C _v	Beton birim hacmi (1m ³)

TABLolarIN LİSTESİ

Tablo	Sayfa
1. Tiplerine Göre Her Yıl Bitirilen RCC Barajları.....	5
2. Dünya'daki SSB Ağırlık Barajları	6
3. SSB Barajlarının Yapım Hacmi ve Süreleri	31
4. Beton Hacmine Oranla Çakıl Mutlak Hacimleri (Vca).....	36
5. Maksimum Tane Çapına Göre Karışım Suyu Değerleri	46
6. Maksimum Tane Çapı, Bağlayıcı ve Sürenin Beton Basınç Dayanımına Etkisi	49
7. Zintel Canyonda Kullanılan SSB Özelliklerinin Beton Yaşına Göre Değişimi	50
8. Sağlamlık Faktörü Kriterleri	57
9. Çubuk Agregası Fiziki Özellikleri	64
10. Kullanılan Semboller	65
11. SSB Hacimsal Değerleri	69
12. SSB Araştırma Numunelerinin Birim Ağırlık Deney Sonuçları	71
13. SSB Araştırma Numunelerinin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları	73
14. SSB Araştırma Numunelerinin Elastisite Modülü Deney Sonuçları	75
15. Permeabilite Deney Sonuçları Tablosu	79
16. Bazı SSB Araştırma Numuneleri ile Araziden Alınan Deney Numunelerinin Fiziksel Özellikleri Arasındaki Uygunluk.....	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
1	Tiplerine Göre Her Yıl Bitirilen RCC Barajı 7
2	1985 Yılı Sonu İtibariyle Bitmiş RCC Barajları 11
3	1992 Yılı Sonu İtibariyle Bitmiş RCC Barajları 11
4	Karakaya Barajı Batardolar ve Derivasyon Tünelleri ve Baraj Plan Görünüşleri 17
5	Karakaya Barajı Memba Batardosu Boykesiti 18
6	Karakaya Barajı Memba Batardosu Çekirdek Dolgununda Kullanılan Rolkrit Betonu Granülometresi 19
7	Atatürk Barajı Genel Vaziyet Planı 22
8	Dolusavak Plan ve Profili 24
9	Atatürk Barajı Dolusavak Planı ve Boykesiti 25
10	Atatürk Barajı Dolusavağı A Bölgesi Plan ve Kesitleri 26
11	Atatürk Barajı Dolusavağı B Bölgesi Plan ve Kesiti 27
12	Atatürk Barajı Dolusavak Şut Kanallarında Kullanılan Agradanın Tane Tağılımı 28
13	RCC Barajların Yapım Hızı 29
14	Klasik Kütle Betonu ile (SSB) Betonunun Maliyet Mukayesesi 32
15	Yoğunluk ve Yapıştırıcı/Hariç Oranı Arasındaki Bağntı 34
16	İri Agrega Hacminin Sıkışmaya Olan Etkisi 35
17	Çimentomsu Malzeme İçeriği (Kg/m ³) 37

Şekil	Sayfa
18	Geleneksel Daldırma Vibrasyonlu Beton Barajlardaki Geçirgenlik ve Çimentomsu Malzeme İçeriği Arasındaki Bağlantı 37
19	RCC Yapılarında Çimentomsu Malzeme Miktarı ve Geçirgenlik Arasındaki Bağlantı 38
20	Eşit Dayanımlı Beton İçin Orantı Eğrileri 40
21	Su Miktarı ve Vibrasyon Süresinin Portland Çimentolu SSB Betonun Yoğunluğuna Etkisi 41
22	Su Miktarı ve Vibrasyon Süresinin Uçucu Küllü SSB Betonun Yoğunluğuna Etkisi 42
23	Silindirle Sıkıştırılan Beton İçin Geliştirilen Sünme Eğrileri & (Birim Gerilme İçin) ($= 1 \text{ N/mm}^2$) 51
24	Betonlama Hızının Isı Artışına olan Etkisi 54
25	Çubuk Agregası Elek Analizi 64
26	SSB Araştırmasının Deney Modellemesi 67
27	SSB Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi İçin Hazırlanan Model 68

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
1 Taze SSB Betonunun Görünüşü ve Kıvamı	76
2 SSB'nin 28 Günlük Basınç Dayanımı Deneyinden Bir Görünüş	76
3 SSB Beton Numunesi Üzerinde Yapılan Elastisite Modülü Tayininden Bir Görünüş	77
4 20x12 cm'lik SSB Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Geçirimlilik Deneyinden Bir Görünüş	79



GRAFİKLERİN LİSTESİ

Grafik	Sayfa
1 Katkısız SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımları Arasındaki Bağntı	81
2 Uçucu Kül Katkılı SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımları Arasındaki Bağnt	81
3 Katkısız SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı	82
4 Uçucu Kül Katkılı SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı	82
5 SSB Araştırma Numunelerinin Birim Ağırlıkları ile Geçirimlilikleri Arasındaki Bağntı.....	83
6 SSB Araştırma Numunelerinin Basınç Dayanımları ile Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı	83

GİRİŞ

Sürekli gelişme gayretleri içerisinde bulunan ülkemizin, sınırsız ihtiyaçları karşısında elindeki sınırlı kaynaklarla gerçekleştirme hamlelerinin yapıldığı büyük yatırım projelerinde; optimizasyon sağlayacak yöntemlerin araştırılması, geliştirilmesi ve teknolojimize kazandırılması kaçınılmazdır. Milletimizi layık olduğu medeniyet seviyesine yeniden çıkarmak ve refah seviyemizi yükseltmek için Dünya'daki teknolojik gelişmeleri izleyerek, gündemdeki konuların tanıtılması, uygulama alanlarının araştırılması, yaygınlaştırılması ve geliştirilmesi Türk Mühendislerinin vazifesidir. Bugünün gündeminde bulunan yeni bir konu da Rolkrit yöntemidir. Başka bir deyişle betonun silindirle sıkıştırılması işlemi.

BÖLÜM 1

ROLKRİT NEDİR?

Dünya üzerinde hızla gelişmekte olan teknoloji; baraj, sedde, karayolu ve liman gibi büyük yatırım projelerinde, ana yapı malzemesi olan betonun; yapım, döküm ve bakımında optimizasyon rolkrit yöntemi ile elde edilmiştir.

Rolkrit; İngilizce "ROLLER COMPACTED CONCRETE" yani Silindirle Sıkıştırılmış Beton isminde "Kuru Grobeton" esinlenmesi ile türetilmiş bir isim olup; esas itibarı ile YOL, BARAJ, LİMAN MÜHENDİSLİĞİNDE KULLANILAN; DAMPERLİ KAMYONLARLA TAŞINIP, BULDOZER VEYA GREYDER İLE YAYILABİLEN VE VİBRASYONLU SİLİNDİRLERLE SIKIŞTIRILABİLEN, ÇÖKMESİ OLMAYAN, ÇİMENTO DOZU DÜŞÜK, YÜKSEK DAYANIM, DÖKME VERİMLİLİĞİ VE YAPIM SÜRESİ GİBİ BİRÇOK EKONOMİK AVANTAJLAR SAĞLAYAN BİR BETON TÜRÜDÜR.

Bileşimi ile normal bir görüntüye sahip olup, fiziksel özellikleri ile gerçek bir beton gibi sertleşen, çimento ile harmanlanmış ıslak çakıl içermektedir. Rolkrit bazı literatürlerde temel olarak zayıf RCC (lean RCC) ve büyük oranlarda uçucu kül içeren RCC (high fly ash RCC) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Rolkrit (Silindirle Sıkıştırılmış Beton) uygulanmasında ve projelendirilmesinde Dünya'da çeşitli görüşler bulunmaktadır. Silindirle Sıkıştırılmış Beton'un yaygın olarak uygulanmaya başlanmasıyla ABD Beton Enstitüsü (ACI)'nın bu konudaki araştırmaları yoğunlaşmıştır. Yurdumuzda da başta DSİ olmak üzere Türk Mühendislerine bu konuda araştırma görevi verilmiştir.

Silindirle Sıkıştırılmış Beton, klasik betona nazaran daha az çimento içermektedir. Çimento miktarı genellikle $100-200 \text{ kg/m}^3$ civarında olmaktadır. Bunun yanında Silindirle Sıkıştırılmış Beton karışımında ve klasik betondan daha büyük dane çapı içeren agraga kullanılmaktadır. Bununla birlikte Silindirle Sıkıştırılmış Beton karışımında kullanılan agraganın daha az işlem görüp, daha az titiz bir gradasyon gerektirdiği yine ekonomik bir avantajdır. Kullanılan agraganın maksimum dane çapı 75-120 mm arasında değişebilir. Klasik betonda genel olarak bulunan % 3 ile % 6'lık hava içeriği, SSB betonunda en yoğun serme imkanı veren % 1 ile % 3 oranında olmaktadır. Bunun yanında klasik betondaki çimento oranının az veya çok olabilmesine karşın, SSB karışımında az miktarda çimento ve büyük oranda uçucu kül bulunmaktadır (1-6, 14).

BÖLÜM 2

SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON BARAJLARIN GEÇMİŞİ VE DÜNYADAKİ ÖNEMLİ GELİŞMELER

Dünya üzerinde Silindirle Sıkıştırılmış Beton'un uygulanmasının II. Dünya Savaşı'nın öncesinde başladığı bilinmektedir. O zamanlarda hava alanları apronları ve otoyolların temelaltı tabakasını kuvvetlendirmek amacıyla kullanılan Silindirle Sıkıştırılmış Beton uygulamasının izine daha sonra 1964 yılında İtalya'da yapılan bir baraj inşaatında rastlanmıştır. Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajlarının evrimindeki önemli gelişmeler kronolojik sırayla daha sonraki bölümde verilmiştir. Önceleri yavaş bir gelişme süreci izlemesine rağmen son beş-altı yıl içerisinde bütün Dünya'ya yayılan ve üzerinde çalışmalar yoğunlaştırılıp geliştirilen Silindirle Sıkıştırılmış Beton tekniği çeşitli baraj projelerinde dolgu kütlesi olarak da uygulama alanı bulmuştur. Ancak tamamı (SSB) tekniği ile inşa edilen ilk baraj ABD'nin Oregon eyaletinde 1982 yılında inşasına başlanan Willow Creek Barajı olmuştur. Faydaları daha sonra geniş şekilde ele alınacak olan (SSB) rolkrit tekniği ile inşaa edilen bu baraj şantiyesini inşaat sırasında 15 ülkeden 1000'den fazla mühendis inceleme ziyareti yapmışlardır.

Geliştirilen metodun bir büyük projenin beton inşaatında bu denli etkin ve ekonomik olarak uygulanabilmesi, mühendislerin bu konuya olan ilgileriyle birlikte heyecanlarını da arttıran bir sebep olmuştur. Elde edilen bilgilere göre, yüksekliği 15 m'den fazla olan 13 adet baraj SSB yöntemi ile inşa edilmiştir. Bunun yanısıra 1987 ve 1988 yıllarında tamamlanan 9 adet baraj bulunmaktadır. Bu barajlarla ilgili bilgiler Tablo 1 ve 2'de verilmektedir.

Tablo 1. Tiplerine Göre Her Yıl Bitirilen RCC Barajları

YIL	ZAYIF SSB		RCD		ODY SSB		YDY SSB		TOPLAM	
	SAYI	KUM.	SAYI	KUM.	SAYI	KUM.	SAYI	KUM.	SAYI	KUM.
1981 / 83	1	1	1	1	0	0	0	0	2	2
1984 / 85	1	2	0	1	3	3	1	1	5	7
1986	3	5	1	2	3	6	1	2	8	15
1987	0	5	1	3	5	11	2	4	8	23
1988	0	5	4	7	2	13	5	9	11	34
1989	1	6	0	7	2	15	7	16	10	44
1990	2	8	3	10	5	20	7	23	17	61
1991	1	9	2	12	3	23	8	31	14	75
1992	3	12	1	13	2	25	13	44	22*	97

KUM : Kümülatif

ODY : Orta derecede yapıştırıcılı

YDY : Yüksek derecede yapıştırıcılı

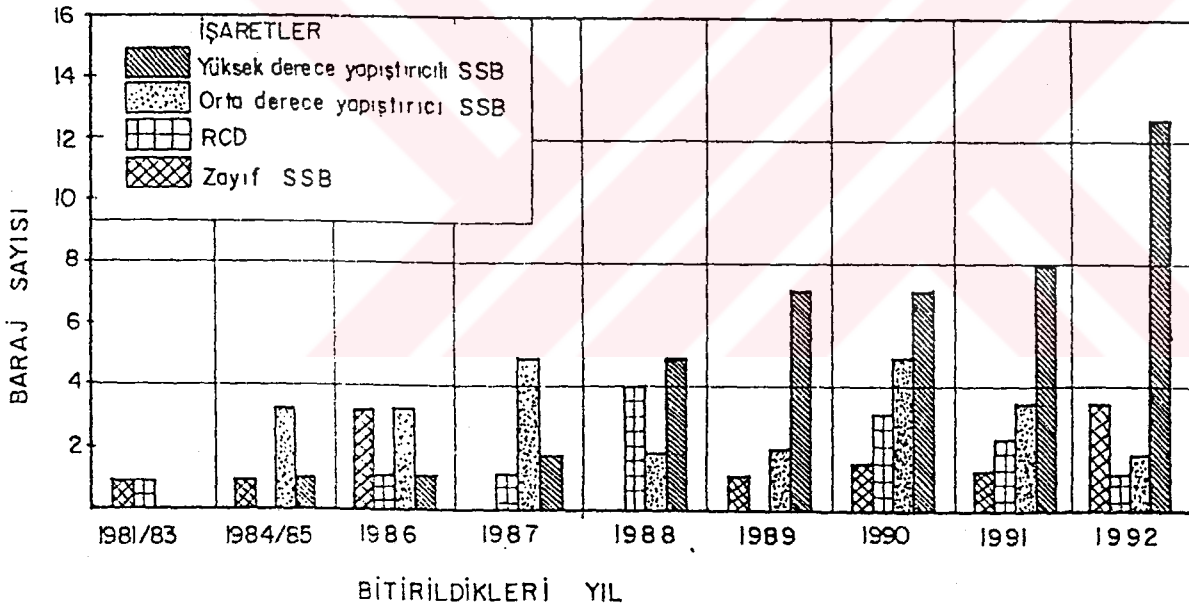
RCD : Silindirlenmiş beton baraj

* : Bir tane sıkı doldurulmuş ve iki tane de çimentomsu malzeme içeriği bilinmeyen baraj da dahildir.

Tablo 2. Dünya'daki SSB Ağırlık Barajları

NO	BİTİŞ TARİHİ	BARAJIN İSMİ	ÜLKE	MAX. YÜKSEKLİK (m)	SSB HACMİ (m ³)
1	1980	Shimajigawa	Japonya	89	170000
2	1982	Willow Creek	ABD	52	313 500
3	1984	Winchester	ABD	21	24500
4	1984	Middle Fork	ABD	38	42100
5	1984	Copperfield	Avustralya	40	140000
6	1985	Galesville	ABD	51	160800
7	1986	Grindstone Canyon	ABD	42	87500
8	1986	Monksville	ABD	46	221000
9	1986	Zaaihoek	G. Afrika	50	120000
10	1986	Craigbourne	Avustralya	25	22000
11	1986	Saco de Nova Olinda	Brezilya	56	135000
12	1986	Arabie	G. Afrika	35	110 000
13	1986	Tamagawa	Japonya	103	1 000 000
14	1987	Upper Stillwater	ABD	87	1 700 000
15	1987	Olivette	Fransa	37	153 000
16	1987	Varzea Grande	Brezilya	31	30000
17	1987	Trigomil	Meksika	100	351700
18	1988	Prica	Japonya	40	360000
19	1988	Elk Creek	ABD	76	795000
20	1988	Mano	Japonya	69	101000
21	1988	Acaua	Brezilya	79	6 233 000
22	1990	Uruga-i	Arjantin	77	590000

Japonya'daki Shimajigawa Barajı ile birlikte ABD'de çoğalmış ve Kentucky'de Winchester, Colorado'da Middle Fork (SSB) rolkrit barajları 1984 yılında tamamlanmıştır. Bunun yanısıra ABD'de 30 civarında Silindirle Sıkıştırılmış Beton barajında projelendirme aşamasında olduğu bilinmektedir. Bunlardan 10 tanesi kesin proje aşamasına ulaşmış bulunmaktadır. Bugüne değin SSB yöntemi ile inşaa edilen en yüksek baraj 103 m ile Japonya'daki Temagawa Barajı olmuştur. Bu barajı 100 m ile Mexico'daki Trigomil Barajı izlemektedir. Bunun yanında Japonya'da 115 m yüksekliğindeki Sakaigawa Barajı ve ABD'nde 209 m yüksekliğe ulaştırması düşünülen Auburn Barajı'nın da SSB yöntemi ile inşaatları planlanmaktadır. ABD'ndeki Upper Stillawater Barajı'nda



Şekil 1. Tiplerine Göre Her Yıl Bitirilen RCC Barajı

1.07×10^6 m³ SSB kullanılmıştır. Bu baraj beton hacmi olarak Dünya'nın en büyük SSB ağırlık barajıdır. Japonya'daki Tamagawa Barajı da 1×10^6 m³'den daha fazlası SSB dolgu hacmine sahiptir. Ancak yine de SSB'nin hacim olarak en büyük oranda uygulanması Pakistan'daki Tarbela Barajı dolusavağı ve yardımcı dolusavağı çevresindeki koruma, sağlamlaştırma ve

dipsavak tüneli tamirâtı çalışmalarında olmuştur. Bu çalışmalarda toplam $2.5 \times 10^6 \text{ m}^3$ SSB kullanılmıştır. Diğer taraftan SSB'nin bugüne dek en büyük hacimle kullanımı Çin'de planlama aşamasında olan 2 batardo yapısı ile gerçekleşecektir. Çin'deki Three Georges projesi içinde planlanmakta olan bu yapılardan 95 m yüksekliğindeki enine batardonun 3. aşamasındaki SSB hacmi ise $1,42 \times 10^6 \text{ m}^3$ olacaktır. Aşağıda ABD'de inşa edilen SSB barajların bazıları hakkında kısa açıklamalar verilmiştir (14, 15, 17).

. Willow Creek Barajı

Başlangıçta kaya dolgu olarak projelendirilen ABD'deki Willow Creek Barajı, daha sonra dolusavağı gövde üzerine yerleştirilen bir beton ağırlık barajı olarak düşünülmüşse de normal olarak dökülen kütle betonun yüksek maliyeti projeye engel olmuştur. Daha sonra rolkrit yöntemi ile yapımına karar verilerek 1982 yılında tamamlanan baraj Dünya'da bu yöntemle inşa edilen ilk barajlardan biri olmuştur.

Willow Creek Barajı ABD'de Oregon eyaleti sınırları içerisinde 52 m yüksekliğinde ve 518 m uzunluğunda taşkın kontrolü amacıyla yapılmış, 313486 m^3 beton içeren bir barajdır. Rolkrit karışımı için iç kısımlarda 47 kg/m^3 vibratörlü silindirlerle sıkıştırılarak 2400 kg/m^3 'lük bir yoğunluk elde edilmiştir. Baraj inşaatı sırasında soğuk yatak derzleri en aza indirebilmek için günde 8 saatlik 2 vardiya halinde haftada 6 günlük bir çalışma sistemi ile çalışan 70 işçi, 163 tabaka halindeki 306000 m^3 SSB betonunu sadece 5 ay içerisinde sererek baraj tamamlamışlardır.

Willow Creek Barajı kaya dolgu olarak inşa edilecek olsa idi 25,6 milyon dolara malolacağı hesaplanmıştır. SSB yöntemi ile inşa edilen barajın maliyeti, 14,2 milyon dolar olmuştur. Planlanması ve tamamlanması

3 yıl alan barajın yapımında SSB kullanılması, inşaat sürelerinde en az 1 yıl tasarruf sağlanmıştır. Bunun yanında geleneksel betonun fiyatı m^3 başına 85 dolar olarak hesaplanmış olup SSB karışımı ise m^3 başına 25 dolara malolmuş ve 4 kat daha az malzeme kullanılmıştır (14).

. Winchester Barajı

ABD Kentucky eyaletinde inşa edilmekte olan baraj yaklaşık 20 m yüksekliğinde ve 325 m uzunluğundadır. Su ihtiyacı amacıyla inşa edilerek 1984 yılında tamamlanan barajda 24500 m^3 SSB kullanılmıştır. SSB karışımında kireçtaşı, agraga ve Willow Creek Barajının karışımında kullanılan çimento oranının 2 katından fazla çimento kullanılmıştır ($104 kg/m^3$). SSB serilme işlemine 1984 yılı Ağustos ayında başlanarak bu işlem 2 ay içinde tamamlanmıştır. Bu proje yapımı süresince başta Japonya ve Afrika ülkelerinden olmak üzere birçok ülkeden ilgili mühendisler ziyaret etmişlerdir. Baraj maliyeti ile ilgili olarak proje müdür yardımcısı Ronald Hurt "Dolgu barajda kullanacağımız malzemenin onda birini kullanıyor ve SSB karışımı ile klasik beton maliyetinin yarısı civarında tasarruf sağlıyoruz" demiştir (14).

. Middle Fork Creek Barajı

Middle Fork Creek Barajı ABD'nin Colorado eyaleti sınırları içerisinde 125 m uzunluğunda ve yaklaşık 38 m yüksekliğinde, taşkın önleme ve bölgedeki bir projenin kullanma suyu ihtiyacı için planlanmıştır. V şeklinde oldukça dik yamaçlı bir vadiye inşaa edilen baraj, ilk olarak 60,9 m yüksekliğinde toprak ve kaya dolgu tipinde planlanmış ve inşaatına başlanmıştı. Daha sonra SSB barajların suyun baraj üzerinden aşmasına imkan tanınmasından dolayı, taşkın önleme amaçları için daha kısa sürede inşaa edilebileceği düşünülerek, proje değiştirilmiş ve barajın SSB yöntemi

ile 37,7 m yüksekliğinde inşa edilmesine karar verilmiştir. Böylece ilk projelerindirmede 497000 m³ olan dolgu hacmi 42000 m³'e düşmüştür.

Baraj inşaatında SSB karışımında 71 kg/m³ çimento kullanılmıştır. 30 cm olarak serilen SSB tabakası kalınlığının sıkıştırma işlemi sırasında yaklaşık 2,5 cm azaldığı belirlenmiştir. Bunun yanında sızmaların kontrol altına alınabilmesi amacıyla barajın düşey memba yüzü 30 cm kalınlığında klasik beton tabakasıyla kaplanmıştır (14).

. Galesville Barajı

ABD'nin Oregon eyaletinde, taşkın kontrolü, su temin ve enerji üretimi amaçlı olarak SSB yöntemi ile inşaa edilen baraj yaklaşık 51 m yüksekliğinde ve 52x10⁶ m³ depolama kapasitesindedir. İlk olarak toprak dolgu tipinde planlanan barajın daha sonra SSB yöntemi ile inşasına karar verilmiş ve böylece ilk proje maliyetine göre % 15 oranında, 2 milyon dolar tasarruf sağlamıştır. Yaklaşık 285 m uzunluğunda olan barajın mansap yüzü 0.8/1 eğimle inşa edilmiştir. Düşey olan memba yüzü ise geçirimsizliğin sağlanması amacıyla 30 cm kalınlığında klasik beton ile kaplanmıştır. Ancak buna rağmen günde 750 lt suyun baraj gövdesinden sızdığı tespit edilmiştir (14).

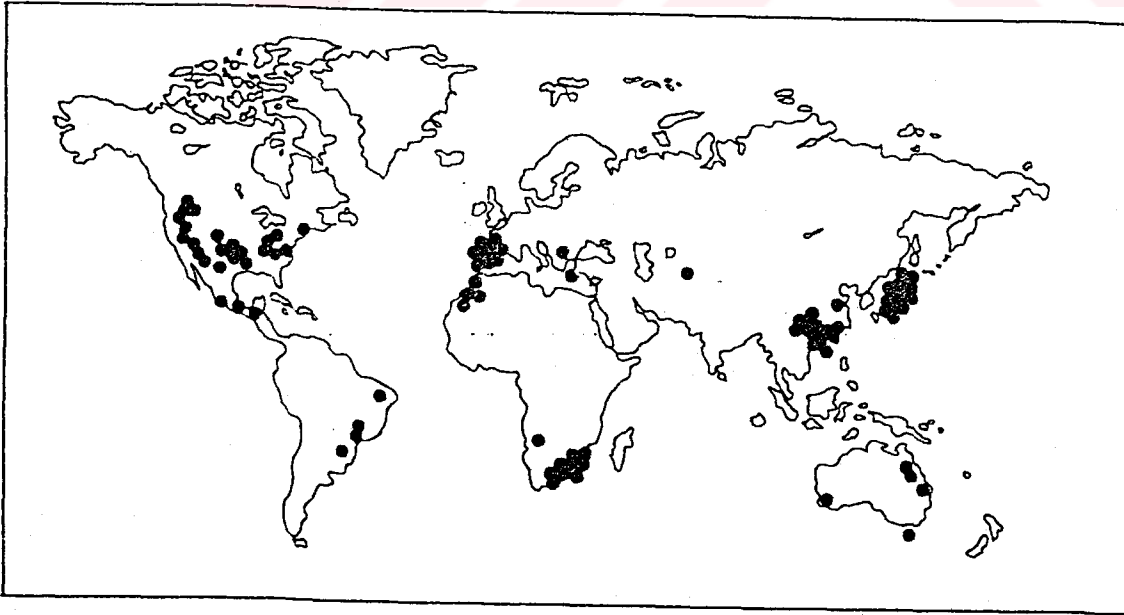
. Upper Stillwater Barajı

ABD'de Utah eyaletindeki Dünya'nın en büyük hacimli (1,7x10⁶ m³) rolkrit barajın inşaatına 1983 yılında başlanmıştır. Çevre ve iklim koşullarının senede ancak 6 ay çalışmaya izin vermesi sebebiyle barajın 1987 yılında bitirilmesi planlanmıştır. Maliyeti 60,6 milyon dolar olarak belirlenen baraj 83,8 m yüksekliğinde ve 813,8 m uzunluğundadır. Burada kullanılan SSB karışımındaki yüksek çimento oranı ve uçucu kül ile betonun

1 sene sonra 280 kgf/cm²'lik basınç ve 12,6 kgf/cm²'lik çekme dayanımlarına sahip olması amaçlanmıştır. Bunun yanı sıra inşaat süresince iklim koşulları nedeniyle oluşacak donma-çözülme olayının olumsuz etkilerini ortadan kaldırmak için değişik SSB karışım oranları belirlenerek uygulanmıştır (14).



Şekil 2. 1985 Yılı Sonu İtibariyle Bitmiş RCC Barajları



Şekil 3. 1992 Yılı Sonu İtibariyle Bitmiş RCC Barajları

SSB barajlarının ilk gelişimi sırasında ortaya üç tane hesap teorisi çıkmıştı. Bunlar:

a. Zayıf SSB barajları; bu tip barajlarda iç kısımda kullanılan beton % 40 mertebesinde puzolan (genellikle fly ash) içeren 99 kg/m^3 'ten daha az çimentomsu malzemedir (yani portland çimentosu ve puzolan). Yaklaşık 30 cm kalınlığındaki katmanlar halinde dökülür. Bu barajlardan bazıları ince daneliler fazla oranda olmak üzere agregada içerirler. Örnekler Willow Creek, Urugua ve Concepcion barajlarıdır.

b. RCC (Silindirli Sıkıştırılmış Barajlar) metodu; bu metod Japonya'da geliştirilmiştir fakat dünyanın diğer taraflarında kullanılandan oldukça farklıdır. Beton daha kalın katmanlar halinde yerleştirilir (70 ile 100 cm arası). Silindirle sıkıştırılmış iç kısımdaki beton geleneksel daldırma vibrasyonlu betondan yapılmış bir kabuk (2 ile 3 m genişliğinde) ile korunur ve her derzde su tutuculardan ve drenaj kanallarından oluşan geniş bir sistem kullanılır. Bu şekilde kullanılan betonun çimentomsu malzeme oranı % 20 ile 35 arası flyash olmak üzere 120 ile 130 kg/m^3 arasındadır. Tipik örnekleri Shimajigawa ve Tamagawa barajlarıdır.

c. Yüksek derecede yapıştırıcılı SSB barajı; bu türdeki beton çok az hava boşluğu içerecek ve katmanlar arasında her katmanın yüzeyinde işlem yapmadan sağlam bağlar kuracak ve yerinde yapılacak geçirgenlik testlerinde en az barajlarda kullanılan klasik beton kadar iyi olacak şekilde hesaplanmıştır. Silindirle sıkıştırılmış beton genelde ince tabakalar halinde (yaklaşık 30 cm kalınlığında) yayılır ve çimentomsu malzeme oranı genelde % 70 ile 80'i puzolan olmak üzere 150 kg/m^3 'tür. Yani Portland çimentosu miktarı düşüktür. Örnekleri Upper Stillwater, Santa Eugenia, Knellpoort, New Victoria, Daguanga ve Platonovryssi'ki barajlarıdır.

Bu teorilerde çakışan kısımlar olsada her biri baraj yapımı için değişik fikirler geliştiren ayrı teorilerdir. Zayıf SSB barajlarda iç kısımdaki silindire sıkıştırılmış zayıf betonu korumak amacıyla memba kısmında geçirimsiz perde kullanır. Bu perde ya daldırma vibrasyonlu betonun iç kısımdaki betonun dökülmesi ile aynı zamanda ve klasik kalıp yerine yüzey kaplanmasıyla (50 cm genişliğe kadar) ya da önceden dökülmüş PVC kaplamalı veya kaplamasız beton panellerle olur. Yatak karışımları (Yüksek çimento malzemeli oranlı beton veya harç) bazen memba yüzü tarafında her katmanın arasına bağı arttırmak ve sızıntıyı engellemek için dökülür.

RCD metodu 1960'ların başında İtalya'da ortaya çıkan Alpe Gera inşa metodunun geliştirilmiş halidir. Bu yöntemle yapılan yapının bitmiş hali, en başta kalıplar yerine sonradan derzlerin kesilerek yapıldığı 15 m genişliğinde direkler haricinde klasik ağırlıklı beton baraja benzemektedir. Bu yapım metodu klasik ağırlıklı beton barajdan % 10 ile 15 arası daha hızlıdır fakat iş gücü ağırlıklıdır ve diğer SSB çeşitlerine göre daha pahalıdır.

Yüksek derecede yapıştırıcılı SSB barajlarının teorisinin temelinde ise demirsiz yüzey kaplama betonunun sıcaklık değişimlerinden dolayı çatlayacağı vardır. Öyleyse barajın ortası, yani iç kısımdaki silindire sıkıştırılmış beton, geçirimsiz bir su tutucu, dış yüzeyi ise koruyucu ve yalıtımı sağlayan kaplama olarak düşünülebilir. Bu yüzden SSB barajları katmanları birbirine iyi bağlamak ve yerindeki geçirgenlik testlerinde klasik beton baraj gibi davranmak üzere hesaplanmalıdır. RCD barajlarında olduğu gibi büzülme derzleri baraj içinde yapılır, fakat RCD barajına kıyasla genelde daha büyük merkezdedirler.

Yukarda tanımı yapılan değişik yaklaşımlar derlenerek içinde 100 ile 149 kg/m³ çimentomsu malzeme bulunan orta derecede yapıştırıcılı SSB barajı tanımlanmıştır.

Türlerine göre her yıl bitirilen SSB barajları Şekil 1'de gösterilmiştir (Bu veriler aynı zamanda Tablo 1'e de dahil edilmiştir). Şekil 1 ve Tablo 1'den de anlaşılabileceği gibi 1986 yılının sonuna kadar 15 tane SSB barajı, (ki bunlar ilk nesil SSB barajları olarak tanımlanılabilir) bitirilmiştir. Bunlardan beş tanesi (% 33) zayıf SSB barajı, iki tanesi (% 13) RCD barajı, altı tanesi (% 40) orta derecede yapıştırıcılı SSB barajı ve iki tanesi (% 13) yüksek derecede yapıştırıcılı SSB barajıdır. Bundan sonraki altı yılda 82 SSB barajı tamamlanmıştır. Bunlardan sadece yedi tanesi (% 9) zayıf SSB barajı, onbir tanesi (% 13) RCD barajı, daha önceden de olduğu gibi ondokuz tanesi (% 23) orta derecede yapıştırıcılı SSB barajı iken kırk iki tanesi (% 51) yüksek derecede yapıştırıcılı SSB barajıdır (sadece bir tane sıkı doldurulmuş yani çimento-stabilize) beton-yüzü ise zonlu dolgu olan bir baraj ve 1992 yılında tamamlanıp çimento içeriği bilinmeyen iki tane baraj vardır). Bu durumda gösteriyor ki en başta kullanılan orta derecede yapıştırıcılı SSB barajlara hissedilir bir geçiş vardır. Bu geçişin sebebi aşağıdaki dört nedene bağlanabilir:

1. SSB'nin performansının daha iyi anlaşılması; çeşitli formlarda SSB içeren tamamlanmış barajlardan alınan numuneler üzerinde yapılan testler göstermiştir ki yüksek derecede yapıştırıcı kullanması SSB'nin performansını son derece arttırmaktadır.

2. Yapılması düşünülen SSB barajlarının ebatlarındaki büyüme; artan ebatlarla birlikte özelliklerinin artırılması gündeme gelmiştir. Yüksek derecede yapıştırıcı içeren betonlara nazaran zayıf SSB barajlarında

geçirimsizlikte ve direkt çekme kuvvetinde önemli ölçüde düşük performans elde edilmekteydi.

3. SSB barajlarının kullanılış alanlarındaki değişmeler: ilk yapılan SSB barajlarının bazıları taşkınları hafifletmek veya buna benzer sebepler içindi. 1980'lerin sonlarında ve 1990'ların başlarında SSB barajları daha çok elektrik üretiminde ve su tutmada kullanılmaya başlanmış ve bu beraberinde daha geliştirilmiş geçirimsizliği getirmiştir.

4. Ekonomi: yüksek derecede yapıştırıcılı SSB'lerde zayıf SSB'lere nazaran geliştirilmiş özellikler beraberinde özellikle deprem yüklerine maruz kalan bölgelerde ağırlık barajların ebatlarında küçülmeleri getirdi. Yüksek derecede yapıştırıcılı SSB barajının yüksek malzeme maliyetine karşın toplam maliyetinin (yani Hacim x Yüzeyin oluşturulması dahil birim fiyat vb. gibi) aynı emniyet paylı zayıf SSB barajından daha az olduğu görülmüştür.

SSB teknolojisi üzerine artan tecrübeye beraber SSB yöntemi çok hızlı bir şekilde yayılmaktadır. 1985 yılı sonu itibariyle sadece yedi tane SSB barajı bitirilmiştir (Şekil 2'ye bakınız). Bunlardan dört tanesi Amerika'da (Willow Creek Middle Fork, Winchester ve Galesville), biri Avustralya'da (Copperfield) ve biri Japonya'daki RCD barajıdır (Shimajigawa). 1991 yılı sonu itibariyle bu rakam onüç değişik ülkede toplam 75'e, 1992 yılı sonu itibarıyla ise bu rakam 17 değişik ülkede toplam 97'ye (Şekil 3'e bakınız) çıkmıştır. Burdan da görülebileceği gibi herhangi bir ülkede SSB barajı (veya Japonya'da olduğu gibi RCD) ilk olarak denendikten sonra o ülkede SSB son derece hızlı bir gelişme göstermektedir. Mesela 1992 yılı sonu itibarıyla Amerika Birleşik Devletleri'nde 13 tane SSB barajı, İspanya'da 15 tane SSB barajı,

Japonya'da 13 tane RCD barajı ve Çin'de 13 tane SSB barajı (1986 yılı sonu itibarıyla ilk SSB barajı olan Kengkou barajı henüz tamamlanmamıştı) tamamlanmıştır. İspanya ve Çin'deki bütün barajlarda yüksek derecede yapıştırıcı SSB barajı teorisinin kullanıldığına dikkat etmek gerekir.

Ağırlıklı barajlar dışında SSB, Güney Afrika'daki Knellpoort ve Wolwedans ağırlıklı kemer barajlarında ve Çin'deki 75 m yüksekliğindeki kalın kemerli Puding barajında da kullanılmıştır. SSB ile elde edilen özellikler aynı ebatlar için, artırılan yükleme altında klasik ağırlıklı barajlardan çok daha iyi sonuçlar vermiş ve zemin şartları uygun olduğu sürece ağırlıklı kemer SSB barajlarında ekonomik bir alternatif olduğu görülmüştür.

Bugün silindirle sıkıştırılmış beton barajlar bütün sebepler için yapılabilmekte ve dolayısıyla klasik daldırma vibrasyonlu ağırlıklı beton barajların yerini almaktadır. Bu barajlar aynı zamanda daha önceden zonlu dolgu projelendirilmesi yapılmış bir kaç yerde de uygulanmıştır.

Artık SSB'nin tam anlamıyla kabul edildiğini göstermek için aşağıdaki verileri incelemek yeterlidir.

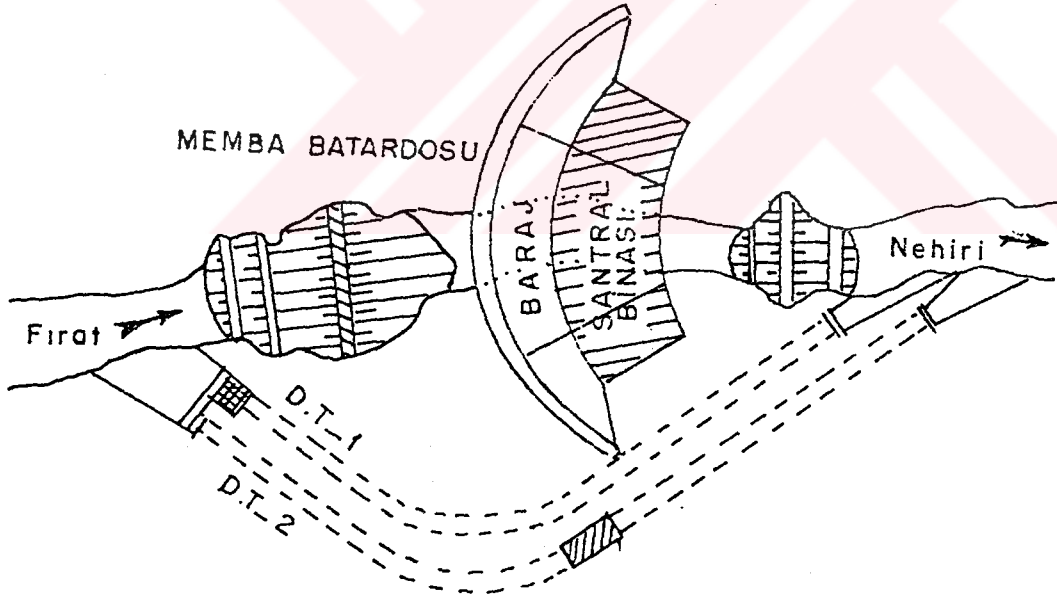
- Şu anda yapımı sürmekte olan en yüksek SSB barajı 155 m yüksekliğindedir.
- En büyük hacimli SSB barajı 5,000,000 m³ beton içermektedir ve yapımı başlamak üzeredir.
- Her açıdan en büyük SSB barajı ise henüz projelendirme safhasında olan ve 217 m yüksekliğinde ve 7,500,000 m³ beton içeren Çin Mainland'daki Longtan barajıdır (1, 4, 10, 13, 17).

BÖLÜM 3

TÜRKİYE'DE SSB UYGULAMALARI

3.1. Karakaya Barajında SSB Uygulamaları

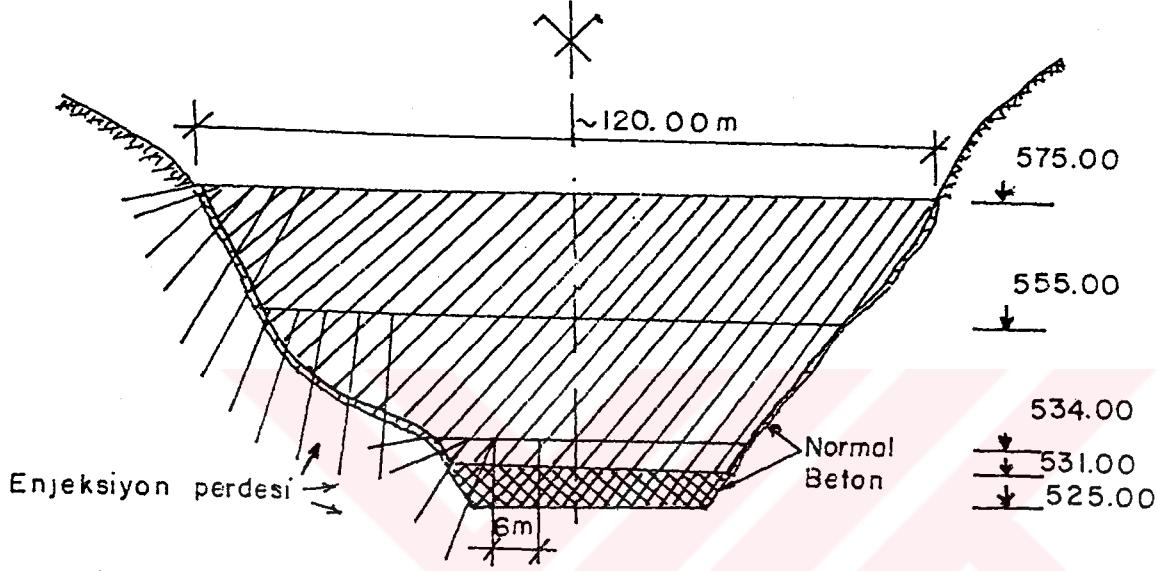
Karakaya Barajı'nda SSB uygulaması ülkemizde ilk uygulama olması açısından önem arz etmektedir. Karakaya Barajı ve HES, Fırat nehri üzerinde, Keban Barajı'nın 166 km mansabında, çok dar bir vadide inşaa edilmiştir. Beton kemer ağırlık tipindeki barajın temelden yüksekliği 173 m ve kret uzunluğu 462 m olup gövde inşaatında 2 milyon m³ beton kullanılmıştır. 1988 yılı sonunda tamamlanan, 6 üniteden oluşan, 1800 MW gücündeki santral, yılda $7,5 \times 10^6$ (7,5 milyar) kilovatsaat elektrik üretmektedir.



Şekil 4. Karakaya Barajı Batardolar ve Derivasyon Tünelleri ve Baraj Plan Görünüşleri

1976 yılında ihale edilen baraj inşaatında, derivasyon işlemi 1 Ekim 1981'de tamamlanmıştır. Memba batardosu 50 m yükseklikte, kil çekirdekli kaya dolgu olarak projelendirilmiştir. Kil çekirdek yerine, SSB bileşimli bir

çekirdek teşkili ile zaman ve işçilik yanında 1982 birim fiyatları ile 23,5 milyon TL daha ekonomik bir çözüm sağlanmıştır. Karakaya barajı ve HES inşaatında SSB dökümüne 17 Kasım 1982'de başlanmış olup 25 Mart 1983'te tamamlanmıştır. 4 ay gibi bir süre içinde olumsuz hava koşullarına rağmen 46000 m³ hacminde SSB ile 1 milyon m³ hacminde kaya dolgu ile batardo inşaatı tamamlanmıştır (15).



Şekil 5. Karakaya Barajı Memba Batardosu Boykesiti

SSB Bileşenleri

Agrega

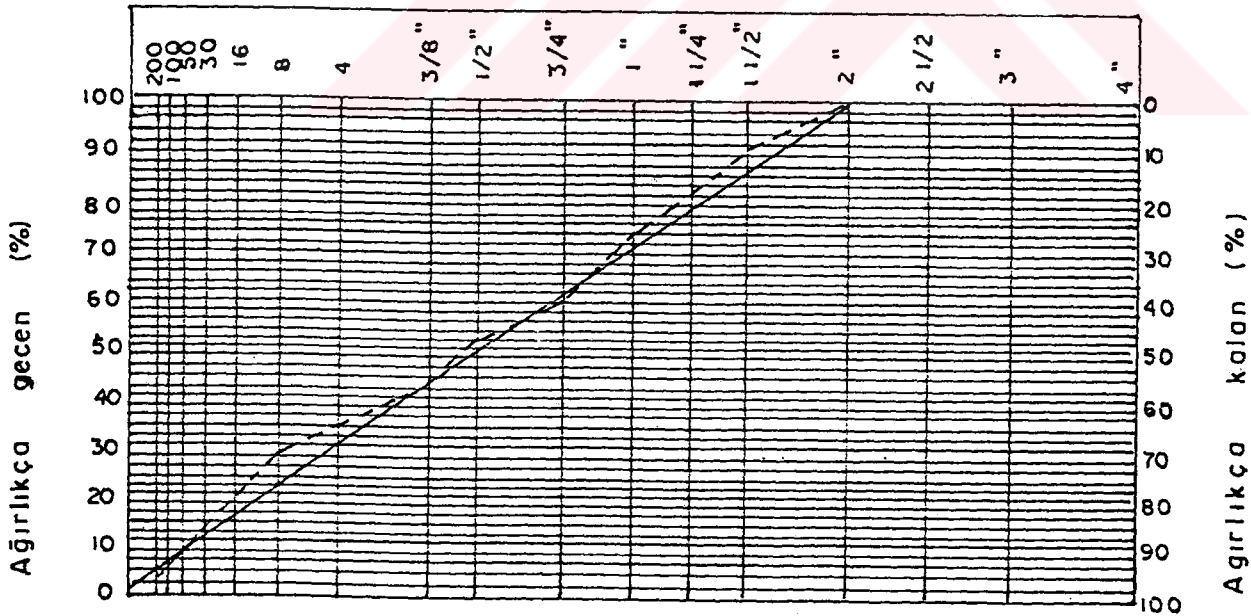
Hornblend gnays olarak isimlendirilen yoğun kireçtaşı temel kayacından elde edilmiştir. Kırma, eleme ve yıkama tesisinden geçirilen agreg (0,1-1,5), (1,5-5), (5-15), (15-30) ve (30-60) mm olarak sınıflandırılmıştır. Agreg özgül ağırlığı 2,86 gr/m³'tür.

Agreganın elek analizi ve tane dağılımı için uygulanan gradasyon aşağıda verilmiş olup, ideal gradasyonun maksimum tane çapı ile sıfır noktasını birleştiren bir dolgu oduğu varsayılmıştır.

Karakaya Barajı ve HES. Memba Batardosu Çekirdeğindeki
Kullanılan SSB Karışım Hesabı Örneği:

Su/Çimento (W/C) oranı 0,85 olan maksimum tan e çapı 2" (50 mm) olan 2,86 gr/cm³ özgül ağırlıklı kırmataş agrega ile 100 kg/m³ dozlu çimento ile bir SSB karışımı için karışım hesabı yapılmak istenmiş ve; çimentonun özgül ağırlığı 3,05 gr/cm³ ve hava oranı %1 olarak belirlenmiştir. Katkı maddesinin kullanılmadığı bir deneme karışımında granülometri için :

- % 15 İnce kum (0,1-1,5 mm)
- % 18 İri kum (1,5-5,0 mm)
- % 17 İnce çakıl (5,0-15 mm)
- % 20 Orta çakıl (15-30 mm)
- % 30 İri çakıl (30-60 mm) oranları tespit edilmiştir.



Şekil 6. Karakaya Barajı Memba Batardosu Çekirdek Dolgusunda

Kullanılan Rolkrit Betonu Granülometresi

Mutlak hacimler	: Çimento	: $100 \times 3,05 = 33 \text{ dm}^3$
	Su	: $100 \times 0,85 = 85 \text{ dm}^3$
	Hava	: $0,1 \times 1000 = 10 \text{ dm}^3$
Toplam	:	128 dm ³

Agrega ağırlıkları	: (0,1-1,5 mm)	: $872 \times 2,86 \times 0,15 = 374 \text{ kg}$
	(1,5-5,0 mm)	: $872 \times 2,86 \times 0,18 = 449 \text{ kg}$
	(5,0-15 mm)	: $872 \times 2,86 \times 0,17 = 424 \text{ kg}$
	(15-30 mm)	: $872 \times 2,86 \times 0,20 = 499 \text{ kg}$
	(30-60 mm)	: $872 \times 2,86 \times 0,30 = 748 \text{ kg}$
Toplam	:	2494 kg

Beton birim ağırlığı	: Çimento	: 100 kg
	Su	: 85 kg
	Agrega	: 2494 kg
Toplam	:	2679 kg

Beton birim ağırlığı 2,679 ton/m³ olarak bulunmuştur (15).

3.2. Atatürk Barajında SSB Uygulamaları

Atatürk Barajı ve HES, Güneydoğu Anadolu'da Fırat Nehri üzerinde inşa edilmiştir. Baraj yeri Şanlıurfa ilinin Bozova ilçesi sınırlarında, Şanlıurfa'ya 62 km, Adıyaman'a 40 km mesafede ve iki il sınırlarında bulunmaktadır. Ülkemizin en büyük barajı olan Atatürk Barajı, 83,5 hm³ büyüklüğündeki gövde hacmi ile Dünya'da gövde hacmi büyük barajlar arasında 9. sırada yer almaktadır.

Zonlu kaya tipinde inşa edilen baraj, temelden 169 m yükseklikte olup 8x300 MW=2400 MW kurulu gücünde olan enerji santrali ile yılda 8,9

TWh hidroelektrik enerjisi üretilip, 874000 hektar tutarındaki tarım alanına sulama suyu temin edecek büyüklüktedir. 48,7 km³ büyüklüğündeki göl hacmi ile Fırat Nehri taşkınlarını kontrol altında tutacaktır.

Atatürk Barajı'nın dolusavak yapısı; Şut kanalı bir yan derenin etkisinde kalmış bir bölgeden geçtiğinden, tabanda iki ayrı bölgeden yamaç molozunun ana kayaya kadar kaldırılarak, ana kaya ile dolusavak şut kanalı döşeme betonu arasında kalan bölümün beton ile doldurulması düşünülmüş ve kati proje bu tarzda tanzim edilmiştir. Tatbikat esnasında kati projede beton ile doldurulması öngörülmüş olan bu bölgelerin Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) ile teşkili daha ekonomik ve zaman açısından da daha uygun bulunduğundan proje bünyesinde az da olsa SSB tatbikatı yapılmıştır (18).

Dolusavak Şut Kanallarında SSB Kullanımı

Atatürk Barajı dolusavak şut kanallarında kullanılan SSB'de :

. Agrega : En büyük tane çapı 100 mm olan ve elek analizi aşağıda verilmiş tabii nehir agregası kullanılmıştır.

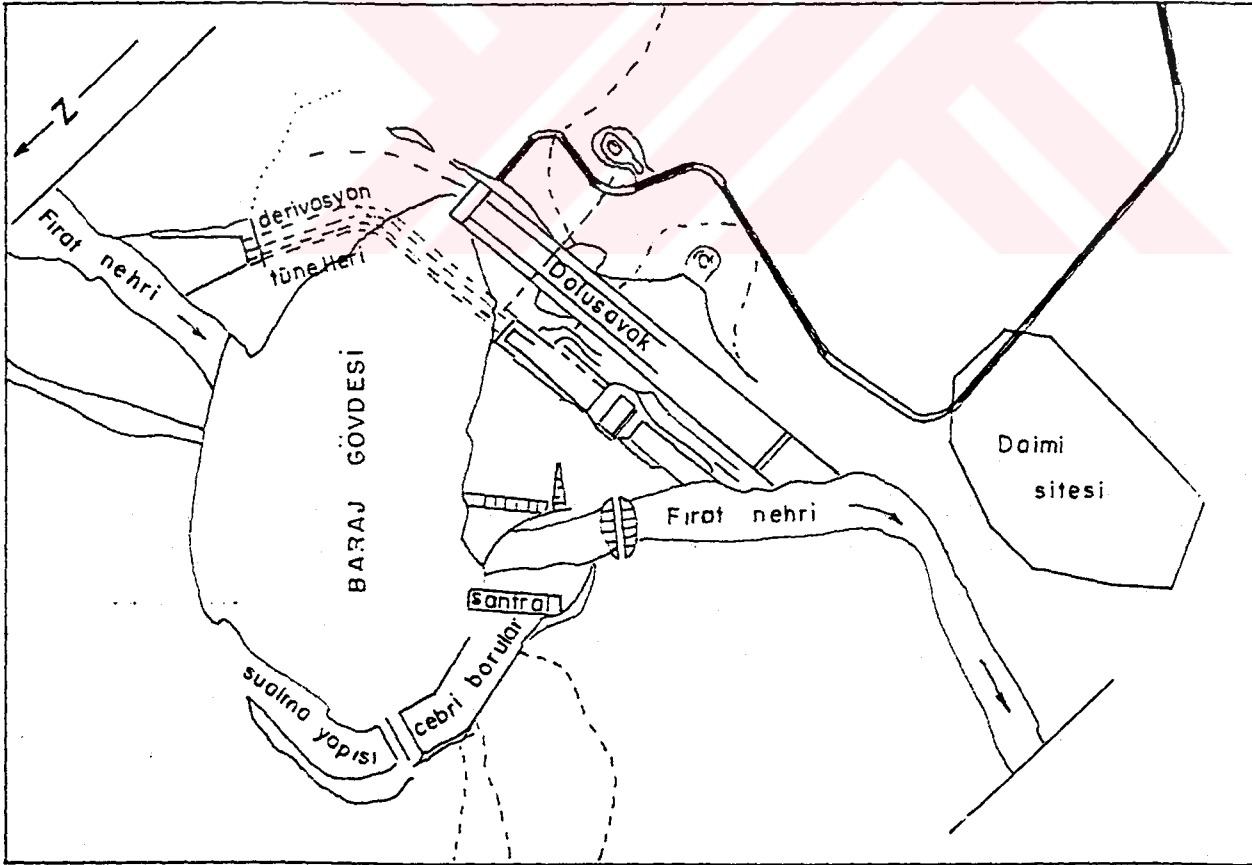
. Çimento : Şanlıurfa ve Adıyaman Çimento Fabrikalarından temin edilmiş Tip II Katkılı Portland Çimentosu kullanılmıştır.

. Karışım oranları :

Çimento	120 kg/m ³
Su	114 kg/m ³
W/C	0,95
Agrega	2354 kg/m ³ olarak tespit edilmiştir.

SSB betonu yukarıdaki oranlarda çimento, su ve agregası ile beton santralinde karıştırılarak Caterpillar kamyonlarla uygulama sahasına taşınmıştır. Damper kaldırmak suretiyle boşaltılmış olan SSB betonu D8

dozerler ile serilerek kabaca tesviyesi yapılmış ve statik ağırlığı 15 ton olan vibrasyonlu silindirlerle 4 tampa (4 giriş-4 geliş) çekilmek suretiyle 30'ar cm'lik tabakalar halinde inşa edilmiştir. Döküm yerinde kaya yüzeyleri, su ve hava jeti ile temizlenmiş ve dökümden önce bu yüzeyler su ile nemlendirilmiştir. Muhtemelen yeraltı suyunun bölge dışına akıtılmasını ve doğacak su basıncının bertaraf edilmesini tayin etmek maksadıyla SSB dökümünden önce ana kayada küçük kanallar açılmış ve buralara delikli plastik borular (drenfleks) yerleştirilmiştir (Bkz Genel Vaziyet Planı) (18).

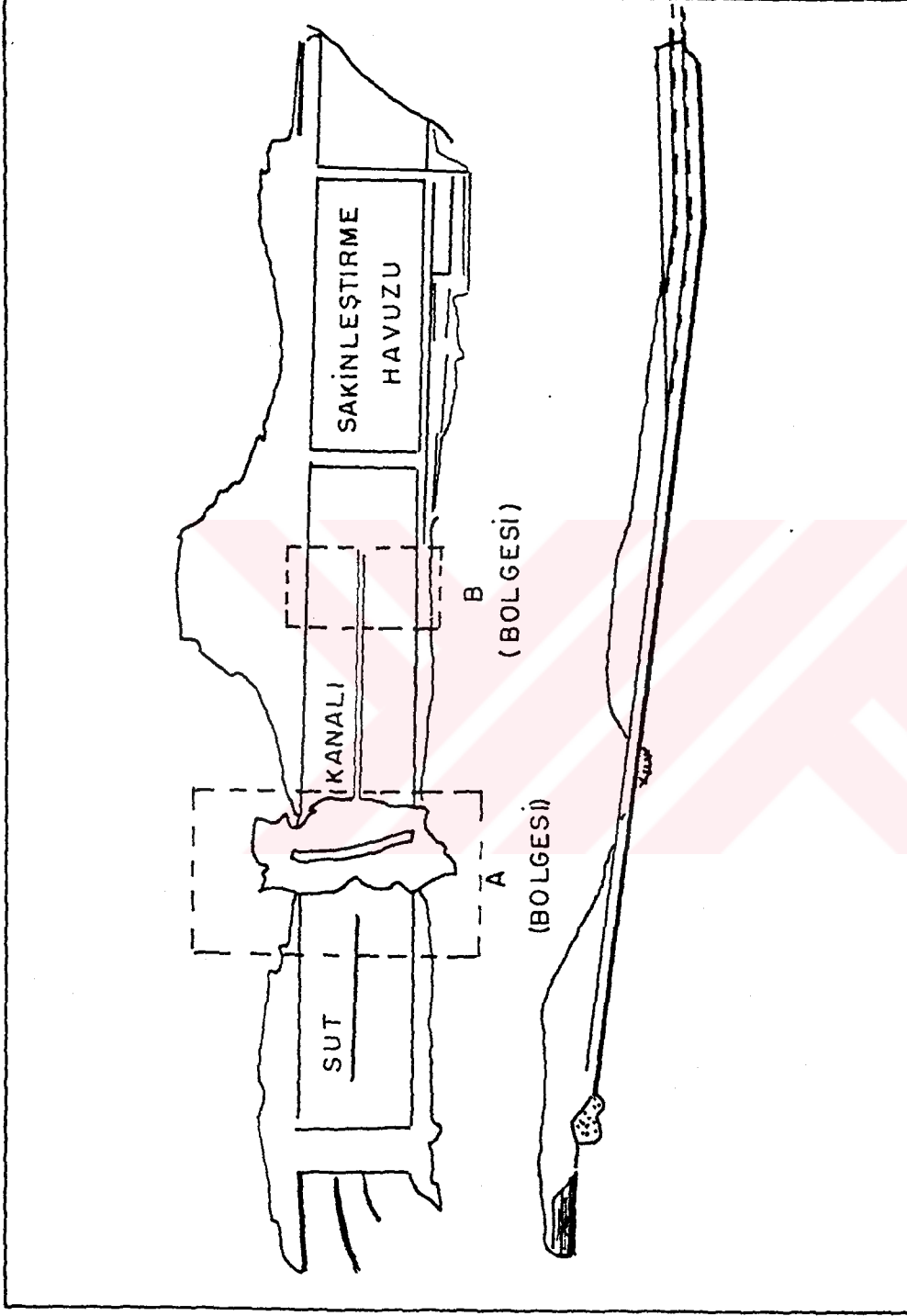


Şekil 7. Atatürk Barajı Genel Vaziyet Planı

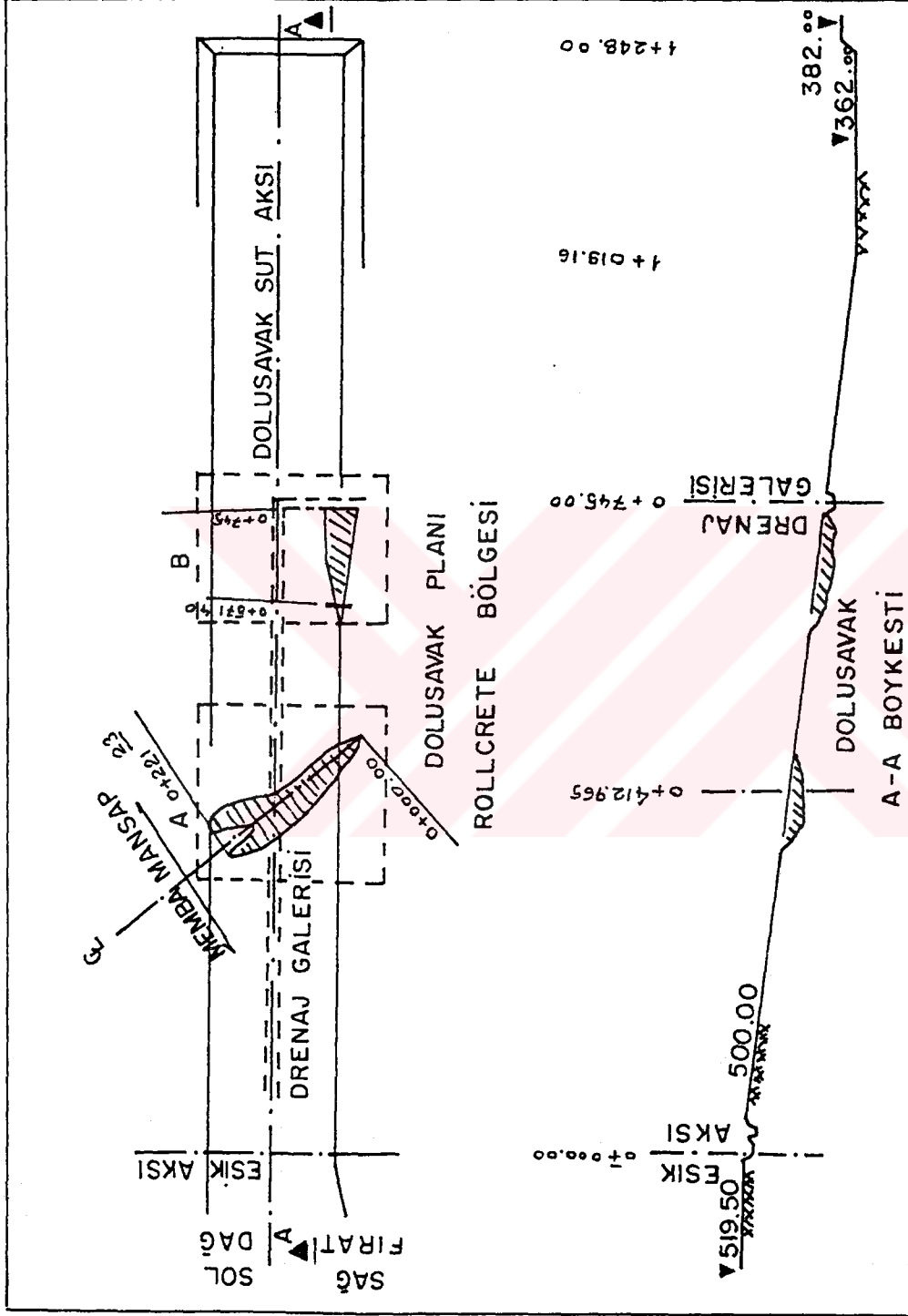
Şekil 7, 8, 9, 10, 11 dolusavak plan ve profilinde gösterilen (A) bölgesinde günlük döküm $1800-2000 \text{ m}^3$ beton ile toplam olarak 95000 m^3 SSB (B) bölgesinde de günlük 1600 m^3 beton dökümü ile toplam 50000 m^3 SSB betonu ile; Atatürk Barajı dolusavak şut kanallarında $95000+50000=145000 \text{ m}^3$ SSB dökümü yapılmıştır.

Atatürk Barajı dolusavak şut kanallarındaki SSB uygulaması şu yönleri ile dikkat çekmiştir :

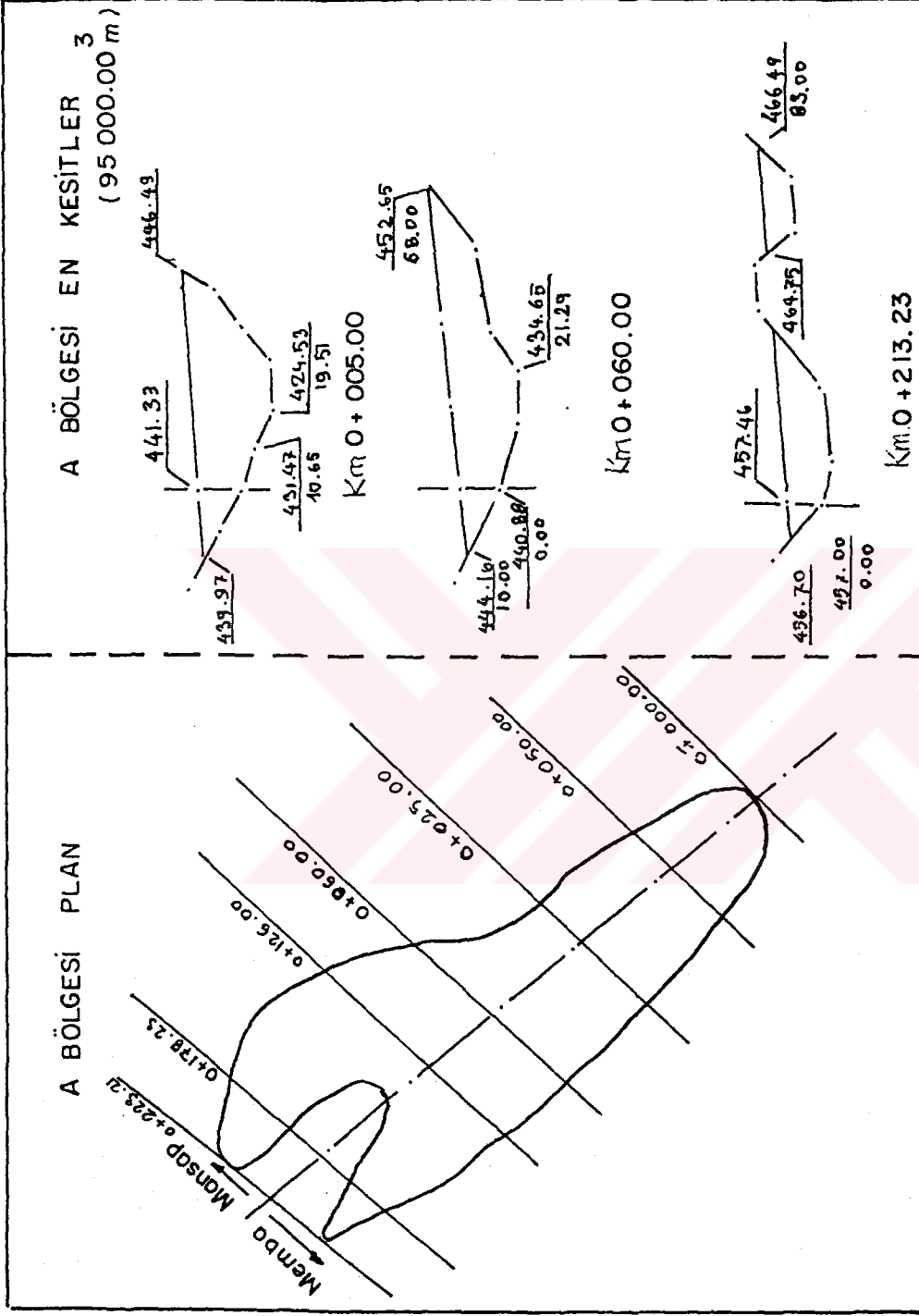
1. Agreganın, eleme ve yıkamaya tabi tutulmadan tüvenan olarak kullanılması, eleme ve yıkama masraflarını ortadan kaldırmıştır.
2. Nakliyenin damperli kamyonlarla yapılabilmesi, nakliye için özel araç kullanılması mecburiyetini ortadan kaldırmıştır.
3. Agreganın tüvenan olarak kullanılması, malzemenin granülometrik uygunsuzluğundan kaynaklanan zayıatları önlemiştir.
4. Yerleştirmenin dozer ve silindirlerle yapılması, işçilik hizmetlerini en az seviyeye indirmiştir.
5. Kalıp kullanmaya ihtiyaç olmaması kalıp ve iskele masraflarını önlemiştir.
6. Kısa zamanda büyük iş yapmak mümkündür.
7. Çalışmanın sürekli olarak yapılması, zaman kayıplarını önlemektedir. Beton işlerindeki ara safhalarda bekleme zorunluluğundan kaynaklanan işçilik ve makina masraflarını ortadan kaldırmaktadır.
8. Çalışmaların, şartları itibarıyla beton işleri sınıfından farklı olması ve daha çok dolgu işlerine benzemesi, kısa zamanda çok iş yapabilmenin yanında ekonomik olması uygulamanın rahat ve kolay olması nedeniyle, şartların uygun olduğu yerlerde beton yerine SSB uygulamalarının tercih edileceği sonucuna varılmıştır (18).



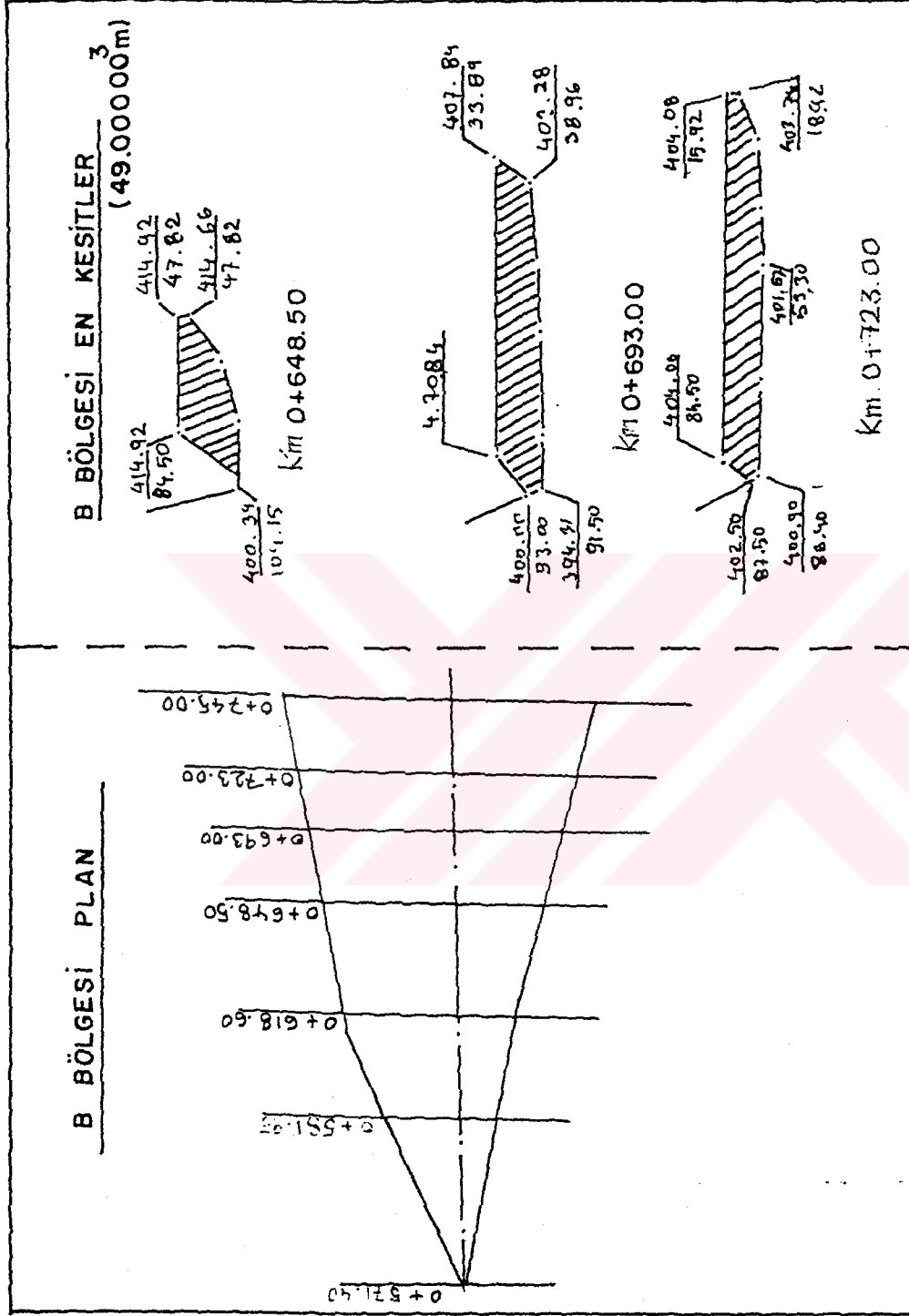
Şekil 8. Dolusavak Plan ve Profili



Şekil 9. Atatürk Barajı Dolusavak Planı ve Boykesiti



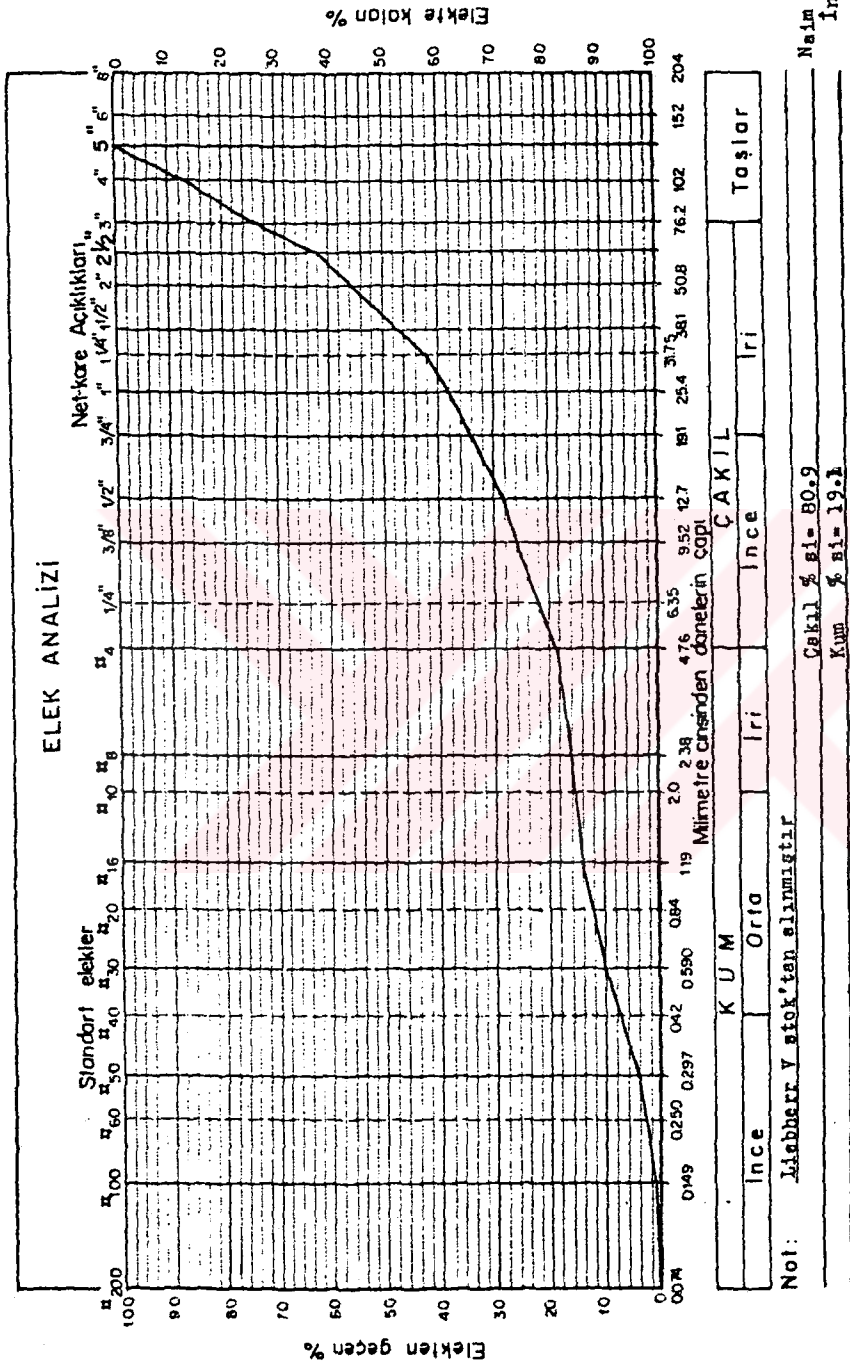
Şekil 10. Atatürk Barajı Dolusavağı A Bölgesi Plan ve Kesitleri



Şekil 11. Atatürk Barajı Dolusavağı B Bölgesi Plan ve Kesiti

Hazırlayan :	<u>Yasar KARAHAN</u>
Kontrol eden :	<u>Bekir YETKİN</u>
Tarih :	<u>30.03.1989</u>

Numuneyi gönderen daire :	Atatürk Barajı
Numunenin ait olduğu proje :	
Numune No :	

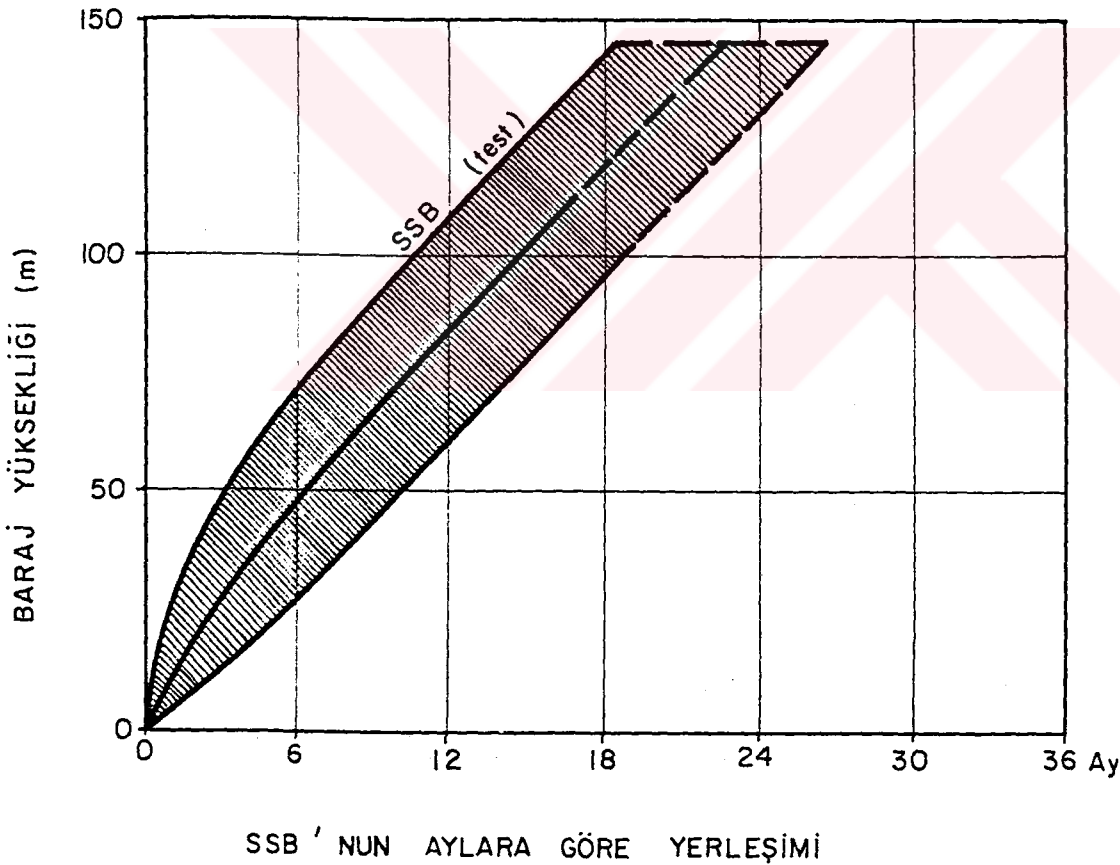


Şekil 12. Atatürk Barajı Dolusavak Şut Kanallarında Kullanılan Agradanın Tane Dağılımı

BÖLÜM 4

NEDEN SSB SEÇİLİYOR ?

SSB yönteminin geleneksel baraj yapım yöntemlerine göre tercihi, bu yöntemin teknik avantajları, ekonomik avantajları, yapım süresi kısalığı avantajları ve diğer avantajlarıdır. SSB yönteminin tercihinin en önemli yönü ekonomidir. Bir barajın temel kazısının azlığı, derivasyon-dipsavak tünellerinin kısalığı, memba batardosuna ihtiyaç duyulmaması ve de dolusavak yapısının gövde üzerinde masrafsız teşkili daha projelendirme sırasında bile diğer barajlardan % 30-40' mertebesinde ekonomik faydayı ortaya koyması bu teknolojinin tartışılmaz unsurunu ispata yetmektedir.



Şekil 13. RCC Barajların Yapım Hızı

Diğer baraj yapım yöntemlerine göre SSB'nin en büyük avantajlarından biri de yapım hızıdır. Yüksek olarak sayılabilecek barajların

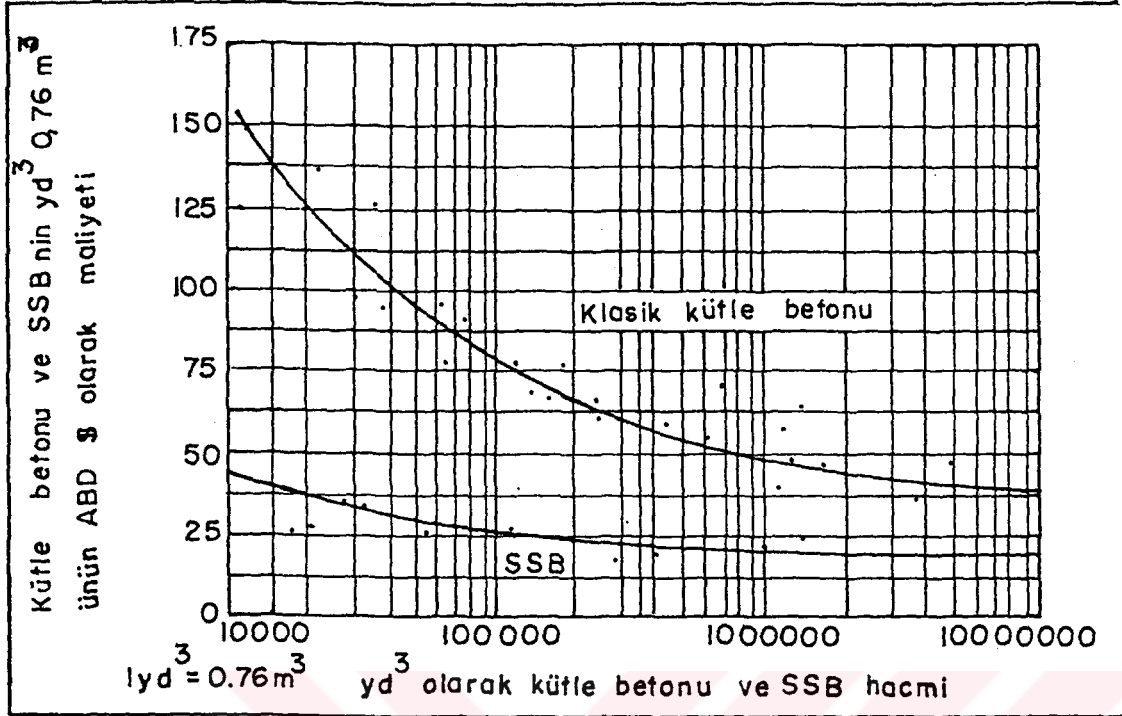
oldukça kısa sürede bitirildiğini gösteren oldukça çarpıcı örnekler mevcuttur. 46 m yüksekliğinde 34,000 m³ SSB içeren Stagecoach barajının sadece 37 günde yapılması 42 m yüksekliğinde ve 96,000 m³ SSB içeren Grindstone Canyon barajının sadece sekiz haftada tamamlanması ve 51 m yüksekliğinde 161,000 m³ SSB içeren Galesville barajının sadece on haftada bitirilmesi bunlardan bazılarıdır.

SSB baraj yapım teknolojisinde taşıma, serme ve sıkıştırma işleminin toprak dolgu baraj teknikleriyle yapılabilmesi de inşaat süresinde önemli ölçüde bir kazanç ortaya koyduğu açıktır. Buna bazı uygulama örnekleri vermek gerekirse; 52 m yüksekliğindeki Willow Creek Barajı dolgusu 4500 m³/günlük dolgu hızına erişen çift vardiya sistemi çalışma ile 5 ay içinde tamamlanmış olması yeterdir. Ayrıca 51 m'lik Galesville Barajı dolgusu 5700 m³/gün'lük pik debi ile 10 haftada tamamlanmıştır. Upper Stillwater Barajı'nın planlanmasında tespit edilen dolgu hızı 7650 m³/gün olmuştur. Bunun yanısıra Galesville ve Grindstone Canyon Barajları inşaatında hidrasyon ısısı problem yaratmaksızın günde 1,2 m'lik bir beton tabakası serme hızına erişmiştir. Bu konuda bazı barajlardaki günlük SSB serme oranları ve toplam SSB hacimleri aşağıda verilmiştir. Baraj inşaatlarında yapım süresinin kısılması baraj yatırımının daha kısa sürede üretime dönüşebilmesi açısından da avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanısıra kısa yapım süresi, derivasyon tünelleri ve batardolar gibi yapıların bu kısa süre içinde gelebilecek pik debilere göre projelendirilmesine imkan sağlayarak, bu yapıların maliyetini önemli miktarda azaltmaktadır.

Tablo 3. SSB Barajlarının Yapım Hacmi ve Süreleri

BARAJIN ADI	HACİM (m ³)	HAFTALIK İş Günü	VARDİYE (saat)	TOPLAM Süre	MAKSİMUM Günlük Oran (m ³)
Willow Creek	331.000	6	2x8	5 Ay	4460
Middle fork	42.000 ⁺	7	2x10	45 Gün [*]	1530
Copperfield	140.000	7	2x10	4 Ay	2600
Galesville	160.000 ⁺	7	2x10	10 Hafta [*]	5700
Grandstone	87.500 ⁺	7	2x10	55 Gün ^{**}	3670
Monksville	221.000	6	2x10	5 Ay	5960
⁺ Klasik betonla yüzey kaplama ile birlikte [*] Planlanmış 10 gün ara dahil ^{**} Şiddetli yağışlarda ötürü 4 gün ara dahil					

SSB karışımında kullanılan çimento, klasik betondaki miktarın yarısına indirilerek beton maliyetini azaltmaktadır. Bunun yanısıra gerekli dayanım sınırları içinde kalma koşulu ile karışımdaki çimento oranı azaltılarak yerine % 50'ye varan oranlarda uçucu kül ve puzzolan kullanılabilir. Bu durumda maliyeti oldukça düşürmektedir. Başlangıçta kaya dolgu veya toprak dolgu tipinde projelendirilen bazı barajlar, Silindirle Sıkıştırılmış Beton barajın sağladığı yaklaşık % 20 oranındaki düşük dolgu maliyeti nedeniyle değiştirilerek yerine SSB ile projelendirilmesine karar verilmiştir. Klasik kütle betonu ile Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB) maliyetlerinin karşılaştırıldığı grafik aşağıda verilmiştir (1, 3, 4, 8, 16).



Şekil 14. Klasik Kütle Betonuna ile (SSB) Betonunun Maliyet Karşılaştırması

Bugüne kadar inşaatı tamamlanmış SSB baraj projelerinden alınan kayıtlar ve kazanılan yapım deneyleri, bugünden sonra inşaa edilecek SSB baraj maliyetleri için aşağıda değişik SSB hacimlerinin maliyet aralığına bir ışık verecektir.

SSB hacmi (m^3)	Maliyet (\$/ m^3)
1000-5000	\$ 46 - \$ 62
25.000-75.000	\$ 36 - \$ 46
200.000-400.000	\$ 26 - \$ 36
750.000-5.000.000	\$ 23 - \$ 33

BÖLÜM 5

SSB BİLEŞENLERİ

5.1. Agregası

SSB yapımında; klasik beton agregalarında aranan özelliklere nazaran toleranslı agrega kullanılmaktadır. Yıkabilir madde oranında % 8 ile %10'a kadar müade edilmektedir. Bu ince maddelerin rolkrit dayanım ve permeabilitesinde olumlu etki yaptığı saptanmıştır. Agregası tane dayanımının yüksek olması pek aranmaz. Ancak agrega incelik modülünde aşırı oynamalar karma suyu ve bağlayıcı ihtiyacını değiştireceği için arzu edilmez.

Kırma taş agrega kullanılması halinde 76 mm den daha büyük tane çapı seçimi SSB'da segregasyona yol açar. Tuvenan ocak ve dere agregalarında ise iri taneleri ayıklamak üzere eleme işlemine tabi tutmak, ekonomik açıdan uygun olmamaktadır (Tarbela barajı rolkritinde 229 mm'ye kadar tane çaplarında taşlara rastlanmıştır). SSB betonunda en büyük tane çapı, dökülecek tabaka kalınlığının 1/3'ünden küçük seçilir.

Maksimum tane çapını büyük seçmekle çimento miktarı ve bağlı olarak hidratasyon ısısında 5 15 °C'lik bir azaltım mümkündür. Çimentoya belirli oranlarda puzzolanik madde ilavesi ile de hidratasyon ısısı azaltılabilir. Bu durumda; ayrıca tane çapını yüksek tutmaya gerek kalmaz. Maksimum tane çapını yüksek tutmak, malzeme maliyetini düşürücü bir etki yapar. Ancak; segregasyonun önlenmesi, mukavemet ve permeabilite ihtiyaçlarını sağlamak üzere ilave olabilecek masraflarında gözönüne alınması gerekecektir (12, 14-17).

5.2. Gradasyon (Tane Dağılımı)

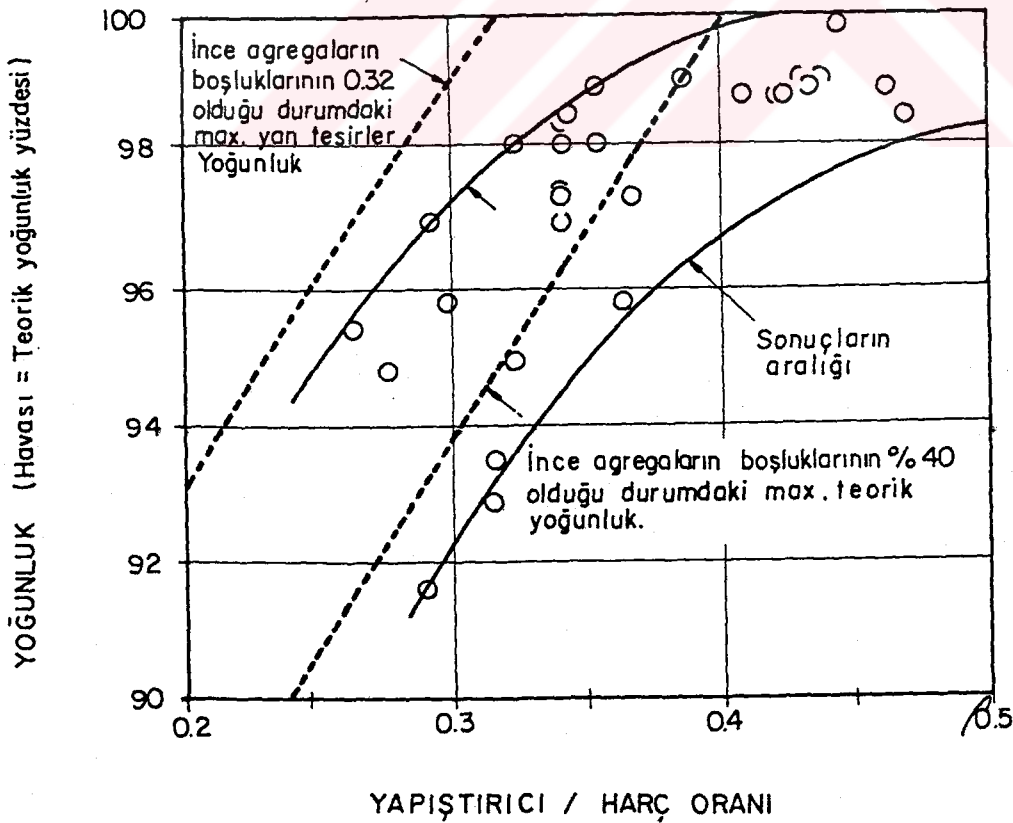
Rolkrit betonlarında gradasyon klasik betonlar kadar önem arzetmesede en az özgül yüzölçümü ile en çok kuru birim ağırlık sağlayacak bir gradasyon araştırılır. İdeal olarak böyle bir gradasyonun normal beton

agregaları için verilen limitlerin ortalarına düşmesi beklenir. Fakat ekonomik açıdan bunun sağlanması güçtür.

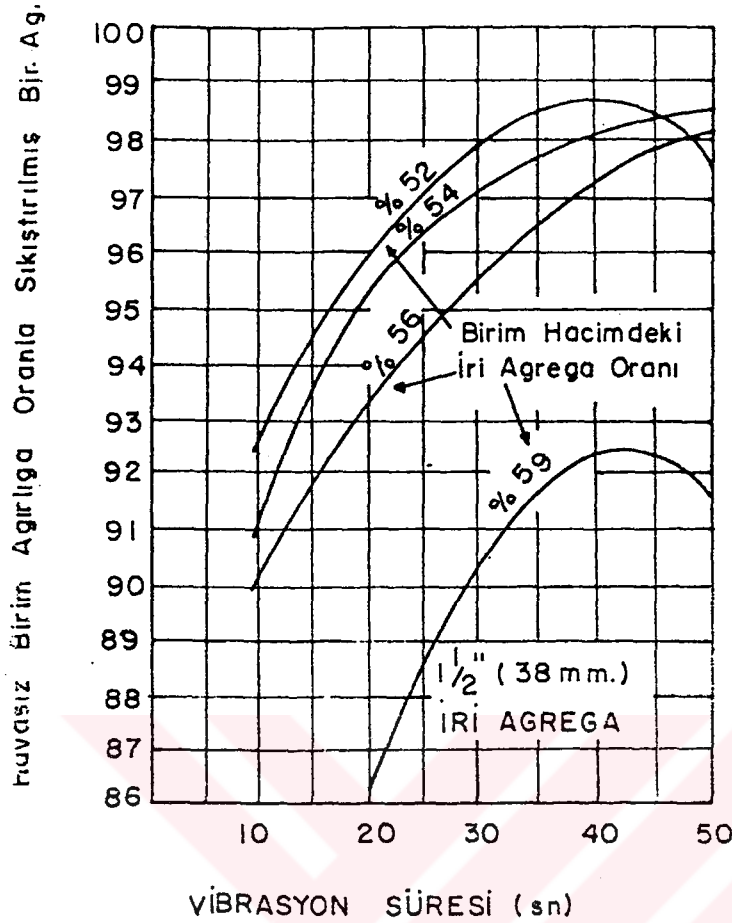
Genellikle rolkrit yapımında kullanılacak agregaların sıkıştırılmış iri agreganın hacmi, beton hacminin % 90-95'ini geçmemek üzere geniş gradasyon aralıkları kullanılabilir. Bununla birlikte "Zintel Canyon" ve "Tarbela" barajlarındaki uygulamalarda belirli bir gradasyona bağlı kalınmadığı görülür.

Silindirle Sıkıştırılmış Beton'da kırmataş agreganın kullanılması durumunda kaya unları ayrıştırılmadan (Geçirimsizliğe olumlu yöndeki etkisi ile) kullanılabilir. Ayrıca tane dayanımı ve kirlilik (yıkabilir madde) bakımından normal yapı betonlarında kullanılmayan ocak ve dere malzemesi Silindirle Sıkıştırılmış Betonda rahatlıkla kullanılabilir (12, 14-17).

İri agreganın hacminin (beton hacmine oranla) sıkışmaya olan etkisi aşağıda bir grafik olarak verilmiştir (17).



Şekil 15. Yoğunluk ve Yapıştırıcı/Harç Oranı Arasındaki Bağlantı (17)



Harç karışımı : (Havasız)
 Kum (Hacimce) : % 62.8
 Su : % 16.5
 Uçucu kül (Hacimce) : % 20.7
 Çimento : -

Şekil 16. İri Agreganın Hacminin Sıkışmaya Olan Etkisi (17)

Minimum Şerbet İhtiyacı İçin İnce Agreganın Oranı Tespiti

İnce agregalar kuru ve şişlenmiş durumda % 34 ile % 42 arasında bir boşluk ihtiva ederler. Gerçek boşluk oranı, deney hassasiyetine bağlı olarak bir miktar düşük olabilir. Bu durumda dahi, ince agreganın boşluklarını ve tüm agregayı sarmak için gerekli en az (çimento+puzzolan+hava+su) miktarında fazla bir değişiklik beklenemez.

En az şerbet oranı zeminlerde optimum su içeriği belirleme yöntemine benzer bir yöntemle tespit edilir. bu işlerde uygulanan yöntem kısaca şöyledir:

Belirli oranlarda (su+çimento+puzzolanik madde) şerbet hazırlanır. Bu şerbetin içine önceden tartılmış belirli ağırlıkta kum ilave edilerek birim ağırlık tespit edilir. İlave edilen kum miktarı arttırılarak birim ağırlık tespitine devam edilir. Parabol yöntemi ile maksimum birim ağırlığı veren kum miktarı tayin edilir. Kütle betonu karışımında bu şerbet oranı % 5-10 ve özel yataklama betonlarında % 20-25 arttırılarak uygulanır.

Çimento ile puzzolanik madde kullanıldığı taktirde ince agregada boşluk oranını azaltmak üzere ince kum ve mineral tozları ilave etmek gerekebilir. Bu maddelerin oranları yine şerbet oranı minimum olacak şekilde belirlenmelidir (12, 14-17).

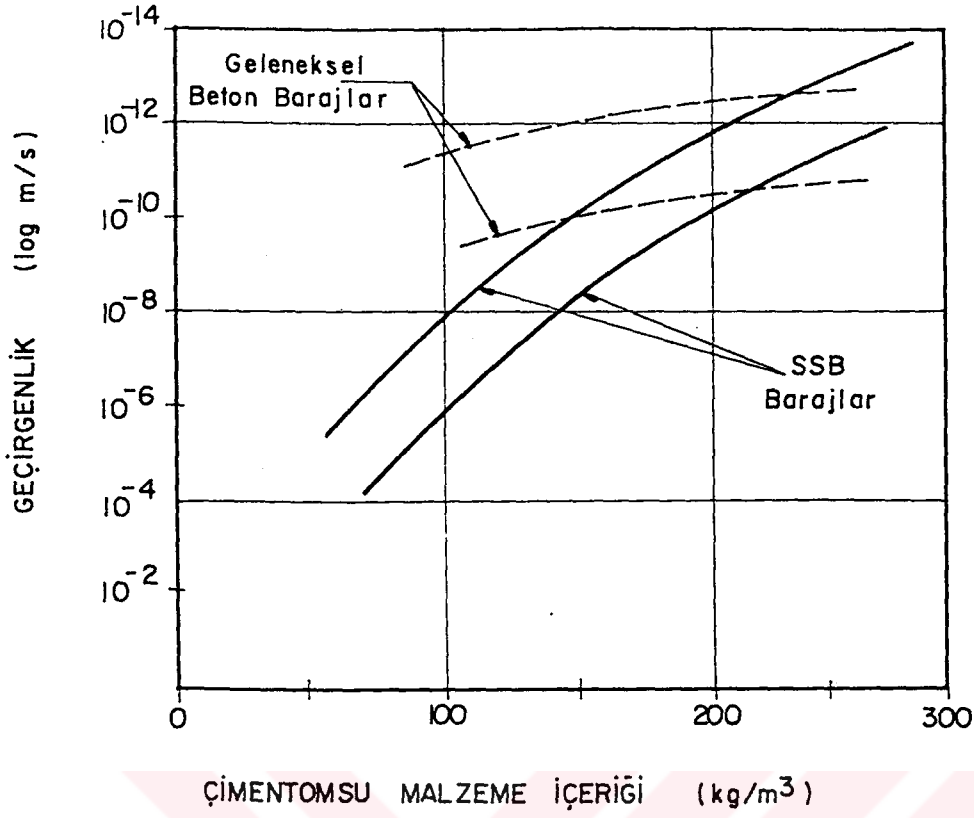
Maksimum tane çapına göre iri agregada hacminin tespitinde yapılan çalışmalar aşağıdaki değerleri belirlenmiştir.

Tablo 4. Beton Hacmine Oranla Çakıl Mutlak Hacimleri (Vca)

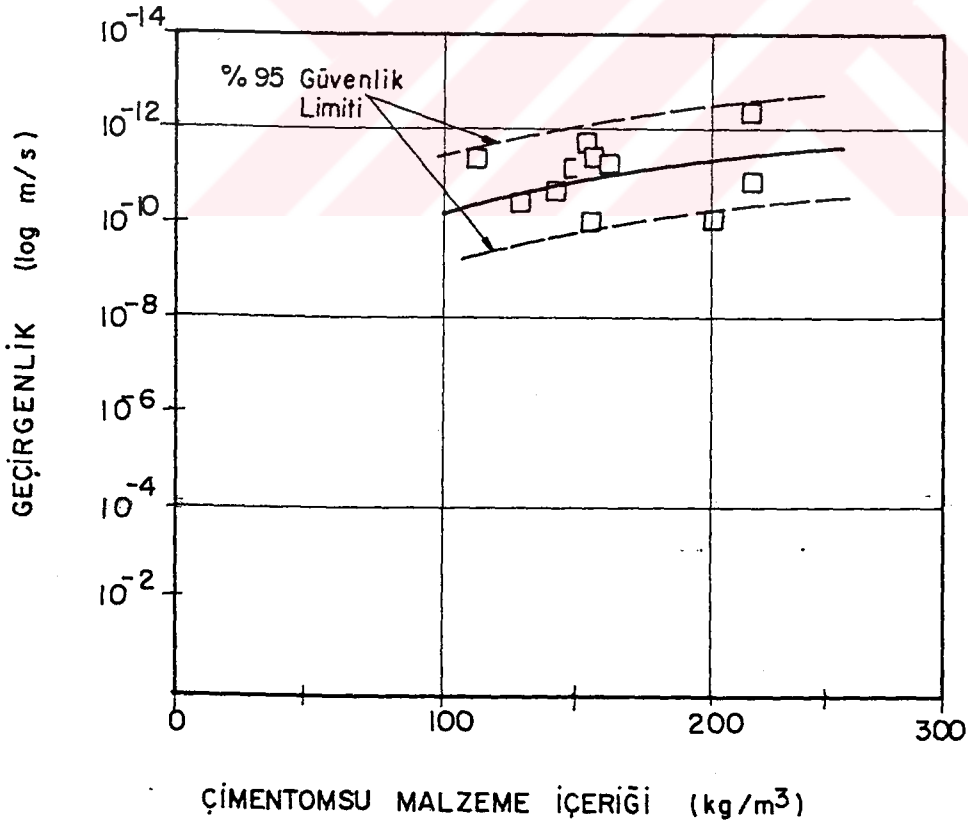
MAKSİMUM TANE	İnç	6	4 1/2	3	1 1/2	3/4	3/8
	mm	152	114	76	38	19	95
ÇAKIL HACMİ (%)		63-64	61-63	57-61	52-56	46-52	42-48

5.3. Bağlayıcılar (Çimento ve Puzzolanlar)

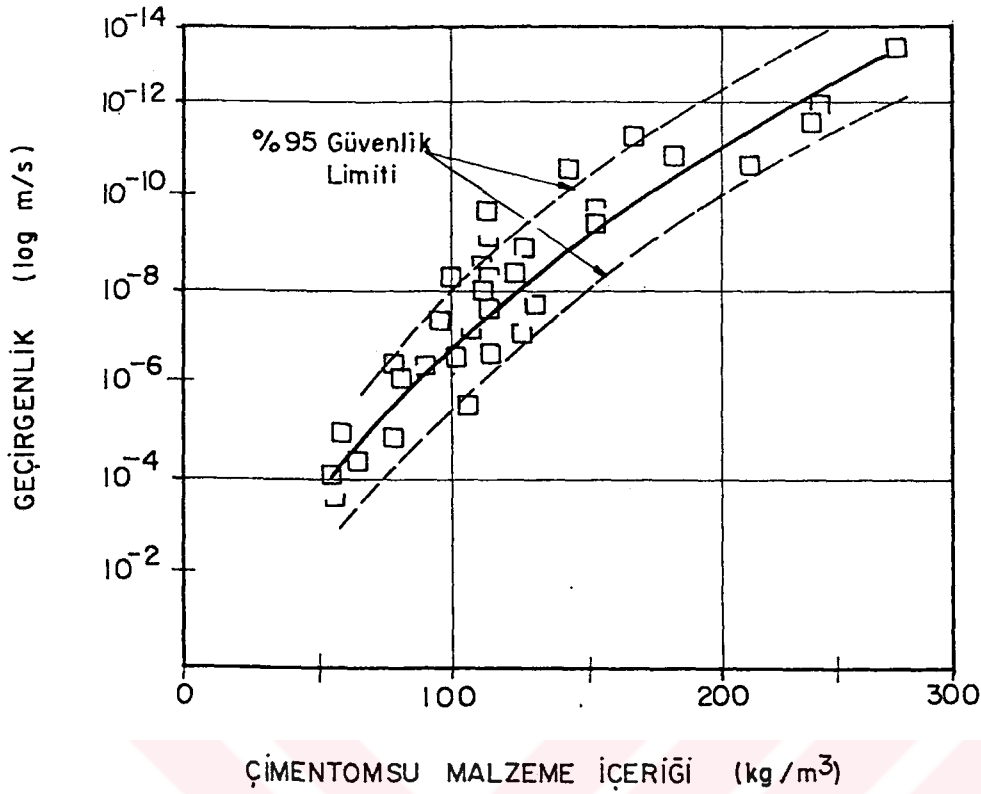
Silindirle sıkıştırmaya elverişli bir beton, herhangi bir çimento çeşidi veya puzzolan türü ile imal edilebilir. Çimento tipi, betonun yerleştirilmesi metotlarına göre değil, yapının gereklerine uygun şekilde seçilir.



Şekil 17. Çimentomsu Malzeme İçeriği (Kg/m³)



Şekil 18. Geleneksel Daldırma Vibrasyonlu Beton Barajlardaki Geçirgenlik ve Çimentomsu Malzeme İçeriği Arasındaki Bağlantı



Şekil 19. RCC Yapılarında Çimentomsu Malzeme Miktarı ve Geçirgenlik Arasındaki Bağntı (17)

Puzzolanların uygunluğu ve seçimi için puzzolanlar hakkındaki standartlar ile birlikte nihai seçim puzzolanlar ile yapılacak uygunluk testlerinden alınacak performansa bağlı olacaktır. Bazı durumlarda puzzolan temini dahi puzzolan kullanımı konusunda belirleyici bir rol oynar.

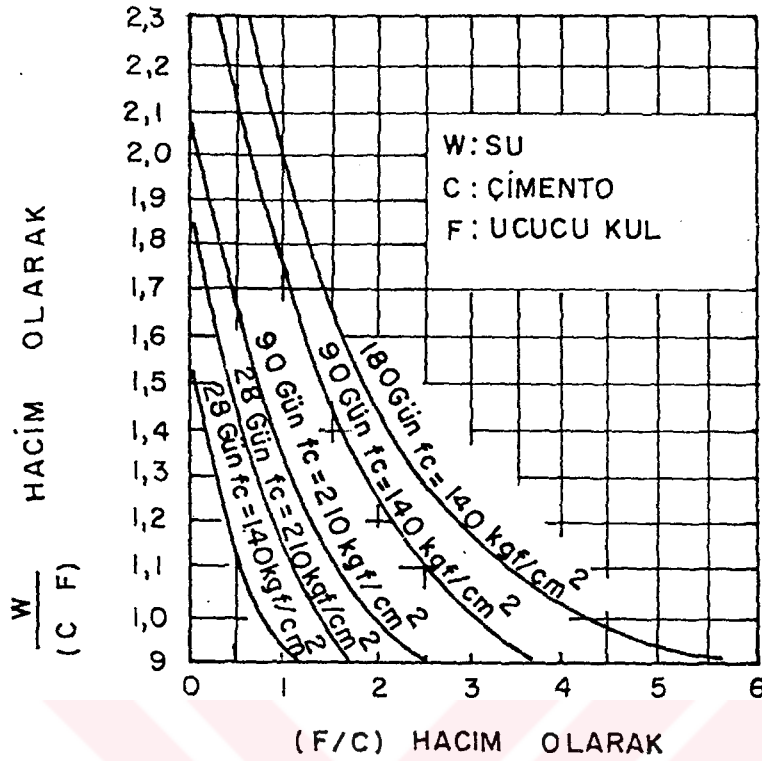
Kum incelik modülü fazla ise yani kum dişli ise agrega arasındaki ince boşluklar tamamen doldurulmayacak ve bu boşluklar hava veya su tarafından işgal edilecektir. İşte bu boşluklar puzzolanik maddeler tarafından doldurulmak suretiyle dayanımda oluşacak düşme önlenmektedir. İnce agregadaki eksikliğin uçucu kül ile giderilmesi yöntemi uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Bu tür betonlarda yapılan deneyler mukavemet artışının ileri yaşlarda arttığını ortaya çıkarmıştır. Böylece, puzzolanların sadece ince kısmı tamamlandığı, aynı zamanda mukavemet artışına da iştirak ettiği anlaşılmaktadır.

Öte yandan puzzolanik maddelerin hidratasyon ısısını azalttığı da bilinmektedir. Çimento dozajı arttıkça neşredilen hidratasyon ısısı da artmasına rağmen, karışımdaki pozzolan arttıkça hidratasyon ısısı azalmaktadır.

Yeterli ölçüde öğütülmeyen ve bu nedenle puzzolanik aktivitesi düşük, kaba partiküllü uçucu küller genellikle rolkrit yapımında kullanılabilmektedirler. Uzun bir mesafeden nakledilecek iyi kalite bir puzzolan yerine yöreden temin edilecek düşük kaliteli bir puzzolan daha ekonomik olacaktır.

Beton mukavemeti; diğer etkenler yanında daha çok çimento, puzzolan ve su oranına bağlıdır. Çimento tipinin hidratasyon ısısı ve dayanım artışı üzerinde belirleyici bir etkisi bulunduğu ilk yaşlardaki dayanımlara açık bir şekilde tesir eder. 28. günden sonraki dayanımlarda ise yavaş sertleşen çimento tipleri daha yüksek bir dayanıma varmakta ve diğer birçok çimento tipinde de mukavemet artışı yavaşlamaktadır.

Bir fabrika üretimi, aynı tip çimentolarda değişik partiler arasında daha önemli dayanım farklılıkları görmek mümkündür. Bu nedenle değişik tipte çimentolar kullanılması durumları gözönüne alınırsa, çok şekilci olmadıkça % 100 geçerli olacak bir tablo veya reçete verilemeyeceği açıktır. Bu husus gözönüne alınmak şartıyla faydalanılmak üzere; tip I veya tip II çimentolarıyla uçucu kül kullanılarak ACI'nın yapmış olduğu bir araştırma neticesinde Şekil 20'de varolan bilgiler elde edilmiştir. Bu şekil; uçucu kül dışındaki puzzolanik maddeler için de kullanılabilir. Su ihtiyacındaki farklılık nedeniyle bu durumlarda (uçucu kül/çimento) $F/C=2$ ile sınırlandırılmalıdır. Uçucu kül kullanılması durumunda, maksimum F/C (uçucu kül/çimento) oranı aşağıdaki grafikte belirtildiği gibi alınabilir. Ancak uçucu kül oranı azaldıkça daha katı beton kıvamları beklenmelidir (12, 14-17).



Şekil 20. Eşit Dayanımlı Beton İçin Orantı Eğrileri (17)

5.4. Katkı Maddeleri

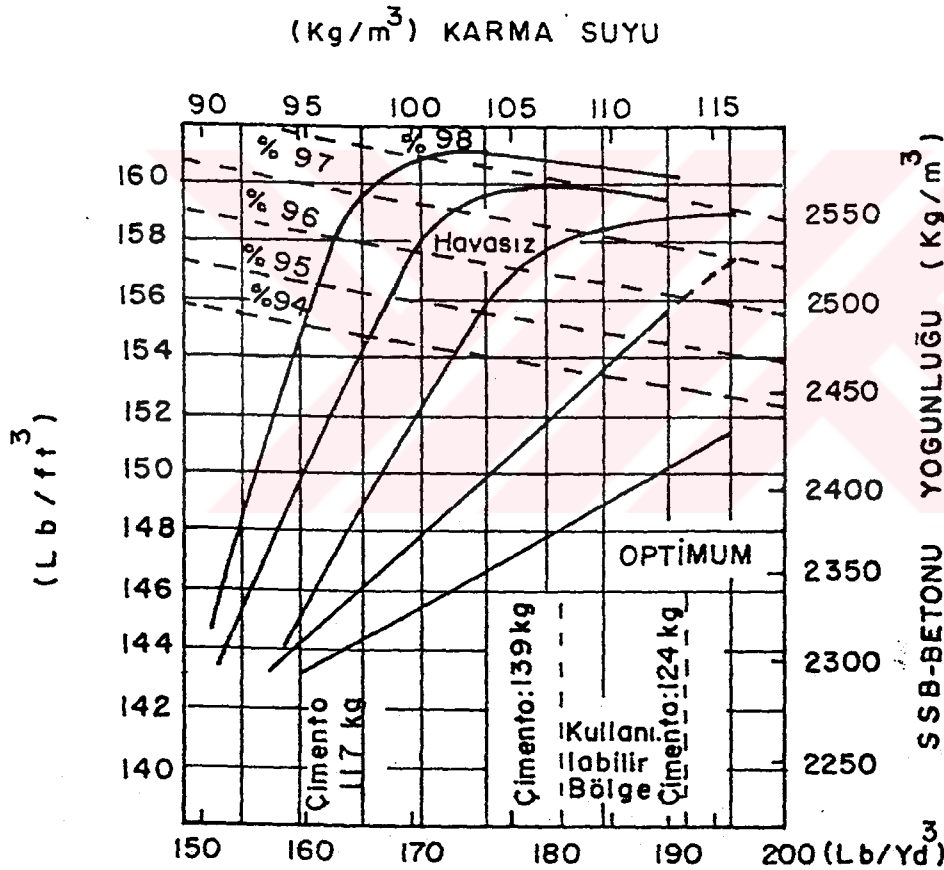
Silindirle Sıkıştırılmış Beton'da katkı maddesi kullanımının sağladığı avantajlar; işlenebilirliği arttırmak, segregasyonu önlemek ve priz geciktirerek soğuk derz oluşumunu önlemek gibi sıralanabilir. Sıcak havalarda yapılacak SSB dökümlerinde soğuk derzden kaçınmak ve sıkışmış tabaka yüzeyini taze tutabilmek amacıyla priz geciktirici katkı kullanılması büyük önem taşır. Bu maddeler ayrıca vibrasyon için gereken süreyi de azaltırlar (12, 14-17).

5.5. Karma Suyu

Kalite yönünden; klasik betonlarda kullanılan sular için aranan özellikler, Silindirle Sıkıştırılmış Beton içinde aynı ölçüde geçerlidir. Yani; şeker, tuz, yağ ve asit içermemelidir. Miktar yönünden, bağlayıcı madde miktarına ve cinsine, agrega inceliği ve özgül yüzeyine bağlı olarak değişiklik arzedecektir (15, 16).

Karma suyu miktarını tespit etmek amacıyla maksimum tane çapı 38 mm (1 1/2") olan kırmataş agregası ve 152 kg/m³ uçucu kül kullanılarak yapılan bir araştırmada optimum su miktarı 77 kg/m³ olarak tespit edilmiştir. Aynı gradasyon ve portland çimentosu kullanılması durumunda ise 110 kg/m³ su miktarı tespit edilmiştir. Bu araştırmalar aşağıda grafik olarak verilmiştir.

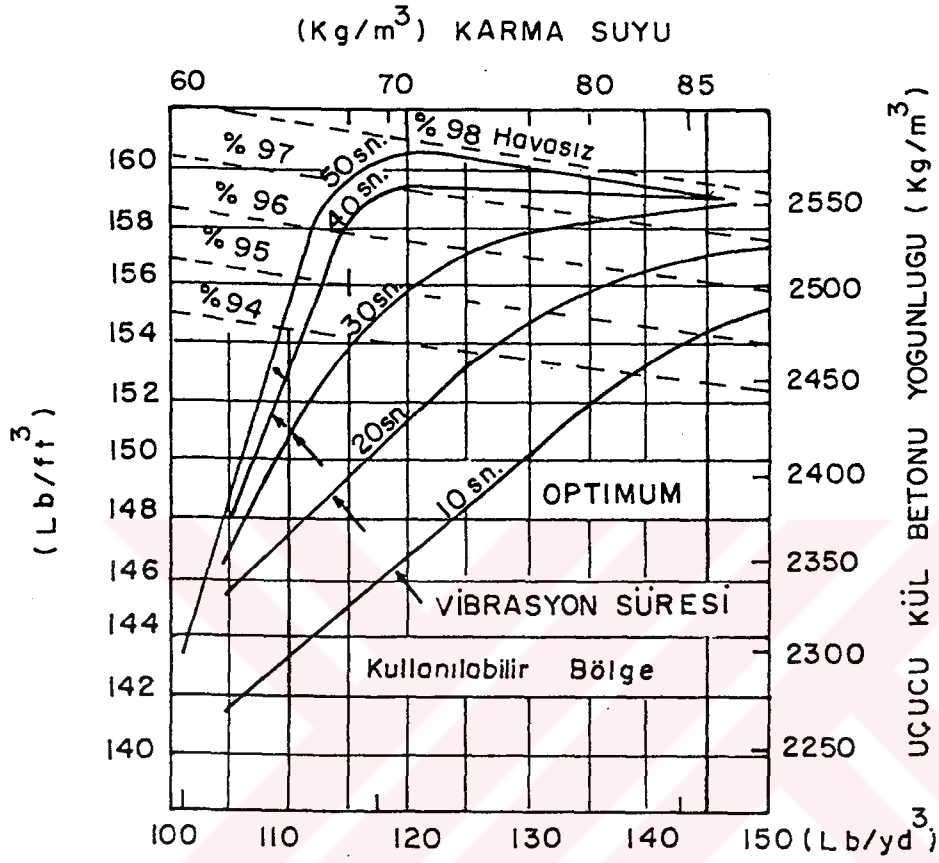
Portland çimentosu ve uçucu kül (veya puzzolanik madde) birlikte bağlayıcı olarak kullanılması halinde bu veriler yardımı ile enterpolasyonla ilk karışımlarda kullanılacak su miktarı hesaplanabilir.



BİLEŞENLER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
Çakıl	1159	0,41
Kum	587	0,21

(Not= Kırmataş agregası kullanılmıştır).

Şekil 21. Su Miktarı ve Vibrasyon Süresinin Portland Çimentolu SSB Betonun Yoğunluğuna Etkisi (17)



BİLEŞENLER	AĞIRLIK (kg)	HACİM (m ³)
Çakıl	1159	0,410
Kum	616	0,220
Uçucu kül	152	0,066

(Not=D max=38 mm ve kırmataş agregası kullanılmıştır).

Şekil 22. Su Miktarı ve Vibrasyon Süresinin Uçucu Küllü SSB Betonun Yoğunluğuna Etkisi (17)

BÖLÜM 6

SSB KARIŞIM HESABI

Bugüne kadar puzolanların (yani flyash, granulated blast furnace slag ve mineral puzolanın) betonun içindeki adi portland çimentosunun yerini alabileceği düşünülmüştür. Fakat son beş yılda betonun karışım hesabına yönelik ortaya çıkan yeni bir teoriye göre puzolanlar betonun içinde sadece birer katkı maddesi olmaktadır. Puzolan içeren betonun hesabı, içeriklerinin yaratması gereken özellikleri portland çimentosu ile oynayarak değil portland çimentosu yerine puzolan kullanarak elde etmek amacıyla yapılmalıdır. Bu konu henüz yenidir. 1954 yılında Berkeley Üniversitesinde profesör Davis betonda flyash kullanımı konusunda en kıdemli kişi, şöyle konuşmuştur: "Aslında puzolan portland çimentosunun yerini alacak bir madde değil sadece ekstra bir karışım maddesidir. Karışım maddesi olmasının sebebi ise betonun bir veya daha fazla önemli özelliğini kuvvetlendirmesidir. Kullanılması genelde çimento miktarının azalmasını sağlar fakat aynı zamanda kullanılan puzolanın yapısına ve miktarına bağlı olmak kaydıyla beton karışımında kum miktarının azaltılmasını gerektirecek değişimleri de beraberinde getirebilir."

Bu yüzden bu konu beton hesabında kullanılabilir. Betonun mukavemetinin su/çimentosu malzeme oranına ve uçucu kül/çimentosu malzeme oranına bağlılığı 3-boyutlu bir model üzerinde MD&A tarafından çözülmüştür. Her çeşit puzolan için, dünyanın her yerindeki 2,000 değişik betondan elde edilen test sonuçlarına göre oluşturulmuş modeller, RCC ve diğer beton karışımlarının hesabında bilgisayar desteği amacıyla elde edilmişlerdir. Bu modeller sayesinde hesap kriterleri bilinen beton için en uygun karışım hemen hesaplanabilmektedir. Karışım modellerinin erken dönemlerinde yapılan testler ile modellerin karşılaştırılması sonucu herhangi bir yapıda kullanılacak malzemelerin performanslarını belirlemek ve karışım hesaplarını çok hızlı bir şekilde optimize etmek mümkündür.

Silindirle Sıkıştırılmış Beton'da maksimum birim hacim ağırlığını veren bir karışımın hesabı şu şekilde yapılabilir.

- P_v : Şerbet/Harç (Hacimce)
 F/C : Uçucu kül/Çimento (Hacimce)
 $W/(F+C)$: Su/Bağlayıcı (Hacimce)
 V_{ca} : İri agrega hacmi (m^3)
 V_m : Havasız harç hacmi (m^3)
 C_v : Beton birim hacmi ($1 m^3$)
 V_p : Hava katkısız şerbet hacmi (m^3)
 V_{fa} : İnce agrega hacmi (m^3)
 V_w : Karma suyu hacmi (m^3)
 V_c : Çimento hacmi (m^3)
 V_f : Uçucu kül veya puzzolan hacmi (m^3)

a) Optimum tarzda minimum şerbet oranı tespit edilir. Bu test, yerinde kütle betonu için 0,38 ve yataklama betonu için 0,42 gibi oranların alınması genellikle doğru olduğu araştırmaların bir neticesidir (P_v).

b) F/C ve $W/(F+C)$ oranı seçilir (Şekil 3).

c) İri agrega hacmi tespit edilir (V_{ca}) Tablo 3).

d) Yaklaşık % 2 hava kabul edilerek havasız harç hacmi hesaplanır (V_m).

$$V_m = C_v (0,98) - V_{ca}$$

$$V_m = C_v (1 - 0,02) - V_{ca} \quad (0,02 : \text{Hava yüzdesi})$$

e) Hava katkısız şerbet hacmi a şikkında belirlenen orana göre tespit edilir (V_p).

$$V_p = V_m \times P_v$$

f) İnce agreganın hacmi bulunur (V_{fa}).

$$V_{fa} = V_m \times (1 - P_v)$$

g) Karma suyu hacmi tespit edilir (V_w).

$$V_m = (W/C + F) / (1 + W/F + C) \times V_p$$

h) Çimento mutlak hacmi tespit edilir (V_c)

$$V_c = \frac{V_w}{\left(\frac{W}{C + F}\right) \left(1 + \frac{F}{C}\right)}$$

i) Uçucu kül veya Pozzolan hacmi belirlenir (V_f).

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

j) Hesaplanan bileşen hacimleri ile özgül ağırlıkları çarpılarak SSB'de kullanılacak 1 m³'lük bileşen ağırlıkları tespit edilmiş olur.

k) Maksimum sıkışmış birim ağırlığı en az harici vibrasyon süresini tespit etmek üzere karışım kıvamı tespit edilir.

ı) Daha yüksek ve daha düşük su/bağlayıcı ($W/(F+C)$) oranları ve kabul edilen iri agreganın oranları ile ilave iki karışım daha yapılır. En son karışım oranları seçimi için dayanım deneyleri sonucunda karara varılır.

Kırmataş agregası kullanılarak (puzzolansız) üretilen Silindirle Sıkıştırılmış Beton (SSB)'lerde yaklaşık karma suyu miktarları aşağıda tablo halinde verilmiştir. Maksimum tane çapına göre verilen bu karışım suyu değerleri kırma agregasının kullanılması ile elde edilmiş değerler olduğundan, tabii agreganın kullanılması durumunda su ihtiyacı ve sıkışma gücünde bir miktar farklılık olacağı beklenmelidir.

Tablo 5. Maksimum Tane Çapına Göre Karışım Suyu Değerleri

KARIŞIM TİPİ	MAKSİMUM TANE ÇAPI (inç) ve mm					
	(3/8") 9.5	(3/4") 19	(1 1/2") 38	(3") 76	(4 1/2") 114	(6") 152
	Su Miktarı (kg/m ³)					
KÜTLE BETONU	116	107	98	86	80	77
YATAKLAMA BETONU	128	119	110	-	-	-

6.1. SSB Karışım Hesabı Örneği

En büyük tane çapı 2" (50 mm) olan kırmataş agregası ve Portland Çimentosu (KPÇ 325) kullanılarak bir rolkrit karışımı yapılmak istenirse;

Bilinenler

Agrega : Kırmataş, $D_{max} = 59 \text{ mm}$, $a = 2,87 \text{ gr/m}^3$

Bağlayıcı : KPÇ 325, $c = 3,15 \text{ gr/m}^3$

Seçilenler

$P_v = 0,38$ (Kütle betonu için tercih edilen)

$F/C = 0$ 'dan $W/(F+C) = 2,3$ (Grafikten) (Şekil-3)

$V_{ca} = 0,57$ (Tablo 3'ten yaklaşık değer)

Hesaplananlar

. Havasız harç hacmi (V_m)

$$V_m = C_v (1 - 0,20) - V_{ca}$$

$$V_m = 1(1 - 0,20) - 0,57$$

$$V_m = 0,41 \text{ m}^3$$

. Hava katkısız şerbet hacmi (V_p)

$$V_p = V_m \times P_v$$

$$V_p = 0,41 \times 0,38$$

$$V_p = 0,1558 \text{ m}^3$$

. İnce agrega hacmi (V_{fa})

$$V_{fa} = V_m \times (1 - P_v)$$

$$V_{fa} = 0,41 \times (1 - 0,38)$$

$$V_{fa} = 0,2542 \text{ m}^3$$

. Karma suyu hacmi (V_w)

$$V_w = \left(\frac{\frac{W}{F+C}}{1 - \frac{W}{F+C}} \right) \times V_p$$

$$V_w = \frac{2,3}{1+2,3} \times 0,1558$$

$$V_w = 0,1085 \text{ m}^3$$

. Çimento hacmi (V_c)

$$V_c = \frac{V_w}{\left(\frac{W}{F+C} \right) \left(1 + \frac{F}{C} \right)}$$

$$V_c = \frac{0,1085}{2,3 \times 1}$$

$$V_c = 0,0472 \text{ m}^3$$

SSB Bileşen Ağırlıkları :

$$\text{Çakıl} : 0,5700 \times 2,87 = 1,636 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Kum} : 0,2542 \times 2,87 = 0,730 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Çimento} : 0,0472 \times 3,15 = 0,149 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Su} : 0,1085 \times 1,00 = 0,109 \text{ t/m}^3$$

$$\text{SSB birim ağırlığı} = 2,624 \text{ t/m}^3$$

$$\text{Su / Bağlayıcı (W/(F+C))} = \% 73$$

BÖLÜM 7

SSB MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Yapım metodu konusunda çok sayıda yaklaşım ve RCC barajlarında kullanılan çok sayıdaki çimentomsu malzeme nedeniyle yerinde tespit edilmiş çok sayıda özelliği vardır. Bu özellikler önemli olup numuneler üzerinde yapılan laboratuvar testleri yerine karotlar üzerinde yapılmış olan testler sonucu elde edilmiştir. Bir barajda kullanılacak betonun en önemli özellikleri şunlardır:

7.1. Basınç Dayanımı

SSB karışımları konvansiyonel betonda rastlanan mukavemet ve su-çimento oranını sergiler. İşlenebilirliği düşük SSB karışımları su-çimento oranının mukavemetle olan ilişkisinde önemli ölçüde farklılıklar gösterir. SSB betonlarının mukavemet değerleri araştırılırken arazi ve laboratuvar deneyleri arasında daha iyi bir korelasyon kurarak daha uygun metotlar ve ekipmanların seçilmesine özellikle itina gösterilmelidir.

Bugüne kadar çalışmalar göstermiştir ki bir betondan ilk etapta istenen kaliteyi ve dayanım değerine ulaşan müsaade edilebilir ekonomiyle çimento-(bağlayıcı) miktar ve su-çimento oranıdır. Genel olarak yerinden alınan SSB beton numunelerinden elde edilen basınç mukavemetleri 28 günlük deney yaşından sonra kırılan test numunelerinin deney sonuçlarına göre geleneksel betonun olduğu gibi betonun yaşı ve çimento hidratasyonuna paralellik göstermektedir. Kaldı ki SSB bir kütle betonu olduğu halde bağlayıcı miktarının az oluşu hidratasyon ıssısının artışına sebebiyet vermemektedir.

Willow Creek barajındaki testler ve değerlendirmeler iri agraga içeren düşük dozlu çimentolu SSB karışımlarının yoğunluk ve basınç

dayanımları üzerinde arazideki silindir üretim metodunun önemli bir etkisi olabileceğini doğrulamıştır. Elde edilen bilgiler aynı zamanda laboratuvar silindirleri ile çekirdek dayanımı arasında zayıf bir korelasyon göstermektedir. Yüksek derecede bağlayıcı içerikli SSB karışımlarından elde edilen beton numuneleri daha iyi bir korelasyon ortaya koymuştur.

Tablo 6. Maksimum Tane Çapı, Bağlayıcı ve Sürenin Beton Basınç Dayanımına Etkisi

MAX TANE ÇAPI (mm)	ÇİMENTO (kg)	PUZZOLAN (kg)	SU (kg)	İNCE AGREGA (kg)	İRİ AGREGA (kg)	YAŞ (gün)	BASINÇ DAYANIMI (kgf/cm ²)
76	55.8	77	77	605	1649	138	232
114	139	0	80	618	1174	72	262
76	139	0	86	683	1691	66	231
76	139	0	83	676	1602	120	231
76	41.5	78	83	676	1602	120	162
38	75.3	164	89	745	1426	90	268
38	44.5	178	84	727	1438	90	181
38	116	139	103	657	1438	90	420

7.2. Elastisite Modülü

Betonun elastik özelliklerini etkileyen esas faktörler; yaş, agreganın tipi, su/çimento oranı veya çimento hamurunun kalitesidir. Betonun elastisite modülü, yaşı ve içerdiği çimento miktarı ile beraber artmaktadır. Bazı agregası tipleri gevşeklik özelliği verir ki bu da elastisiteyi artırır. Uygun miktarlarda oranlanmış ve iyi sıkıştırılmış SSB karışımının aynı agregası ile geleneksel olarak harmanlanmış betonun elastisite modülleri farklılık gösterir.

Betonun boşluk hacmi azaldıkça, yani yoğunluğu arttıkça elastisite modülünde bir artış olacaktır. Genel olarak klasik betona kıyasla elastisite modülü değerleri Silindirle Sıkıştırılmış Beton'da daha küçüktür. SSB'nin elastisite modülü yaklaşık bir yıllık yaşında $2,5 \text{ kgf/m}^2$ değerine ancak erişebilmektedir. Elastisite modülü değerleri ile basınç direnci arasında direkt olarak sağlıklı bir korelasyon kurmak istatistik yoldan maalesef bugüne kadar sağlanamamıştır.

Ancak agreganın artışı ile birlikte, bunları birbirine doygun bağlayacak uygun miktarda çimento hamurunun da bulunması gerek birim ağırlığı ve gerekse de elastisite modülünü olumlu yönde etkilemektedir.

Aşağıda Zintel Canyon Barajı'nda kullanılan SSB'nin üzerinde uygulanan bazı deney sonuçları bir tablo halinde verilmiştir.

Tablo 7. Zintel Canyon'da Kullanılan SSB Özelliklerinin Beton Yaşına Göre Değişimi

Çimento Miktarı (kg/m^3)	Ağırlıkça Su/Çimento Oranı	Yaş (Gün)	Basınç Dayanımı (kgf/cm^2)	Elastisite Modülü (kgf/m^2)	Poisson Oranı
59.3	1.95	3	15.5	0.22	-
		7	23.9	0.49	-
		28	42.9	0.92	0.20
		91	76.6	1.51	0.21
		365	111	1.81	0.17
118.7	0.98	3	61.9	0.95	-
		7	82.3	0.95	-
		28	135	1.55	0.20
		91	160	1.74	0.17
		365	224	2.36	0.21

7.3. Çekme Dayanımı

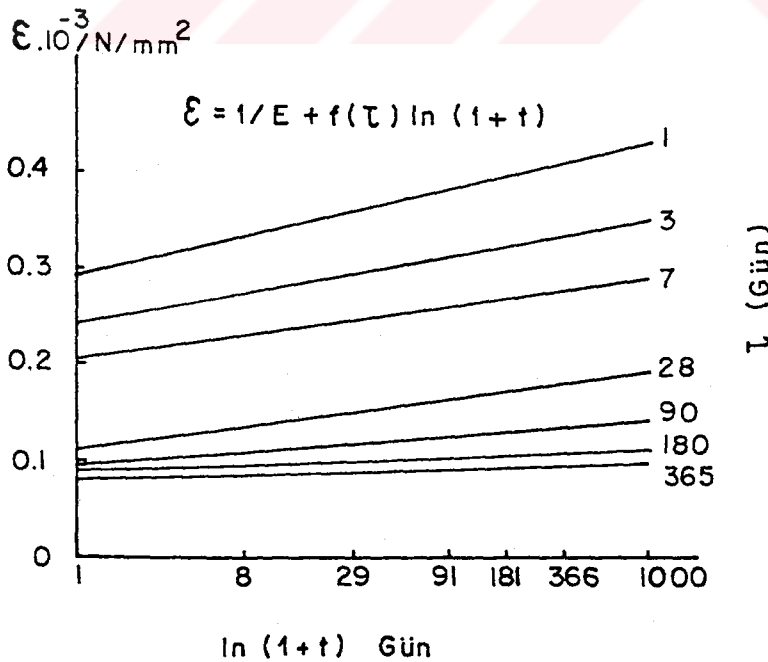
Kısmi rötre ve betonun ani soğuması gibi, bölgesel farklı şekil değiştirme durumunda betonda çekme gerilmeleri oluşmakta, bunların da belli değerleri aşması durumunda çatlaklar gözlenmektedir. SSB, çimentosu az bir beton türü olduğundan şekil değiştirme kapasitesi de oldukça düşüktür. Bu sakıncasına karşılık ince tabakalar şeklinde imali sırasında tabakalar arasındaki hidratasyon ısısı farkının küçük oluşu olumlu rol oynamaktadır. Yaklaşık olarak çekme direncinin önceden belirlenebilmesi için basınç direncine bağlı değerler verilebilir:

Derz dışında basınç dayanımının 18'de biri (1/18),

Derz içinde basınç dayanımının 25'te biri (1/25).

7.4. Sünme

Elastisite Modülünün normal betona oranla küçük oluşu gerek zamandan bağımsız, gerekse zamana bağımlı bileşenlerinin daha büyük oluşuna yol açmaktadır. Yaklaşık olarak değerlerin hesaplanabilmesi amacıyla araştırmacılar tarafından 1 N/mm² 'lik bir gerilme için aşağıdaki abağı geliştirmişlerdir.



Şekil 23. Silindirle Sıkıştırılan Beton İçin Geliştirilen Sünme Eğrileri & (Birim Gerilme İçin) (= 1 N/mm²)

7.5. Geçirimlilik

Projecilerin RCC üzerinde en çok ilgi gösterdikleri konu RCC'nin arazideki geçirgenliğidir. Karışımından önceki ana maddelerin geçirimliliklerinin son derece düşük olmasına karşın en büyük zorluk katmanlar arasındaki birleşimlerdir. Mesela Willow Creek barajında su tutulmaya başlandıktan 12 saat sonra mansap yüzünde su belirmiştir. Fakat yine de silindirle sıkıştırılmış betonun katmanlar halinde yerleştirilmesi ile tam anlamıyla geçirimsiz tek bir yapı elde etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Şekil 17, 18, 19 değişik ülkede 45 değişik su tutucu RCC yapısının üzerinde yapılmış geçirgenlik testlerinin sonuçlarını göstermektedir. Bu San Francisco ICOLD kongresinde Q.62 maddesinin görüşülmesi sırasında geliştirilmiş bir ilişki olup dolayısıyla barajlar için silindirle sıkıştırılmış betonun tartışıldığı Lausanne ICOLD kongresinin Q.57'inci maddesinde ilk defa Dr. M.R.H. Dunctan tarafından sunulan ilişkinin geliştirilmesidir. Arazi geçirgenlik testlerinde birleşme noktaları da dahil olmak üzere elde edilen sonuç geçirgenliğin 10^{-4} ile 10^{-13} m/s arasında değiştiği ve bunun da geçirgenlik ile çimentomsu malzeme arasında sıkı bir bağ olduğu yönündedir. Şekil 17, 18, 19'da gösterilen deneylerin uygulandığı yapılar bir kaç değişik yöntemle yapılmış olup geçirimlilik test sonuçları bir kaç değişik yöntemle elde edilmiştir. Bunlardan bazıları yapının içinden alınan numuneler üzerinde bazıları ise döküm sırasında oluşturulan numuneler üzerinde yapılmıştır. Bazı yapılarda her katmanda tüm yüzeyde yatak karışımı kullanılmış bazı yapılarda kısmen yatak karışımı kullanılmış, bazı yapılarda ise hiç yatak karışımı kullanılmamıştır. Bazı betonlarda hiç puzolan kullanılmazken diğerlerinde yüksek oranlarda puzolan kullanılmıştır. Bazı RCC'lerde flyash kullanılırken bazılarında granulated blast furnace slag ve mineral puzolan kullanılmıştır. Şekil 17, 18, 19'daki verilerden bu farklılıkların yani yapım metodlarının, test çeşitlerinin veya çimentomsu malzeme kapsamalarının ortaya çıkarılması mümkün

değildir. Öyle gözüküyor ki üst üste incelenen RCC yapılarının arazideki geçirgenliği tam olaraktan silindirle sıkıştırılmış betonun çimentomsu malzeme kapsamına bağlıdır.

Yatak karışımının geçirimlilik konusunda çok önemli bir etkisi olmasa bile bu yatak karışımının hiç bir zaman kullanılmaması anlamına gelmemektedir. Beton dökümünün uzun süreler için durdurulduğu dönemlerde (kış döneminde) üstte kalan katmanın yeni beton dökümü öncesi yatak karışımıyla kaplanması veya bu katmanın üstüne dökülecek katmanın çimentomsu malzeme kapsamının arttırılması şarttır.

Şekil 18'deki sonuçların klasik daldırma vibrasyonlu beton barajlardan elde edilen sonuçlarla karşılaştırılması son derece ilgi çekicidir. Şekil 15 yanı test sonuçlarını klasik daldırma vibrasyonlu beton barajlar için göstermektedir. Şekil 16 ise iki taraftan elde edilen sonuçları karşılaştırmaktadır. Görülebileceği gibi çimentomsu malzeme oranının yaklaşık 150 kg/m^3 altına düşmesi geçirgenlik açısından iki beton çeşidinde önemli farklılıklar meydana getirmektedir. Bu değişikliğin sebebinin geçirgenliğin arttığı birleşim noktaları olduğu düşünülmektedir. Fakat yine de RCC barajları barajın tümündeki geçirgenliğin en az klasik daldırma vibrasyonlu beton barajlardaki geçirgenlik kadar iyi olması için projelendirilmektedir.

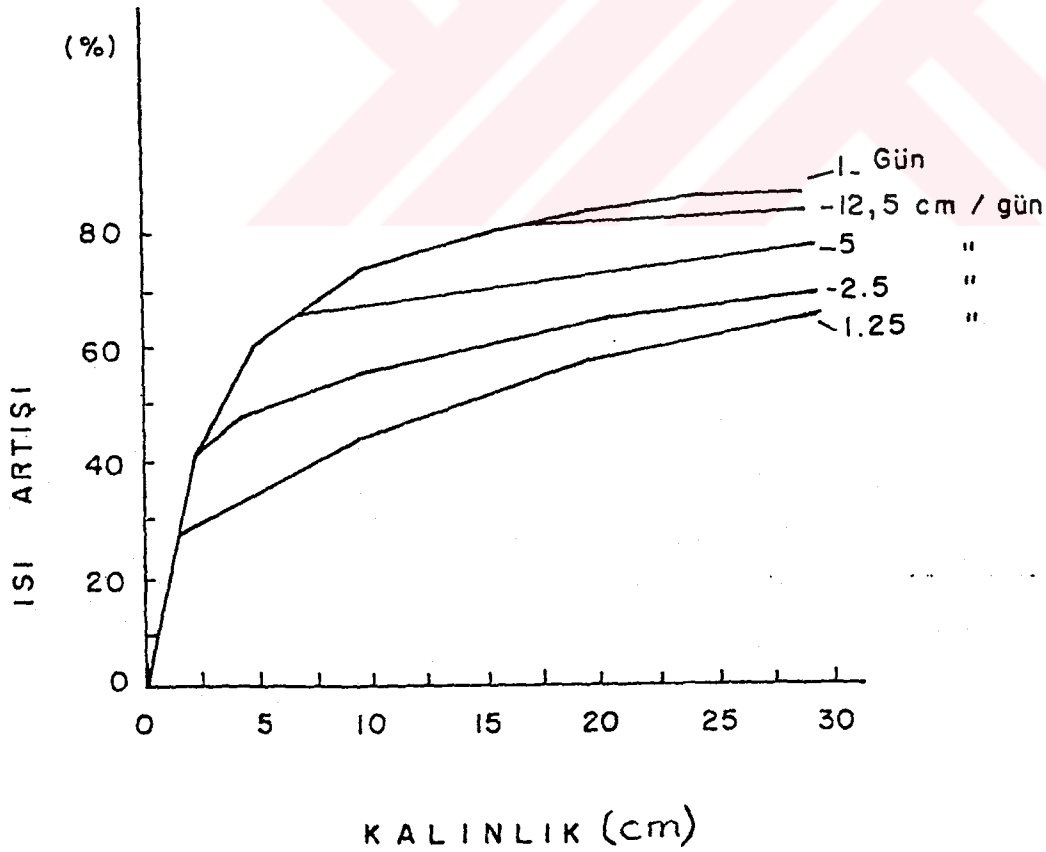
Beton boşluklarındaki suyun basınç ve özellikle bu boşluklara sızan suların ileride sebep olabileceği Ca(OH)_2 ayrışması sonucu hidrate olmuş çimentonun gevşeyerek parçalanması, Silindirle Sıkıştırılmış Beton'un geçirimlilik değerinin de öngörülen belirli bir değerden büyük olmamasını gerektirmektedir.

Silindirle Sıkıştırılmış Beton üzerinde yapılan geçirgenlik deneyleri sonunda, sonuçlar Darcy yasasına göre belirlenen (K) geçirimlilik katsayısı için şunlar belirlenmiştir:

- . K katsayısı 10^{-7} ile 10^{-6} arasında değişmektedir.
- . 0,063 mm'den daha küçük boyutlu ince malzemenin veya çimento-nun artmasıyla K değeri küçülmektedir.
- . Minimum K değeri Proktor deneyine göre en uygun su muhtevası için elde edilmektedir (16, 17).

7.6. Isı Artışı

Üst üste ince tabakalar şeklinde imal edilen Silindirle Sıkıştırılmış Beton'da tabakalar arasında üniform ısı yayılımı sonucu çatlakların azaldığı görülmektedir. Tabaka kalınlığının incelmesinin oynadığı bu olumlu rolün yanısıra, beton döküm hızının da olumlu etkisi bulunmaktadır. Kural olarak ısı artışını azaltabilmek için sabit döküm hızında tabaka kalınlığını azaltmak gerekmektedir (Şekil 24).



Şekil 24. Betonlama Hızının Isı Artışına olan Etkisi

Taze beton ısısının düzenli olması, çevre ile dökülen beton arasındaki ısı farkının küçük olması durumunda, erken çatlak oluşumuna engel olmaktadır. Çevre ısısının betonunkinden küçük olması ısı gelişiminin olumlu olmasına; aksi durumda ise, betonun dışarıdan ayrıca ısı absorbe etmesine neden olacağından etki yapmaktadır.

7.7. Donma-Çözülme

SSB'nin donma, çözülme sonucu dayanıklılık faktörünü tespit için özel bir yöntem henüz geliştirilmemiş olup klasik beton üzerine uygulanan deney metodu uygulanmakta olup esas itibarı ile; hazırlanmış olan deney numunelerinin birbirini takip eden donma-çözülme periyotlarına maruz bırakmaktır. Karşılaşılabilecek esas zorluk laboratuvarında belli şartlar altında bir periyoda kadar dayanan numunelerin pratikte yerinde o çevre şartlarında nasıl bir dayanma göstereceğinin önceden kestirilememesidir. Bununla beraber laboratuvar şartlarında belli bir adet donma-çözülme periyotlarına dayanmayan numunelerin arazide de kullanılmayacağını kabul eden çeşitli standartlar geliştirilmiştir. Betonun donma-çözülme periyotlarına dayanabilme kabiliyetini ölçmek için sağlamlık faktörü denen bir faktör geliştirilmiştir. Bu faktörü belirleyebilmek için deneye girecek numunenin (genelde silindirik ve 3x6") başlangıçtaki ağırlık, boy, gerekirse elastisite modülü (E) belirlenir. Elastisite Modülünün belirlenmesinde;

$$E = CWn^2 \quad (1)$$

formülü kullanılır. Bu formülde,

C,W : Sabitler

n : Enine temel frekans

E : Dinamik elastisite modülü'dür.

Deney aletinde numunelerin 1,5 saat dondurma ve 1,5 saat çözme ile 3 saati periyot olan deneyler arka arkaya tekrarlanır. Genellikle 50 periyot sonunda deney durdurularak numunelerin yeni ağırlık, boy değişimi, elastisite modülü ve gözle görülebilen aksaklıklar tespit edilir. Deney böylece devam eder. Deneyin son bulması için numunenin ilk ağırlığının % 25'ini kaybetmesini kıstas olarak kabul ederek, elastisite modülü değişimini dikkate alarak, bu % 25 ağırlık kaybına ulaşan saykıl sayısına (devre) göre sağlamlık faktörleri tespit edilir (D).

$$D = \frac{n_1^2 \cdot N}{n_0^2 \cdot M} \quad (2)$$

Bu formülde,

- D : Sağlamlık veya dayanıklılık faktörü
 n_0 : Deney başlangıcındaki enine temel frekans
 n_1 : Deney sonu enine temel frekans
N : Elastikiyet modülünün belli bir yüzde kadar azaldığı periyot sayısı
M : Deneyin son bulduğu saykıl periyot

Donma-çözülme deneyi;

1) Hızlı deney

- a) Su içinde donma ve çözülme
- b) Havada donma ve su içinde çözülme

2. Yavaş deney

- a) Su içinde donma ve çözülme
- b) Havada donma ve su içinde çözülme

şeklinde iki türlü yapılabilmektedir. Donma-çözülme sonucu elde edilen betonun dayanıklılık faktörleri araştırmalar sonucu 5 gruba ayrılarak aşağıda tablo halinde verilen değerlendirmeye tabi olmaktadır. Şunu da hemen belirtmek gerekir ki laboratuvar şartları ile çevre şartları aynı olmadığı

dikkate alınarak bu kriterleri tam olarak uygulanacağı söylenemediği gibi ancak bir fikir verebilmektedir (Tablo 8).

Tablo 8. Sağlamlık Faktörü Kriterleri

	% 25 AĞIRLIK KAYBI VEREN DEVRE ADEDİ	SAĞLAMLIK	DÜŞÜNCELER
A	1000'den fazla	Fevkalâde	AEA ilavesiyle elde edilir.
B	500-1000	İyi	Her yerde kullanılabilir.
C	300-500	Zararsız	Donma-çözölmeye maruz yerlerde kullanılabilir. Düşük w/c tavsiye edilir.
D	150-300	Zayıf	Mutedil iklimde kullanılabilir. Şiddeti dış etkiye maruz kalmamalıdır.
E	150'den az	Çok kötü	Mutedil bir iklimde bile kullanılamaz.

7.8. Yoğunluk

Her ne kadar yoğunluk aslında betonun içinde kullanılan agregaların özgül ağırlığına bağlı olsa da betonun içinde kalacak hava bazı özelliklerin kaybolmasına neden olacaktır. Şu ana kadar barajlarda kullanılan silindirle sıkıştırılmış betondaki sıkışmış hava miktarı genelde % 0,5 ile 5.0 arasında değişmektedir. Bu miktar bazı deneylerle % 8.5'e kadar çıkmıştır. Yoğunluk çoğu zaman değişik karışımlardan alınan malzemeler kullanılarak bulunur. Şekil 15'de yapıştırıcı/harç oranı ile 20'nin üzerinde projeden alınan silindirle sıkıştırılmış yaklaşık 50 tane değişik betondan elde edilen yoğunluğun (teorik havasız yoğunluğun oranı) grafiği verilmiştir.

Grafikten de görülebileceği gibi yapıştırıcı/harç oranı 0.35 ile 0.40 arasındayken yoğunlukta önemli bir düşme olmaktadır. Daha sonra 1970'li yılların ortasında MD&A tarafından ortaya çıkarılan diğer faktör ise yapıştırıcı hacminin (yani çimentomsu malzeme, su ve sıkıştırılmış hava (eğer varsa) harç hacmine (yani yapıştırıcı ve ince agregası) oranıdır. Yoğunlukta bu düşüşün sebebi sıkıştırılmış tipik ince agregadaki hava boşluğunun malzemenin şekline ve derecelendirilmesine bağlı olarak 0.32 ile 0.40 arasında değişmesidir. Öyleyse yaklaşık olarak 0.34 ile 0.42 arasında düşük bir yapıştırıcı harç oranında, sıkıştırılmış ince agregalar arasındaki hava boşluklarını doldurabilecek yeterli miktarda yapıştırıcı yoktur. Betona ne kadar enerji verilirse verilsin bu boşlukları doldurmak mümkün değildir. Şekil 15'de verilenler ise içindeki hava boşluğu 0.32 ile 0.40 arasında olan ince agregalardan elde edilen teorik yoğunluklardır. Gerçek ve teorik sonuçlar arasında yakın bir bağ vardır. Aslında gerçekte ince agregaların boşluklarına bağlı olmak üzere bir çok paralel bağlantı vardır. Mesela yapıştırıcı/harç oranı 0.35 olduğu takdirde yoğunluk (serbest hava ve teorik değerin yüzdesi olarak) ince agregaların içindeki boşluklara bağlı olmak kaydıyla % 94 ile 98 arasında değişir.

Derecelendirmeden sonra ince agregaya boşlukları azaltmak amacıyla plastik olmayan ince daneler eklenebilir. Fakat bu da dikkat edilmesi gereken fazla ince dane eklemenin boşlukları arttıracaktır. Bunun yanı sıra ince dane miktarının artması betonun su ihtiyacını arttıracaktır ki bu da betonun bazı özelliklerinin bozulmasına neden olacaktır. İnce agregaların derecelendirilmesindeki kritiklik barajlar için silindire sıkıştırılmış beton hesabı yapan bir çok projeci tarafından farkedilmiştir. Şekil 15 boşluk oranının minimuma düşürülmesi gereğinin önemini yeterince açıklamaktadır.

Yüksek derecede yapıştırıcılı beton ilk olarak 1970'lerin ortalarında yüksek yoğunlukta beton elde etmek amacıyla kullanılmıştır. O günden

bugüne yüksek derecede yapıştırıcı silindirle sıkıştırılmış betonda kullanılmaktadır. Bu yüksek yapıştırıcı içeriği fazla su eklemekle (betonun işlenebilirliğini değiştirecektir), fazla Portland çimentosu, kullanmakla (hem hidrasyon sırasında ortaya çıkan ısıyı arttıracaktır hem de pahalıya mal olacaktır) elde edilemez. Karışımlarla fazladan puzolan eklenmektedir. İlk başta bu ince agregalardaki boşlukları doldurmak için yapılmış fakat daha sonra klasik beton teknolojisiyle elde edilemeyen özellikleride kazandırdığının anlaşılması üzerine karışımın vazgeçilmez maddelerinden biri olmuştur. Zayıf RCC barajlarında elde edilen yoğunluğun genel aralığı teorik yoğunluğun % 95 ile 98'i, RCD (ve orta dereceli yapıştırıcılı) barajlarda % 96 ile 98.5'i, yüksek derecede yapıştırıcılı içerikli barajlarda ise % 98 ile 99.5'i olmuştur. Yoğunluğun düşük olmasının en büyük zararı gerilmeye karşı olan direnç kapasitesinin düşmesidir, çünkü betonun içindeki sıkışmış havanın artması betonun gerilme dayanımını azaltacaktır (16, 17).

7.9. Elde Edilen Özelliklerin Özeti

Barajlarda bir çok değişik karışımdan elde edilen, silindirle sıkıştırılmış beton kullanılmaya başlandığından bu yana bir çok özellik elde edilmeye başlanmıştır. Karışım hesabı ne kadar farklı olursa olsun, beton veya zemin teknolojisi kullanılması sonucu elde edilen betonlar hep aynı özellikleri sergilemektedirler. 200 m den daha yüksek RCC barajlarında, arazide denenerek kanıtlanmış özelliklerin kullanılması önerilmektedir. Böylece mühendisin önünde seçilmek üzere bekleyen bir çok özellik oluşmaktadır. Mühendis barajın değişik kesitleri için değişik özellikler içeren değişik betonları seçmek ve yapı için en uygun hesabı yapmak zorundadır.

BÖLÜM 8

SSB BARAJLARIN TASARIM İLKELERİ-PROJELENDİRİLMESİ VE İNŞAASI

8.1. SSB Barajların Tasarım İlkeleri

SSB barajların tasarımında henüz oluşmuş şartnameler mevcut olmadığı gibi görüş farklılıkları da vardır. Bugün için üzerinde görüş birliğine varılabilen tek husus memba şevinin dik teşkil edilmesi ile dolusavağın SSB gövde içinde oluşturulmasından ibarettir. SSB barajlarda gövde içinden oluşacak su sızıntısının önlenmesi önemli bir konudur. Sızıntı genellikle gövdeyi oluşturan SSB tabakalar arasında olmaktadır. Bunu önlemek amacıyla bazı barajlarda memba tarafına yüksek çimentolu bir SSB üzerine klasik beton kaplama yapılmıştır. Diğerlerinde memba yüzeyi PVC malzemesiyle kaplandıktan sonra üzerine bir kat daha koruyucu beton uygulanmıştır.

SSB karışım tasarımı da farklı uygulamaların olduğu diğer bir alandır. Çimento oranı bazılarında az, bazılarında çok tutulmuştur. Uçucu külün ucuz olduğu ülkelerde SSB 50'ye varabilen oranlarda uçucu kül kullanımı ile hazırlanmaktadır.

SSB baraj şevlerinden memba tarafı dik oluşturulmaktadır. Mansap şevine ise (0,6-0,8 arasında yatay ve 1 düşey eğim verilmesi uygulanan bir kural olma yolundadır) (15, 17).

8.2. SSB Barajların Projelendirilmesi ve İnşaatı

Silindirle Sıkıştırılmış Beton, genel kavram olarak kabul görmesine karşın, karışımın elde edilmesinde kullanılan teknikler, karışım oranları,

serilen tabaka kalınlığı ve sıkıştırma kalınlığı, memba ve mansap yüzeyleri formu ve kaplamaları konularında değişik görüşler ve uygulamalar bulunmaktadır. Konuyla ilgili olarak yapılan araştırma ve uygulama sonuçlarına göre memba yüzünün dik yapılması kabul görmüştür. Bunun yanısıra farklı koşullarda uygulanan SSB karışımının içerisindeki optimum çimento, uçucu kül ve puzzolan oranlarının tesbiti ile ilgili çalışmalar sürdürülmektedir. Araştırmacılar SSB'de nispeten az çimento ile birlikte büyük oranda tras katkısı kullanımıyla yüksek dayanımlar elde edilebileceğini savunmaktadırlar. Bu arada ve dolusavak bölümlerinde değişik SSB karışımlarının kullanıldığı uygulamalar da mevcuttur.

SSB barajlarda tabakalar arasından gövde içine su sızıntısının önlenmesi amacıyla değişik tedbirler önerilip uygulanmaktadır. 1983 yılı başlarında Willow Creek Barajı'nda yatay derzlerde oluşan 5700 lt/dak'lık su sızıntısı hakkında proje başmühendisi Mr.Schrader bu problemin beklenilenden çok daha az miktarda ortaya çıktığını ifade etmiştir. Bu problem SSB'nin içinde sondajla açılan deliklerden çimento şerbeti enjekte edilerek çözülmüştür. Bu şekildeki sızıntıları önlemek ve geçirimsizliği sağlamak amacıyla daha önceden açıklandığı gibi barajların memba yüzlerinin zenginleştirilmiş beton ve PVC malzemesi ile kaplanması önerilmektedir.

Bunun yanısıra Silindirle Sıkıştırılmış Beton Barajın inşaatı sırasında 6 saatten fazla ara verilen SSB serilmesi işlemlerine bazı ek tedbirler alınarak devam etmesi önerilmektedir. Betonun serilmesi sırasında ortaya çıkabilecek segregasyonlar (ayrışmalar) elde edilebilecek yeni değişik karışımlar ile önlenmektedir. Bunun yanında serilen tabakalar arasında kullanılan zengin çimentolu yüksek çökme değeri veren harcın, bu tabakaları birbirine bağlamakta ve agreganın ayrışmasının önlenmesinde

oldukça etkili olduğu belirtilmektedir. SSB barajların projelendirilmesi ve inşaatı ile ilgili olarak ABD'de, Japonya'da ve İngiltere'de ortaya atılan 3 değışik yaklaşım bulunmaktadır. Bu yaklaşımlar Mr. Dunstan tarafından aşğıdaki şekilde sınıflandırılmıştır (15, 17).

. Zayıf SSB Barajlar

ABD'de geliştirilen bu SSB karışımında (The Lean Roller Compacted Concrete) katkılı çimento ile uçucu kül miktarı 120 kg/m^3 'den daha azdır. Bunun yanısıra karışım içerisindeki uçucu kül oranı % 40'a kadar çıkabilmektedir. Winchester (ABD) Barajı bu metodun ilk örneğini oluşturmaktadır. Bu barajda memba yüzünün geçirimsizliği ilave bir beton tabaka ile sağlanmıştır. Bunun yanısıra 30 cm kalınlığında serilen tabakalar arasındaki segregasyonu önlemek amacıyla kısmi olarak yatak harcı ilave edilmiştir (15, 17).

. Silindirlenmiş Beton Barajlar

Japonya'da geliştirilmiş olan silindirlenmiş beton baraj (Roller Concrete Dam) (RCD) karışımı 120 ile 140 kg/m^3 arasında çimento ile % 30 oranında uçucu kül içermektedir. RCD karışımı 3 ve 4 katman halinde serilmekte ve tabaka kalınlığı 60 ile 70 cm'ye ulaştığında sıkıştırılmaktadır. Bu uygulamada derzler sıkıştırma sonrasında memba yüzünden mansaba kadar kesilmekte ve serilen tabakaların tüm yüzeylerine yatak harcı uygulandıktan sonra diğer katmanlara geçilmektedir. Bunun yanısıra barajın memba ve mansap yüzeylerine 2,5 ile 3 m'lik klasik beton tabakaları inşaa edilmektedir. İlk olarak Shimajgawa Barajı'nda başlanıp, Japonya'da inşaa edilen tüm SSB barajlarda RCD metodu uygulanmıştır (15, 17).

. Yüksek Bağlayıcı İçerikli SSB Barajları

İngiltere'de geliştirilen bu yöntem (High Paste Content RCC Dam) ABD'de Upper Stillwater Barajı'nda uygulanmıştır. Bu karışımdaki çimento ve uçucu kül miktarı, uçucu kül oranı yüksek olmak üzere 200 kg/m^3 'den daha fazladır. Barajın memba ve mansap yüzeylerinin inşasında lazer kontrollü yatay kalıplar kullanılmıştır. Bu yöntemde tüm SSB kütlesi su geçirimsiz bir eleman olarak ele alınmakta ve 30 cm'lik tabakalar arasında yatak harcı kullanılmaktadır. Bu betonun yüksek dayanım ve kohezyon özellikleri, baraj mansap yüzünün daha dik imaline ve baraj gövdesi hacminin azaltılmasına imkan tanımaktadır (15, 17).



BÖLÜM 9

SSB LABORATUVAR ÇALIŞMASI

9.1. Kullanılan Malzemeler

Bu araştırmada Ankara Çimento Fabrikası'ndan sağlanan KÇ 32.5 çimentosu, Kütahya-Tunçbilek Termik Santrali'nden elde edilen siliko-alüminöz uçucu kül ve Çubuk Çayı'ndan temin edilen dere agregası kullanılmıştır.

9.1.1. Çimento

Kullanılan çimentonun özellikleri Tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Ankara KÇ 32.5'un Özellikleri

Fiziksel Özellikler		TS 10156 sınırları
Özgül Ağırlık (gr cm^3)	2.94	
Elek Analizi		
200 μ elek üzerinde kalan (%)	0.0	1
90 μ elek üzerinde kalan (%)	2.0	14
Özgül yüzey Blaine aletiyle (cm^2/gr)	3285	en az 2400
Piriz başlama süresi (saat)	3.25	en az 1
Piriz sona erme süresi (saat)	4.15	en çok 10
Basınç dayanımı 7 günlük (kgf/cm^2)	249	210
Basınç dayanımı 28 günlük (kgf/cm^2)	391	325
Çekme dayanımı 7 günlük (kgf/cm^2)	44	40
Çekme dayanımı 28 günlük (kgf/cm^2)	62	55
Bu çimento numunesi TS 10156 standardına uygundur.		

9.1.2. Uçucu Kül

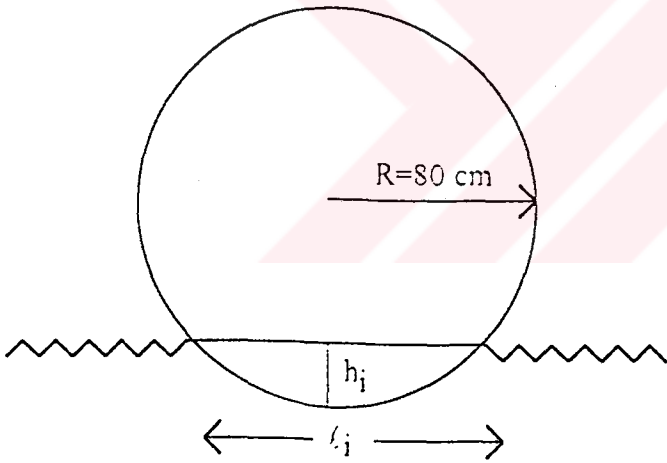
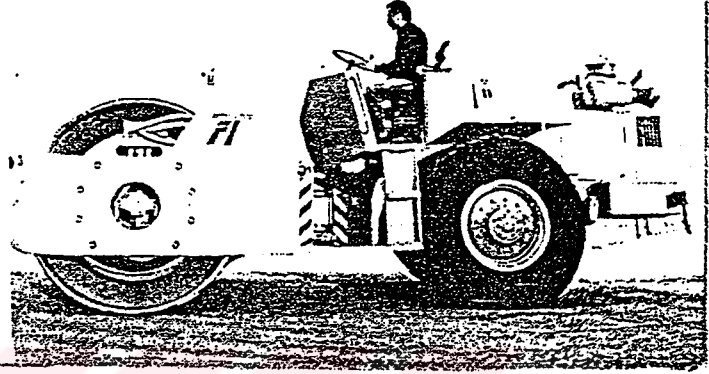
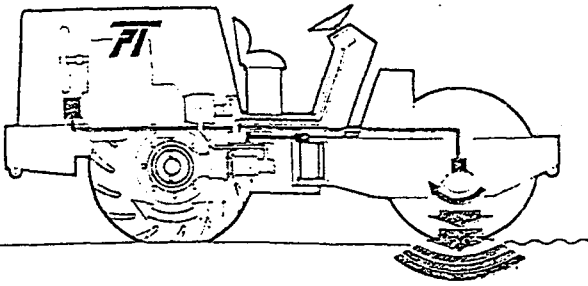
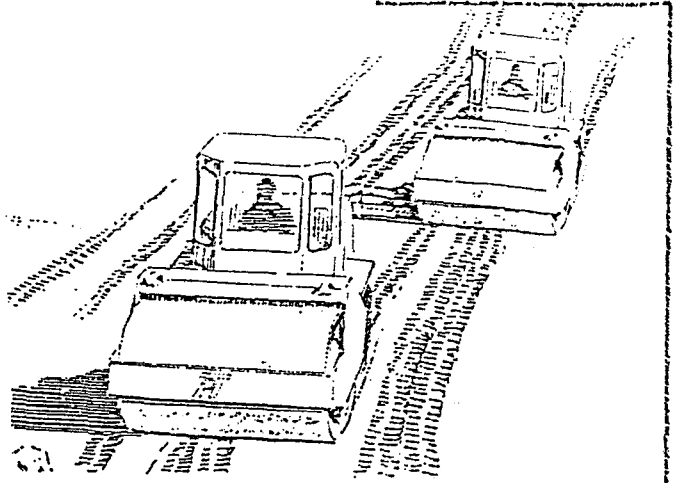
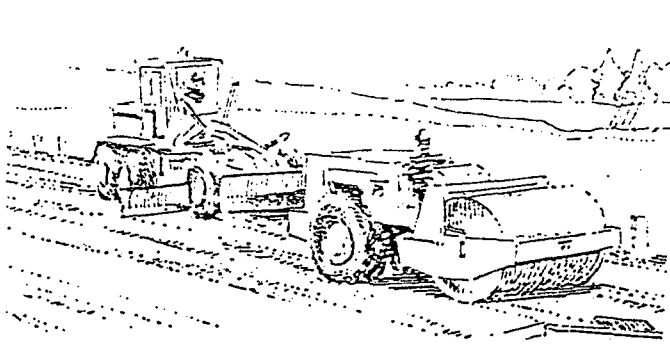
Küresel tanecikleri nedeniyle işlenebilirliği ve sıkıştırılabilirliği artırması, ayrıca puzolanik özelliği ile geç dayanımları yükselteceği gözönünde bulundurularak bazı karışımlarda Kütahya-Tunçbilek Santrali Uçucu Kül'ü kullanılmıştır. Bu uçucu külün özgül ağırlığı 1.86 gr/cm^3 olup $4050 \text{ cm}^2/\text{gr}$ özgül yüzeye sahiptir.

9.1.3. Agregası

Bu araştırmada kullanılan agregaların sahip olduğu özellikler Tablo 10'da tane dağılımı eğrileri de Şekil 25'te verilmiştir.

Tablo 10. Çubuk Dere Agregası Fiziksel Özellikleri

DENEY AGREGASI	KUM	ÇAKIL	TS 706 sınırları
Özgül ağırlık (Doygun kuru yüzeyli) (gr cm^{-3})	2.59	2.60	
Su emme (%)	0.8	0.2	
Yıkanabilir madde (%)	6	0.75	K % 5, Ç % 1
Los Angeles aşınma kaybı	7	24	% 10 % 50
Organik madde	Renksiz Açık Sarı		
Na_2SO_4 don kaybı	4	12	K % 15 Ç % 18
Kullanılan agregası TS 706 standardına uygundur.			



Tambur
(1.600 × 2.300) mm

Lastik
(23.1 × 26)

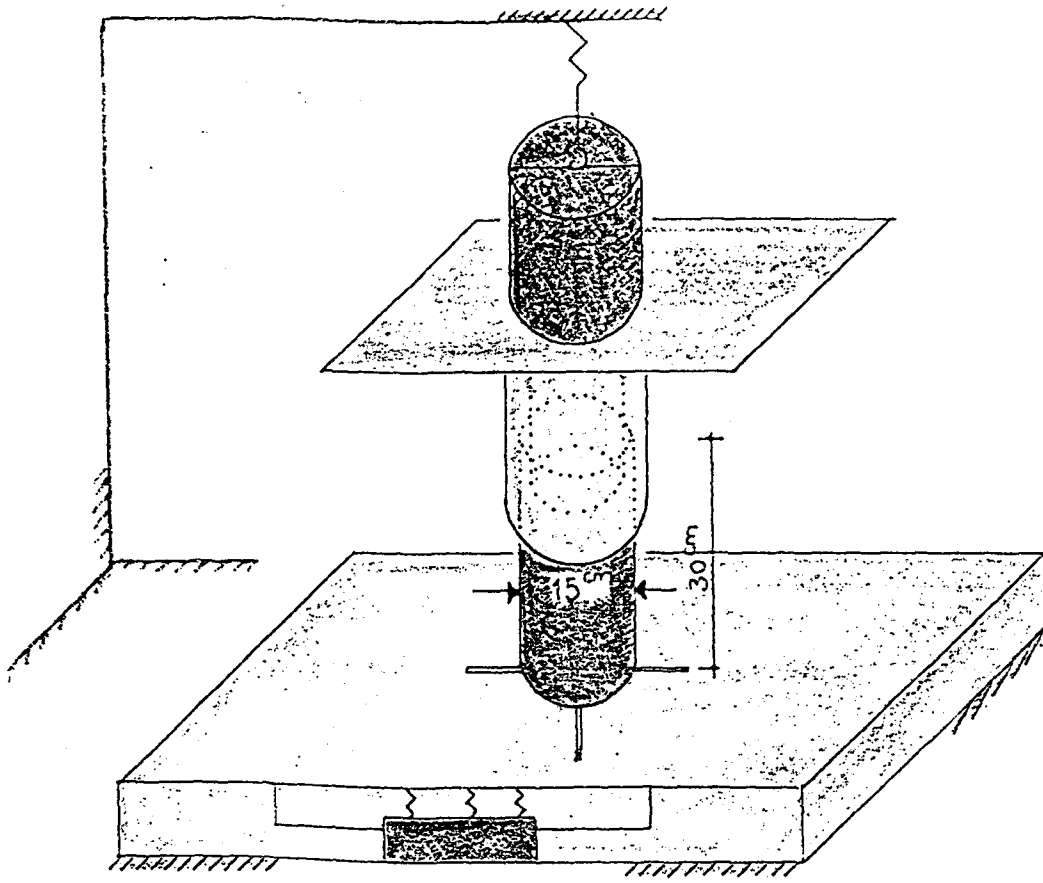
Frekans
0–50 Hz

Ağırlık
15.700 kg

<u>Pas adedi</u>	<u>Batma Genişliği (cm)</u>	<u>Batma Derinliği (cm)</u>
1	75	10
2	50	4
3	25	1,5
4	12	0,4

Ortalama batma genişliği = 40 cm

Şekil 26. SSB Araştırmasının Deney Modellemesi



Şekil 27. SSB Numunelerinin Kalıplara Yerleştirilmesi İçin Hazırlanan Model

9.3. SSB Karışım Oranları

Bölüm 6'da açıklanan yöntemler kullanılarak 20 değişik SSB karışımı yapılmıştır. Bunların karışım oranları Tablo 11'de gösterilmiştir.

Numune No	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	Su (kg)	İnce Agregat (kg)	İri Agregat (kg)
11011	143	-	106	642	1508
11101	136	24	98	642	1508
11012	171	-	127	772	1300
11122	155	28	117	772	1300
11014	164	-	122	738	1352
11124	127	22	122	738	1352
11013	136	-	101	611	1560
11123	124	22	93	611	1560
12011	149	-	112	622	1508
12101	143	26	101	622	1508
21011	140	-	105	614	1508
21101	133	24	94	614	1508
21012	171	-	126	764	1300
21122	155	28	116	764	1300
21014	161	-	121	730	1352
21124	146	26	111	730	1352
21013	133	-	100	603	1560
21123	121	22	92	603	1560
22011	149	-	110	614	1508
220101	140	24	099	614	1508

Tablo 11. SSB Hacimsal Değerleri

KARIŞIM DİZAYNI	Dmax (mm)	Pc	Hava içeriği (%)	T/C	W (g/l)	Vca (m ³)	Vm (m ³)	Vp (m ³)	Vfa (m ³)	Vw (m ³)	Vb (m ³)	Vc (m ³)	Vf (m ³)
11011	50	0.380	2	-	2.3	.580	.400	.152	.248	0.106	0.046	0.046	0.000
11101	50	0.380	2	0.30	1.7	.580	.400	.125	.248	0.098	0.054	0.044	0.013
11012	50	0.380	2	-	2.3	.500	.480	0.182	0.298	0.127	0.055	0.055	0.000
11122	50	0.380	2	0.30	1.8	.500	.480	0.182	0.298	0.117	0.065	0.050	0.015
11014	50	0.380	2	-	2.3	.520	.460	0.174	0.285	0.122	0.053	0.053	0.000
11124	50	0.380	2	0.30	1.8	.520	.460	0.174	0.285	0.122	0.053	0.041	0.012
11013	50	0.380	2	-	2.3	0.600	.380	0.144	0.236	0.101	0.044	0.044	0.000
11123	50	0.380	2	0.30	1.8	0.600	.380	0.144	0.236	0.093	0.052	0.040	0.012
12011	50	0.400	2	-	2.3	.580	.400	0.160	0.240	0.112	0.048	0.048	0.000
12101	50	0.400	2	0.30	1.7	.580	.400	0.160	0.240	0.101	0.059	0.046	0.014
21011	50	0.380	2.5	-	2.3	.580	.395	0.150	0.237	0.105	0.045	0.045	0.000
21101	50	0.380	2.5	0.30	1.7	.580	.395	0.150	0.237	0.094	0.056	0.043	0.013
21012	50	0.380	2.5	-	2.3	.500	.475	0.181	0.295	0.126	0.055	0.055	0.000
21122	50	0.380	2.5	0.30	1.8	.500	.475	0.181	0.295	0.116	0.065	0.050	0.015
21014	50	0.380	2.5	-	2.3	.520	.455	0.173	0.282	0.121	0.052	0.052	0.000
21124	50	0.380	2.5	0.30	1.8	.520	.455	0.173	0.282	0.111	0.062	0.047	0.014
21013	50	0.380	2.5	-	2.3	.600	.375	0.143	0.233	0.100	0.043	0.043	0.000
21123	50	0.380	2.5	0.30	1.8	.600	.375	0.143	0.233	0.092	0.051	0.039	0.012
22011	50	0.400	2.5	-	2.3	.580	.395	0.158	0.237	0.110	0.048	0.048	0.000
22101	50	0.400	2.5	0.30	1.7	.580	.395	0.158	0.237	0.099	0.059	0.045	0.013

9.4. SSB Deney Numunelerinin Hazırlanması

9.3'te karışım oranları belirlenmiş olan 20 karışımın her birinde karışım elemanları ayrı ayrı tartılarak betoniye haznesine konuldu. Daha sonra 3 dakika karma 2 dakika bekleme ve tekrar 3 dakikalık karma işleminin ardından bölüm 9.2'deki modeli verilen deney düzeneğindeki 15x30 cm'lik numune kalıplarına her bir kademesinde 1 dakika süre ile 0,85 kgf/cm²'lik dinamik basınç uygulaması ile iki kademede sıkıştırılmış ve ilgili deney yaşlarına kadar standart küre tabi tutulmuşlardır.

9.5. Deney Sonuçları

9.5.1. Birim Ağırlık (TS 6332)

Silindirle Sıkıştırılmış Betonun birim ağırlığının bilinmesi geleneksel betonunkinden daha da fazla önem taşımaktadır. Geleneksel betonun yerleştirilemesi şişleme veya titreşme ile yapılırken SSB'nin yerleştirilmesi dinamik yük altında vibrasyonlu silindirlerle yapıldığından birim hacim ağırlığının bilinmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır. Bu amaçla yapılan birim ağırlık deneyi suya doygun haldeki numuneler üzerinde ve aşağıdaki şekilde yapılmıştır. 15x30 cm silindir ebadındaki numuneler 20°C±2°C'lik suyun içerisine batırılarak 24 saatte ayrı ayrı yapılan iki ölçümde, yaş numune kütlesi % 0,2'den fazla fark göstermeyene kadar kütle artışı olmadığı kabul edilerek ve tartımdan önce, yüzeydeki suyu nemli bir bez ile alarak tartılıp numune kütlesi olarak kaydedildi (m_1). Hacmi numunenin taşırılan su miktarı ile tayini hesap yoluyla da % 0,2 hassasiyetle belirlendikten sonra suya doygun haldeki numunenin yoğunluğu aşağıdaki formülle kg/m³ olarak bulundu.

$$E = \frac{m_1}{V} \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Burada;

m_1 = Doygun durumdaki numunenin kütlesi (kg)

V = Suya doygun durumdaki numunenin hacmi (m^3) dir.

Bu şekilde elde edilen sonuçlar en yakın 5 kg/m^3 'e yuvarlatılarak 20 karışım için elde edilen sonuçlar Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. SSB Araştırma Numunelerinin Birim Ağırlık Deney Sonuçları

Numune No	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	Su (kg)	İnce Agrega (kg)	İri Agrega (kg)	Birim Ağırlık (kg/m^3)
11011	143	-	106	642	1508	2477
11101	136	24	98	642	1508	2456
11012	171	-	127	772	1300	2417
11122	155	28	117	772	1300	2419
11014	164	-	122	738	1352	2424
11124	127	22	122	738	1352	2408
11013	136	-	101	611	1560	2456
11123	124	22	93	611	1560	24581
12011	149	-	112	622	1508	2439
12101	143	26	101	622	1508	2448
21011	140	-	105	614	1508	2420
21101	133	24	94	614	1508	2432
21012	171	-	126	764	1300	2420
21122	155	28	116	764	1300	2363
21014	161	-	121	730	1352	2423
21124	146	26	111	730	1352	2424
21013	133	-	100	603	1560	2456
21123	121	22	92	603	1560	2458
22011	149	-	110	614	1508	2381
220101	140	24	099	614	1508	2445

9.5.2. Basınç Dayanımı (TS 3114)

Silindirle sıkıştırılmış Beton numuneleri üzerinde yapılan beton basınç mukavemetinin tayininde TS 3144/Aralık 1990'a uygun kalınarak aşağıdaki yöntemler uygulanmıştır. Deney için maksimum tane çapı" (50 mm) agregadan hazırlanan ve P_v , $W/(C+F)$, V_{ca} , V_m , V_p , V_{fa} , V_m , V_b ,

Vc, Vf'nin değişik oranarı ile hazırlanan 20 adet deney karışımında basınç mukavemeti deneyi her deney karışım için 6 adet numuneye uygulanmıştır. Deney numuneleri hidrolik çimentolarla reaksiyona girmeyen ve su emmeyen uygun malzemeden yapılmış 15x30 cm'lik silindir ebadlarında olan ve iç yüzeyi madeni bir yağ ile hafifçe yağlanmış kalıpların içine iki kademeli olarak ve her bir kademesinde masa vibratörü üzerinde 0,85 kg/cm²'lik dinamik basınç altında 1'er dakikalık titreşim uygulaması ile sıkılanmış ve 7 ve 24 günlük basınç dayanımlarının herbiri için deney yaşına kadar 23°C±2°C sıcaklıkta ve doymuş rutubette kür odasında muhafaza edilmişlerdir. Deney yaşına giren numunelerin birim hacim kütlelerinin tayin edilmesinden sonra yaklaşık % 70 kükürt ve % 30 grafit tonundan meydana gelen karışım 125°C ye kadar ısıtıldıktan sonra metalden yapılmış ortası silindir tabanının kolayca oturabileceği ~ 12 mm derinliğindeki plakaya dökölüp deney numunesi silindir eksenini düşey olacak şekilde oturtulup soğuyup sertleşmesi ile başlıklanması tamamlanıp ve 2 saat sonrasında da basınç mukavemeti deneyine hazır hale getirildiler. Deney presinin çelik yükleme plakaları ve bunlara temas edecek numune yüzeyleri iyice temizlenip silindir deney numunelerinin tabanı alt plaka üzerine düşey olarak yerleştirilip numune yavaş yavaş oynatılarak deney numunesi düşey eksenini pres küresel üst başlık plakasının (blokunun) merkezine 0,01 merkezleme hatası ile çakışması sağlanarak 13 mm/dak. sabit bir hızla ve darbe tesiri yapmayacak tarzda yüklemeye deney numunesi kırılncaya kadar devam edildi. Deney numunesinin kırıldığı anda pres ibresinin gösterdiği maksimum yük (F), numuneni deneyden önce 1 mm hassasiyetle ikişer yerden ölçölüp bulunan basınç alanı (A) 0,1 cm²'ye yuvarlatıp ortalamasının alındığı kuvvetin tesir ettiği kesitin ortalama alanına bölünmesi ile basınç mukavemeti değeri elde edildi.

$$f_g = \frac{F}{A} \text{ kgf/cm}^2$$

f_g = Beton deney numunesi basınç dayanımı kgf/cm² (g indisi beton deney numunesi yaşı)

F = Kırılma yükü kgf

A = Deney yükü uygulama yönüne dik deney numunesi kesit
ortalama alanı cm^2 'dir.

Basınç dayanımı deneyi için 20 adet karışımın her birinden ayrı ayrı 3 adedi 7 günlük basınç mukavemeti tayini için 3 adedi de 28 günlük basınç mukavemeti tayini için 6'şar adet numune üzerinde çalışılmış olup her karışımın ortalaması o karışım oranındaki numunelerin basınç dayanımı olarak Tablo 13'de gösterilmektedir.

Tablo 13. SSB Araştırma Numunelerinin Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Numune No	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)				Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)			
	1	2	3	(7 gün) ort	1	2	3	(28 gün) ort
11011	32.44	32.54	35.94	33.64	53.75	52.00	52.50	52.75
11101	32.24	29.23	29.30	30.26	50.40	50.50	50.40	50.43
11012	33.60	33.00	35.45	34.00	53.15	53.00	53.00	53.05
11122	59.30	57.50	57.15	58.00	89.50	89.00	90.00	89.50
11014	39.10	40.63	38.75	39.50	56.00	56.50	57.00	56.50
11124	35.33	34.80	35.00	35.04	47.00	47.30	46.94	47.08
11013	33.25	34.45	33.50	33.73	47.38	47.50	47.75	47.54
11123	33.90	34.10	34.75	34.24	49.50	49.65	50.34	49.83
12011	46.65	46.50	47.00	46.72	93.00	93.00	93.00	93.00
12101	44.80	45.70	44.50	45.00	90.25	91.00	92.56	91.27
21011	44.70	44.00	43.50	44.06	68.50	68.00	69.27	68.59
21101	40.00	39.85	41.89	40.58	62.75	62.00	62.30	62.35
21012	54.95	53.00	53.50	53.82	82.60	82.30	82.95	82.62
21122	47.00	47.87	47.00	47.29	73.08	73.50	73.20	73.26
21014	60.00	50.60	50.30	50.63	77.50	77.80	78.52	77.94
21124	45.12	44.00	44.50	44.54	68.50	68.75	68.52	68.59
21013	41.00	43.05	41.50	41.85	63.70	64.13	63.90	63.91
21123	36.50	36.50	37.75	36.92	56.10	56.50	55.76	56.12
22011	48.80	48.50	49.46	48.92	75.16	74.50	74.80	74.82
22010	45.70	45.00	46.42	45.71	72.00	71.95	72.50	72.15

9.5.3. Elastisite Modülü (TS 3502)

Silindirle sıkıştırılmış Beton deney numunelerinin elastisite modüllerinin tayin edilebilmesi için 20 karışımın her birinden ayrı ayrı 4 adet 15x30 cm ebadında silindir numuneleri üzerinde kür yaşını doldurana kadar basınç dayanımı tayininde izlenen yol uygulanmıştır. Deney yaşına giren numuneler deneye başlanmadan 1 saat önce bakım odasından çıkarılarak boyutları ve birim ağırlıkları belirlendi. Boyutların ve birim ağırlığın belirlenmesinde 0,10 mm'ye duyarlı kompas ve 1 gr duyarlılıkta terazi kullanılmıştır. Boyutları ve birim ağırlığı belirlenmiş SSB deney numunesi 0,0001 mm aralıklı ölçüm saatine sahip boy değişim ölçen aletin içine yerleştirildi. 0,1 mm kompas yardımıyla düzeneğin eksantritesi (ölçüm saatinin numune ekseninden kaçıklığı) ve ölçüm boyu belirlenip kaydedildikten sonra numune pres altına yerleştirildi. Başlangıç okuması en az 5000 kg olmak üzere, 5000 kg ise daha evvel bulunmuş olan basınç dayanımı değerinin % 40'ı olan sınır yükü arası 10 eşit yük bölgesine ayrılıp 2.4 ± 0.3 kgf/cm²/s'ye ayarlanmış sabit hızla yükleme yapılarak sınır yüküne kadar her 10 yük bölgesinde, yüke karşılık gelen boyuna yük değişimleri okundu. Sınır yükten başlangıç yüküne (5000 kg) kadar pres aynı hızda düşürülerek yukarıdaki okumalar tekrarlandı. Aynı işlemler en az üç kere bütün SSB deney numuneleri üzerinde uygulanıp gerilme ve deformasyonlar milimetrik grafik kağıdına her yük bölgesi için absisinde deformasyonlar, ordinatta gerilmeler için uygun ölçek seçilerek işaretlendikten sonra; işlenen noktalardan geçirilen en uygun eğim Elastisite Modülü olarak değerlendirilmiştir. Bu eğim (elastisite modülü) hesap yolu ile

$$E = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\epsilon_2 - \epsilon_1}$$

formülü kullanılarak sonuçların 0,1 kgf/cm²'ye yuvarlatılması ilede doğrulanmıştır. Burada;

E = Elastisite Modülü (kgf/cm^2)

σ_2 = Sınır yüküne karşı gelen gerilme

$$\sigma_2 = \frac{P_2}{A} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

σ_1 = Sınır yüküne karşı gelen gerilme

$$\sigma_1 = \frac{P_1}{A} \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

ε_2 = Sınır yükünde okunan ortalama birim kısalma (Δ)

$\Delta \ell_2$ = Sınır yükünde ölçüm saatinden alınan okuma (mm)

ε_1 = Başlangıç yükünde okunan ortalama birim kısalma (Δ)

$\Delta \ell_1$ = Başlangıç yükünde ölçüm saatinden alınan okuma (mm)

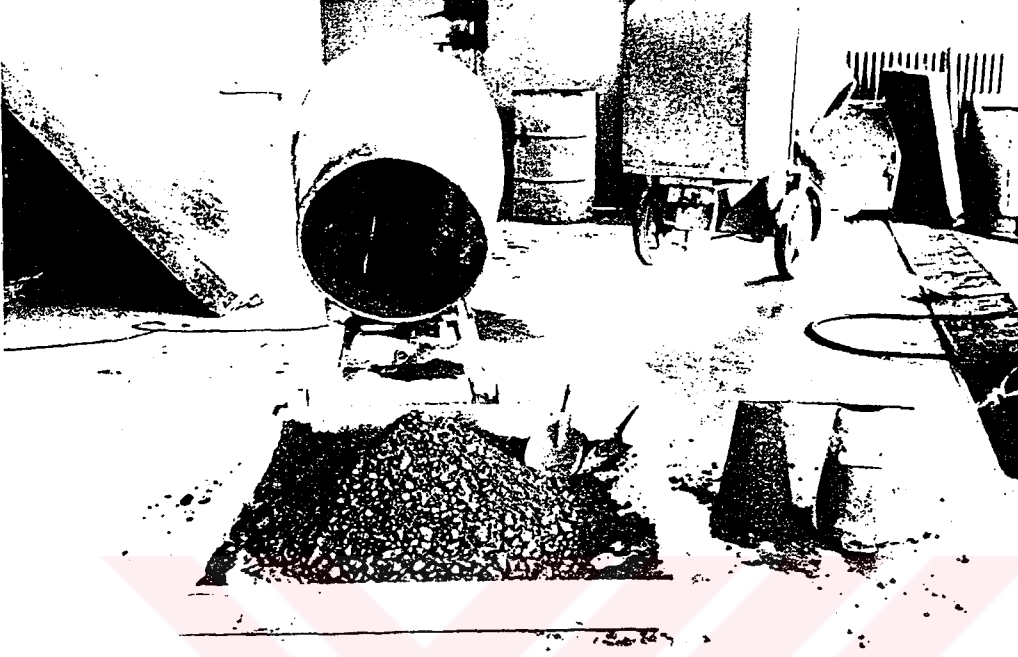
A = Deney numunesi kesit alanı (cm^2)

l = Ölçüm boyu (mm)

Elde edilen sonuçlar karışım numaralarına göre her karışımın deney numunesinin elastisite modülü değerlerinin ortalaması o karışımın elastisite modülü kabul edilerek aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

Tablo 14. SSB Araştırma Numunelerinin Elastisite Modülü Deney Sonuçları

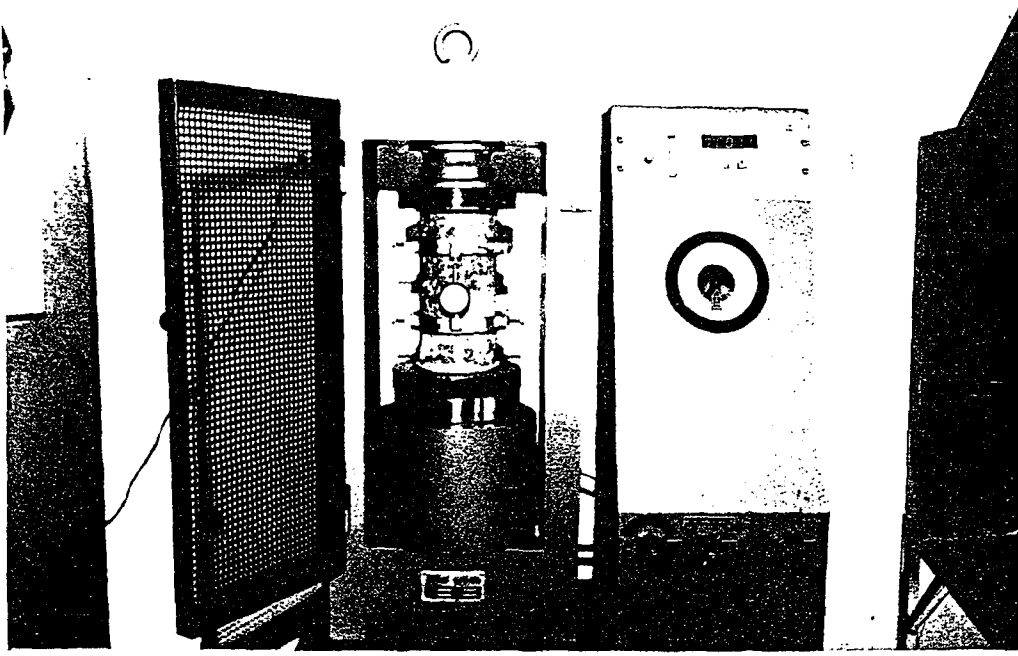
Numune No	7 Günlük Elastisite Modülü (kgf/cm^2)				28 Günlük Elastisite Modülü (kgf/cm^2)			
	1	2	3	ort	1	2	3	ort
11011	97.000	98.000	98.000	98.000	110.000	114.000	112.000	112.000
11101	85.000	87.000	89.000	87.000	105.000	104.000	102.000	104.000
11012	95.000	94.000	93.000	94.000	106.000	107.000	107.000	107.000
11122	100.000	101.000	100.000	101.000	115.000	114.000	112.000	114.000
11014	101.000	98.000	98.000	99.000	105.000	105.000	105.000	105.000
11124	85.000	84.000	84.000	84.000	102.000	102.000	103.000	103.000
11013	88.000	88.000	85.000	87.000	110.000	106.000	108.000	108.000
11123	88.000	89.000	88.000	89.000	114.000	113.000	114.000	114.000
12011	76.000	78.000	79.000	78.000	100.000	100.000	100.000	100.000
12101	81.000	80.000	81.000	81.000	105.000	105.000	105.000	105.000
21011	98.000	96.000	97.000	97.000	110.000	105.000	118.000	111.000
21101	88.000	87.000	88.000	88.000	110.000	109.000	123.000	114.000
21012	101.000	100.000	100.000	101.000	120.000	120.000	120.000	120.000
21122	102.000	103.000	107.000	104.000	123.000	123.000	121.000	123.000
21014	95.000	95.000	96.000	96.000	120.000	118.000	118.000	119.000
21124	100.000	100.000	100.000	100.000	125.000	126.000	126.000	124.000
21013	73.000	74.000	75.000	74.000	93.000	94.000	91.000	93.000
21123	72.000	74.000	73.000	73.000	90.000	90.000	96.000	92.000
22011	100.000	99.000	97.000	99.000	105.000	105.000	105.000	105.000
22010	100.000	101.000	105.000	102.000	115.000	115.000	120.000	117.000



Resim 1. Taze SSB Betonunun Görünüşü ve Kıvamı



Resim 2. SSB'nin 28 Günlük Basınç Dayanımı Deneyinden Bir Görünüş



Resim 3. SSB Beton Numunesi Üzerinde Yapılan Elastisite Modülü Tayininden Bir Görünüş

9.5.4. Geçirimsizlik (TS 3455)

Genel olarak Silindirik Sıkıştırılmış Betonların (SSB) geçirimsizliği klasik betona nazaran daha düşük olduğu açıktır. SSB'nin geçirimsizliğinin ölçülmesinde alet ve standartlarla geleneksel betonda olduğu gibi bir beynelminel görüşe ulaşılmış değildir. Bu araştırmada DSİ TAKK Laboratuvarında alet ve değerlendirme esas alınmıştır. İki seri halinde çalışan 6 deney ünitesinin her birinde 1 litrelik çelik konik su deposundan geçen su miktarının okunmasına mahsus bileşik kaplar esasına göre çalışan derecelenmiş cam borudan ve numunenin arasına konulmaya yarayan lastik contalı iki kapaktan ibarettir. Deneyde kullanılan 20 cm çapında ve 12 cm yüksekliğinde silindirik numuneler özel kalıplar içine konarak su geçecek kısımlar hariç diğer yüzeyleri parafinle izole edildikten sonra alete yerleştirilerek 4 atmosfer basınç altında suyun numuneden geçmesi ile aşağıdaki bağıntılarla K geçirimsizlik katsayısı elde edilmiştir. Darcy kanununa göre :

$$Q = K \times \frac{P \times A}{L}$$

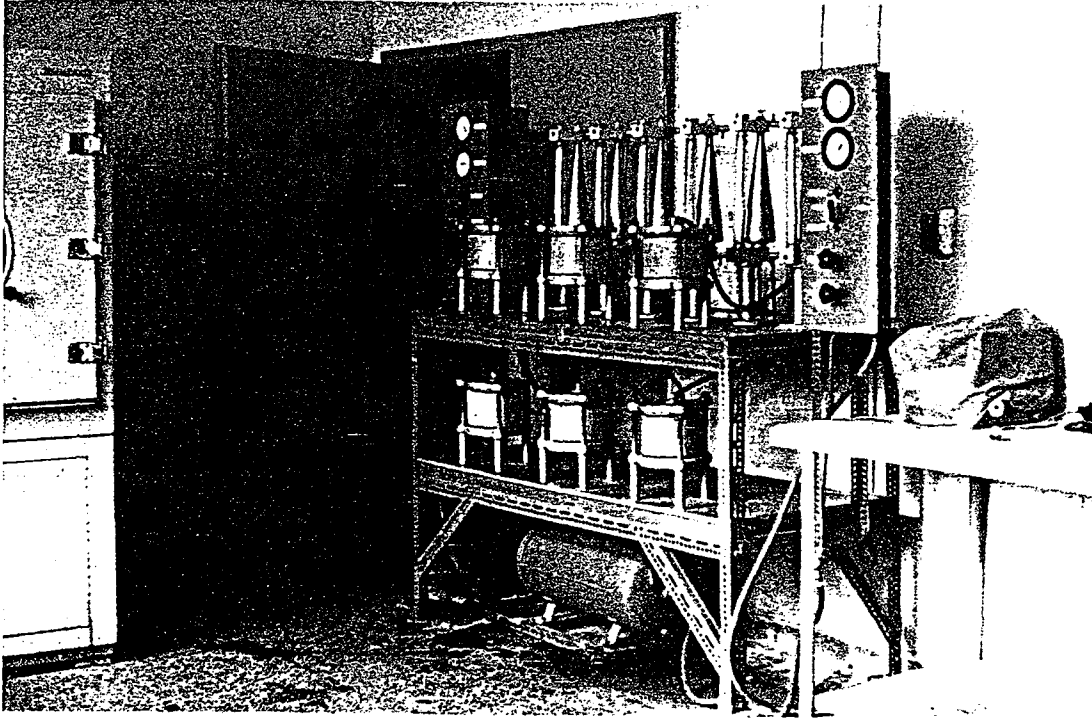
- A : Kesit alanı (cm²)
 L : Numune boyu (cm)
 P : Basınç (cm su sütunu)
 Q : Geçen su miktarı (cm³/sn)
 K : Geçirimsizlik katsayısı (cm/sn)

Deneyden sağlıklı bir netice alabilmek için devamlı olarak numuneden geçen su-zaman grafiği çizilip bunun eğiminin sabit olduğu zaman, yani ancak su geçişinin rejim haline dönüşmesinden sonra Q değeri hesaplanarak buradan K katsayısına geçilir. Çünkü deney için A, L ve P değerleri baştan bellidir. Bulunacak Q'ye göre K tayin edilir. Burada betonun yaşı da önemlidir. Geçirimsizlik deneyinde beton yaşı 39-140 gün arasında yapılır. Bu araştırmada 40 günlük numuneler üzerinde çalışılmış ve 60 günlük K₆₀ geçirimsizliğe geçilmiştir. Bunun için

$$K_{60} = \frac{100 \times K_{40}}{F_{40}} \quad \text{formülü kullanılmıştır.}$$

- K₆₀ : 60 günlük betonun geçirimsizliği
 K₄₀ : 40 günlük betonun geçirimsizliği
 F₄₀ : 40 günlük deney yaşını 60 günlük yaşa çeviren yaş faktörü
 (147)

Elde edilen deney sonuçları aşağıya verilmiştir.



Resim 4. 20x12 cm'lik SSB Beton Numuneleri Üzerinde
Yapılan Geçirimlilik Deneyinden Bir Görünüş

Tablo 15. Geçirimlilik Deney Sonuçları Tablosu

Numune No	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	Su (kg)	İnce Agrega (kg)	İri Agrega (kg)	K(60 Günlük) Permeabilite (cm/sn)
11011	143	-	106	642	1508	1.24×10^{-8}
11101	136	24	98	642	1508	1.27×10^{-8}
11012	171	-	127	772	1300	1.23×10^{-8}
11122	155	28	117	772	1300	1.28×10^{-8}
11014	164	-	122	738	1352	1.33×10^{-8}
11124	127	22	122	738	1352	1.31×10^{-8}
11013	136	-	101	611	1560	3.4×10^{-8}
11123	124	22	93	611	1560	4.2×10^{-8}
12011	149	-	112	622	1508	5.6×10^{-8}
12101	143	26	101	622	1508	3.7×10^{-8}
21011	140	-	105	614	1508	1.76×10^{-8}
21101	133	24	94	614	1508	1.31×10^{-8}
21012	171	-	126	764	1300	4.33×10^{-8}
21122	155	28	116	764	1300	2.62×10^{-8}
21014	161	-	121	730	1352	1.70×10^{-8}
21124	146	26	111	730	1352	1.45×10^{-8}
21013	133	-	100	603	1560	8.34×10^{-8}
21123	121	22	92	603	1560	5.25×10^{-8}
22011	149	-	110	614	1508	7.36×10^{-8}
220101	140	24	099	614	1508	5.34×10^{-8}

BÖLÜM 10

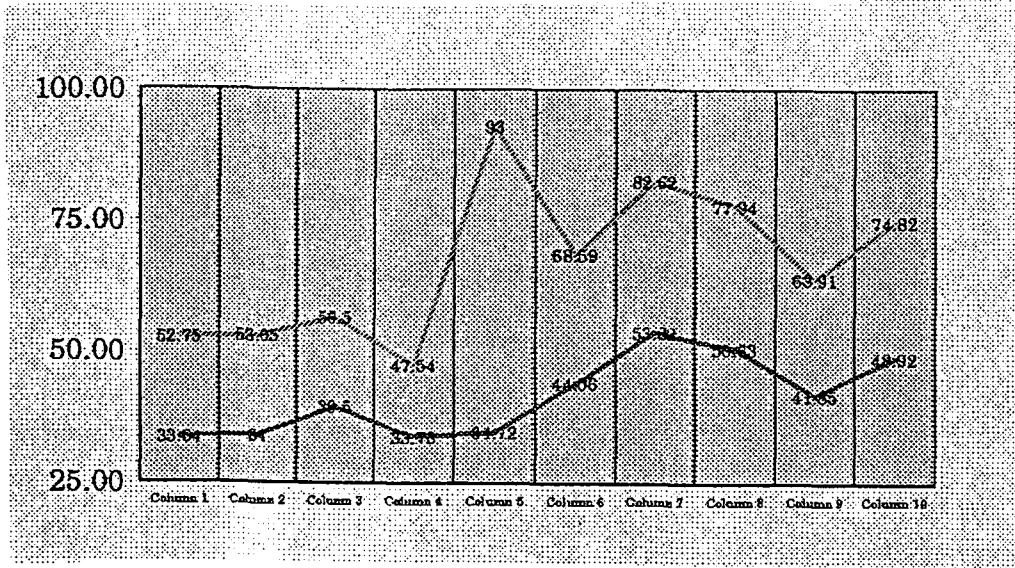
GENEL DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

10.1. Sonuçların Değerlendirilmesi

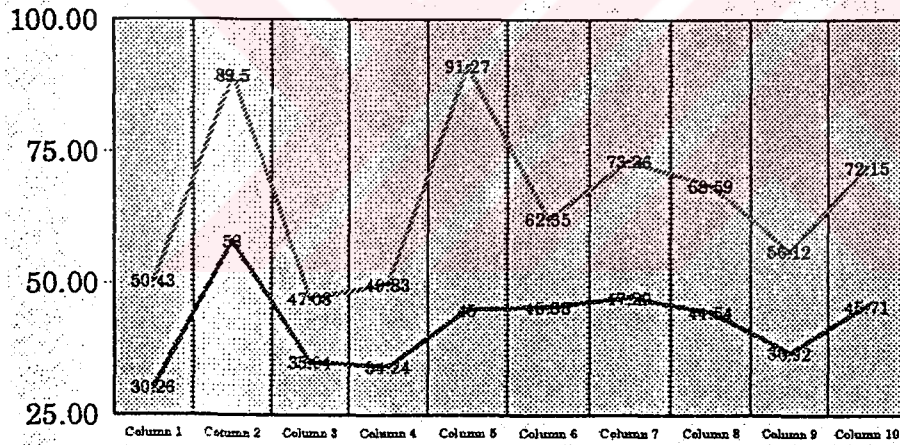
Bu araştırmada SSB betonunun laboratuvar şartlarında kalite kontrolüne imkan sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntemle elde edilen deneysel sonuçların literatürdeki arazide elde edilen deney numunelerinin sonuçları ile karşılaştırılması bu yöntemin kullanılabilirliğini göstermektedir.

Tablo 16. Bazı SSB Araştırma Numuneleri ile Araziden Alınan Deney Numunelerinin Fiziksel Özellikleri Arasındaki Uygunluk

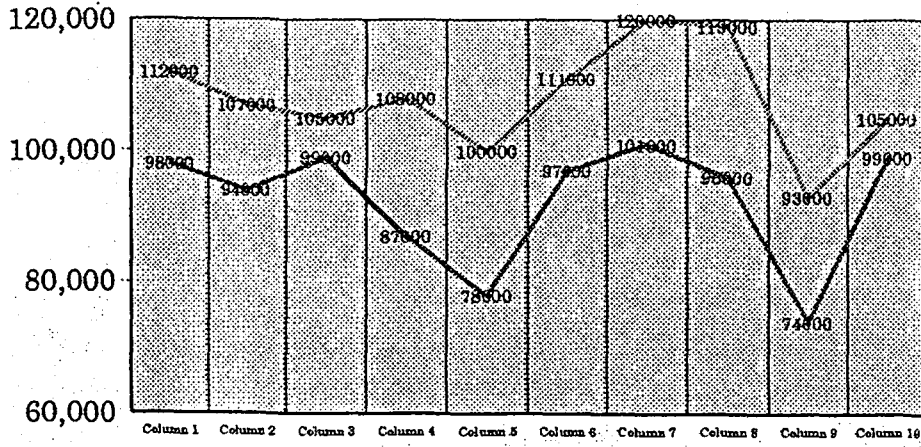
Proje	Çimento kg/m ³	Pozzolan kg/m ³	Su kg/m ³	Yaş gün	Basınc Dayanımı kgf/cm ²	Elastisite Modülü kgf/cm ²
Willow	104	0	109	7 28	70 129	154000 178000
Zintel	118	0	118	7 28	70 114	106000 168000
Tarbela	138	0	-	7 28	47 67	- -
Upper Stillwater	76	139	108	7 28	78 113	- 65000
Araştırma 11011	143	0	106	7 28	34 53	99000 112000
Araştırma 11122	155	28	117	7 28	58 90	101000 114000
Araştırma 11124	127	22	122	7 28	35 48	84000 103000
Araştırma 12101	143	25	101	7 28	45 92	81000 105000
Araştırma 21013	133	0	101	7 28	42 64	74000 93000
Araştırma 22011	149	0	110	7 28	49 75	99000 105000



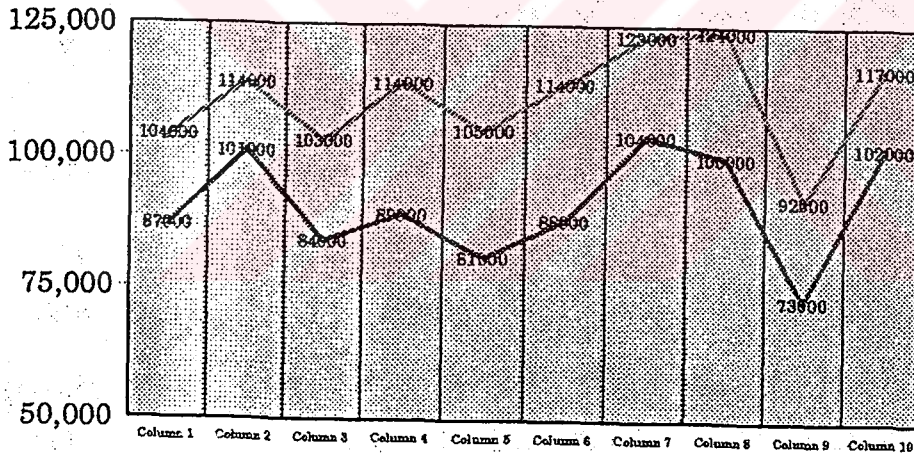
Grafik 1. Katkısız SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımları Arasındaki Bağıntı



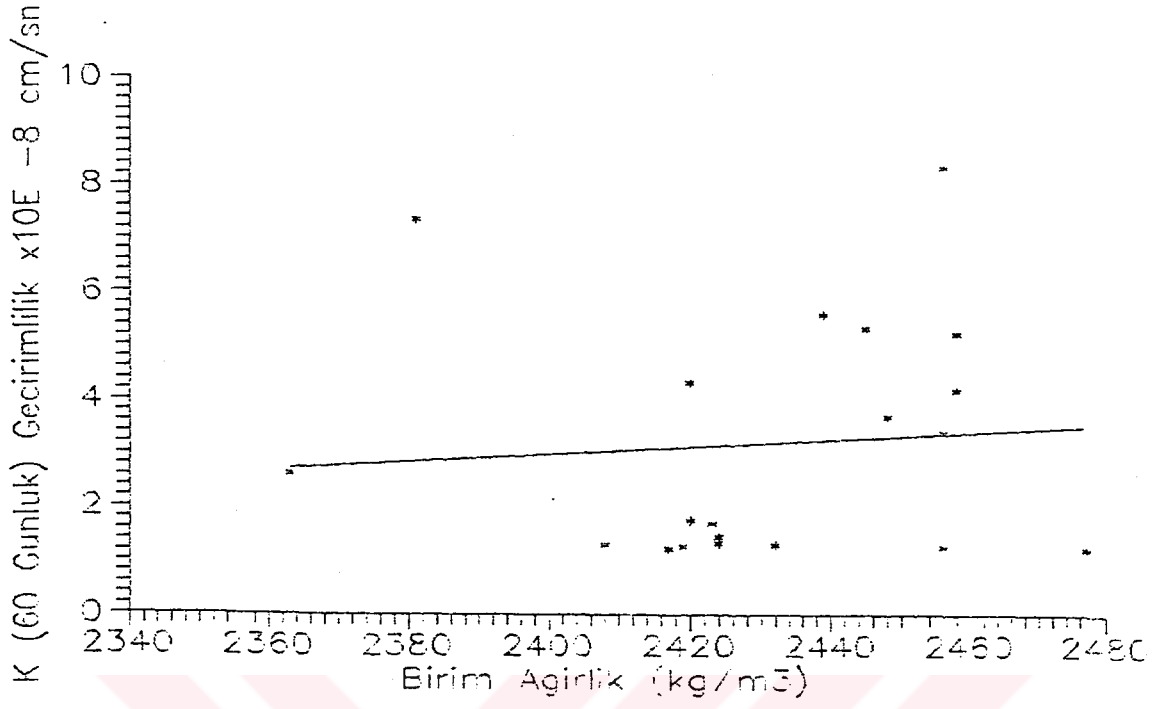
Grafik 2. Uçucu Kül Katkılı SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Basınç Dayanımları Arasındaki Bağıntı



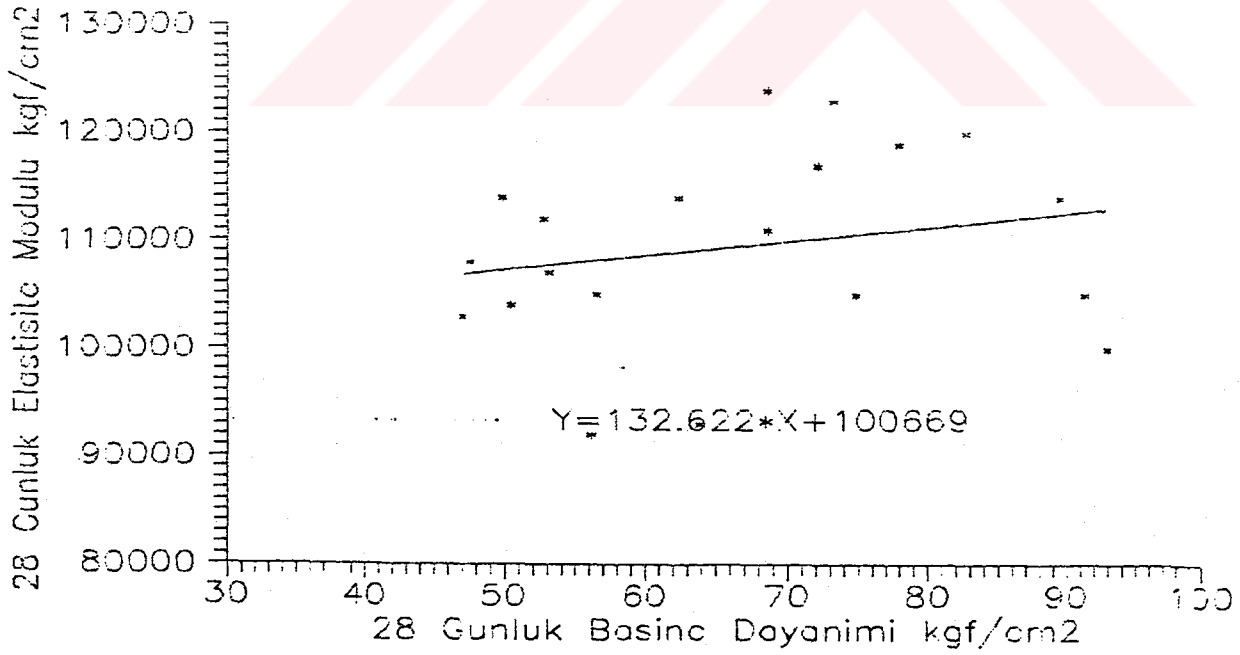
Grafik 3. Katkısız SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı



Grafik 4. Uçucu Kül Katkılı SSB Silindir Numunelerinin 7 ve 28 Günlük Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı



Grafik 5. SSB Araştırma Numunelerinin Birim Ağırlıkları İle Geçirimlikleri Arasındaki Bağntı



Grafik 6. SSB Araştırma Numunelerinin Basınc Dayanımları İle Elastisite Modülleri Arasındaki Bağntı

10.2. Genel Değerlendirme

SSB (Silindirle Sıkıştırılmış Beton 1980'li yıllardan beri çeşitli büyük projelerde, yol ve baraj inşaatlarında kendisine uygulama alanı bularak tüm Dünya'da yaygınlaşmıştır. Yapım süresi açısından ve ekonomik açıdan oldukça büyük avantajlar sağlayan SSB uygulamaları, geleneksel yöntemler karşısında gerçekleşebilen, ilgi çekici alternatifler olarak ortaya çıkmıştır. Bir yandan karışım ve yapım teknikleri açısından SSB yöntemi ile ilgili araştırmalar ve çalışmalar devam ederken bir yandan da tüm Dünya'da SSB ile yapılan barajlar ve büyük projeler yaygınlaşmaktadır.

SSB beton teknolojisinde bağlayıcı madde olan çimento ile kullanma suyu, benzer yapılarda kullanılan alışılmış betona göre önemli miktarlarda azaltılabilmektedir. Ayrıca inşa için gerekli iş makinalarının (damperli kamyon, buldozer, vibrasyonlu silindir, finişer, vb.) temin ve nakliye kolaylıkları maliyette tasarrufa imkan vermektedir. Yapım tarzı kütle betonuna daha az ısı ortaya çıkardığından düşey derz yapımı gerekmediği gibi ısınma ve rötire çatlaklarında genel olarak azalmalar gözlenmektedir. Pozzolan, uçucu kül vb. gibi katkıların bağlayıcı madde içindeki payları yüksek tutularak çalışma derzlerinin birbirine kenetlenmesi (aderans) açısından herhangi bir güçlükle karşılaşmamaktadır.

Bugün Dünya üzerinde geliştirilmiş üç değişik Silindirle Sıkıştırılmış Beton barajların projelendirme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar ABD'nin geliştirdiği zayıf SSB barajlar (The Lean Roller Compacted Concrete), Japonya'nın geliştirdiği silindirlenmiş beton barajlar (Roller Concrete Dam) ve İngiltere'nin geliştirdiği yüksek bağlayıcı içerikli SSB barajlar (High Paste Content RCC Dam)'dır. Bu sözü edilen üç değişik projelendirme ve inşaat yönteminden uzun dönem içinde hangisinin daha çok kabul göreceğini belirleyebilmek şimdilik oldukça zordur. Ancak şimdiye kadar

düşük maliyetinden dolayı zayıf SSB yönteminin daha fazla kabul gördüğü söylenebilir. Bununla birlikte yüksek bağlayıcı içerikli projelerde SSB karışımı maliyetinin zayıf SSB'ye göre daha yüksek olmasına karşın, dayanım ve kohezyon özellikleri dolayısı ile küçülen baraj gövdesi hacmi de maliyeti düşüren bir etken olmaktadır. Bu nedenlerle gelecekte yapılacak olan SSB barajların bu üç yöntemin kombinasyonunu içerebileceği söylenebilir. Bu durum Elk Creek Barajı (ABD) inşaatında daha bugünden oluşmuştur. Bu barajda kullanılan SSB karışımı Willow Creek Barajı'nda kullanılanlardan daha fazla çimento, uçucu kül ve su içermektedir. Elk Creek Barajı'ndaki 60 cm civarındaki tabaka kalınlığı, herbir tabaka ve derzler üzerine serilen yatak harcı uygulaması daha önce açıklanan RCD (Roller Concrete Dam) metodunkine benzer uygulanmaktadır.

Diğer taraftan beton kaplamalı beton baraj (Concrete Faced Concrete Dam) kavramı da Winchester Barajı'nda uygulanarak sızdırmazlığın sağlanmasında başarılı olmuştur. Bu barajın memba yüzünde prekast panellerle, beton ve PVC yüzey kaplama malzemesi kullanılarak sızdırmazlık sağlanmıştır. Aynı yöntem Meksika'daki Trigomil Barajı'nda ve Arjantin'deki Urugua-i Barajı'nda uygulanmıştır. SSB barajlarda sızdırmazlığı sağlamak amacıyla projeye yapılan ilavelerin maliyetinin her $0,76 \text{ m}^3$ için proje ve dolgu hacmine bağlı olarak 3\$ ile 10\$ arasında değiştiği belirtilmektedir. Diğer taraftan ilk kemer SSB ağırlık barajı örneği Brezilya'daki baraj inşaatlarında bulunan, sonraki kullanım aşaması, SSB kemer ağırlık barajları yapımı amacıyla olacaktır. Bugüne değin bu konuda yapılan çalışmalar ve uygulamalardan sonra, temel zemini şartları hariç olmak üzere, SSB yönteminin baraj inşaatında ve kütle betonu uygulamalarında tüm Dünya'da daha geniş kabul görebilmesi için gerçek anlamda herhangi bir kısıtlamanın bulunmadığı açıklık kazanmıştır.

Zaten bazı ülkelerde bu konuda daha önceden başlattıkları çalışmalar sonucunda geliştirdikleri yöntemleri standartlara dahi bağlamışlardır. Japonya'da geliştirilen RCD yönteminin baraj inşaatlarında uygulanması ülke standartlarınca da kabul edilmiştir.

Yatırımları kısıtlı kaynaklarla finanse etmeye çalışan ve SSB'nin uygulandığı alanlarda birçok projenin yapımını gerçekleştirmek amacıyla ve ihtiyacında olan ülkemizde, bu yöntemin daha iyi tanıtılabilmesi ve uygulama imkanlarının araştırılması gerçeği açıktır. Konunun hala araştırılacak ve üzerinde çalışmalar yürütülebilecek birçok yönünün bulunduğu söylenebilir. Ancak, bu konuda Dünya'daki son 10 yıllık uygulamalar değerlendirildiğinde SSB'nin çeşitli alanlarda uygulanabildiği ve üzerinde oldukça deneyimin olduğu da kabul edilmektedir. Yöntemin, ülkemizdeki projelere zorla adapte etme anlayışıyla değil, ancak uygun projelerin planlanmasında uygulanabilir bir alternatif olarak ele alınması amacıyla daha yakından incelenmesi, bilinmesi ve tartışılmasına ihtiyaç vardır.

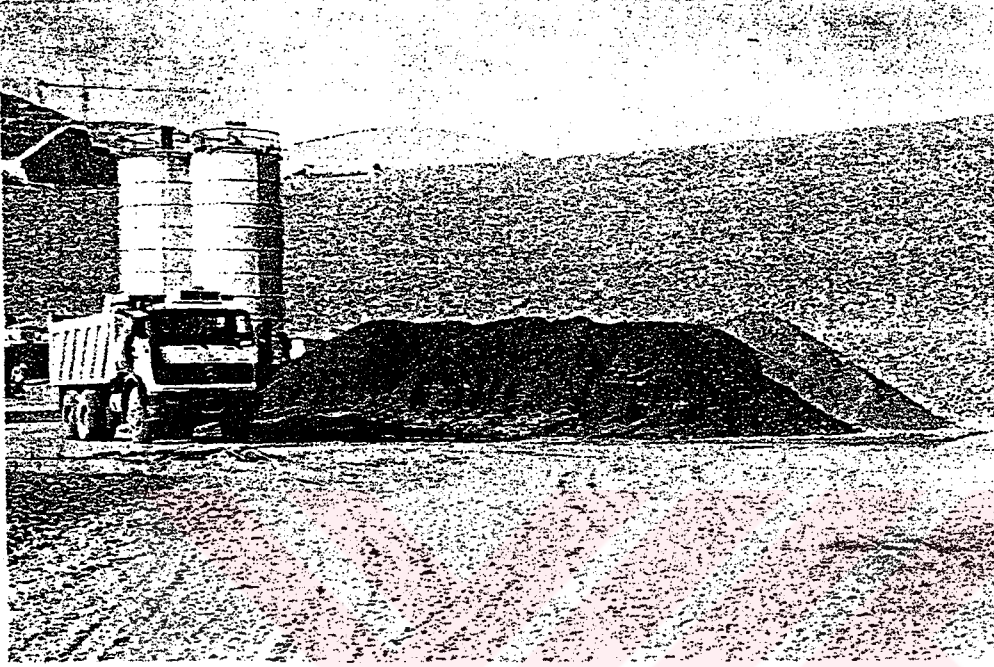
Bu amaçla konuyla ilgili kamu kurum ve kuruluşları, araştırma merkezleri, üniversiteler, proje müşavirlik şirketleri konunun ülkemizde ilgili mühendislik alanı gündeminde daha güncelleşmesi ve uygulanabilirliği ile ilgili olarak gerekli çabayı göstermelidirler.

Bu çabalar içerisinde konuyla ilgili uzman yetiştirmek, ilgili araştırma çalışmaları yürütmek ve araştırma çalışmaları bağlantılı bir uygulama alanı ile ülkemizdeki Karakaya ve Sır Barajı memba batardolarında ve Atatürk Barajı inşaatının bir bölümündeki bazı SSB uygulamalarının sonuçlarını araştırmak gibi konular sayılabilir.

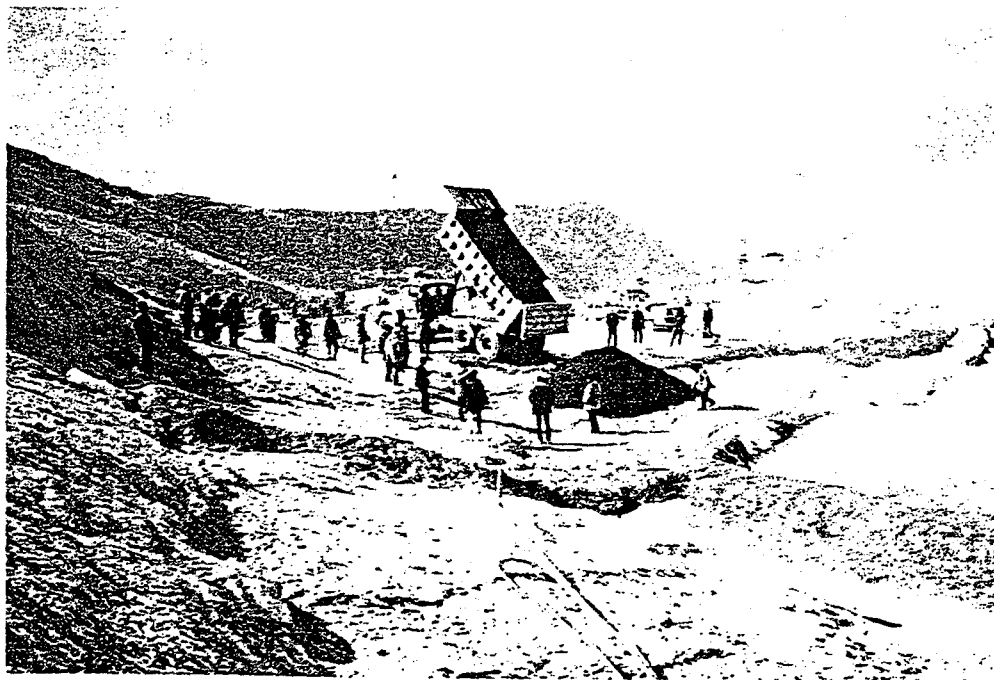
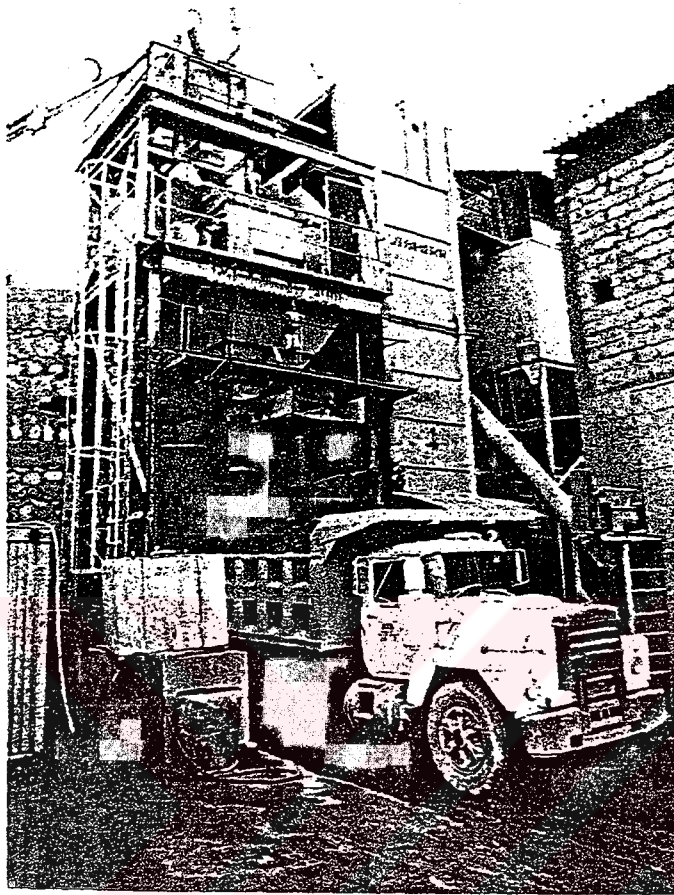
Neticede Silindirle Sıkıştırılmış Beton, geleceğin malzemesi değil bugünün malzemesi olduğunu kabul ederek ülkemiz ekonomisine kazandıracaklarının unutulmaması gerekmektedir.

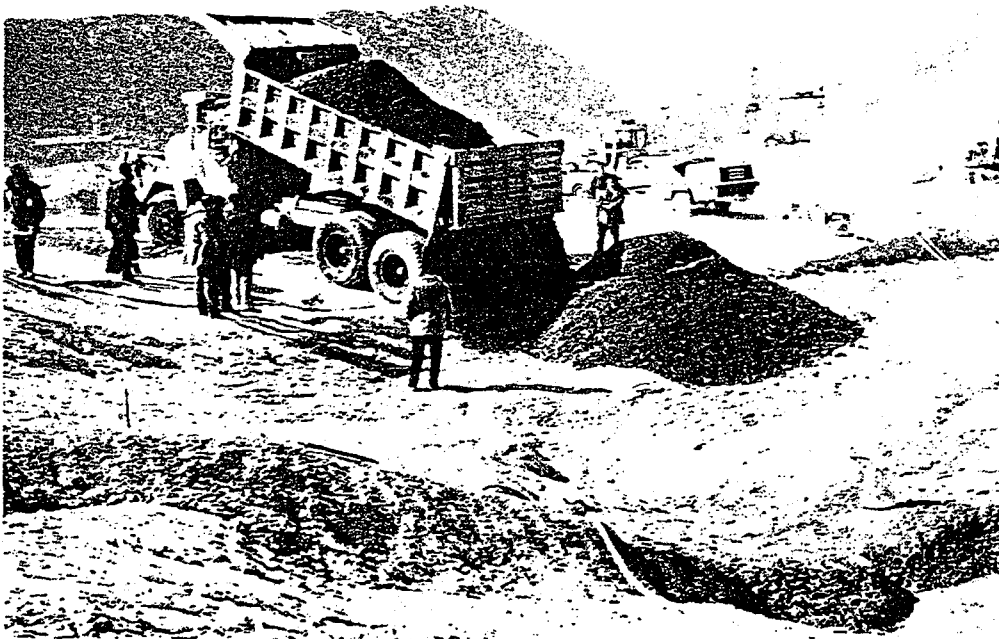
BÖLÜM 11

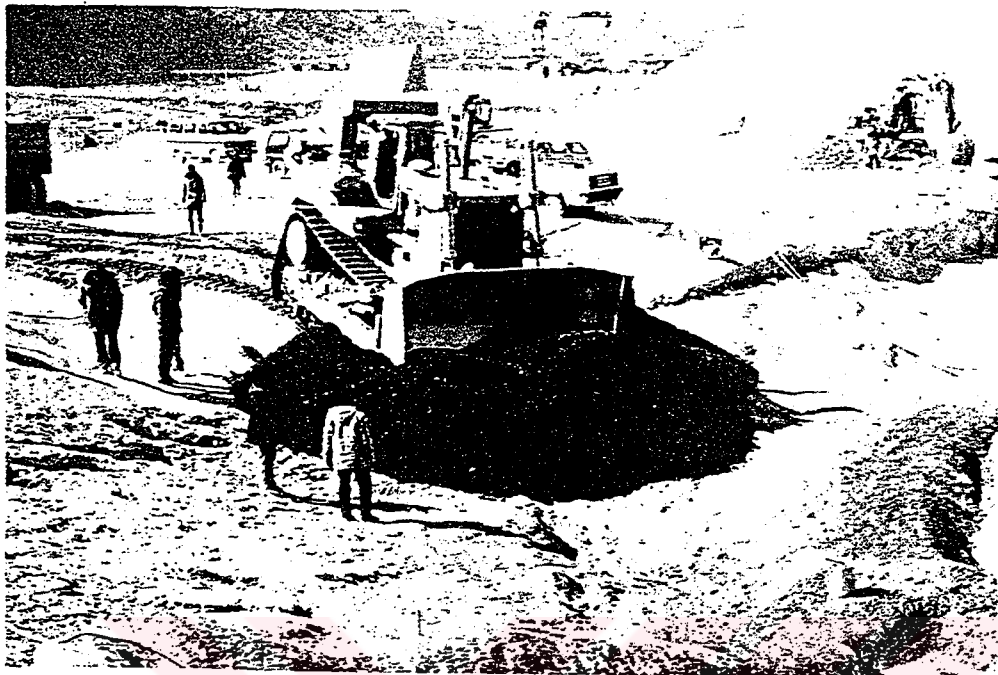
SSB BARAJ İNŞAATLARINDAN ÇEŞİTLİ GÖRÜNTÜLER

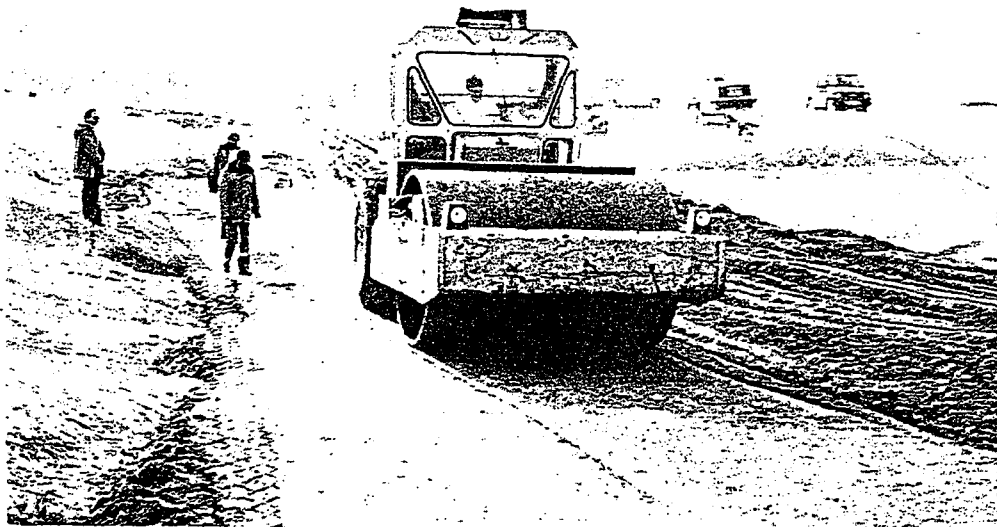
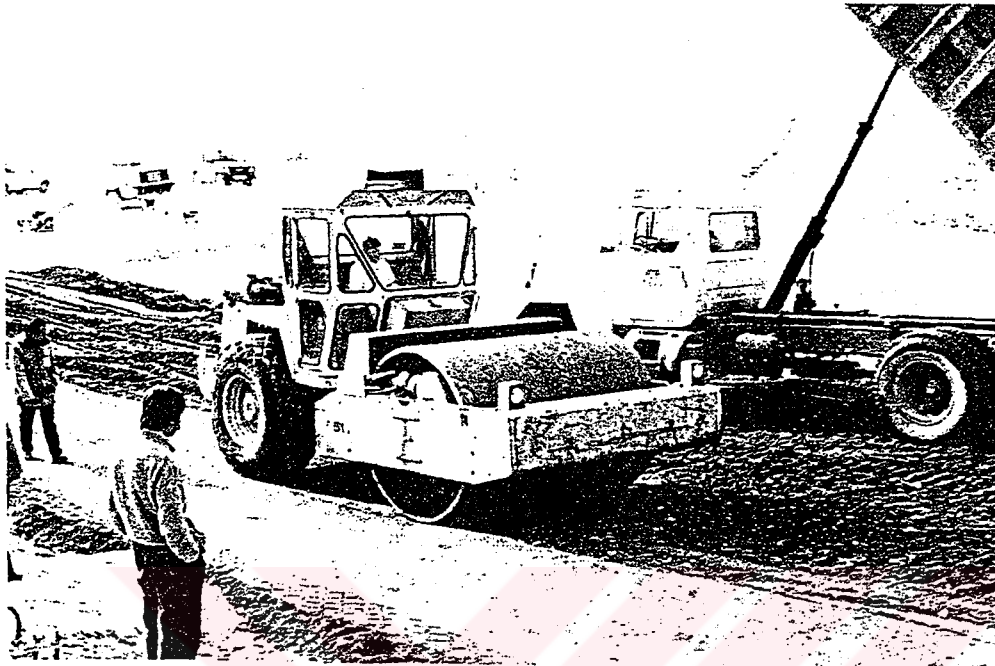


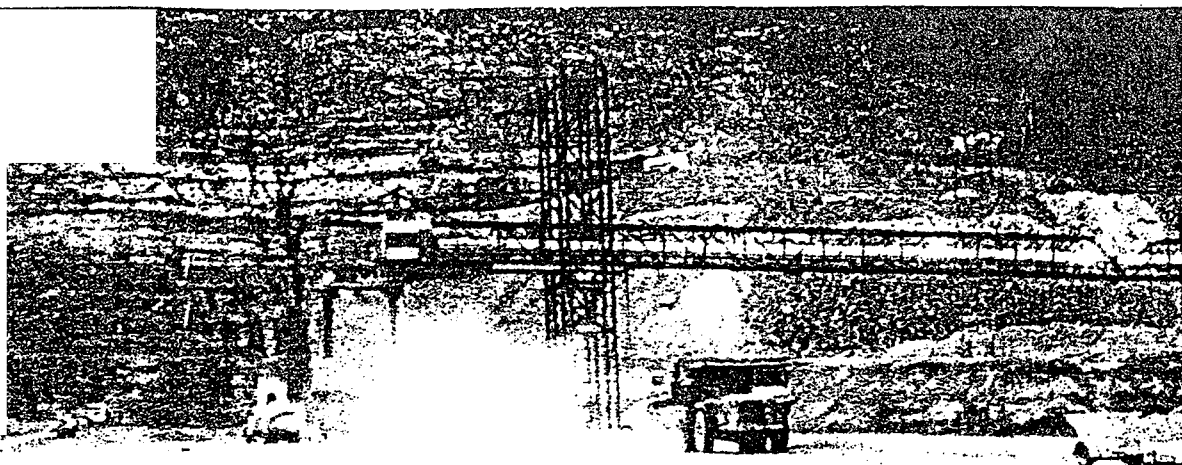




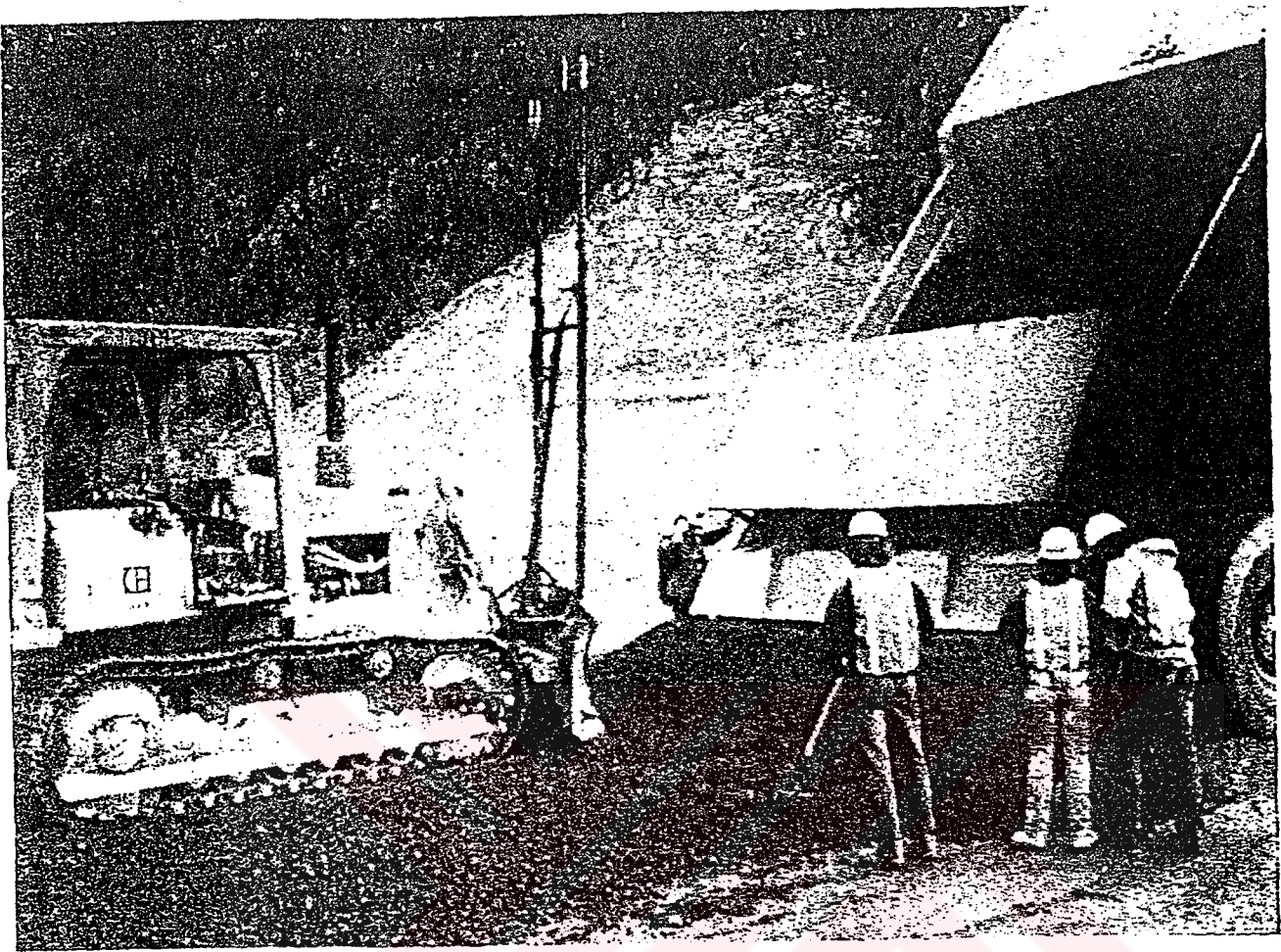


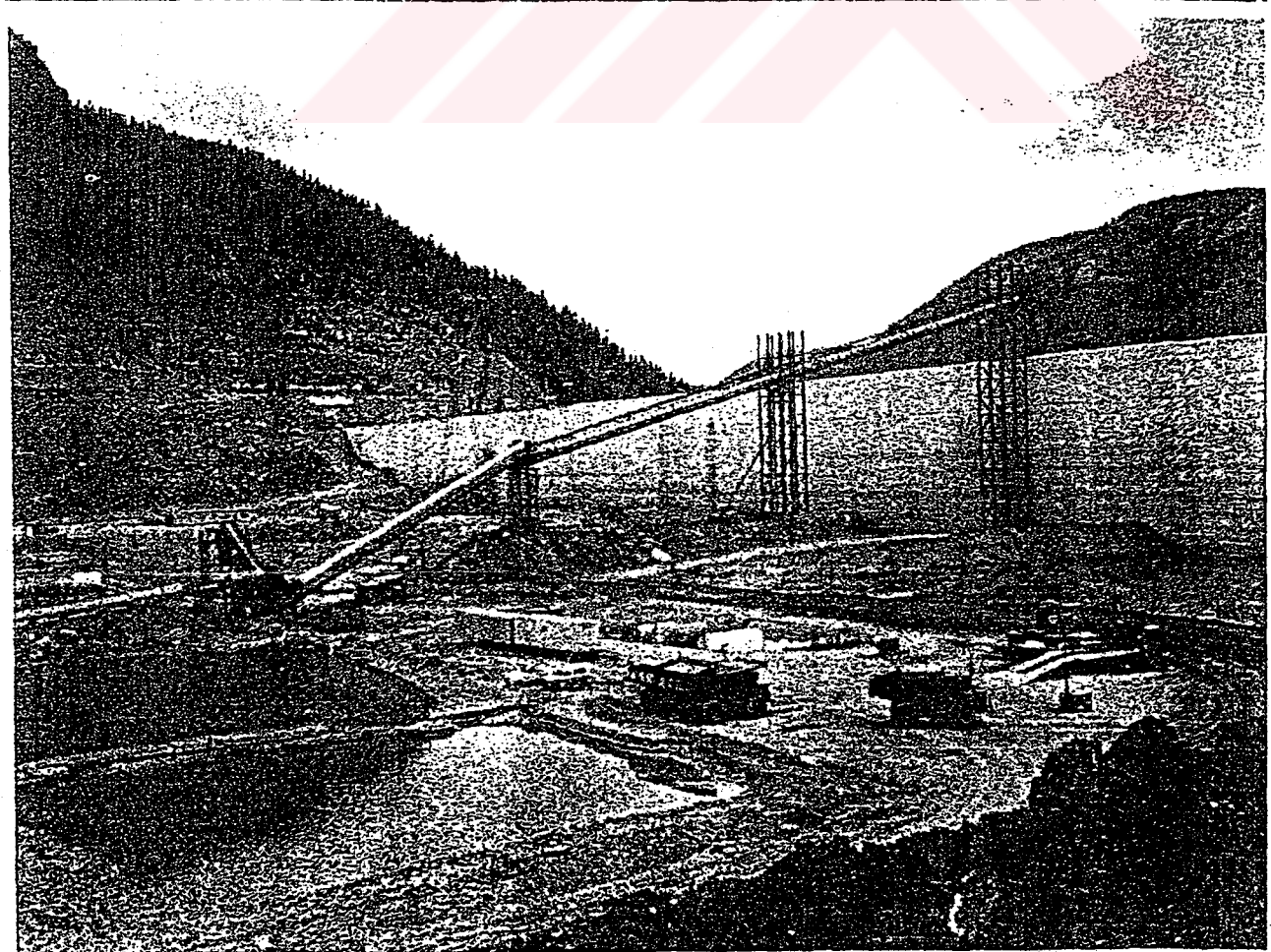
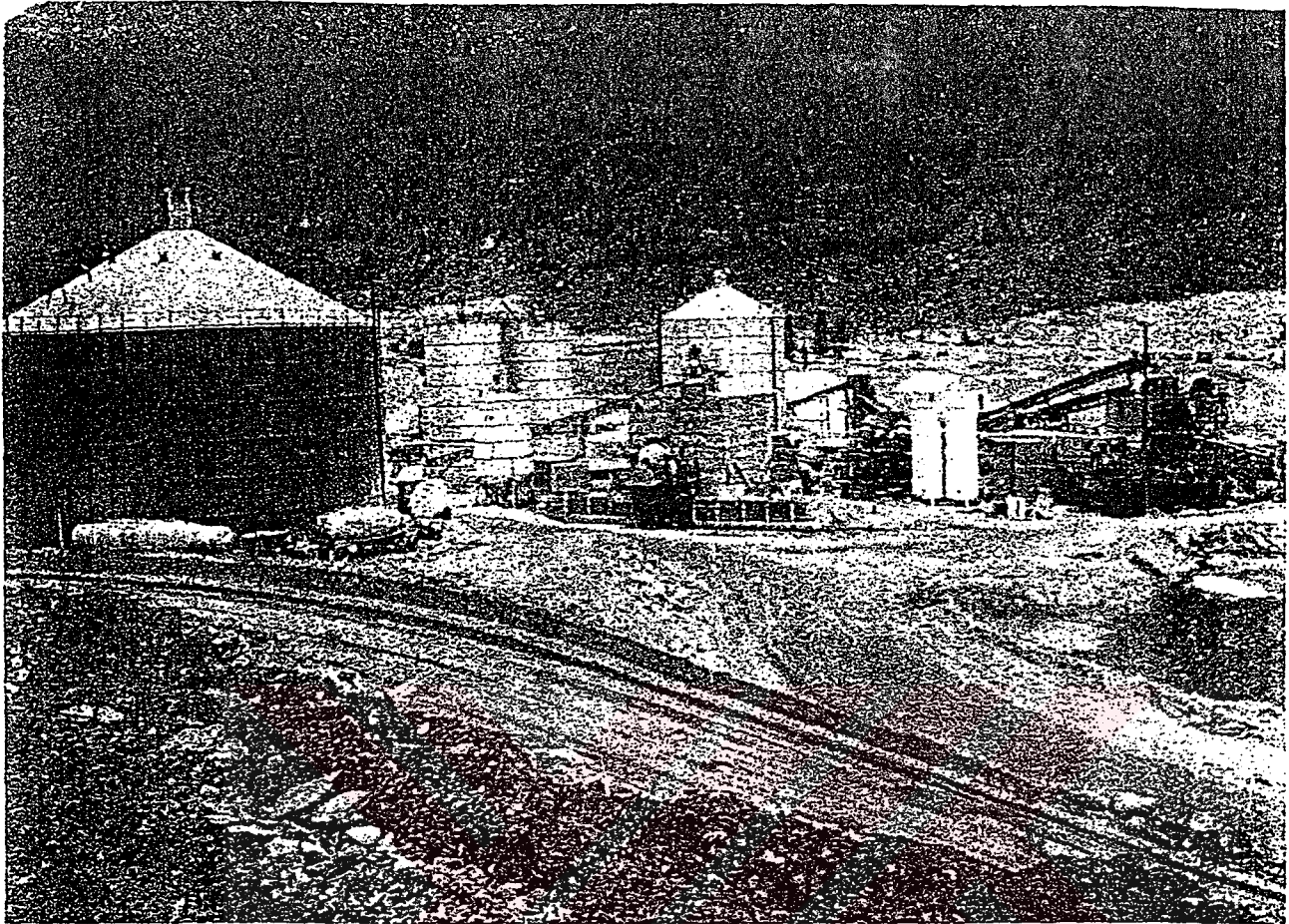


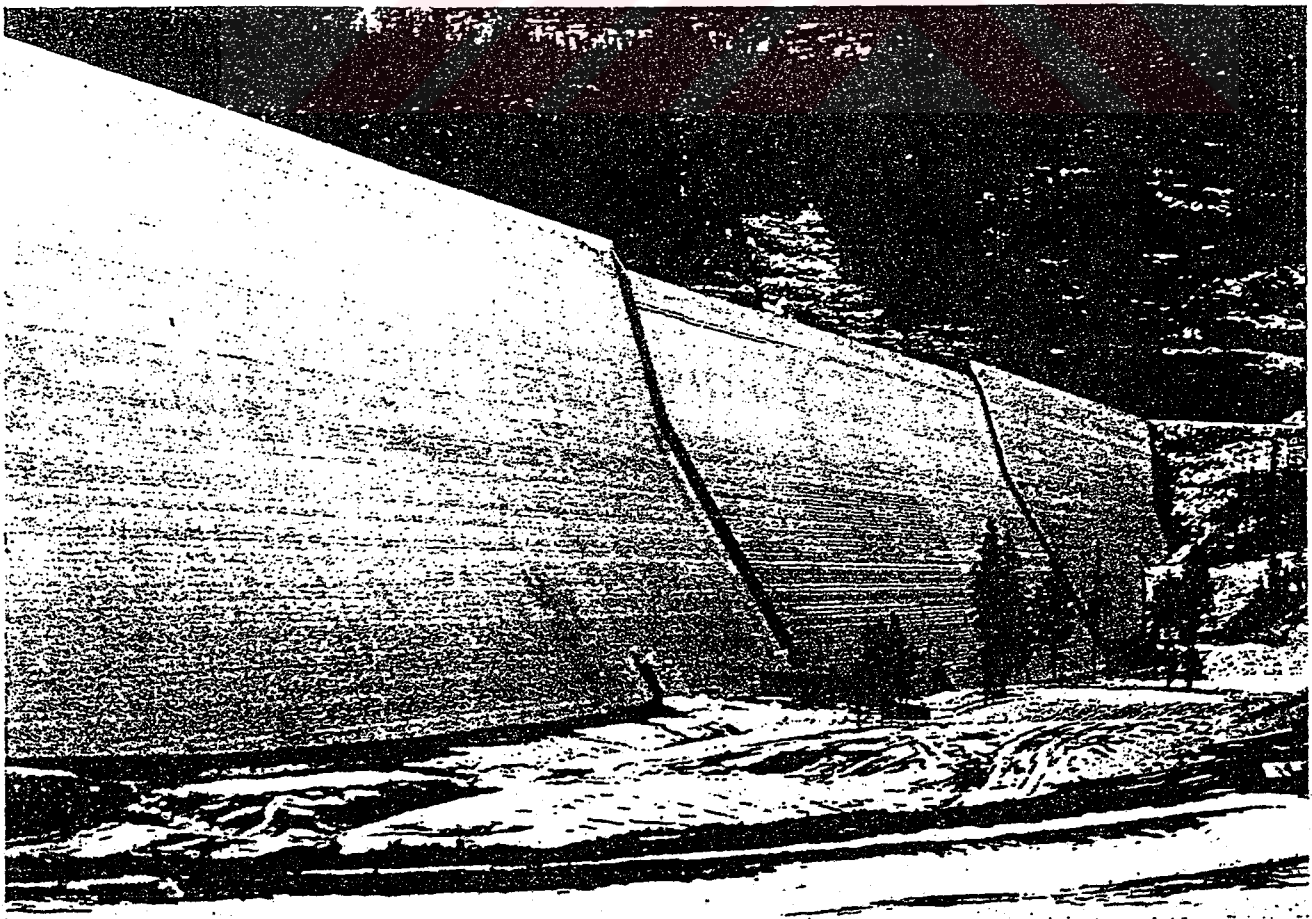
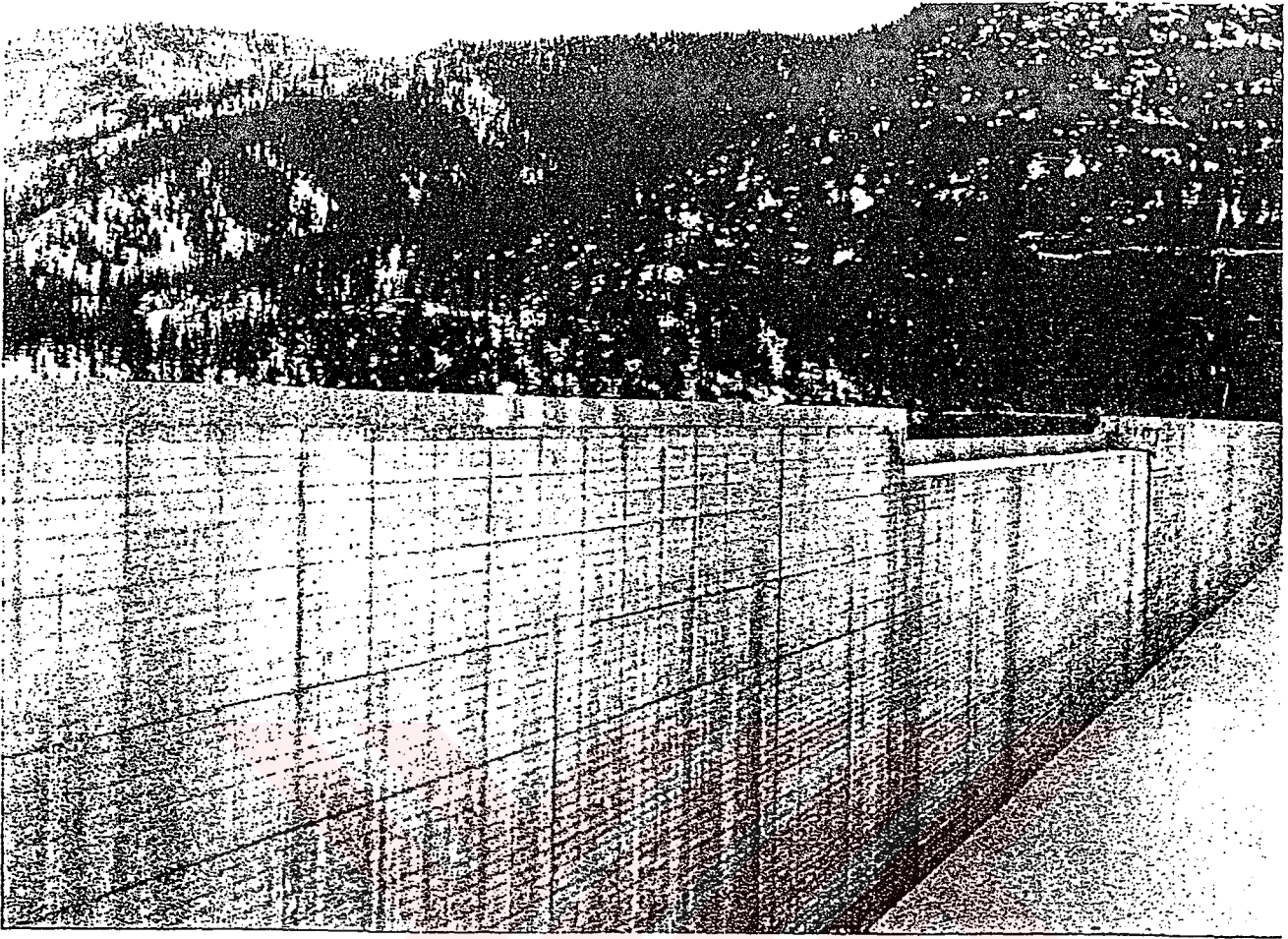














KAYNAKLAR

1. DUNSTAN, M.R.H., "Recent developments in Roller-compacted concrete dam construction", Water Power and Dam Construction Handbook 1989.
2. TARBOX, G.S. and HANSEN, K.D., "Planning, desing and cost estimates for RCC dams" in Roller-compacted concrete II. ASCE, New York, USA; 1988.
3. DUNSTAN, M.R.H., "The world's RCC dams", Water Power and Dam Construction Handbook 1990.
4. LONDE, P., Discussion to Q62, XVIth ICOLD Congress. San Francisco, USA; 1988.
5. RAPHAEL, J.M., "Construction methods for concrete dams" in Economical construction of concrete dams, ASCE, New York, USA; 1972.
6. FORBES, B.A. and DELANEY, M., "Desing and construction of Copperfield River Gorge dam", ANCOLD Bulletin, No.71; August 1985.
7. BRETT, D.M., "Craigbourne dam, desing and construction", ANCOLD Bulletin, No.74; August 1986.
8. BOUYGE, B., GARNIER, G., JENSEN A., MARTIN, J., and STERENBERG, J., "Construction et controle d'un barrage en beton compacte au roleau (BCR); un travail D'equipe" Q62-R34, XVIth ICOLD Congress, San Francisco, USA; 1988.

9. HOLLINGWORTH, F., and GERINGER, J.J., "Roller-compacted concrete arched dams", Water Power and Dam Construction; November 1989.
10. DRAHUSHAK-CROW, R., and DOLEN, T.P., "Evaluation of cores from two RCC gravity dams" in Roller-compacted concrete II, ASCE, New York, USA; 1988.
11. YAMAZAKI, K., "Fundamental studies of the effects of mineral fines on the strength of concrete", Transactions, Japanese Society of Civil Engineers, Tokyo, Japan; September 1962.
12. ALEXANDER, K.M., "Reactivity of ultrafine powders produced from siliceous rock", Journal of the American Concrete Institute, Vol. 57, ACI, Chicago, USA; 1960.
13. KOLONIAS, E., DUNSTAN, M.R.H., HINKS, J.L. and COPLEY, A.F., "The design of Platanovryssi schheme, Europe's highest RCC dam", Water Power&Dam Construction; November 1989.
14. YILDIZ D., "Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj Teknolojisi" TMH 357 Nisan-Mayıs 1991.
15. ÖZTÜRK, A., "Beton Semineri" Ankara 1989.
16. SCHRADER, E.K., "Roller Compacted Concrete for Dams: The State-of-the Art", Advances in Concrete Technology (Ed.V.M. Malhotra), pp.361-406, CANMET, 1992.
17. ACI MANUAL OF CONCRETE PRACTICE., "Materials and General Properties of Concrete", ACI 207. 5R-89, 1992.
18. ÖZENCİ, R., YAZGAN, İ., "Beton Semineri" Adana 1989.

ÖZGEÇMİŞ

- 1962 Artvin/Borçka doğumlu
- İlk ve orta öğrenimini Artvin'de tamamladı.
- Üç yıl süre ile Türkiye 1. Güreş liginde güreş yaptı ve çeşitli dereceler aldı.
- 1983'de K.T.Ü FEF. Fizik Bölümü'nde 1 yıl okudu.
- 1984-1988 K.T.Ü. M.M.F. İnşaat Mühendisliği eğitimi gördü.
- 1988 K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği dalında Yüksek Lisans eğitimine başladı.
- 1988 DSİ Genel Müdürlüğü'nün açmış olduğu sınavla bu kurumun Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığında Araştırma Mühendisi olarak görev yaptı.
- 1990 yılında Milli Savunma Bakanlığı İnşaat Emlak Dairesi Başkanlığı'nda Proje Subayı olarak askerlik yaptı.
- 1991 K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi sınavını kazandığı halde DSİ Genel Müdürlüğü'nün Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığında Baraj Proje Mühendisi olarak göreve başladı.
- 1991 yılından bu yana G.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde Yüksek Lisans Eğitimine devam etmektedir.
- Halen DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve HES Dairesi Başkanlığında Baraj Tatbikat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.
- Evli ve iki çocuk babasıdır.