

46200

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SÜLFO-KALSİK VE SİLİKO-KALSİK UÇUCU KÜLLER İYİLEŞTİRME VE ROLKRİT'DE KULLANIMLARI

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Tahsin İLHAN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 18 Ocak 1995

Tezin Savunulduğu Tarih : 6 Şubat 1995

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M.Süheyl Akman

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Mehmet Uyan

Doç. Dr. M.Hulusi Özkul

**Y.Ü. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

ŞUBAT 1995

ÖNSÖZ

Mühendis olarak ülke kaynaklarını insanlarımızın yararına, kullanılır hale getirmek bize en başta öğretilen düsturdur.

Bu anlayışla çevre, teknoloji ve ekonominin böylesine içiçe olduğu bir konuda severek ve isteyerek yapılmış bir çalışma olmuştur. Uzmanlaşmanın gittikçe arttığı dünyamızda artık akıllı insan her şeyi bilmese bile bildiğini iyi bilmek zorundadır. Bilimsellikten uzaklaşmamaya özen göstererek yürüttüğümüz tezin faydalı olmasını diliyorum.

Çalışmam sırasında değerli fikirlerinden yararlandığım Sayın Hocam Prof. Dr. M. Süheyl Akman'a şükranlarımı sunarım.

Deneylerde emeği geçen, tüm İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı çalışanlarına, arkadaşlarım Araş. Gör. Yılmaz Akkaya, Araş. Gör. Yıldırım Süvari, İnş. Müh. Mesut Talay ve Kim. Müh. Yasemin Söslü'e teşekkür ederim.

İ.T.Ü Nükleer Bilimler Anabilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Şarman Gencay'a, Araş.Gör.Sevilay Hacıyakuboğlu'na, Kimya-Metalurji Fakültesi Öğretim Görevlisi Doç. Dr. Yılmaz Taptık'a ve Araş. Gör. Uğur Demirler'e, Maden Fakültesi Öğretim üyesi Prof. Dr. Güven Önal'a ve Doç. Dr. Fahri Esenli'ye ve ayrıca genel müdür Aziz Yağanoğlu'nun şahsında Settaş firmasına teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca maddi ve manevi her türlü desteklerini gördüğüm aileme sevgilerimi sunarım.

İstanbul, 1995

Tahsin İLHAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ŞEKİL LİSTESİ.....	V
TABLO LİSTESİ.....	VI
ÖZET.....	VII
SUMMARY.....	VIII
BÖLÜM 1. GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER.....	4
2.1. Puzolanların Tanımı ve Gruplandırılması.....	4
2.1.1. Puzolanik Reaksiyon.....	5
2.2. Uçucu Kül (Yapay Puzolan).....	9
2.2.1. Uçucu Külün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri.....	10
2.2.2. Uçucu Küllerin iyileştirilmesi.....	17
2.2.3. Uçucu Küllü Betonlarda Sülfat Etkisi.....	19
2.2.4. Uçucu Küllerde Radyoaktivite.....	20
2.3. Uçucu Kül ve Beton.....	22
2.3.1. Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi...	24
2.3.2. Ülkemizde Yeterince Uçucu Kül Kullanılma masının Nedenleri.....	27
BÖLÜM 3. UÇUCU KÜLLE ÜRETİLEN ÖZEL BİR BETON: SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON.....	28
3.1. Tarihçe.....	28
3.2. Malzemeler ve Karışım Oranları.....	31
3.2.1. Agregalar.....	31
3.2.2. Karışım Tasarımı.....	34
3.2.3. Kıvam.....	37
3.2.4. Kimyasal Katkılar.....	38
3.2.5. Çimento ve Puzolanlar.....	38
3.3. SSB'nin Özellikleri.....	39
3.3.1. Basınç Mukavemeti.....	39
3.3.2. Deformasyon Özellikleri.....	39
3.3.3. Kayma Mukavemeti.....	41
3.3.4. Durabilite.....	41
3.4. SSB'nin İnşaatı.....	42
3.5. SSB Uygulamasından Bazı Kesitler.....	45
BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	48
4.1. Uçucu Kül Niteliklerinin Belirlenmesi.....	48

4.1.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Sap tanması.....	48
4.1.2. Minerolojik Dağılımın X-Işınları Analizi ile Belirlenmesi.....	50
4.1.3. Radyoaktivite Tespiti.....	53
4.2. Uçucu Küllerin İyileştirilmesi.....	61
4.2.1. Fransa'da Yapılan Deneyler.....	61
4.2.2. Fransa'da Uygulanan İşlemin Kontrolü.....	63
4.2.2.1. Afşin-Elbistan Sülfokalsik Uçucu Küllerinin İyileştirilmesi.....	64
4.2.2.2. Ham ve İyileştirilmiş Afşin-Elbistan Külü İçeren Hamurda Etrenjît Oluşumu nın Gözlenmesi.....	78
4.3. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (Rolkrit) Üretimi.....	84
BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	103
5.1. Uçucu Küllerin Nitelik İncelemelerinin Değerlendirilmesi.....	103
5.1.1. Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerin Değerlendirilmesi.....	103
5.1.2. X-Işınları Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	104
5.1.3. Radyoaktivite Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	105
5.2. Uçucu Küllerin İyileştirilme Süreci Sonuç larının Değerlendirilmesi.....	106
5.3. SSB (Rolkrit) Sonuçlarının Değerlendirilmesi.	108
BÖLÜM 6. DEĞERLENDİRMELERİN TOPLU ŞEKİLDE İFADESİ.....	110
KAYNAKLAR.....	112
EK A	117
EK B	119
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİL LİSTESİ

- Şekil 2.1. Port-Puz. Hidratasyonunda Ca(OH)_2 Değişimi
Şekil 2.2. Boşluk Boyu Dağılımı
Şekil 2.3. Puz. ve Port. Çimentolu Betonun Mukavemet Kazanması
-
- Şekil 3.1. V_r/V_c ve $V_w/(V_r+V_c)$ Oranlarına Göre Mukavemet Değerleri
Şekil 3.2. Upper Stillwater Barajı İnşaatı
-
- Şekil 4.1. Yatağan Külleri İçin Granülometri Analizi
Şekil 4.2. Afşin-Elbistan Külleri İçin Granülometri Analizi
Şekil 4.3. X-Işını Difraktogramları
Şekil 4.4. Doğal Ortam Spektrumu
Şekil 4.5. Çimento Spektrumu
Şekil 4.6. Afşin-Elbistan I Spektrumu
Şekil 4.7. Afşin-Elbistan II Spektrumu
Şekil 4.8. Yatağan Spektrumu
Şekil 4.9. Orhaneli Spektrumu
Şekil 4.10. Ham-İy. Granülometri Analizi Karşılaştırılması
Şekil 4.11. 28.Gün Ham-İy. Bas.Muk.Karş.(Nemli)
Şekil 4.12. 28.Gün Ham-İy. Bas.Muk.Karş.(Su içinde)
Şekil 4.13. 28.Gün Ham-İy. Eğilme Muk. Karş.(Nemli)
Şekil 4.14. 28.Gün Ham-İy. Eğilme Muk. Karş.(Su içinde)
Şekil 4.15. 90.Gün Ham-İy. Bas. Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.16. 90.Gün Ham-İy. Bas. Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.17. 90.Gün Ham-İy. Eğilme Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.18. 90.Gün Ham-İy. Eğilme Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.19. 28. ve 90. Gün İy. Bas. Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.20. 28. ve 90. Gün İy. Bas. Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.21. 28. ve 90. Gün İy. Eğilme Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.22. 28. ve 90. Gün İy. Eğilme Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.23. 28. ve 90. Gün Ham Bas. Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.24. 28. ve 90. Gün Ham Bas. Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.25. 28. ve 90. Gün Ham Eğilme Muk. Karş. (Nemli)
Şekil 4.26. 28. ve 90. Gün Ham Eğilme Muk. Karş. (Su içinde)
Şekil 4.27. X-Işınları Difraktogramı(Ham Afşin-Elb)
Şekil 4.28.a X-Işınları Difraktogramı (İy.Af.-Elb)
Şekil 4.28.b X-Işınları Difraktogramı (İy. Af-Elb ve Çimento)
Şekil 4.29. Numuneler Kırılma Aşamasında
Şekil 4.30. 28. Gün 8.5-9.9 MPa arası Basınç Muk. SSB
Şekil 4.31. 90. Gün 10-11.9 MPa arası Basınç Muk. SSB

TABLO LİSTESİ

- Tablo 2.1. Puzolanların Gruplandırılması
Tablo 2.2. Çimento ve Bazı Puzolanların Özellikleri
Tablo 2.3. Uçucu Külün Taşınması Gereken Sınır Değerler
Tablo 2.4. TS 640 Uçucu Külün Çimento Standardı
Tablo 2.5. F ve C Tipi Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri
Tablo 2.6. F ve C Tipi Küllerin Kimyasal Kompozisyonu
Tablo 2.7. Türkiye Külleri Kimyasal Dağılımı
Tablo 2.8. Türkiye Külleri Minerolojik Dağılımı
-
- Tablo 3.1. Vca
Tablo 3.2. Kütle Betonlarda İri Agregalar İçin Granülometri Dağılım Limitleri
-
- Tablo 4.1. Minerolojik Analiz Sonuçları
Tablo 4.2. Radyasyon Sayımları
Tablo 4.3. Radyoaktiflik Düzeyi
Tablo 4.4. Cerchar'dan Gelen Sonuçlar
Tablo 4.5. Granülometrik Analizler
Tablo 4.6. 1 m³ Betonda Bulunan Gerçek Miktarlar
Tablo 4.7. Taze Betonda Gözlenen İşlenebilirlik
Tablo 4.8. 28.Gün Mukavemet Değerleri
Tablo 4.9. 90.Gün Mukavemet Değerleri
Tablo 4.10. Tekrar Üretimdeki Gözlemler
Tablo 4.11. 28.Gün Değerleri
Tablo 4.12. Harçların Karışım Miktarları
Tablo 4.13. Agregaların Granülometrik Analizi
Tablo 4.14. Üretim Grupları
Tablo 4.15. (SSB) Beton Üretiminde Kullanılan Miktarlar
Tablo 4.16. Beton Bileşiminin Gerçek Miktarları
Tablo 4.17. Üretim Grubu Çökme Değerleri
Tablo 4.18. 28.Gün Basınç Mukavemetleri
Tablo 4.19. 28.Gün Basınç Mukavemeti Ortalaması
Tablo 4.20. 90.Gün Basınç Mukavemeti Ortalaması

ÖZET

Çalışmanın literatür bölümünde doğal ve yapay puzolanlar, puzolanik reaksiyon, uçucu külün malzeme özellikleri, TS ve ASTM ile karşılaştırmalı sınıflandırılması uçucu kül-lü betonların özellikleri, uçucu külle üretilen özel bir beton olan SSB hakkında geniş bir literatür taraması sunulmuştur.

Deneyssel Çalışmalar dördüncü bölümde üç ana alt grupta toplanmıştır.

Birinci kısım uçucu külün niteliklerinin saptanmasına yöneliktir. Bu doğrultuda İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniki Laboratuvarında hidrometre analizleri, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi X-ışınları laboratuvarında X-ışınları difraksiyonu, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsünde radyasyon sayımları yapılmıştır.

İkinci alt grup deneyler ise uçucu külleri iyileştirme çalışmalarıdır. Serbest kireci yüksek Afşin-Elbistan küllerinin iyileştirilmesi için Centre d'Etudes et Recherches du Charbon (Cerchar, Fransa) kuruluşu ile işbirliğine gidilmiştir. Fransa'da iyileştirme prosesi uygulanan numuneler İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarında şahit gurubu üretimlerle birlikte test edilmiştir. X-ışınları difraksiyonu ile etrenjit oluşumu incelenerek iyileştirmenin sülfat indirgeyip indirgemediği araştırılmıştır.

Üçüncü alt grup olan rolkrit üretimi için Yatağan külü kullanılmış ve bu külle yapılan üretimlerle kül/çimento, su/(kül+ çimento) ve basınç mukavemeti arasında ACI'da Amerikan külleri için verilen abak oluşturulmaya çalışılmıştır.

Beşinci ve altıncı bölümler sonuçların değerlendirilmesidir.

SUMMARY

SULFO and SILICO CALCIC FLY ASHES IMPROVEMENT and USE IN ROLLCRETE

Interdisciplinary working is necessary for recycling industrial wastes. This effort does not only saving money but also preserves environment. Coal burning thermal power plants are sources of electric energy. About half of the total electricity by generated is obtained from thermal power plants. Coal burning power plant's wastes are very harmful for environment. The largest amount of the wastes is ash, esp. fly ash.

People met fly ash the first time in 1930's. In the begining it was just considered as a waste product. By the time it has been understood that it can be used in many areas, such as agriculture, chemical industry (plastics and paints), and construction industry.

Actually pozzolan that is the name of group, including fly ash has been known and used for a long time in construction. As an example volcanic tuff of natural pozzolan has been used since Roman Empire. The Roman buildings, that are still in service, give an idea about durability of pozzolans. Fly ash, that is produced in very large amount is an artificial kind of pozzolans.

A pozzolan is defined as siliceous or siliceous and aluminaceous material which in itself possesses little or no cementitious value but which will, in finally divided form and in the presence of moisture, chemically reacts with calcium hidroxide at ordinary temperature to form compounds possessing cementitious properties. [6]

The pozzolanic reaction is slow, so the rate of the strength development and heat of hydration associated with this reaction are low. Two basic properties, lime-consuming and low-heat of hydration are main advantages of fly ash in using mass concrete. Of course, material properties of fly ash must be known in order to be used as an acceptable material. In construction industry it is widely used such as treatment of soils and mix design of concrete. It hams many aspects in concrete technology.

Using fly ash in concrete industry has many advantages such as cost reducing, quality increasing and preserving environment. Fly ash effects mechanical, chemical and conservative character of construction industry and no standardization of ash and no enough information of material properties are barriers in using fly ash widely.

If we compare consumption of fly ash of Turkiye and the developed countries we see that Turkiye is at the very behind of them although Turkiye has big capacity of fly ash production.

The first step to incerease the comsumption of fly ash is to have the necessary information and knowledge about the material proportion of fly ashes. So analysis of fly ashes is one of the main subject of this study.

If there are some disadvantages like a high volume free lime, treatment may be possible. The firm that we have worked togeather has a patented process about getting better high value free lime of any material. According to the method fly ash is prehydrated using cold water and the mixture has treated in a receptacle under pressure from superheated or saturated steam at temperature lying between 130°C and 250°C. The method is applicable to any substance containing quick lime that is to be slaked.

As a first step we have studied the subject about natural pozzolans, fly ashes and using fly ash in concrete technology esp. Roller Compacted Concrete, literally.

Fly ash usually has positive effects on almost all properties of concrete. In classification of Turkish fly ashes it is seen that only one of them(Çatalağzı) is F type in ASTM classification. The others, are in C type with high free lime ratio. High free lime content causes reducement of durability of concrete by expansion.

In our experimental study we followed the procedure given below.

- 1) Study on some properties of fly ashes obtained from such Afşin-Elbistan, Orhaneli, Seyitömer and Yatagan Thermal Power Plants.
 - a) Chemical and physical properties of the material
 - b) Minerological analysis by X-Ray diffraction analysis.
 - c) Radioactivity tests.
- 2) Treatment of high free lime and sulpho calsic fly ash of Afşin-Elbistan by collaboration with Cherchar from France

The formation of ettringite is observed by X-ray diffraction analysis on high lime and treated fly ashes.

- 3) The recent and the most popular using of fly ash is RCC (Roller Compacted Concrete)

There is enough information about chemical and minerological composition of Turkish fly ashes and these are enclosed literal division of our study. Our X-ray

analysis is reputation of this fact.

Everybody has doubt about high level of radioactivity Turkish fly ashes, so we have worked with Nuclear Energy Institute of Istanbul Technical University.

Treatment of high level of free lime is very strategic. If it is succeed to treat the fly ash, with normally contains high level of free lime, it will be possible to use this method in big dam projects. That's why the treatment of free lime in fly ash is very strategic for Turkiye. For understanding these situation clearly sample from treated fly ash was untreated in iTÜ laboratory and the results were compared with the high lime fly ash test results. This results are shown on the table below.

Strength at 28th day

Fly Ash (%)	Cement (%)	Cement/ Fly Ash	Flexural Strengths (MPa)					
			Stored in water			Stored in atmosphere		
			Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row	Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row
0	100	-	4.9			3.9		
30	70	2.33		4.8	4.1		2.7	3.1
50	50	1.00		3.3	4.1		1.9	2.8
70	30	0.43		1.2	2.8		1	1.9

Strength at 28th day

Fly Ash (%)	Cement (%)	Cement/ Fly Ash	Compressive Strength (MPa)					
			Stored in water			Stored in atmosphere		
			Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row	Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row
0	100	-	30.6			16.6		
30	70	2.33		26.7	25		14.6	14.7
50	50	1.00		18.9	22.3		9.2	11
70	30	0.43		11.3	16.3		5.7	7.9

Strength at 90th day

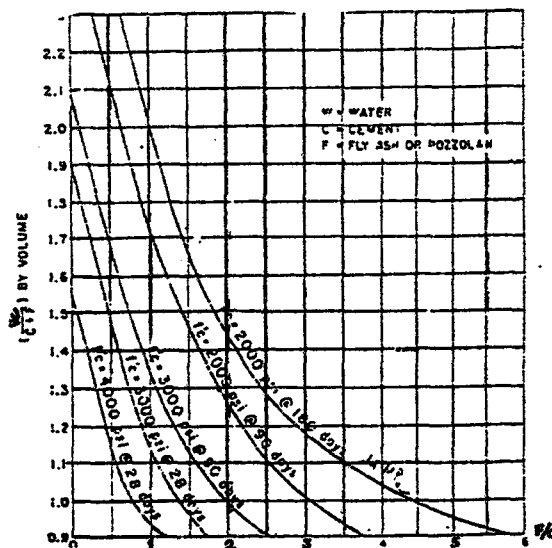
Fly Ash (%)	Cement (%)	Cement/ Fly Ash	Flexural Strengths (MPa)					
			Stored in water			Stored in atmosphere		
			Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row	Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row
0	100	-	6.1			3.4		
30	70	2.33		6.6	5.9		3.4	5.1
50	50	1.00		4.8	5		1.7	4.8
70	30	0.43		4.2	3.4		0.9	3.4

Strength at 90th day

Fly Ash (%)	Cement (%)	Cement/ Fly Ash	Compressive Strength (MPa)					
			Stored in water			Stored in atmosphere		
			Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row	Cement	Fly Ash processed	Fly Ash Row
0	100	-	34.2			22.7		
30	70	2.33		30.4	32.6		17.5	24.9
50	50	1.00		21.4	30.8		10.1	21.7
70	30	0.43		17.6	22.3		7.1	18.6

Trial for producing of RCC and obtaining a figure that gives a relation between the fly ash to cement ratio and water to cementitious ratio and compressive strength are the subjects of this study. This figure for ASTM type I and II cements is available in ACI-207.SR-80.

In this study we have tried to obtain similar relation shown in the figure below by using Turkish fly ashes. RCC can be made from any of the basic types of portland cement and in combination with pozzolan. This method, which in many ways is more related to the procedures used in geotechnical engineering than to conventional concrete practice, depends upon the placement of layers of low workability concrete in the interior of dam and its compaction using vibratory rollers. RCC must be dry enough to support the weight of the vibratory equipment but wet



enough to permit adequate distribution of paste binder throughout the mass during the mixing and vibration process (ACI-207 SR-80).

The building of a gravity dam is made by superposition of layers of fresh concrete. With time the suspension of concrete transforms into a solid and the mechanical properties increase. Due to hydration of cement this evaluation is combined with physico-chemical processes which induce an increase of temperature and lead to volumic variations of the expansion and shrinkage. The use of new RCC technic induces a fast construction and saving time and money.

In our experimental study, mixture proportions have been calculated with maximum density approach. But there is no available relation between F/C and $W/(F+C)$ and compressive strength for Turkish fly ashes. Determining some production points for F/C and $W/F+C$ relation is much realistic in figure 4.14. We prepared 35 concrete groups, and for each of this group 28th day and 90th day compressive strengths were obtained.

As a result of test carried out on the Turkish fly ashes, the mineralogical composition showed that amorphous and glass phases were the biggest proportions in the composition. Which is a good point for pozzolonic reactivity.

A few ashes have high lime content. This situation has to be considered in application. Radioactivity is the popular subject of fly ashes. Ashes are being used as an additive for some cement types, for this reason, radioactivity tests are needed for scientific research as well as public information. The results are found satisfactorily in regard of upper limits. Of course the radioactivity depends on the source of coal and concentration of radioactive elements in it.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Endüstriyel Atıkların tekrar yararlı hale getirilmesi disiplinler arası bir gayreti gerektirir. Bu çaba teknik ve teknolojik olduğu kadar ekonomik ve ekolojiktir. Kömür kullanarak elektrik enerjisi üreten termik santrallerin atıkları çevre için büyük zarardır. Kül bu atıkların en önemlisidir. Külün bacadan tutulan bölümü (uçucu kül-fly ash) bir atık olmakla beraber enerji, tarım, boya, plastik, sondaj ve inşaat gibi çok geniş sahalarda kullanılan bir malzemedir.

Kapsam

Bu çalışma sülfü klasik ve siliko klasik karakterdeki Türkiye uçucu küllerinin bir bölümünü içerir. Afşin-Elbistan, Orhaneli, Yatağan uçucu külleri değişik yönleriyle incelenmiştir.

İkinci bölümde puzolanlardan genel olarak kısaca söz edilerek uçucu küle geçilmiştir. Külün kimyasal ve fiziksel özellikleri TS ve ASTM'den karşılaştırılmalı olarak aktarılmıştır. Uçucu külün içerdiği zararlı bileşenleri indirgeyip inşaat sanayiinde kullanabilmek için geliştirilen yöntem, uçucu küllerde radyoaktivite ve beton davranışına uçucu külün etkisi deneysel çalışmalarımıza ön bilgi olması bakımından da yine bu bölümde verilmiştir.

Üçüncü bölüm çalışmanın ana temalarından biri olan silindir ile sıkıştırılmış betonun (SSB-RCC) pek çok yönü ile incelenmesidir. Maksimum yoğunluk yaklaşımı adı verilen SSB hesap yöntemi, SSB'nin yapı malzemesi olarak özellikle-

ri ve SSB ile baraj inşaatı açıklanmış ve örnek verilmiştir.

Bölüm dört olarak ifade edilen deneysel çalışmalar İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı, İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi X-ışınları Laboratuvarı ve İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsünde yapılmıştır.

Uçucu küllerin fiziksel özelliklerini tanımak için çeşitli incelemeler yapılmıştır. Hidrometre analizi ile granulometrik dağılım belirlenmiştir. Mineralojik kompozisyon ile etrenjit oluşumu İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi X-ışınları laboratuvarında elde ettiğimiz difraktogramlar ile incelenmiştir. Popüler bir konu olarak küllerin radyasyonunun tespiti İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü Laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Serbest kireci yüksek uçucu küllerdeki kirecin södürülmesi için (aynı problemin görüldüğü Fransa'nın güneyindeki Gardanne havzası kömürlerini iyileştiren) CERCHAR (Centre d'Etudes et. Recherches du Charbon) kuruluşu ile işbirliği yapılmış ayrıca karşılaştırılmalı mekanik deneyler İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarında yürütülmüştür.

Dördüncü bölümün son kısmında rolkrit (SSB) üretimi Yağan külü ile yapılmış, basınç mukavemetlerini kül, çimento ve su oranlarına bağlı olarak veren bir abak oluşturulmaya çalışılmıştır.

Beşinci bölümde deneylerin tablo ve grafikler halinde gösterilen sonuçları geniş bir şekilde değerlendirilmiştir.

Altıncı bölümde, değerlendirmeler topluca ve öz olarak sunulmuştur.

Amaç

Türkiye uçucu küllerinin inşaat sektöründe bugünkünden çok daha yüksek düzeyde kullanılabileceğine inanıyoruz. Yapı elemanları üretiminde uçucu külün esas malzeme olarak yerini alabilmesi kalite artışı ve maliyet indirimini getirecektir. Bu ancak malzeme özelliklerinin iyi tanınması ve geliştirilmesi ile mümkün olabilir.

Bu doğrultuda yukarıda belirttiğimiz pek çok kuruluş ve kuruluşların sorumluları ile işbirliğine gidilmiş ve ülkemiz uçucu küllerinin daha iyi tanınması ve kullanımına gidilmesi için laboratuvar uygulamaları yapılmıştır.



BÖLÜM 2. GENEL BİLGİLER

2.1. Puzolanların Tanımı ve Gruplandırılması

Puzolanlar çok yüksek sıcaklıkta ergime durumuna gelmiş silikatlar ve alümino silikatların ani soğumaları sonucu amorf bir yapıya dönüşmesi ve puzolanik aktivite kazanması sonucu oluşmuşlardır [1].

ASTM C 618'e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan, ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile kimyasal reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler aşığa çıkaran, ince toz halindeki silisli ve/veya silisli ve alümineli maddelere puzolan denir.

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar. (Bkz. Tablo 2.1.)

Tablo 2.1. Puzolanların Gruplandırılması

Puzolanlar	
Doğal Puzolanlar	Yapay Puzolanlar
1. Volkanik curuflar	1. Uçucu kül
2. Volkanik tüfler	2. Yüksek fırın curufu
3. Diatome toprağı	3. Öğütölmüş pişmiş kil
4. Riyolitik ponza taşı	4. Silis dumanı
	5. Pirinç kapçığı külü
	6. Demirli olmayan curuf

Puzolanlar uygarlığın ilk zamanlarından günümüze kadar kullanılagelmişlerdir. Horasan harcının bileşiminde, Romalılara ait eserlerin inşasında hep kullanılmıştır. Puzolandan vazgeçmek bugün eskisinden daha da zordur. Puzolanik özelliklere sahip birçok doğal ve yapay madde beton teknolojisinde betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini değiştirmek ve ekonomi sağlamak amacıyla kullanılan bir tür mineral katkı maddeleridirler.

Puzolanlar portland çimentosuna benzer minerolojik ve kimyasal bileşimlere ve fiziksel özelliklere sahip olmalarına rağmen büyük kısmı kendi başına bağlayıcı değildir. İkincil bağlayıcı maddeler olarak anılırlar. Etkili bir dolgu malzemesidir. Hidratasyon ürünleri oluşumuna katılarak bağlayıcı hamur yapısını değiştirir. Agregada hamur ara yüzeyi aderansını ve bağlayıcı hamuru yoğunluğunu arttıırırlar.

Tablo 2.2. Çimento ve Bazı Puzolanların Özellikleri [2]

Bileşimindeki oksitler	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Ozgül yüzey m ² /kg
Portland çimentosu	21	6.5	64	200-300 x
Doğal puzolanlar	65	18	6	200-300 x
F tipi (Si-Al)	80-90	10-20	0	200-300 x
uçucu kül				
Pirinç kabuğu külü	90-95	-	0	50000-60000 +
Silis dumanı	100	-	-	15000-25000 +

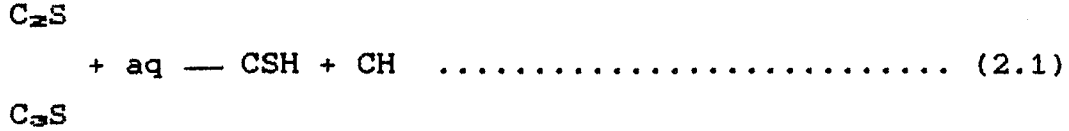
x Blaine inceliği + B.E.T.

2.1.1. Puzolanik Reaksiyon

ASTM C618 puzolanların kimyasal gereksiniminde [(SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃) ≥ 0.70] şartını koymuştur. Büyük oranda amorf olan bu oksitlerin miktarına bir alt sınır getirilmesin-

deki düşünce normal sıcaklıkta sönmüş kireç (Ca(OH)_2) ile kolayca kimyasal tepkimeye girip bağlayıcı bir yapı oluşturabilmeleridir.

Portland çimentosunun hidratasyon reaksiyonu:



puzolanik reaksiyon:

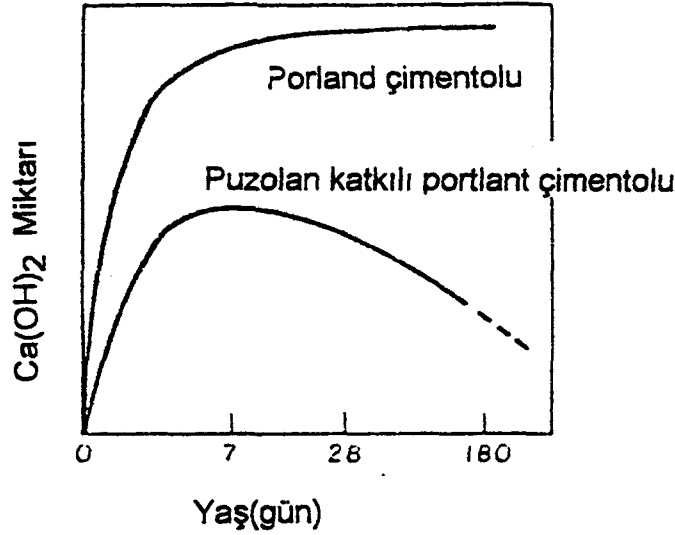


(C_2S :Dikalsiyum silikat, C_3S : Trikalsiyum silikat, aq: Su, CSH: Kalsiyum silika hidrat, CH: Kalsiyum hidroksit)

iki reaksiyonda da ürün olarak kalsiyum silikat hidrat oluşmuştur. Görüldüğü gibi 1. reaksiyon çimentoya aittir ve kireç üretir, 2.si ise kireç ve aktif silise (puzolana) aittir ve kireç tüketir niteliktedir. Bu 2. reaksiyona puzolanik reaksiyon diyoruz, daha yavaş yani mukavemet artışı ve ısı çıkışı daha düşüktür. Çimentonun hidratasyon reaksiyonu ise daha hızlıdır [3].

Temel puzolanik reaksiyon kireç ile silis arasındadır fakat alüminyum ve demir oksitler unutulmamalıdır. Ancak Fe_2O_3 'ün SiO_2 ve Al_2O_3 ile birlikte düşünülmesi bazı araştırmacılarca doğru değildir, zira Fe_2O_3 'ün artması ile aktivite azalmaktadır [4].

Puzolan ve portland çimentosu karışımı hidrotasyona girince puzolanik reaksiyon sonucu bağlayıcı hamurundaki serbest kireç miktarı gittikçe azalır (Şekil 2.1). Bu davranış puzolanik aktivitenin saptanmasında bir yöntem olarak uygulanır (Fratini testi) [5].



Şekil 2.1. Portland-Puzolan Çimentonun Hidratasyonunda Ca(OH)_2 Değişimi [3]

Hidratasyon reaksiyonu ve puzolonik reaksiyon sonucu açığa çıkan CSH ($\text{C}=\text{CaO}$, $\text{S}=\text{SiO}_2$, $\text{H}=\text{H}_2\text{O}$) ürününde C/S oranının düşük olması puzolanların betonun kimyasal ortama dayanıklılığının artması, alkali-agrega reaksiyonundan zarar görme riskinin azalması gibi özelliklerini iyileştirdiği ileri sürülmektedir. Aşağıda değişik ürünler için bu değer belirtilmiştir [3].

Portland çimentosu ürünü CSH'nin C/S Oranı:1.2 ile 1.68 arasında;

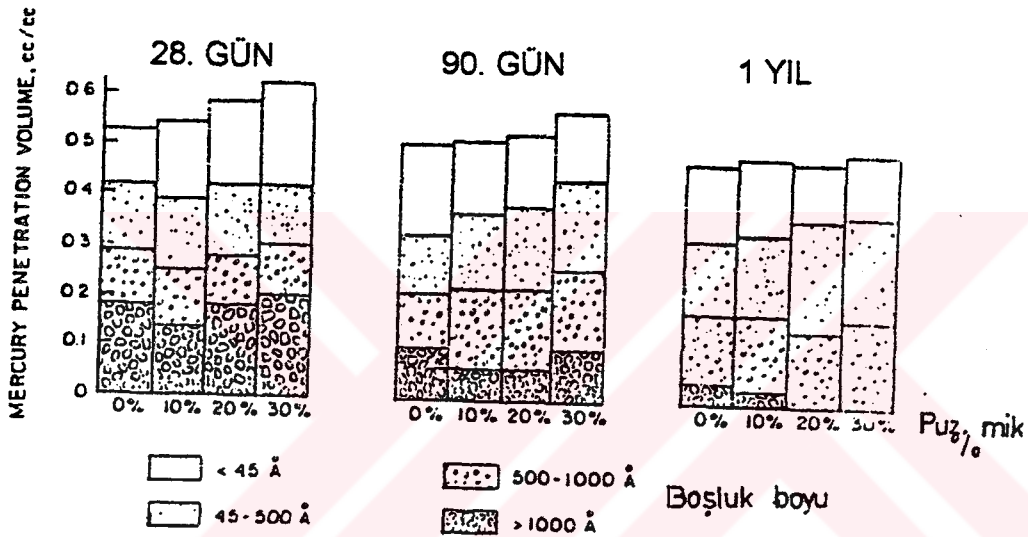
Pişmiş kil ve kireç reaksiyonu sonucu CSH'nin C/S oranı: 0.8 ile 1.5 arasında;

P.Ç. ile silis dumanı karışımında CSH'nin C/S oranı: 0.9 ile 1.3 arasında;

Yüksek miktarda silis dumanı CSH'nin C/S oranı: < 0.7 olmaktadır.

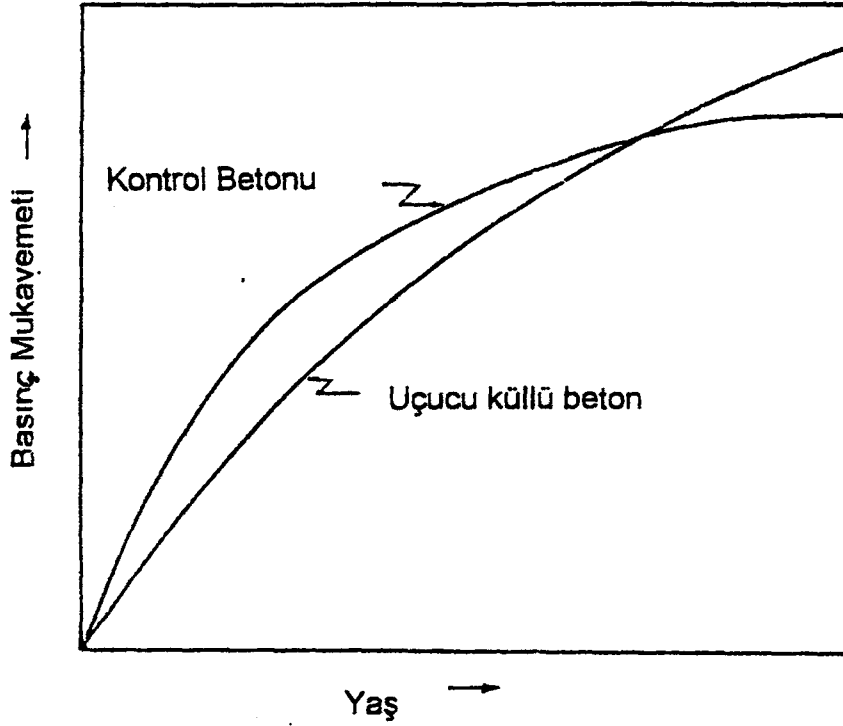
Çimento hamurunun fiziksel özellikleri durabilite ve

mukavemet için çok önemlidir. Santorini doğal puzolanıyla yapılan ve şekil 2.2'de gösterilen deney sonuçlarından da görüldüğü üzere zamanla büyük boşluklar büyük oranda (%20-30 oranında) puzolan kullanılmasıyla kapatılmıştır [3]. Puzolanik reaksiyon hidratasyon reaksiyonu ürünü CSH oluştuğuna göre demek ki yeterli miktarda S sağlayabilen puzolan CSH oluşturarak poroziteyi azaltıyor.



Şekil 2.2. Değişik Miktarda Santorini Doğal Puzolanı İçeren Çimento Hamurunun Boşluk Boyu Dağılımı [3]

Puzolanik reaksiyonun portland çimentosu hidratasyonundan daha yavaş gelişmesi puzolan katkılı betonların erken yaşlarda salt portland çimentolu beton kadar yüksek mukavemet kazanmamasına yol açıyor. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi reaktiviteye göre 28 veya 56 veya 90. gün mukavemeti %100 portland çimentolu betonun mukavemetini geçer [6].



Şekil 2.3. Puzolanlı ve Yalnız Portland Çimentolu Betonun Mukavemet Kazanması [6]

Yüksek oranda kireç içeren ($\text{CaO} = \%30$) C sınıfı uçucu küllerle yapılan deneylerde mukavemet kazanma hızının referans betonuna çok yakın çıktığı belirtiliyor [6].

2.2. Uçucu Kül (Yapay Puzolan)

Uçucu kül (Fly ash) terimi ilk olarak 1930 yıllarında termik santrallerle birlikte ortaya çıkar.

"Uçucu kül, toz halinde veya öğütülmüş taş kömürü veya linyit kömürünün yüksek sıcaklıklarda yanması sonucunda oluşan ve baca gazları ile sürüklenen silis ve alümin silisli toz halinde bir yanma kalıntısıdır" [7]. Termik santraller kömürü öğütülmüş yakıt (pulverized fuel-PF) ya da akışkanlaştırılmış yatak yanması (circulating fluidized

bed combustion-CFBC) sistemi ile yakarlar. Öğütülmüş kömür yakan termik santrallerde düşük kalorili kömürler ve lavuar artıkları değirmenlerde 0.09 mm. elek altı %60 inceliğe kadar öğütüldükten sonra yüksek hızda sıcak hava ile sürüklenerek yaklaşık 1100°-1200°C'deki yanma odalarına püskürtülür. Burada yanma sonucu kül oluşur. Yanan külün %25 kadarı taban külü ve curuf olup kazan altında toplanır. Kalan %75 uçucu kül olup baca gazı ile birlikte sürüklenerek önce siklonlara, daha sonra elektrofiltrelere gelir. Nisbeten iri daneler siklonlarda daha inceler elektrofiltrelerde tutulur [9]. CFBC türü yakma yönteminde sıcaklık 1700°C kadar çıkar.

2.2.1. Uçucu Külün Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerin fiziksel ve kimyasal özellikleri yakılan kömürün bileşimine (alındığı bölge, hatta ocak), pulverizasyon derecesine yani dane iriliğine, yanma sıcaklığına, yanma odasında kalma süresine, hava yakıt oranına bağlıdır.

Tipik özellikleri küresel olmalarıdır. Çapları 1 ile 200 µm. arasında değişir. Çoğunluk 45µm. altındadır. Dane büyüklüğünün dağılışı külün puzolanik reaktivitesi bakımından iyi bir ölçüdür. İncelik artıkça puzolanik aktivite de artar.

Külün rengi açık griden koyu gri-kahveye kadar değişir. Mikroskopta bakınca süngerimsi, boşluklu veya boşluksuz küresel parçacıklar görülür.

Uçucu külün kimyasal yapısında genel olarak SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO, SO₃, MgO, Na₂O, K₂O, TiO₂ gibi oksitler bulunur. Çoğunlukla linyitin yanmasıyla (taş kömürüne göre) daha çok kalsiyum oksit (CaO), daha az demir oksit (Fe₂O₃) çıkar [6].

Uçucu küller için ülkemizde TS 639 nolu standart hazırlanmıştır. Bu standart çimento imal edilirken portland çimentosu klinkerine veya doğrudan betona katılacak uçucu külleri kapsar. Başka amaçlarla (zemin stabilizasyonu vs.) kullanılan uçucu külleri kapsamaz.

Tablo 2.3. Uçucu Külün Taşınması Gereken Sınır Değerler
(TS 639)

SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	(min %)	70.0
MgO	(max %)	5.0
SO ₃	(max %)	5.0
Rutubet	(max %)	3.0
Kızdırma kaybı	(max %)	10.0

Fiziksel Özellikler:

- . Tane büyüklüğü 200 mikronluk elekte max. %0.3
90 mikronluk elekte max. %8 kalıntı bırakmalı
- . Özgül yüzey (Blaine inceliği) min 300 m²/kg.

Tablo 2.4. TS 640 Uçucu Küllü Çimento Standardı

MgO	(max %)	5.0
SO ₃	(max %)	4.0
Tortu	(max %)	29.0
Kız. kyb.	(max %)	5.0

7 günlük basınç muk. 21 MPa

28 günlük basınç muk. 32.5 MPa

TS 640 : Uçucu kül katkılı çimentolara ait standartlarına göre %70-90 oranında portland çimentosu ile %30-10 arasında uçucu kül karıştırılabilir.

Görüldüğü gibi ülkemiz için çok önemli olmasına rağmen uçucu küller hakkında yeterli bilgi ve sınıflandırma standartlarımızda yer almaz. Amerikan standartları bu konuda daha detaylı bilgiler içerir. ASTM C618'e göre uçucu küller iki ana sınıfa ayrılırlar.

F Tipi uçucu küller (siliko alüminöz) %80-90 civarı SiO_2 ve bir miktar Al_2O_3 içerir. Kireç ile birlikte sulu ortamda çok iyi bir bağlayıcıdır. Genelde taşkömürü külle-ridir.

C tipi uçucu küller de (siliko kalsik) CaO oranı yüksektir. İlave kirece gerek kalmaksızın zayıf bağlayıcı olabilirler. F tipine göre daha az reaktiftir. Genelde linyit külüdür.

Bazen terminolojide yüksek kalsiyum denince C tipi, düşük kalsiyum denince F tipi ifade edilir.

ASTM standardına girmeyen ancak yeryüzünde ve ülkemizde oldukça yüksek miktarda bulunan bir 3. tür uçucu kül sülfokalsik uçucu küllerdir. Bunlar SO_3 ve CaO (sülfat ve kireç) ağırlıklıdır. Erken mukavemet kazanma etrenjit (Candlot tuzu) oluşumuna ve kireç miktarına bağlıdır. Puzolanik etkinlikleri zayıf olan bu küllerin ileri yaşlarda (28.günden sonra) mukavemeti pek artmaz. Bunlar halen betondan ziyade zemin stabilizasyonunda kullanılmaktadır.

Sınıflandırılamayan uçucu küller ise yanma şartları vs. nedenlerden dolayı belirli bir kimyasal yapıya uymayan küllerdir.

Uçucu kül için daha detaylı bir sınıflandırma olarak Aitcin ve arkadaşlarının hazırladığı tablolar verilmiştir. Buna göre ASTM F ve C sınıfı küllerinde kendi aralarında ayrılabilceği ve bu doğrultuda farklı puzolanik özellik gösterebileceği aşıkardır.

Tablo 2.5. F ve C Tipi Küllerin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri [12]

ASTM	F-Sınıfı			C-Sınıfı			Diger
Sınıflandırması							
Tanımlama	Ff	Fc	Fa	C1a	C2a	C1f	C2f
Kimyasal Yapı	Si.-Alüminöz			Siliko-Kalsik			Sülfo-Kals.
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	90.7	84.8	74.9	60.0	63.9	59.5	22.5
Özgöl Ağ. gr/cm ³	2.18	2.42	2.46	2.69	2.68	2.75	3.11
Öz. Yüzey cm ² /gr	3600	3750	2600	2900	3200	7200	3650
D50 µm *	15	12	18	11	11	16	16
Puzolanik Aktiv.	-	81	90	99	98	-	-

(*) D50: Danelerin %50'sinin geçtiği elek göz boyutu

Tablo 2.6. F ve C Tipi Küllerin Kimyasal Kompozisyonu
[28]

ASTM	F-Sınıfı			C-Sınıfı			Diger
Sınıflandırması							
Tanımlama	Ff	Fc	Fa	C1a	C2a	C1f	C2f
Kimyasal Yapı	Si.-Alüminöz			Siliko-Kalsik			Sülfo-Kals.
SiO ₂	59.4	41.4	47.4	36.3	37.9	24.0	13.5
Al ₂ O ₃	22.4	24.8	21.3	17.4	18.9	18.5	5.5
Fe ₂ O ₃	8.9	18.6	6.2	6.4	6.5	17.0	3.5
SiO ₂ +R ₂ O ₃	90.4	84.8	74.9	60.1	63.9	59.1	22.5
CaO	2.6	2.5	16.6	26.5	24.9	24.0	59.0
Na ₂ O	2.2	1.5	0.4	2.2	0.8	0.8	-
MgO	1.3	0.7	4.7	6.6	6.6	1.0	1.8
SO ₃	2.4	1.2	1.5	2.8	3.0	8.0	15.1
K.K.	2.0	9.5	15.0	0.6	0.8	-	-
Serbest Kireç				2.8	2.2		28.0

Tablo 2.7 ve 2.8'de ise Türkiye küllerinin kimyasal ve mineralojik dağılımı verilmiştir. Tablo 2.7'deki sonuçlara göre Tunçbilek, Yatağan külleri S+F+A >%70 şartını sağlamakta Orhaneli ve Çatalağzı külleri ise bu değer yaklaşmaktadır. Ayrıca kömür cinsi de dikkate alınırsa ASTM C618'e göre yalnızca Çatalağzı F tipi kabul edilebilir diğerleri

linyit kömüründen elde edildiği ve $S+A+F > \%50$ şartını sağladığı için C tipi uçucu küldür. Toplam CaO miktarına göre Çatalağzı ve Tunçbilek düşük kalsiyumlu CaO $< \%10$ diğerleri yüksek kalsiyumludur (CaO $> \%10$).

Tablo 2.7. Türkiye Kölleri Kimyasal Dağılımı [10], [*28]

Türkiye Kölleri Kimyasal Dağılımı

Uçucu kül Oksit (%)	Afşin Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma-B	Tunçbilek	Yatağan	Orhaneli	T.S. 639 Limitleri	ASTM C 618 Limitleri	
									F	C
SiO ₂	27.4	56.8	40.6	39.8	56.4	51.2	48.8	-	-	-
Al ₂ O ₃	12.8	24.1	9.1	22.3	23.0	22.9	19.6	-	-	-
Fe ₂ O ₃	5.5	6.8	7.7	4.4	10.1	7.8	6.5	-	-	-
S+A+F	39.7	67.7	57.4	66.5	89.5	81.9	68.4	>70	>70	>50
CaO	47	1.4	19.9	25.4	2.1	13.0	10.1	-	-	-
MgO	2.5	2.4	8.1	1.9	3.3	2.8	4.0	<5	<5	<5
So ₃	6.2	2.9	10.6	4.8	0.4	0.3	4.2	<5	<5	<5
Alkali	0.3	3.0	1.4	0.4	0.9	2.9	1.7	-	-	<1.5
TiO ₂	0.7	1.1	n.d	0.6	n.d	0.9		-	-	-
K.K.	2.4	0.6	1.4	0.4	1.1	0.4		>10	>12	<6

Tablo 2.8. Türkiye Kölleri Minereolojik Dağılımı [10]

Uçucu kül Oksit (%)	Afşin Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma-B	Tunçbilek	Yatağan
Mullite	1.0	18.1	1.2	4.3	8.8	6.0
Kuartz	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
Magnetit	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
Hemalit	4.0	0.1	6.0	2.0	3.0	7.0
Serbest CaO	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1.0
Anhidrit	12.2	-	9.8	7.4	-	-
Plasploclose	28	-	15	20	-	25
Comsı ve amorfi yapısı	30	70	50	50	70	35

Görüldüğü üzere atık kömürden yararlanmak pek çok unsurdan etkilenen kimyasal yapıya yakından bağlıdır. Öncelikle kimyasal yapıyı doğru saptamalıyız.

Kimyasal kompozisyonu anlamak için uygulanagelen analitik metodlara gereken önem verilmemiştir. Kimyasal bilgiler element analizleri ve X-ışınları analizleri ile sınırlı tutulmuş bunun sonucunda ancak ana fazlar saptanabilmıştır. Aşağıdaki örnekte termik santralde kireç ilavesi ile desülfürize edilmiş kül numunesi üzerinde yapılan analizlerde yönteme bağlı olarak ne kadar büyük yanlışlıklara düşülebileceği açık bir şekilde görülmektedir [8].

(Tüm bileşiklerdeki CaO oranları farklı yöntemlerle saptanmıştır.)

Ca(OH) ₂ 'den kaynaklanan CaO	—	%22.6	(Termogravimetrik analiz)
CaCO ₃ 'dan kaynaklanan CaO	—	%0.3	(CO ₂ sapt. yoluyla)
CaSO ₄ 'dan kaynaklanan CaO	—	%7.6	(Sülfat sapt.yoluyla)
Toplam	—	%30.5	CaO bulunduğu sonucuna varılmıştır.
Halbuki Gerçek CaO	—	%50.3	(X-ışınları floresan ve nötron aktivasyonu yöntemi ile saptanmıştır.)
Fark	—	%19.8	

Yani bu numunede klasik analiz yöntemi ile CaO miktarının tayininde %40 mertebesinde hata yapılmıştır. Genellikle klasik analizlerle saptanamayan CaO miktarı toplam CaO'nun %20-40 arasında değişir. Halbuki CaO külün hidrolik davranışı üzerinde çok etkili bir bileşendir.

Faz ayrıştırma metodu su ile ayrıştırma (water extraction, CaO, Ca(OH)₂ ve CaSO₄ için etkindir), yoğunluk ayrıştırması (density separation, kuars, mika, kaoli gibi hafif silikatlar için etkindir), manyetik tekniklerle ayrıştırma (demir oksitler için etkindir), eleyerek ayrıştırma

(öğütme sonucu sert olanların daha az ufalanması), malezik asit ve salisilik asit gibi bazı çözeltiler ile ayrıştırma (özellikle çözülebilir silikatları ayrıştırmak için) gibi fiziksel ve kimyasal yöntemlerin akılcı şekilde bir araya getirilmesi ile gerçekçi sonuçlar verir [8].

Serbest kireç miktarının klasik yöntemlerle tayininde toplam kireç miktarından sönmüş kireç miktarı çıkarılır. Yoğunluk ayrıştırması esasına dayanan yöntemde ise kireç miktarının tayini çözelti haline getirilen malzemelerin farklı yoğunluktaki bileşenlerinin farklı davranışlarından (askıda kalması, çökme hızı vs.) yararlanılarak yapılır [8].

2.2.2. Uçucu Küllerin iyileştirilmesi

ASTM F ve C sınıflarına girmeyen küllerin kullanılabilir hale getirilmesi kuşkusuz faydalı bir işlem olacaktır. Sınıflandırmalarda serbest kireç toplam kireç miktarı içinde düşünülmüş ve serbest kirece ilişkin bir kıstas verilmemiştir. Ancak serbest kireç miktarı arttıkça durabilite problemleri görülür.

Nitekim İ.T.Ü. İnşaat Fakültesinde 1987 yılında yapılan bir Yüksek Lisans çalışmasında Afşin-Elbistan külleri kullanılarak üretilmiş numuneler durabilite problemleri yaratmıştır. Su ve buhar uygulanan küllü numunelerde hacim sabitliği korunamamıştır [12].

Sülfat miktarının artması etrenjit oluşumu ile bir diğer durabilite problemi çıkarır.

Danelerin inceliği ve geometrisi işlenebilirlik ve su gereksinimi üzerinde etkindir. Afşin-Elbistan küllerinin küresel geometriden saptığı elektron mikroskobu incelenmeleri ile görülmüştür. Ultrases deneyleri ile yapılan test-

lerde Çimento artıp kül azaldıkça boşluk miktarının azaldığı tesbit edilmiştir [12].

Bu olumsuzlukların birini ya da birkaçını giderebilecek yöntemler atıkları kullanabilmeyi sağlayacaktır. Klasik yöntemlerde serbest kireç su ile söndürülürken etrenjit oluşumu arttırılmaktadır. Olumsuzluk gerçek anlamda giderilemeyip biçim değiştirmektedir.

Bu alanda bir Fransız kuruluşu olan Cerchar (Centre d'Etudes et Recherches du Charbon) patent sahibi olduğu bir yöntemle serbest kireci zararlı oluşuma meydan vermeden indirgemeyi güney Fransa küllerinde başarı ile uygulamıştır. Buna göre ilk olarak kül soğuk su ile hidrate edilir ve karışıma özel bir kap içinde sıcak ve doymuş buhar uygulanır. Bu arada sıcaklık 130-250°C arasında değişir. Bu işlem yalnız kül ile sınırlı olmayıp serbest kireç içeren herhangi bir malzeme için uygulanabilir. Külün işleme girişi ve çıkışı arasında görünüş ve nakliye imkanları bakımından fark yoktur. Ağırlık kaybı %0.5'i geçmemektedir. Ayrıca bu yöntemin kükürt miktarı ve incelik üzerinde de olumlu etkisi olduğu bildirilmektedir [13].

Haziran 1995'te Milwaukee'de sunulacak olan Blondin, Akman, Antony'ye ait bildiride iyileştirme işleminin Fransa, Kanada ve Türkiye külleri için uygulanmasından bahsedilmektedir. İyileştirilmiş küllerle üretilen numunelerden başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Akdeniz çevresindeki kireç oranı yüksek linyit yatakları düşünülürse bu yöntem uygulamada ekonomik olabilecektir [14].

Ayrıca kireç kömürün yapısından gelmese bile termik santrallerin atmosfere kükürt salışını önlemek amacıyla desülfürizasyon için kömürle birlikte öğütülmüş kireç taşı yakılmaktadır. Külün yapısındaki serbest kireci arttıran bir diğer unsur bu işlemdir.

2.2.3. Uçucu Küllü Betonlarda Sülfat Etkisi

Asitler ve bazı tuzlar hidratasyon ürünü CH [Ca(OH)_2 : baz] ile tepkimeye girip tuz oluştururlar ya da CSH'ı çözerler. Bu tuzların betondan yıkanmasıyla geçirimsizlik artmakta zararlı maddelerin girişi daha da kolaylaşmaktadır.

Bilindiği üzere $(\text{SO}_4)^{2-}$ anyonları serbest kireçle birleşerek alçı taşına (jips: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) dönüşür. Reaksiyonun 2. aşamasında çimentonun trikalsiyum alüminatı ile birleşen alçı taşı etrenjite dönüşür. (Candlot tuzu: $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) Böylece düşük eriyikli tuz oluşmuştur. Alçı taşı oluşumunda molar hacim artışı 41 cm^3 , etrenjitte ise 254 cm^3 mertebesinde-dir. Betonun katı halinde yaşanan bu genleşme betonda patlama türü korozyona yol açar [2]. Deniz suyu ve sülfat iyonu yüksek topraklardan gelen zemin suyu doğal sulardaki ana sülfat kaynağıdır.

Puzolanik reaksiyonla hidratasyon ürünü CH indirgenir, düşük C/S oranlı CSH üretilir. C/S oranının düşük olmasının asite dayanıklılığı arttırdığı Bölüm 2.1.1.'de anlatılmıştır.

Dunstan'ın tezine göre uçucu külldeki CaO ve Fe_2O_3 miktarı uçucu küllü betonların sülfata dayanıklılığında en önemli kriterdir. Buna göre külldeki kirecin %5'ten fazla olması veya demir oksitin azlığı sülfata direnci azaltacaktır. Dunstan bu tezini bir resistans faktörüyle hesaplamıştır:

$$R = (C - 5) / F \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

(C:CaO yüzdesi, F: Fe_2O_3 yüzdesi) [6]

Erdogan ve arkadaşları ise sülfata dayanıklılığı ölçmek için CaO/ Fe_2O_3 oranının Dunstan'ın sülfat resistans

faktöründen daha uygun bir ölçek olduğunu ifade etmişlerdir [24].

Yüksek incelikte, yüksek miktarda silis ve yüksek miktarda amorf silis içeren puzolan, en etkili sülfat dayanımı gösteren puzolandır. Yüksek miktarda uçucu kül kullanılması (HVFA-high volume fly ash) %40, sülfat direncini normal betona göre çok arttırmaktadır [34].

2.2.4. Uçucu Küllerde Radyoaktivite

Özellikle Batı Anadolu küllerinde söz konusu edilen radyoaktivite jeolojik nedenlere dayanmaktadır.

Radyoaktivite atom çekirdeğinin kendiliğinden parçalanması veya bozunması sonucu bir ya da daha fazla iyon radyasyonunu açığa çıkaran bir süreçtir. Aşağıda radyoaktif bozunuma örnek olarak bazı çekirdek reaksiyonları gösterilmiştir.

Uranium-238 — Thorium-234+ α (alfa) parçacığı

Cobalt -60 — Nikel-60+ β (beta) parçacığı+ γ (gama) ışını

α ve β elektrik yüklü parçacıklar, nötron yüksüz, γ ise elektromanyetik ışıdır. α deri üst tabakasında veya bir kâğıt yaprakta durdurulabilir. β kas dokusunda veya suda 1 inch kadar ilerledikten sonra durur. Nötronlar değişken hızlarda ve yüksüz olduklarından durması için çekirdeğe çarpmaları gerekir. Bu nedenle dokuda tahribata yol açar. Gama ve X ışınları insan vücudunu geçer. Kurşun, ağır beton gibi yoğun malzemeler önleyici olabilir [16].

Bir radyasyon alanında radyasyonun şiddeti röntgen birimi ile ifade edilir. "0.001293 gr. (normal şartlarda 1cm³) hava içinde 1 elektrostatik yük birimi kadar elektrik oluşturan X veya γ ışını miktarı 1 röntgen (R)" olarak ta-

nımlanır.

İnsanın radyasyondan etkilenmesi yani canlı organizma tarafından soğurulan doz Rad. birimiyle ifade edilir. "1 gr. dokuda 100 erg enerji bırakan radyasyon dozu 1 rad"dır. Röntgen ve radyasyon birimleri arasındaki ilişki şu benzetmeyle açıklanabilir. Bir sahaya yağan yağmurun şiddeti kg.su/m^2 ise rad. bu yağmurda ıslanan insanın tuttuğu yağmur suyu miktarıdır. Yani rad. vücutta soğurulan radyasyon dozu birimidir [17].

Nasıl ki yağış yağmur, dolu, kar gibi şekillerde iniyor ve insan bu yağış türüne bağlı olarak farklı düzeyde ıslanıyorsa radyasyondan etkilenmede de durum aynıdır. Farklı radyasyon türlerinin vücut dokularındaki biyolojik zararları birbirinden farklıdır. Aralarında biyolojik zarar yönünden eşdeğerliği belirlemek için Rem (röntgen equivalent of man) birimi doğmuştur. Tanımı; "1 röntgenlik X-ışını miktarının canlı dokuda meydana getirdiği biyolojik etki 1 rem" dir.

Bu durumda 1 rad. X ışını dozunun biyolojik etkisi 1 rem olarak tanımlanmıştır.

1 rad X-ışını = 1 rad τ ışını = 0.6 rad β radyasyonu = 0.3 rad yavaş nötron radyasyonu = 0.1 rad. hızlı nötron, proton ve α radyasyonu = 1 Rem.

Dolayısıyla X ve τ (gama) için Röntgen, Rad ve Rem birimleri aynıdır.

Yaşadığımız gezegende radyasyondan kaçınmak mümkün değildir. Uzaydan gelir, yerkabuğundan fışkırır, denizde vardır, vücudumuza yerleşmiştir.

Endüstri toplumunda insan yılda 160 milirem civarında radyasyon dozu alır. Bunun 2/3'ü doğadan, 1/3 insan yapısı

kaynaklardan gelir. Coğrafi konuma, yüksekliğe göre değişmekle beraber insanın doğadan aldığı ortalama doz 100 milirem dolayındadır. Uranyum ve toryum cevherinin zengin olduğu bölgelerde bu doz artar. Doğadan alınan radyasyonun 1/3'ü yerkabuğundan gelir. Bütün jeolojik tabakalarda değişik oranlarda radyoizotop elementler bulunur. Binaların yapısında kullanılan malzemeler de yerkabuğundan alındığına göre belirli oranlarda radyoaktivite içerirler. Örneğin aşağıda üç tür bina içinde yaşayanların aldıkları yıllık radyasyon dozları verilmiştir [17].

	<u>milirem/yıl</u>
Ahşap bina	30-50
Tuğla bina	50-100
Beton bina	70-100

Bu bakımdan uçucu küllerin radyoaktif elementler içermesi tabiatın gereğidir. Bilimsel bir inceleme olmadan uçucu küller radyoaktif atık olarak değerlendirilmemelidir.

2.3. Uçucu Kül ve Beton

Uçucu kül ve beton konulu ilk çalışmaların kaydına 1937 yılında Kuzey Amerika'da rastlanır [19]. İlk uygulama kayıtları ise 1948 yılına ait Birleşik Devletler Toprak İdaresi yayınlarında Hungry Horse Barajını gösterir. 1970'lerde ortaya çıkan enerji krizinde çimentoyu ikame eder bir ürün olması sebebiyle bütün dünyaca kabul görmüştür.

Bilindiği gibi uygulamada uçucu kül ya da uçucu küllü portland çimentosuna katkı ya da betona ilave edilmiş bir bileşen olarak düşünülür. Çimento katkısı olarak düşünülürse standartlara girmiş oranlar dahilinde belirlenerek oldukça uniform bir kontrolle uygulanabilir. Betonun yeni bir bileşeni olarak düşünülmesi durumunda daha geniş bir

hareket alanı vardır ancak yapılacak iş biraz daha karmaşıktır. Çünkü taze betonda ince agrega ve su azaltıcı veya artırıcı etkisi sebebiyle karışım oranlarını etkiler, sertleşmiş betonda ise puzolonik aktivitesiyle bağlayıcı matrise katılır, mukavemet ve durabiliteyi etkiler.

Bugüne kadarki pek çok uygulamada uçucu kül betonda bir bileşenin yerini alacak şekilde kullanılmıştır. İkame ettiği beton bileşenleri çimento, kum hatta su olabilmektedir. Buna göre 3 tane temel karışım metodu geliştirilmiştir. Ve bunlar ACI ve ASTM çeşitli yayınlarında yayınlanmıştır [6].

- 1- Basit ikame yöntemi (Kısmen çimento ikamesi)
- 2- İlave metodu (İnce agrega olarak katılması)
- 3- Kısmen çimento, kum ve su ikamesi metodu.
 - Modifiye edilmiş ikame yöntemi
 - Rasyonel oran yöntemi

Basit ikame yöntemi; çimento ile külün hacim veya kütlece birebir direkt yer değiştirmesidir.

Modifiye edilmiş ikame yöntemi; erken mukavemeti sadece portland çimentosu kullanılarak hazırlanmış mukayese betonuna yakın bir değer elde etmek için, uçucu küllü betondaki çimento ve külün toplam ağırlığının külsüz betondaki çimento ağırlığından fazla olduğu yöntemdir.

Rasyonel oran yönteminde ise bir uçucu kül etki faktörü vardır. Bu faktör başta kül olmak üzere betonun diğer elemanlarına da bağlıdır. Buna göre su bağlayıcı oranı $e/(c+kf_m)$ şeklindedir.

1981'de ACI tarafından yayınlanan "normal, ağır ve kütle betonu karışım oranları seçiminde standart uygulamalar" adlı (ACI 211 1-81) no'lu yayın puzolanlı betonlar hakkında da bilgi verir.

Uçucu kül ilavesi ile imalatı yapılmış beton için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir [18]:

. Deneme karışımları mutlaka üretilmelidir. Her uçucu külün kendine has özellikleri olduğundan külü tanımaya çalışmalıdır. Temin edilen külün özellikleri gün gün değişebileceğinden iyi bir kalite yönetim programı uygulanmalıdır.

. Ekonomikliğine karar verirken uçucu külün kullanımında dolayı gereken katkı vs. maliyeti unutulmamalıdır.

. Uçucu küllü betonlar sıcaklık ve nem bakımından kür uygulanmasında daha hassastır. Deneme karışımının şartları inşaat şartlarına yakın olmalıdır.

. Uçucu kül ilavesiyle beton bileşeni dörtten beşe çıkarılmıştır. Bu da kalite kontrol çalışmalarının daha hassas yapılması gereği demektir.

2.3.1. Uçucu Külün Beton Özelliklerine Etkisi

1) Çimento ihtiyacını azaltarak maliyeti düşürür. İkame edilecek kül miktarı etki faktörü (efficiency factor) ile hesaplanabilir [20]. Bir çalışmada bu faktör 0.4 mertebesinde önerilmiştir. Yani aynı beton mukavemetini sağlamak için azaltılan 1 kg çimento yerine 2.5 kg kül ikamesi gerekmektedir (faktör 0.4 alınırsa). Bu faktörün her uçucu külde farklı olduğu bazı çalışmalarda belirtilmiştir [21], [22].

2) Hidratasyon ısını düşürür. Kütle betonlarında termik rötreyi önlemesi bakımından önemlidir.

Bu ve bir önceki özelliğiyle yeni beton teknikleri so-

nucu kütle betonlarında %50 maliyet indirimi sağlar [23].

3) İnceliği nedeniyle ıslatılacak yüzeyin artması su ihtiyacını arttıracak gibi bir sonuç doğursa da küresel geometrisi olumlu bir etki yapar. Burada artan kohezyondur. Pek çok araştırmada işlenebilmenin artması için dane boyutlarının 45-10 μm arasında kalması gerektiği belirtilmiştir [6]. Yine başka bir çalışmada uçucu külün işlenebilmeyi azalttığı ve su ihtiyacının arttırdığı gözlenmiş bu durum uçucu kül danelerinin pürüzlü ve boşluklu yapısına bağlanmıştır. Uçucu külün ortalama dane boyutunun azalmasıyla harcın akıcılığı artmaktadır [24].

4) Betonun üretim aşamasında bağlayıcı olduğu kadar granülometriyi düzelten filler malzeme olarak kullanılır.

5) Hava sürükleyici katkı ihtiyacını arttırıyor gözüксе bile kohezyonu arttırarak sürüklenmiş havanın stabilitesini ve verimliliğini arttırır.

6) Hafif malzeme kullanılması sonucu betonun yoğunluğu azalır. Külün hafifliği ve elektrostatik itme kuvveti nedeniyle Çimento taneleri çökelmeden askıda kalırlar. Ayrıca özgül yüzeyin artmasıyla ortamdaki serbest su adsorbe edilir. Yani terleme ve bunun sonucu hidrolik röt-re azalır. Ancak erken röt-re artabilir. Beton stabil hale gelerek homojen bir ürün elde edilir. Stabilite enjeksiyon harçlarında çok aranır. Bu nedenle enjeksiyonda da tercih edilir [2].

7) Beton mukavemetine etkisi 3., 4. haftalardan başlayarak 90. gün ötesindeki günlerde daha belirginleşir.

8) Çimentonun hidrasyon ürünlerinden olan Ca(OH)_2 'nin zamanla suda çözünmesi beton için dezavantajdır. Ayrıca serbest kireç, ortamdaki SO_3 ile birleşip alçıtaşı oluşturarak zararlı olabilir. Tüm puzolanlarda olduğu gibi uçucu küldeki aktif silis serbest kireci bağlayarak toptan bir

özüm getirir.

9) Alkali agrega reaksiyonunu önler. Alkali agrega (AA) reaksiyonu bazı reaktif agregalar (aktif silis içeren) ile çimentodaki alkali (Na_2O , K_2O) ve kirecin tepkimesi sonucu genişleyen bir jel oluşmasıdır.

Reaksiyonun başlaması için önce aktif silis çözünmelidir, bunun için ortamın pH'ı önemlidir, $\text{pH} > 13$ iken çözünebilirlik sonsuz olur.

Puzolanik maddeler CH indirgeyerek ortamın pH'nı düşürürler yani silisin çözünebilirliği azalır.

Oluşan jelde daima CaO vardır. Eğer ortamda CaO yoksa jel oluşmaz. Puzolanik reaksiyonda CaO bağlayıcıdır, böylece alkali-agrega reaksiyonuna puzolanlar yarar sağlamış olur.

Ancak düşük puzolan ikamesi durumunda (%5-10) genleşme daha da artmaktadır, çünkü reaksiyon için gerekli aktif silis miktarı artmıştır [24], [25], [26].

10) Poroziteyi düşürür yani geçirimsizliği arttırır [20], [24].

11) Bunun yanı sıra yol inşaatında zemin stabilizasyonunda kullanılır.

12) Gazbeton, hafif agrega, tuğla üretiminde kullanılır. [27].

13) Silindir ile sıkıştırılmış beton üretiminde kullanılır [23], [28], [29], [30].

2.3.2. Ülkemizde Yeterince Uçucu Kül Kullanılmamasının Nedenleri

1) Piyasanın gerek üretici (TEK), gerek tüketici olarak konunun önemini yeterince kavrayamaması, santrallerde baca külü ile taban külünün karıştırılması, stoklamada veya sınıflandırmada gerekli özenin gösterilmemesi.

2) İnşaatın sektör ve disiplin olarak tutucu karakteri.

3) Bilgilendirme eksikliği ve küllerin yeterince tanınmaması.

4) Külün değişken yapısı, homojenliğinin olmayışı. Öyle ki aynı santralden çıkan küller geldikleri ocak itibarıyla değişebiliyorlar.

5) Çimento sanayimizin pazar ekonomisi açısından, endişesi.

6) Özellikle Batı Anadolu linyitlerindeki radyoaktivitenin varlığından bahsedilmesi.

BÖLÜM 3. UÇUCU KULLE ÜRETİLEN ÖZEL BİR BETON: SİLİNDİRLE SIKIŞTIRILMIŞ BETON (SSB)

Silindirle sıkıştırılmış beton yöntem olarak, konvansiyonel anlamda beton üretiminden ziyade zemin (geoteknik) mühendisliği uygulamalarına daha yakındır. Çünkü kuru kıvamda, düşük işlenebilirlikli beton tabakalar halinde ve titreşimli yol silindirleri kullanılarak sıkıştırılması esasına dayanır. Silindirle sıkıştırılmış betonun başta zaman ve para olmak üzere pek çok avantaj sağlar.

ACI tanımlamasına göre silindirle sıkıştırılmış beton üzerindeki silindirlerin ağırlığını taşıyabilecek kadar kuru ancak agregalar arasında bağlayıcı harç fazının karışıp sıkıştırılmasını sağlayacak kadar da nemli olmalıdır.

3.1. Tarihçe

SSB yapım fikri, İkinci Dünya Savaşı sonrasında hızlı bir şekilde liman, karayolu ve hava meydanları inşaatı konularında alternatif bir çözüm olarak doğmuştur. Endüstri tarihçileri bu türde bir betonun 1960'larda İtalya'da bir barajda kullanılmış olduğunu tesbit etmişlerdir.

1970'lerin başında dolgu barajların en önemli avantajı makine yoğun üretim imkanı ile beton barajların en önemli avantajı erozyon direncini en uygun şekilde bir araya getirebilecek bir ara çözüm araştırılmaya başlamıştır.

Jerry Raphel (Berkley Univ., California) optimum ağırlık barajı (optimum gravity dam) fikrini öne sürmüştür. Raphel'e göre dolgu barajların malzemesinin stabilizasyonu

arttırılabilirse şevler daha dik yapılabilirdi. Böylece de malzeme birim fiyatı ile gerekli miktarın çarpımı sonucu bulunan toplam maliyetin minimum olduğu optimum bir nokta bulunabilirdi. Bob Cannon (Tennessee eyaleti ABD su işle- rinde görevli) ise beton ağırlık barajlarında kullanılan betonun yeniden düzenlenerek dozerlerle yayılıp titreşim- li silindirlerle sıkıştırılabilecek şekilde üretilmesini önermiştir. John Paton adlı İngiliz mühendis yol inşaatın- da İngiltere'de o zaman için 50 yıldan beri kullanıla ge- len düşük mukavemetli kuru betonu ağırlık barajlarına göre üretmeyi önermiştir [23].

Bu tartışmalar sonucunda ilk SSB arazi denemelerinin 1973-1974 yıllarında (ABD'de) "Jackson" ve "Lost Creek" barajlarında yapıldığı ve kütleli olarak ilk SSB dökümünün ise Pakistan'daki "Tarbela" barajında gerçekleştirildiği görü- lür. Tarbela barajı su tutma aşamasında (1975) derivasyon tünellerinin birinde meydana gelen çökmenin yol açtığı kaya ve toprak dolgudaki yıkanmanın tamirinde 330000 m³ hacminde SSB yerleştirilmiştir. Aralıksız sürdürülen SSB dökümü 44 gün gibi kısa bir sürede tamamlanmıştır [7].

1980'lerden itibaren dünyada SSB uygulamaları artmış ve sadece ABD'de 30 kadar baraj SSB tipte inşa edilmek üzere projelendirilmiştir. Bu barajlarda "Willow Creek" 1983'te ve Japonya'da "Shimajigawa" 1980'de, Avusturalya'da "Cooperfield" ve Güney Afrika'da "Zaaihoek" ve "Arabia" barajları 1984'te SSB olarak inşa edilmiştir.

Türkiye'de ilk SSB uygulaması "Karakaya Barajı" inşaa- tında bir İtalyan firmasınınca gerçekleştirilmiştir. Kasım 1982 ile Mart 1983 tarihleri arasında menba batardosu geçi- rimsiz çekirdek dolgusu, kil yerine SSB olarak teşkil edil- miştir. Bahsedilen tarihler arasında 46000 m³ SSB ve yak- laşık 1000000 m³ (Bir milyon) kaya dolgu ile 50 m yüksek- likteki batardo inşaatı tamamlanmıştır. 1984 yılında Atatürk barajı dolu savak temelinde SSB uygulanmış ve ayrı-

ca Sır barajı batardosunda da Karakaya'daki uygulamanın bir benzeri yapılmıştır [35].

SSB tasarımımda üç yöntemle karşılaşılır [23]:

- 1) Silindirle sıkıştırılmış ve zayıf baraj betonu yöntemi (Lean SSB Dam):

Bu yöntemde portland çimentosu ve puzolan olarak toplam bağlayıcı miktarı max. 99 kg/m³ tür. Kullanılan puzolan düşük kireçli (F tipi) uçucu küldür. Kül miktarı en fazla toplam bağlayıcının %40 olabilir. Tabaka kalınlıkları 30 cm civarındadır. Granülometrisinde yüksek miktarda kum içeren üretimleri yapılmıştır. Willow Creek ve Moskulle barajları bu gruba örnektir. Bu tip betonun menba tarafından 50cm kalınlıkta konvansiyonel beton ya da öndöküm beton panellerle (membranlı veya membransız) korunması gerekmektedir.

- 2) Silindirlenmiş baraj betonu yöntemi (RCD-rolled-concrete dam)

Japonya'da geliştirilmiş ve diğerlerinden farklı bir yöntemdir. Tabaka kalınlıkları 70 cm ile 1 m arasında değişir. Bu beton 2-3 m kalınlığında dalgıç vibratörlerle üretilmiş klasik bir betonla menba, mensap, temel ve üst kısımlarını örtecek şekilde kaplıdır. Bütün ek yerlerinde su tutucu ve drenaj sistemi kullanılır. Bağlayıcı miktarı 120-130 kg/m³ arasındadır. Bu bağlayıcının %20-35'i F tipi uçucu küldür. Shimajigawa ve Tamagawa barajları bunlara örnektir.

Bu tip özünde geneleksel beton ağırlık barajıdır. Fakat betonun sıkıştırılması vibratörlerle değilde silindirle olur. Yatay tabakalar halinde yerleştirilir. Ekler menba-dan mansaba doğru kesilir. Baraj bitmiş halde ağırlık barajına çok benzer.

3) Yüksek miktarda harç içeren SSB barajları:

Bunların en önemli özelliği oldukça düşük hava boşluğu içermeleri ve tabakalar arasındaki bağ kuvvetlerinin herhangi bir iyileştirmeye gerek kalmaksızın yeterli düzeyde oluşudur. İnce denebilecek bir tabaka kalınlığı ~30 cm vardır. Bağlayıcı miktar 150 kg/m^3 'ün üstündedir. Bunun % 70-80'i puzolandır. Bu tipe örnek Upper Stillwater ve Knellport barajlarıdır.

Donatısız ve bu büyüklükte bir betonun hava sıcaklığındaki değişimlerin etkisi ile çatlamayacağı düşünülemez. Bu nedenle su tutucu, durabiliteyi arttırıcı korumalarla bu beton yalıtılabilir. Ayrıca tabakalar arası bağın kuvvetli olması ve düşük geçirimli yapısı (hava boşluğu az) ile geleneksel beton barajların sızdırmazlık ve geçirimsizlik düzeyine ulaşılabilir. Ek yerleri menbadan mansaba doğru kesilir ve sızdırmazlık sağlanır.

Ayrıca bu gruplara pek uymayan $100-149 \text{ kg/cm}^3$ bağlayıcı içeren SSB'ler ise orta harçlı SSB olarak adlandırılabilir.

3.2. Malzemeler ve Karışım Oranları

3.2.1. Agregalar

Agreganın türü ve granülometrisinin kontrolü SSB'nin kalitesini ve özelliklerini doğal olarak etkiler. Ancak SSB mukavemetine agreganın ve granülometrisinin asıl etkisi çimento ve su miktarını etkileyerek, bağlayıcı içeriğini en aza indirerek, iyi sıkışabilirlik sağlayarak ve segregasyonu azaltarak olur.

Granülometri ve diğer özellikleri bakımından konvansiyonel betona uygun agregalar ve konvansiyonel betona uygun olmayan pekçok agrega SSB'ye uygundur. Çevreden kolay sağ-

lanan agregalardan en uygununu seçmek için proje özellikleri dikkate alınmalıdır.

Örneğin temele daha az yük aktararak güvenlik katsayısı arttırılmak isteniyorsa hafif agregalar tercih edilmelidir. Bazı düşük mukavemetli agregalar düşük ama yeterli bir beton mukavemeti vererek sünme ve şekil değiştirme yeteneğini arttırabilirler.

SSB karışımları agrega danelerinin şeklinden normal beton kadar etkilenmez. Ancak yassı ve ince uzun danelerin varlığı pek istenmez. Aynı elek açıklığına ait agreganın %30'un altında olması gerekir. Çakıl, mıcır, doğal kum birlikte kullanılabilir.

ACI kütle betonlara ait raporda [31] No 200 elekten geçen malzemeler su ihtiyacını arttırması nedeniyle kum için %3 ve iri agrega için %0.5 ile sınırlandırılmıştır. Ancak bu oranların birkaç dilim üstüne çıkmak SSB üretiminde aynı sıkıştırma enerjisi için gerekli olan harç fazını azaltmıştır. Bu nedenle "No 200" limiti SSB uygulamasında yerinde denenerek arttırılabilir [30].

Bilindiği üzere teorik olarak en büyük agrega boyutu arttıkça (normal dozajlı betonlarda) gerekli mukavemete daha az miktarda çimento ile ulaşılır. Çünkü iyi bir granülometrik dağılımın sağlandığı durumda daneler arasındaki boşluk hacmi maximum dane çapı arttıkça küçülecektir. Buna göre SSB üretiminde tabaka kalınlığı ve vibratörlerin kapasitesine bağlı olarak agreganın dane boyutunun olabildiğince büyük tutulması çimento gereksinimini azaltır dolayısıyla hidratasyon ısısını düşürür. 76 mm (3 in.) maksimum agrega çapı için anlamlı bir değerdir. Ancak doğal agrega temininin mümkün olduğu durumlarda maliyet hesabı yapılarak daha büyük agrega kullanılabilir. Uygulama 229 mm (9 in.) maksimum agrega çapı kullanılmıştır (Tarbella barajında) [33].

Kaya dolgusunda kullanılan silindir vibratörlerle yapılan kompaksiyon maksimum agregâ çapından fazla etkilenmez. Ancak küçük vibratörler kullanılacaksa agregâ boyutu kompaksiyonda önemlidir ve tabaka kalınlığının 1/3'ü kadar olabilir.

SSB agregasında düzgün granülometri vibrasyon süresini ve boşlukları kaldırmak için gerekli hamur fazını (su ve bağlayıcı miktarını) azaltması bakımından yararlıdır.

Maksimum dane boyutunun artması veya maksimum dane boyutuna yakın agregâ oranının artması segregasyonu arttırır. Tablo 3.1'de birim hacim beton için uygun olabilecek iri agregâ mutlak hacimleri gösterilmiştir.

Tablo 3.1. Birim Hacimdeki Beton için İri Agregaların Mutlak Hacmi [30]

Max. agregâ boyutu (mm)	152	114	76	38	19	9.5
Birim beton hacmindeki mutlak hacim (m ³)	63-64	61-63	57-61	52-56	46-52	42-48

İnce agregâ (kum) miktarı, min. hamur fazını verecek şekilde olmalıdır. Ancak inşa ekleri ve soğuk derz durumları düşünülerek hamur fazına %24 alt sınırı getirilmiştir.

Reaktif agregâ kullanılması durumunda ise çimento miktarının azlığı, uçucu kül miktarının fazlalığı sayesinde alkali agregâ reaksiyonu beklenmemelidir.

Sürekli granülometrinin yanısıra kesikli granülometride olabilir. Özellikle doğal ocaklardan elde edilen malzemede buna sık rastlanır. Sürekli granülo-metrinin işlenebilme,

su ve çimento ihtiyacını azaltarak mukavemeti arttırma gibi avantajları düşünülerek yapılacak ekonomik ve teknik analiz uygun seçeneği gösterir [29], [30].

Tablo 3.2. Kütle Betonlarında İri Agrega İçin Granülometri Dağılım Limitleri [31]

				19 ve 5 mm *		
Max dane boyutu	152-76mm arası	76-38mm arası	38-19mm arası	19-5	19-10*	10-5*
19 mm	0	0	0	100	55-73	27-45
38 mm	0	0	40-55	45-60	30-35	15-25
76 mm	0	20-30	20-40	25-40	15-25	10-15
152 mm	20-35	20-32	20-30	20-35	12-20	8-15

* Eger 19 ve 5 mm arası 2 aralığa bölünmüş ise kullanılır.

3.2.2. Karışım Tasarımı

Karışım oranları tasarlanırken yapı tasarımından gelen ve sızdırmazlık kontrol sistemlerinden gelen ihtiyaçlar düşünülerek bir yöntem tesbit edilir. Standartlaştırılmış bir yöntem yoktur. Tasarımlar genel olarak düşük ve yüksek bağlayıcı içerigine, dolayısıyla düşük ve yüksek mukavemetlere göre gruplandırılabilir (125-250 kg/m³ bağlayıcı veya 50-100 kg/m³ bağlayıcı).

Çalışmamızda maksimum yoğunluk yaklaşımı (max. density approach) adı verilen ACI tarafından önerilmiş bir yöntem kullanılmıştır. Bu yöntem aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Minimum hamur hacminin bulunması

Mutlak (boşluksuz) hamur (çimento+kül+su) hacmi V_p

$$PV = \frac{W_p}{\rho_p} = \frac{W_c}{\rho_c} + \frac{W_k}{\rho_k} + \frac{W_s}{\rho_s} \quad (3.1)$$

Mutlak (boşluksuz) harç (çimento+kül+su+kum) hacmi V_m

P_v değerinin kuru beton için 0.38, daha az kuru beton için 0.42 alınabileceği belirtiyor [30].

P_v değeri deneyerek bulunmak istenirse, su/bağlayıcı oranı belli $V_c+V_f+V_w$ (imento, kl, su) hacminde hamur hazırlanır. Bu harca maksimum yoğunluğu verecek kadar kum ilave edilir. ilave edilen kum hacmi dikkate alınarak elde edilen harcın P_v değeri bulunur. Bu değer istenen kuruluğa göre %5~25 arasında arttırılır.

2. Adım: İstlenen karakteristik basınç mukavemeti için V_f/V_c ve V_w/V_f+V_c oranları seğilir. Bu seğim ekil 3.1'de ASTM tip I ve tip II imentoları için belirtilen abak yardımı ile yapılır. Ancak bizim kllerimiz ve imentolarımızla elde edilmiş böyle abak mevcut değildir. Esasen amacımız bu abağı elde etmektir.

3. Adım: İri agrega mutlak hacmi Tablo 3.1'den seğilir.

4. Adım: Mutlak harç hacminin saptanması:

Mutlak iri agrega hacmini bir önceki adımda bulmuştuk. $1m^3$ mutlak hacimden hava boşluğu ve mutlak iri agrega hacmini düşersek mutlak harç hacmini buluruz.

$$V_m = 1 - V_{c_m} - V_{hava} \dots\dots\dots (3.2)$$

5. Adım: Mutlak hamur hacminin bulunması

$$V_f$$

1. adımda mutlak — oranını istediğimiz kurulukla seğmiş

$$V_m$$

ya da elde etmiştik. Mutlak harç hacmini biliyoruz. Buna göre orantıdan;

$$V_f$$

$$P_v = \frac{V_f}{V_m}, \quad V_f = P_v \cdot V_m \dots\dots\dots (3.3)$$

$$V_m$$

ifadesi mutlak hamur hacmini verir.

6. Adım: İnce agrega mutlak hacminin bulunması,

Hamur ve harcın (hava boşluğu içermeyen) mutlak hacimleri arasındaki tek fark kum miktarıdır.

$$V_{fm} = V_m - V_{fz} = V_m - V_m \cdot P_v = V_m (1 - P_v) \dots \dots \dots (3.4)$$

7. Adım: Su miktarının hesaplanması

Hamur hacmi $V_m = V_w + V_f + V_c$ 'den oluşmuştur. Bu ifadeden V_w 'yi bildiğimiz değerler cinsinden ifade etmek için $(V_c + V_f) / (V_c + V_f)$ ve V_m / V_m kesirleriyle çarparsak değeri değişmez ve sonuçta bildiğimiz değerler cinsinden ifade ederiz.

$$V_w = \frac{V_w / (V_c + V_f)}{1 + V_w / (V_c + V_f)} \cdot V_m \dots \dots \dots (3.5)$$

8. Adım: Çimento hacminin hesaplanması

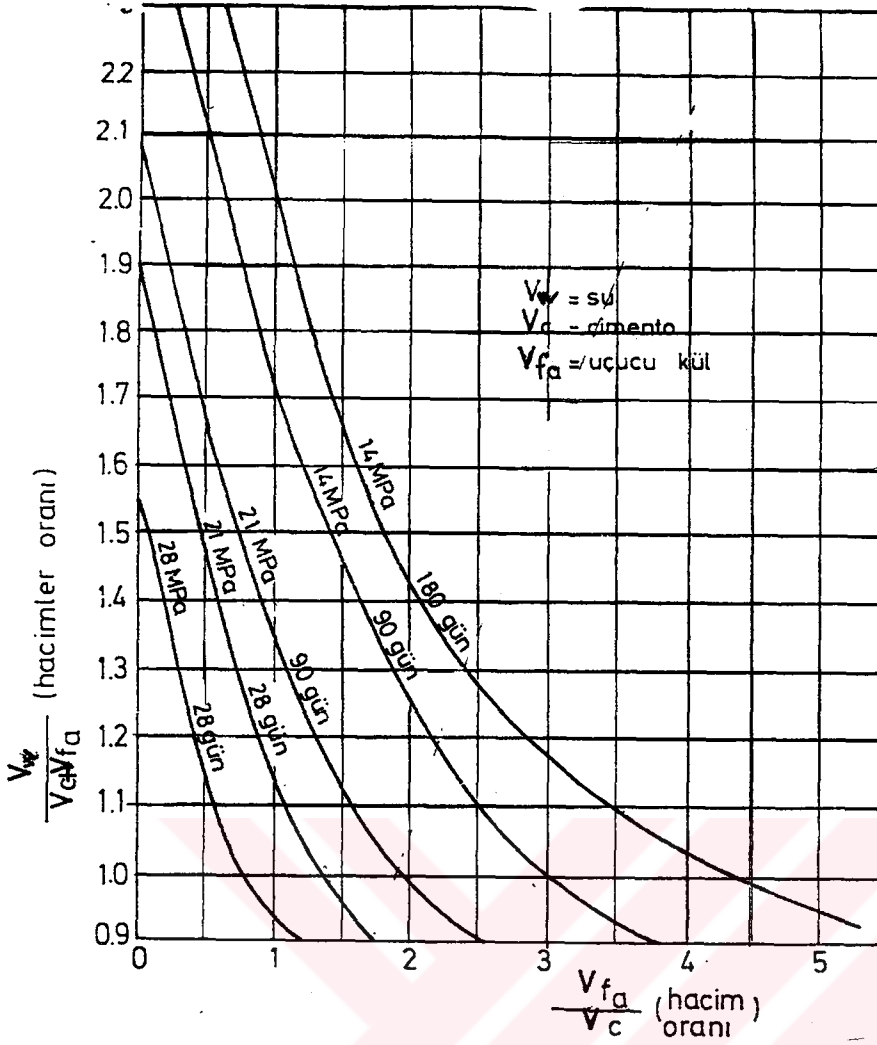
Benzer şekilde düzenlemeler yapılarak

$$V_c = \frac{V_w}{\frac{V_w}{V_c + V_f} (1 + V_f / V_c)} \dots \dots \dots (3.6)$$

9. Adım: Uçucu kül hacminin hesaplanması

$$V_f = V_c \cdot (V_f / V_c) \dots \dots \dots (3.7)$$

10. Adım: Bulunan mutlak hacimler malzemelerin özgül ağırlıklarıyla çarpılarak miktarlar ağırlık cinsinden ifade edilirler.



Şekil 3.1 : ASTM tip I ve tip II çimentoları için V_w/V_c ve $V_w/(V_w+V_c)$ oranlarına bağlı mukavemet değerleri

3.2.3. Kıvam

SSB betonu çökmesiz betondur.

Kıvamı kontrol ederken ve yoğunluk ile vibrasyon ilişkisini gözlerken malzemeyi betondan ziyade gronülometrik bir dolgu malzemesi olarak düşünmek daha olumludur. Kullanılan mekanik yöntemlerle betonun hava boşluğunun en aza indirilmesi (kompaksiyon) süresi beton için kıvam ölçütü olarak düşünülebilir.

Bazen SSB için kullanılan yaş ya da kuru deyimi görünümü ifade eder. Fakat bu ifade kesin olarak su içeriği

hakkında bir fikir vermez. Çünkü agreganın yapısı, şekli, granülometrisi, çimento ve puzolanın inceliği, şekli, ortamın sıcaklığı ve nemi gibi faktörler daha çok su içeren betonu daha kuru gösterebilir.

Karışım tasarımı beton teknolojisi yaklaşımı ile düşünülmüşse yani bağlayıcı faz iri agrega yüzeylerini kaplayacaksa vibratör ve araç yükü gelmesi durumunda beton akıcılık kazanabilir. Taze beton yeterli mukavemet kazanıncaya kadar beton üzerinde dolaşan araçlar deformasyona yol açar.

Karışım tasarımı zemin teknolojisi yaklaşımıyla düşünülmüşse kompaksiyondan sonra herhangi bir terleme ya da akıcılık söz konusu değildir. Üzerindeki araçlar deformasyona yol açmaz ve hatta kompaksiyonla betonu sıkıştırılabilirler.

3.2.4. Kimyasal Katkılar

SSB' de hava sürükleyici, akışkanlaştırıcı ve priz geciktiriciler kullanılır. Özellikle sıcak havada bir önceki tabakanın prizini tamamlayıp soğuk derz oluşturmalarını önlemek için priz geciktirici faydalıdır. Pek çok SSB uygulamasında katkıları normal dozajlarında uygulanır. Hava sürükleyiciler işlenebilirliğin yanısıra donma-çözülme dayanıklılığını da arttıırırlar.

Kimyasal katkıları düşük bağlayıcı dozajlarında ya da bağlayıcı hamurun tam yayılamadığı kuruluktaki SSB'lerde etkili olmaz.

3.2.5. Çimento ve Puzolanlar

SSB normal çimento tiplerinden herhangi birisi ve herhangi bir puzolanla üretilebilir. Çimento seçiminde

yerleştirme veya sıkıştırma yöntemi kıstas olmaz. Puzolan seğimi ise SSB'de beklenen niteliklere puzolanın katkısı düşünülerek yapılır. Ayrıca puzolanın inşaat sahasına temin edilmesinin kolaylığı bir diğer faktördür [23].

Puzolanın en önemli fonksiyonu hamur fazında suyun veya ęimentonun doldurması gereken boşlugin bir bölümünü doldurmasıdır. Bu boşlukların su ile doldurulması durumunda betonun mukavemeti düşer. ęimento miktarı arttırılırsa (zellikle kütle betonunda) hidrasyon ısısı yükselir (termik rötre). Puzolanik aktivite sayesinde puzolan yalnızca boşluk doldurmaz aynı zamanda mukavemet artısına da katkıda bulunur. Gerekli mukavemeti veren en düşük ęimento ve en yüksek puzolan oranında üretilen beton en düşük hidrasyon ısısını verir.

Uçucu kl haricindeki puzolanlar için ęimento/puzolan (V_c/V_f) oranı max 2 olmalıdır. Uçucu küllü SSB V_c/V_f 'nin maksimum ve $V_w/(V_c+V_f)$ minimum olacak şekilde tasarlanması gerekir.

3.3. SSB'nin zellikleri

Konvansiyonel beton için önemli olan özellikler genel olarak SSB için de önemlidir. Ancak iki tür betonun karışım oranları farklılığını, yani SSB'nin yaklaşık %30 daha az su, %40 daha az bağlayıcı hamuru iğerdiğini unutmamalıdır.

3.3.1. Basıncı Mukavemeti

Tam sıkıştırılmış bir betonun basıncı mukavemeti su toplam bağlayıcı oranına ve puzolan-ęimento oranına bağlıdır. Kütle betonlarının önemli bir özelliği yüksek erken mukavemete ihtiyaç duyulmamasıdır. 6 ay veya 1 yıllık mukavemet değerlerinin 10-15 MPa olması kütle betonu için

anlamlıdır.

3.3.2. Deformasyon Özellikleri

Betonun elastisite modülü yaşıyla, bağlayıcı miktarının artmasıyla, gevreklik kazandıran (Kuartz, Argillites impart gibi) agregalarla, yoğunluğu arttıran uygun (maksimum dane boyu yeterli) hamur fazıyla artar. Elastisite modülü 200.000 ile 300.000 kgf/cm² arasında değişir. Poisson oranı konvansiyonel betona benzer; yaş, agrega ve mukavemete bağlı olarak 0.18 ile 0.24 oranındadır [4].

İdeal kompaksiyonun sağlandığı ve yoğunluğun maksimum seviyeye getirildiği durumlarda sünme çökmeli betonlara göre aynı yük altında %20 daha az olacaktır. Hamur fazının yetersizliğinden boşluk kalmışsa bu durum süreksizlik yaratır ve sünme artar. Ayrıca yüksek elastisite modülü veren agregalar sünmeyi azaltır. Zayıf bağlayıcı içeren betonların elastisite modülleri düşük, sünme oranları yüksektir [5].

Barajlar için dış yüklerin ve iç yüklerin (sıcaklık değişmesi) değişimi yavaş olduğundan yavaş yükleme ve şekil değiştirme kapasitesi daha önemlidir.

Çekme şekil değiştirme yeteneği elastisite modülü ve çekme mukavemeti ile ilişkilidir. Ancak zayıf bağlayıcılı SSB düşük mukavemet ve düşük elastisite modülü verse bile yüksek sünme yeteneği ile yavaş yüklenmiş baraj gövdesi için şekil değiştirme yeteneği oldukça iyidir [4].

3.3.2. Hacim Değişmesi

Nem kaybından ya da hidrolik rötreden dolayı hacim değişikliği çok azdır. Çünkü SSB zaten az su içeren bir

betondur.

Hidratasyon ısı ve agrega özelliklerinden kaynaklanan adiyabatik sıcaklık yükselmesi bazı durumlarda SSB betonlarında etkili olabilmektedir. Çimento ile birlikte puzolan kullanılması sıcaklık artışını yavaşlatır. Çimento miktarının azaltılması durumunda birim çimento miktarı başına düşen ısı üretimi artar. Çimento miktarının (tip II) gittikçe azaltıldığı bir deneyde hidratasyon ısının artışı sıcaklığı 0.16°C/kg dan 0.30°C/kg çimentoya kadar arttırmıştır [29].

Yeterli hava sürükleyici, yeterli hamur fazı, uygun granülometri ve yeterli kompaksiyon ile düşük geçirimli beton elde edilebilir [29], [30].

SSB konvansiyonel beton kavramıyla tasarlanmışsa V_w/V_c+V_f oranı küçük olmalıdır. Ancak karışım zemin yaklaşımıyla tasarlanmışsa oran düşük olmayabilir. SSB permeabilitesinin hızı 10^{-4} ile 10^{-13} m/sn arasında değişir. Geçirimsizlik bağlayıcı içeriğinin artışı ile azalır [3].

Yalnız, geçirimsizlik ile sızdırmazlık karıştırılmamalıdır. Sızdırma çatlak ve soğuk derzlerdeki yarıklardan suyun geçmesidir.

3.3.3. Kayma mukavemeti

SSB ortalama olarak basınç mukavemetinin %10-20'si civarında kayma mukavemeti verir.

SSB tabakaları arasında soğuk derz oluşmasıyla aderans zayıflar. Soğuk derz oluşumu betonun kıvamına, agrega karakteristiklerine, tabaka yüzeylerindeki kompaksiyonun derecesine, bağlayıcı malzeme içeriğine, tabaka yüzeyinde prizin başlayıp başlamamasına, tabaka yüzeyi iyileştirmesi-

ne bağlıdır. Tabaka arasındaki kayma mukavemeti $0 \sim 20 \text{ kgf/cm}^2$ ve $\emptyset$ kohezyon açısı 30° ile 60° arasında değişir [29]. Optimum sudan fazlası ve azı kohezyonu azaltır. Tabaka yüzeyinde çeşitli nedenlerle oluşan izler kohezyonu arttırır.

3.3.4. Durabilite

Donma-çözölmeye karşı direnç, dona karşı dayanıklı agrega içerigine, betonun mukavemetine ve hava sürökleyci katkı içerigine bağlıdır. Etkili bir hava sürökleyci kullanım için SSB'nin su miktarı düşük olmalıdır.

Erozyon ve kavitasyon direnci iyi çıkmıştır. ACI'dan belirtilen bir incelemede 30 mm maksimum dane boyutu 20 cm/sn akım hızına karşı iyi direnç göstermiştir.

Kimyasal etkilere karşı dayanımı konusunda pek bir inceleme yoktur. Ancak konvansiyonel betona benzeyeceği düşünölr.

3.4. SSB'nin İnşaatı

SSB barajı inşaatı karışım oranları, yapı tasarımının gereksinimleri, malzeme özellikleri, inşaat ekipmanı ve metodu gibi faktörlerin uyumlu bir şekilde bir araya getirilmesiyle mümkündür.

SSB inşaatında (hızlı üretimle) kalite, basitlik ve kar hedeflenir. Baraj büyüklüğüne göre $300 \text{ m}^3/\text{saat}$ ile $700 \text{ m}^3/\text{saat}$ arasında değişen beton üretimleri yapılır. Priz geciktirici kullanılmayan üretimlerde mikserden çıkan beton 10 dakikada nakil edilmeli, 10 dakikada yayılmalı ve 10 dakikada sıkıştırılmış olmalıdır. Yani toplam 30 dakika içinde karıştırıcı makinadan alınmış kompaksiyonu tamamlanmış olmalıdır. Bu süre 40 dakikayı geçmemelidir. Tabiki

bu kısıtlama normal durumlarda geçerlidir. Ortamın özellikleri mutlaka düşünülmelidir.

Karıştırma işlemi üretimin kesintisiz devam etmesi ve ürünün kalitesi bakımından önemli bir adımdır. Değişik karıştırıcı ekipman ve karıştırma yöntemleri vardır. SSB kütle betonu üretimi için tasarlanmamış makinaların performansı düşüktür. Özellikle yüksek bakım-onarım maliyeti ve yetersiz karıştırma en büyük problemdir. Düşük bağlayıcı içeren karışım oranlarında mikser içindeki betonun üniformluğunda zor sağlanır. Batching mikser, sürekli mikser ve taşıyıcı mikserler kullanılabilir. Batching mikser ile sürekli mikser arasındaki en temel fark batching time in ortadan kalkması ve ilk yatırım (tesis) maliyetinin birim maliyete etkisinin çok az olmasıdır. Büyük ölçekte ve sınırlı zamandaki bir üretimde bu durumun önemi daha iyi anlaşılır. Maksimum agrega boyutu 38 mm kadar olan SSB üretiminde taşıyıcı karıştırıcılarda kullanılabilir. Ancak bunlar daha ziyade yol betonu üretiminde uygundur.

Nakliye işleminde ise yol inşaatı araçları kullanılır. Ancak taşıyıcıdan boşaltılan malzemenin segregasyonu, (özellikle 38 mm den büyük danelerde) taşıyıcıların tabaka yüzeylerinde yaptığı zararlar ve taşıyıcı yollarının SSB üretimi ile birlikte eşzamanlı yükseltilmesinin gerekliliği önemli güçlüklerdir. Mikserden son kullanım yerine kadar bantlarla yapılan (konveyör) nakil en güvenilir yoldur. Özellikle yamaçların dik olduğu arazilerde ve yağışlı zamanlarda tek çözümdür.

Buldozerler ve yol grayderleri betonu yaymak için kullanılan araçlardır.

Kompaksiyonda kaya dolgu için uygun olan tüm vibrasyonlu silindirler kullanılabilir. 10 tonluk vibrasyonlu silindirler en uygun olanıdır. Buldozerlerin ve taşıyıcıların neden olduğu sıkışma bir ön sıkışma yaratır. Bu ön sıkış-

tırma işlemi silindirlerin işini kolaylaştırır. Kuru ve zayıf karışımlar 30-40 cm tabaka kalınlığında sıkıştırılır. Islak karışımlar ise 15-40 cm tabakalar halinde yayılarak 50-100 cm kalınlığa ulaşınca silindirle sıkıştırılır. Titreşimli silindirlerin davul kısmı tek veya çift olabilir. Genellikle 4 silindir geçişinden sonra ful kompaksiyona ulaşılır. Ancak kalın tabakalarda ve kuru karışımlarda bu 6 veya daha fazla olabilir. En katı kıvamlı SSB'nin dahi 60 sn içinde yeterince sıkışması gerekir. Aşırı kompaksiyon tabakanın alt kısımlarında sıkışma sağlarken üst kısımların sıkışıklığını azaltır. Bu olay karışım suyunun yükselmesi anlamına gelir. Silindir geçerken bu duruma dikkat edilmelidir. Hamur fazı yetersiz olan karışımlarda iri agregalar birbirleriyle temas edip ezilirler ve bundan sonra tam kompaksiyon olur. Ful kompaksiyonu saptamanın en kesin yolu yoğunluk ölçümü ve laboratuvar sonuçlarıyla kıyaslanmaktır. Ayrıca zemin yoğunluğu ölçümünde kullanılan nükleer yöntemler SSB içinde düşünülebilir.

Yatay inşa ekleri, önceden planlı bir şekilde yapılmış yada üretim aşamasındaki zorunluluktan ortaya çıkmış olabilir. Priz geciktiriciler bazı durumlar için çözüm olarak düşünülebilir. Eğer bu ek yerleri temiz ve nemli tutulmuşsa herhangi bir ek iyileştirmesi istemez. Zaten konvansiyonel betonun ek yeri ile SSB'nin ek yeri tam tamına aynı değildir. Çünkü konvansiyonel betonun yüzeyinde terlemeyle yükselen su ve nispeten hafif malzemelerden oluşan bir film tabakası vardır. SSB'nin üst kısmı bu film tabakasından kaynaklanan zayıflığı içermez. Ancak tabii ki yüzey kir, çamur ve diğer yabancı maddelerden arındırılmalıdır. Ek yerlerinde maksimum dane çapını 38 mm almak ve hamur fazını arttırmak faydalıdır. Böylece temas kısmında segregasyon azaltılır. Ayrıca bu beton 8 cm kadar kalınlıkta yayılmalı ve çok daha akıcı olmalıdır. Bunun üstüne yine normal SSB serilmeli ve uygun kalınlığa alınmalıdır. Yani buradaki beton daha sulu, daha fazla hamur içeren ve daha mukavemetli olmak zorundadır [30].

Kür uygulaması normal betona benzer. Normal sıcak hava ve soğuk hava uygulamaları SSB'ye uygulanabilir. 7 gün ya da ilave bir tabaka gelinceye kadar sürekli olarak nemli tutulmalıdır. Sulamak için üzerine çıkacak araçların betonu bozmaması lazımdır. Üzerine tabaka gelecek kısımlar su, kum veya sonradan kaldırılıp temizlenebilecek türden malzemelerle kür edilmelidir. Bir daha beton dökülmesi gerekmeyen yüzeyler su, özel sıvı film tabakası, sıvı asfalt, toprak vs. ile kür edilebilir. İnşa halindeyken kür uygulanmayan yerler kurumadan bir sonraki tabaka yerleştirilmelidir.

Sıcak havada beton dökerken su ihtiyacının artması, slump kaybı, plastik rötire çatlakları SSB için çok önemli değildir. Ancak yine de yüzey koruması zorunludur.

Diğer bir konu ise SSB kütlesinin genişliğini tasarım ihtiyaçlarından ziyade inşa ihtiyaçlarının belirlemesidir. Çünkü gidiş-geliş yolu ve ekipmanların çalışabileceği miktarda bir genişliğe ihtiyaç vardır. Saha mühendislerinin ifadesine göre bu işler için en az 14 m. genişlik gereklidir [7].

SSB kenar eğilimlerini kontrol etmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Konvansiyonel betonun SSB'a ankrajını sağlayan çapalar kullanılabilir. Ancak SSB'nın düşük mukavemeti nedeniyle özel ankraj çubukları gerekmektedir. Bu çubuklar sayesinde konvansiyonel beton gerekli görüldüğü (kayan kalıp vs.) şekilde uygulanır. Bir diğer eğim kontrol aracı prekast betonlardır. Bunlar panel ya da blok şeklinde olabilirler. Yüksek mukavemetli beton içerir ve incedirler. Ayrıca iç kısımdaki betonu iyi korurlar. SSB doğal bir şev eğimiyle (40°-45°) korunmasız bırakılabilir. Bu durumda drenaj sistemi maliyeti düşünülmelidir. Bir diğer yöntemde engelleyici elemanlar üretmektedir. Normal betondan üretilen bu elemanlar 60-75 cm yükseklikte olabilir, mukavemet kazandıktan sonra silindir darbesinden etkilenmemelidir.

Bu tedbirlerin yanında elbette üretim kalite kontrolü ve arazi kontrolü çalışmaları yapılmalıdır. Ancak üretim miktarının büyüklüğü ve hızı sonradan ortaya atacak sonuçları anlamsızlaştırır. Bu nedenle SSB'ye etkiyen faktörlerin çok sıkı denetimi gerekir.

3.5. SSB Uygulamasından Bazı Kesitler

Tarbela barajı Pakistan'ın kuzeyinde Indus nehri üzerinde ve Himalayaların eteginde yapılmış dünyanın en büyük toprak dolgu barajıdır. Tasarımcıların öngörmedikleri bir akış hacmi ve hızı oluşmuştur. Bu akışın uzun süre devam etmesi, yüksek sıcaklık değişmesi ve bazı konstrüktif bozukluklar sonucunda birtakım problemler ve buna bağlı çökmeler meydana gelmiştir. Başlangıçta düşünülmediği halde bu hasarlardan dolayı 330000 m³ SSB kullanılmıştır. Bu üretim dikkate alınması gereken bir sınama yanılma tecrübesidir. Burada SSB'nin ilk uygulayıcıları onu çimentolu toprağın akrabası "a cousin of soil-cement" diye tanımlamışlardır.

Tarbela barajında payandaların altındaki drenaj galerileri inşa edilirken önce bu galerilerin yerleri kumla doldurulup SSB üretilmiş ve sonra kum kazılmıştır. Bazı bölümlerdeki drenaj galerini kazmak için dinamit kullanılmıştır. 1978, 1979, 1980 yıllarında yapılan üretimlerde bu süre içinde termal çatlak görülmemiştir. Galerilerden gözlenen kesitlerde tabakalar arasında soğuk derz oluşumu ve segrerasyon gözlenmemiştir. Ancak 1980 yılındaki muayenelerde farklı zemin oturmalarından kaynaklanan birkaç küçük çatlak gözlenmiştir. SSB üretilmeden önce otoriteler segrerasyon ve tabakalaşma oluşabileceğini belirtmişlerdir. Ayrıca nakliye kamyonlarla olduğu için taşınma ve boşaltma esnasında segrerasyonun artmasından kaygılanılmıştır. Ancak bunlar olmamıştır. Homojenlik genellikle sağlanmıştır. SBB ile kaplama betonu arasında bağın zayıf olacağı kuşkusuydu. Ancak iki ucu kancalı çubuklarla betonların takviye

edilmesi, vibrasyon ve yerleştirme yöntemlerinin geliştirilmesiyle başlangıçtaki bu zayıflık giderilmiştir.

SSB'nin dış yüzünün beton kaplaması kayan kalıplarla beton dökülerek çözümlenmiştir. Ayrıca bazı yerlerde bu kaplamaya dahi gerek duyulmadan açık bırakılmıştır. Bu kırsımların üzerinden iki yaz mevsimi geçmiş ve sürekli 3-5 m/sn hızında akış ile dalgalara maruz kalmıştır. Ancak hiçbir olumsuz etki gözlenmemiştir. Uzmanlar SSB'nin durabilitesi hakkında karar verirken bu uygulamayı dikkate almalılardır. Aşağıda şekil 3.2'de SSB uygulamasından bir örnek gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Upper Stillwater Barajı İnşaatı

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Uçucu Kül Niteliklerinin Belirlenmesi

4.1.1. Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Saptanması

Laboratuvarımızdaki numunelere çıplak gözle bakıldığı zaman, Afşin-Elbistan külünün daha açık ve gri renkli Yatağan ve Orhanlı külünün daha koyu ve kahveye bakan gri tonda olduğu gözlenmiştir. Siyah tanecikler yanmamış kömür (karbon), beyaz tanecikler ise serbest halde bulunan kireçtir.

TS639'a göre le Chatelier balonu ile özgül ağırlık tayin edilmiştir.

$\delta = 2.13 \text{ gr/cm}^3$ (Yatağan)

$\delta = 2.87 \text{ gr/cm}^3$ (Afşin-Elbistan)

Puzolanik aktivite: TS639 Bölüm 2.2.1.4'e göre saptanmıştır.

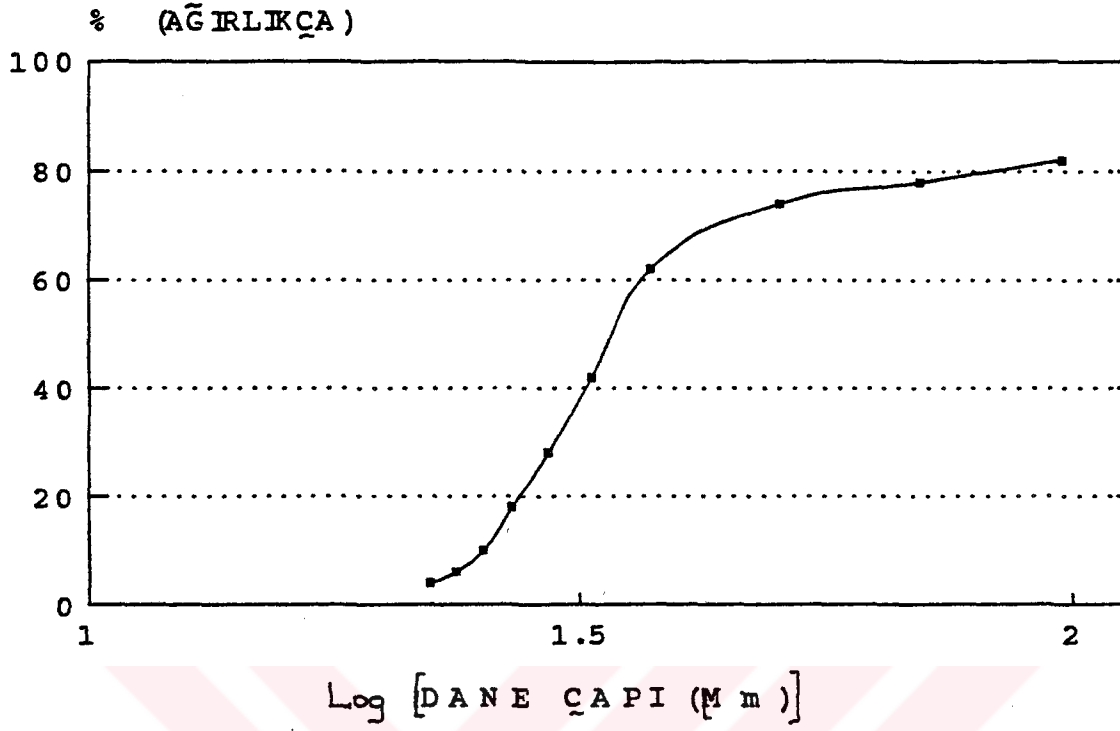
Afşin-Elbistan külü için puzolanik aktivite 0.25

Yatağan için puzolanik aktivite 0.34

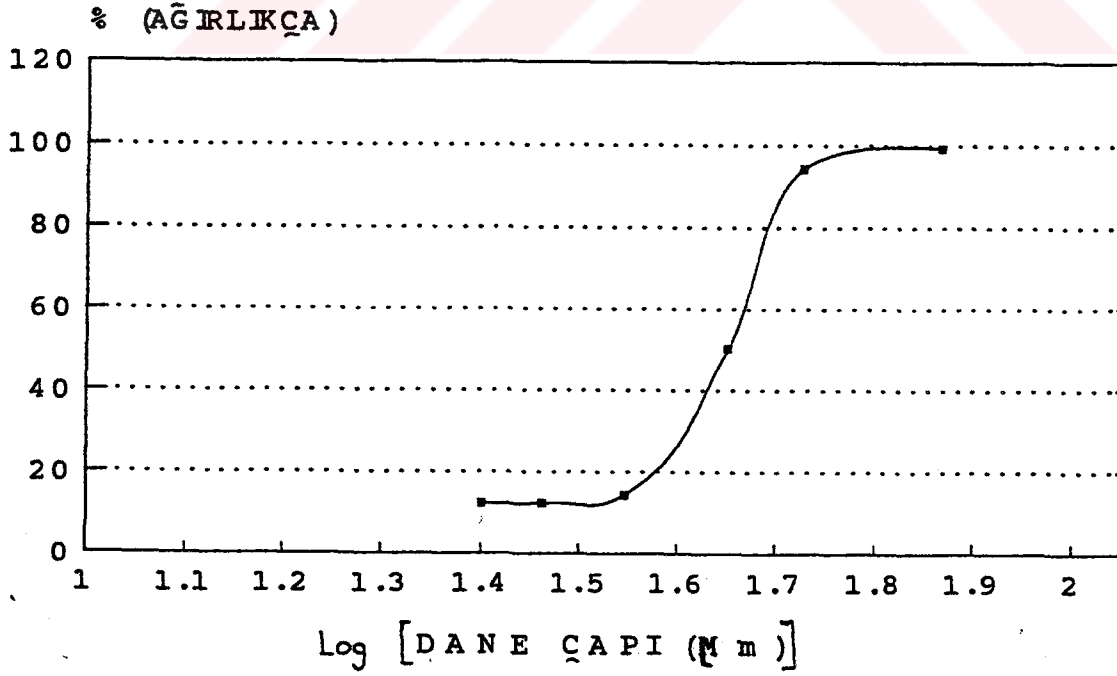
Yatağan ve ham Afşin-Elbistan külünün granülometri analizleri hidrometre analizi yöntemi ile (İTÜ Zemin Mekaniği Laboratuvarı Yük. Müh.Kemal Tuğsat YÜCEL'in doktora çalışması) saptanmıştır. Bunların sonucunda aşağıdaki değerler bulunmuştur (Şekil 4.1 ve 4.2).

Yatağan külleri için medyan çap $34.9 \mu\text{m}$

Afşin-Elb. " " " " $44.7 \mu\text{m}$



Şekil 4.1. Yatağan Külleri için Granülometri Analizi



Şekil 4.2. Afşin-Elbistan Külleri için Granülometri Analizi

Kimyasal özellikleri tesbit için herhangi bir deney yapılmamıştır. 10 ve 20 nolu yayınlardaki veriler kullanılmıştır. Bu veriler bölüm 2.2.1'de tablolar halinde verilmiştir.

4.1.2. Minerolojik Dağılımın X-Işınları Analizi ile Belirlenmesi

Puzolanlar silisli ve alümino-silisli malzemelerdir. Ancak bütün silisli ve alümino silisli malzemeler puzolonik özellik göstermezler. Örneğin kristal yapıya sahip kuars (S), korundum (A), Sillimanit (SA) ve mullit (S_3A_2) sönmüş kireç ile rutubetli ortamda reaksiyona girmezler. Puzolanik özellik yalnızca amorf ve camsı yapıdaki silisli ve alümino-silisli bileşenlerde bulunur. Bu nedenle potansiyel puzolanik maddelerin beton endüstrisinde kullanılabilmesi bunların kimyasal kompozisyonlarından çok mineralojik kompozisyonlarına bağlıdır. Yani uçucu küllerin reaktivitesi mineralojik yapıları ile ilişkilidir [10].

Araştırmamızda Yatağan, Afşin-Elbistan, iyileştirilmiş Afşin-Elbistan (Cerchar), Orhaneli uçucu külleri ve çimento numuneleri incelenmiştir. İTÜ Kimya-Metalurji Fak. X-ışınları laboratuvarında $CuK\alpha$ radyasyonu ile 50 kV ve 20 mA şartlarında Philips difraktometre cihazı kullanılmıştır. Elde edilen difraktogramlar şekil 4.3'de verilmiştir. Ne yazık ki mineralojik kompozisyon kalibre edilememiştir. Ancak çokluk sırası gözlenebilmiş ve buna göre sonuçlar Tablo 4.1 ifade edilmiştir.

Tablo 4.1. Minerolojik Analiz Sonuçları

Yatağan	:1.amorf ve 2.kuars 3.feldspat camsı faz
Afşin-Elbistan:	1.amorf ve 2.serbest 3.anhidrit 4.kuars iyileştirilmemiş camsı faz kireç
Afşin-Elbistan:	1.amorf ve 2.anhidrit 3.kuars 4.feldspat iyileştirilmiş camsı faz
Orhaneli	:1.amorf ve 2.anhidrit 3.serbest 4.kuars camsı faz kireç
Çimento	:Kristal yapı gözlenmemiştir.

Bu sonuçlar tablo 2.8'de verilen sonuçlarla kabaca uyumludur. Difraktogramlar bir sonraki sayfada gösterilmiştir.

4.1.3. Radyoaktivite Tespiti

(Afşin-Elbistan I-II, Orhaneli, Yatağan Uçucu Külleleri ve Çimento Numunesi)

Bölüm 2.2.4'de belirtildiği gibi bazı küllerimizin radyoaktivitesi kamu oyunda tartışılmıştır. Uçucu küllerin radyoaktivitesini bilimsel bir şekilde ölçmek ve çimento ile kıyaslamak bu konuyu açıklayacaktır.

Deney

Amaç: Uçucu küllerimizin radyoaktivitesini çimentoyla kıyaslayarak yapı malzemeleri içindeki durumunu saptamaktır.

Konu: Afşin-Elbistan I ve II, Orhaneli, Yatağan uçucu küller ve bir çimento numunesinde radyasyon tesbiti.

Malzeme: 2 ayrı numune olarak Afşin-Elbistan külü, TBS'den temin edilen Orhaneli külü, Eskihisar ve Tınaz havzalarına ait Yatağan külü ve çimento.

Düzenek: İTÜ Nükleer Bilimler Enstitüsündeki ORTEG HpGe yarı iletken dedektör, Canberra Series 90 çok kanallı analizör ve Eberline el monitörü kullanılmıştır. (Deney raporu için bkz. EkA)

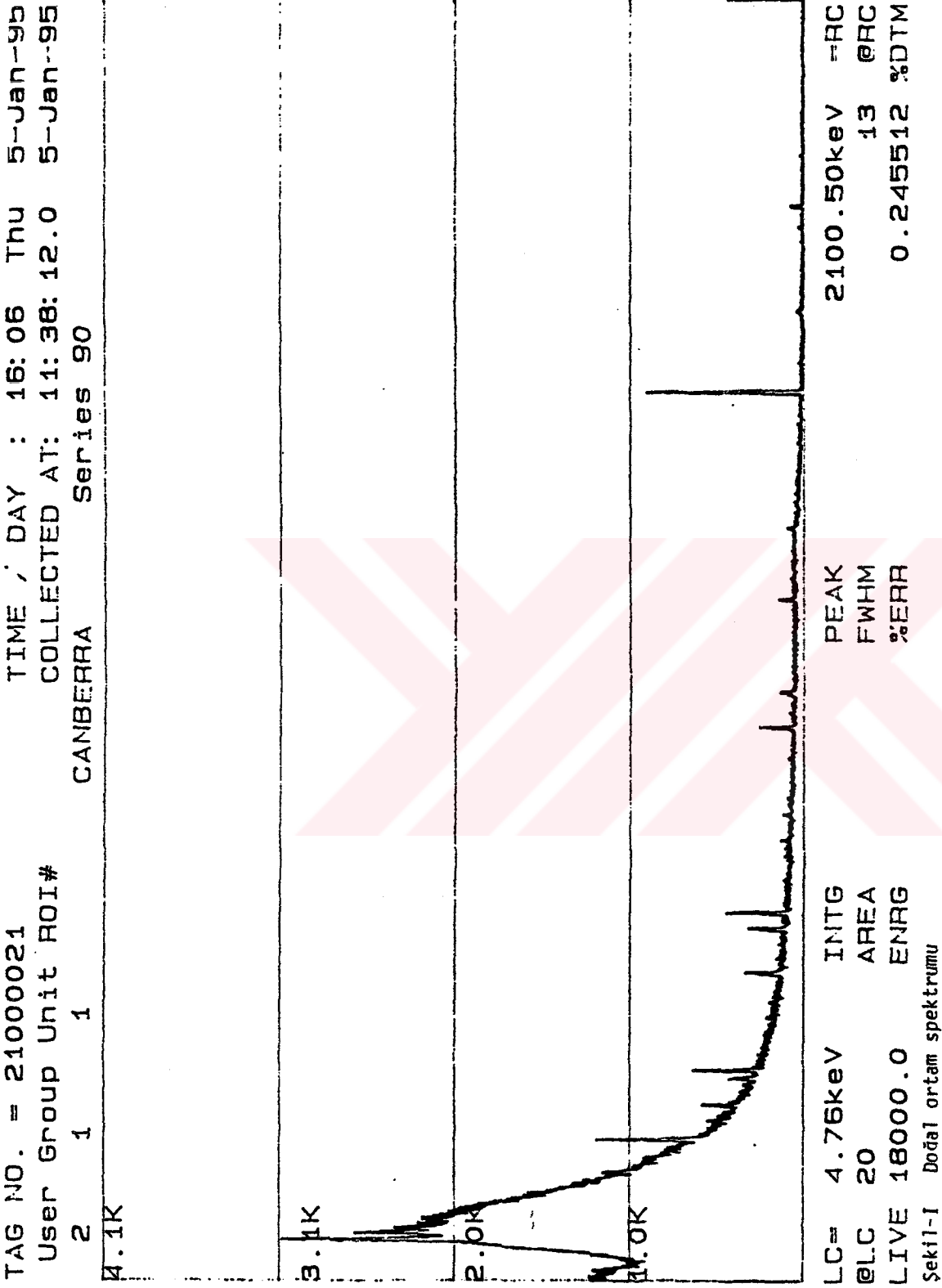
Denevin Yapılışı: ORTEG HpGe yarı iletken dedektör ve Canberra 90 çok kanallı analizör ile yaklaşık 30 gram'lık her bir örnek ve doğal ortam için dedektöre 12 cm uzaklıktan 5 saatlik sayımlar yapılmıştır. Bu sayım sonucu gözlenen doğal ortam piklerinden elde edilen sayımlar tablo 4.2'de verilmiştir. Doğal ortam ve örneklerdeki sayımlar karşılaştırılarak örneklerdeki radyoaktivitenin doğal ortamın radyoaktivitesine oranı belirlenebilir. Şekil 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9'da ise sayım sonucunda elde edilen doğal ortam ve örneklerin spektrumları görülmektedir.

Radyoaktivite düzeyini belirlemek için diğer bir yol olarak Eberline el monitörü ile doğal ortam ve yaklaşık 30 gr'lık örnekler için alınan sonuçlar $\mu\text{R/h}$ olarak tablo 4.3-de verilmiştir.

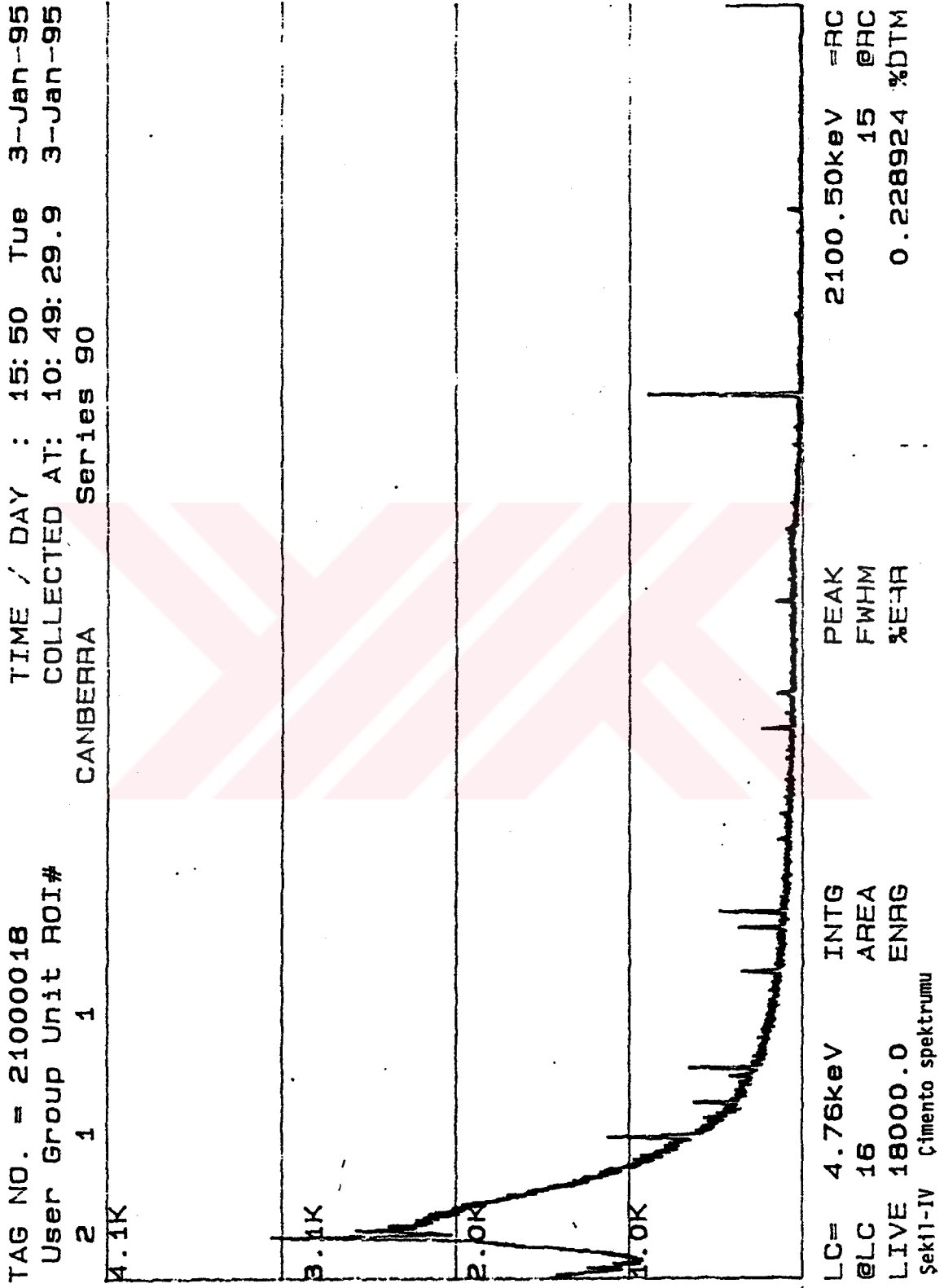
Tablo 4.2. ^{238}U ve ^{232}Th 'nin Bozunma Ürünlerinin ve ^{40}K 'nin Gözlenen Piklerinde Bulunan Sayım Değerleri

TABLO - I ^{238}U VE ^{232}Th 'NİN BOZUNMA ÜRÜNLERİNİN VE ^{40}K 'İN GÖZLENEN PİKLERİNDE BULUNAN SAYIM DEĞERLERİ

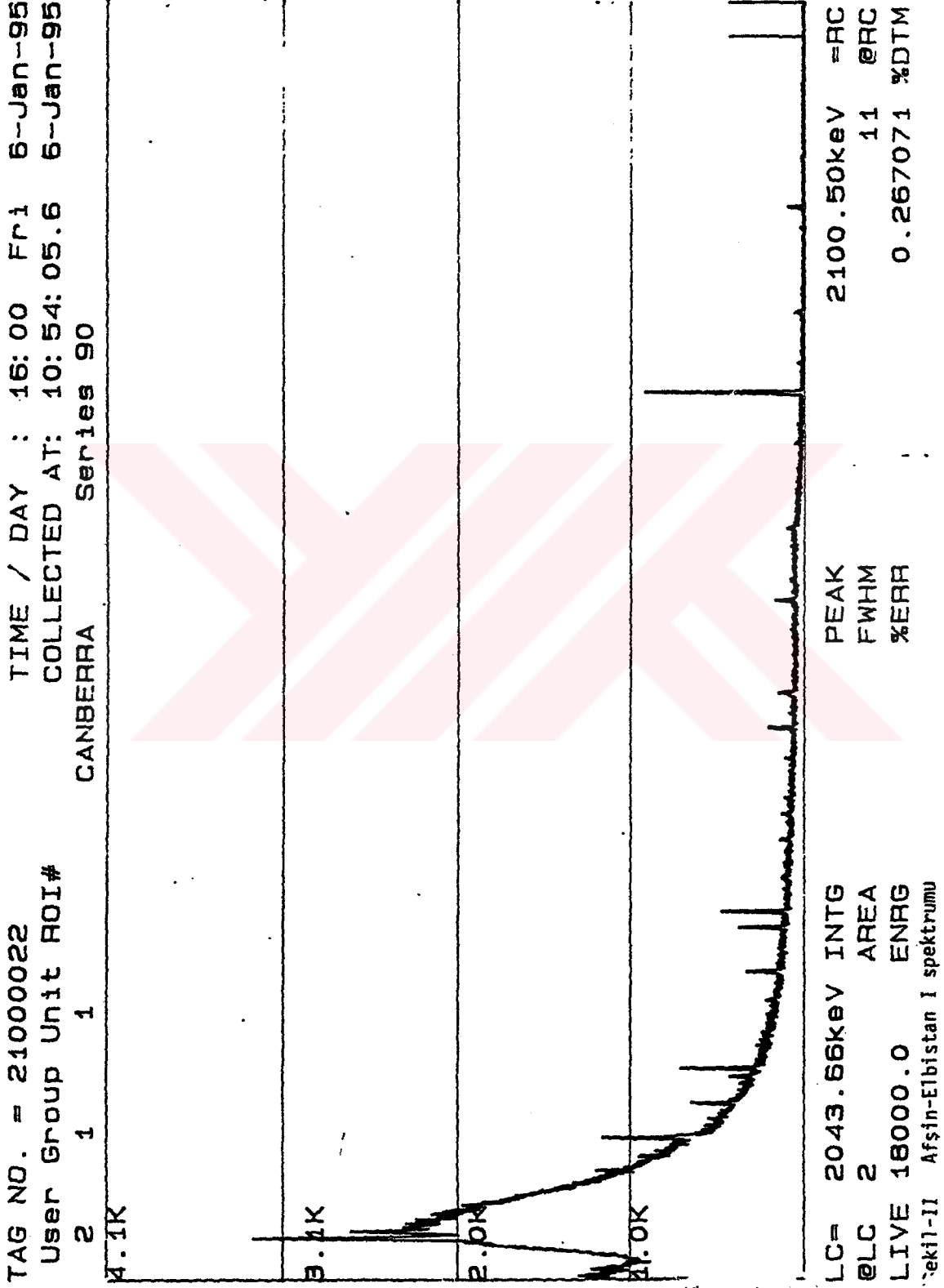
^{238}U ^{214}Pb (352 keV) ^{214}Bi (1120 keV) (609 keV) ^{212}Pb (239 keV) ^{212}Th (511 keV) (583 keV) ^{40}K (1461 keV) TOPLAM SAYIM					
Doğal Ortam	Afşin Elbistan I	Afşin Elbistan II	Çimento	Orhaneli	Yatağan
1945 ± 44	2377	2184	2140	2791	2446
1974 ± 44	2217	2052	2218	2484	2318
421 ± 20	537	369	373	378	520
427 ± 21	446	254	430	410	367
2477 ± 49	2556	2951	2471	4049	2543
820 ± 28	1073	1063	1242	459	1357
976 ± 31	1116	1293	1117	1053	1275
5972 ± 77	6026	5817	5998	6180	6295
947234±973	953942	952533	1183059	967653	1214265



Şekil 4.4. Doğal Ortam Spektrumu

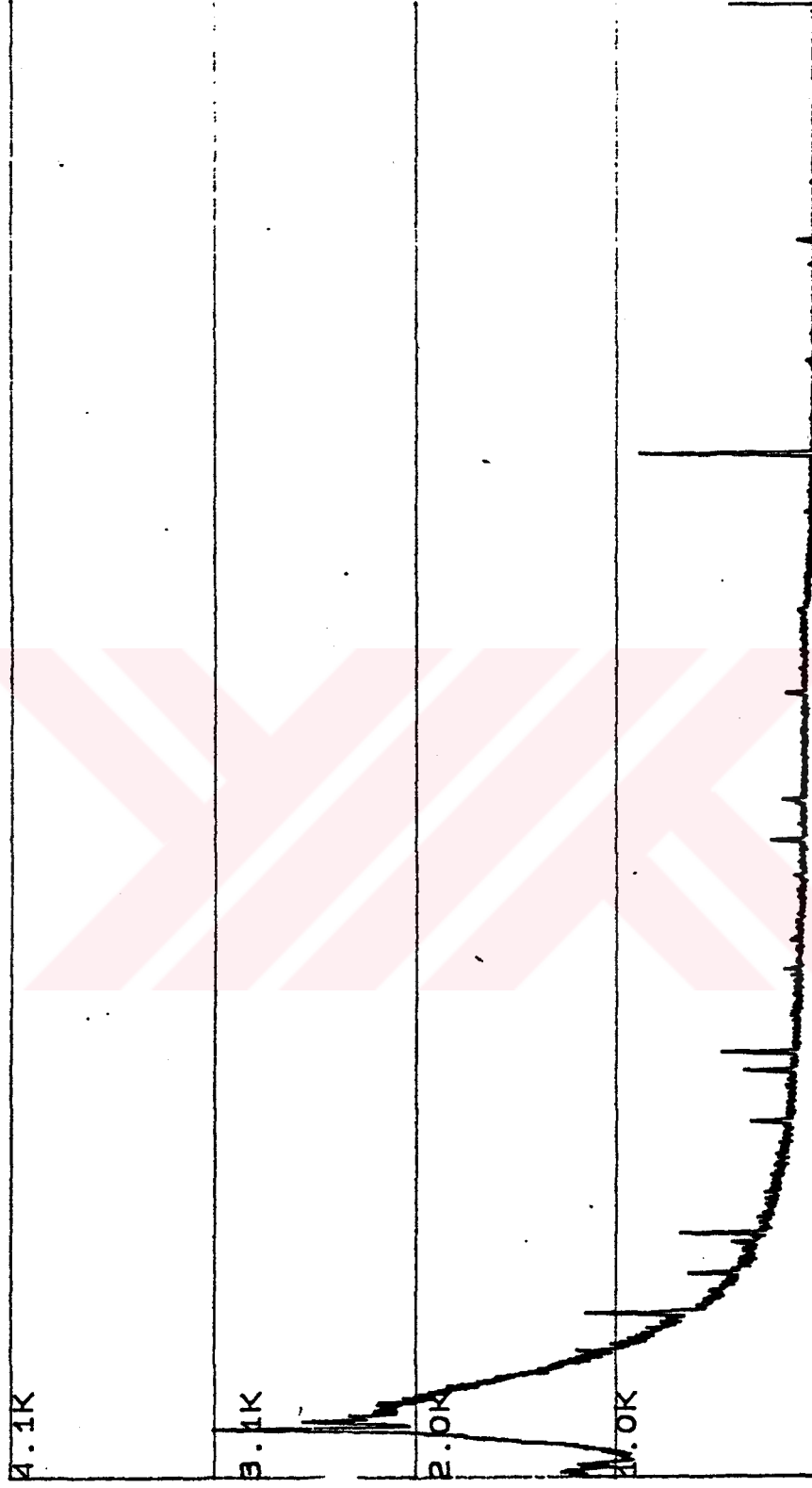


Şekil 4.5. Çimento Spektrumu



Şekil 4.6. Afşin-Elbistan I Spektrumu

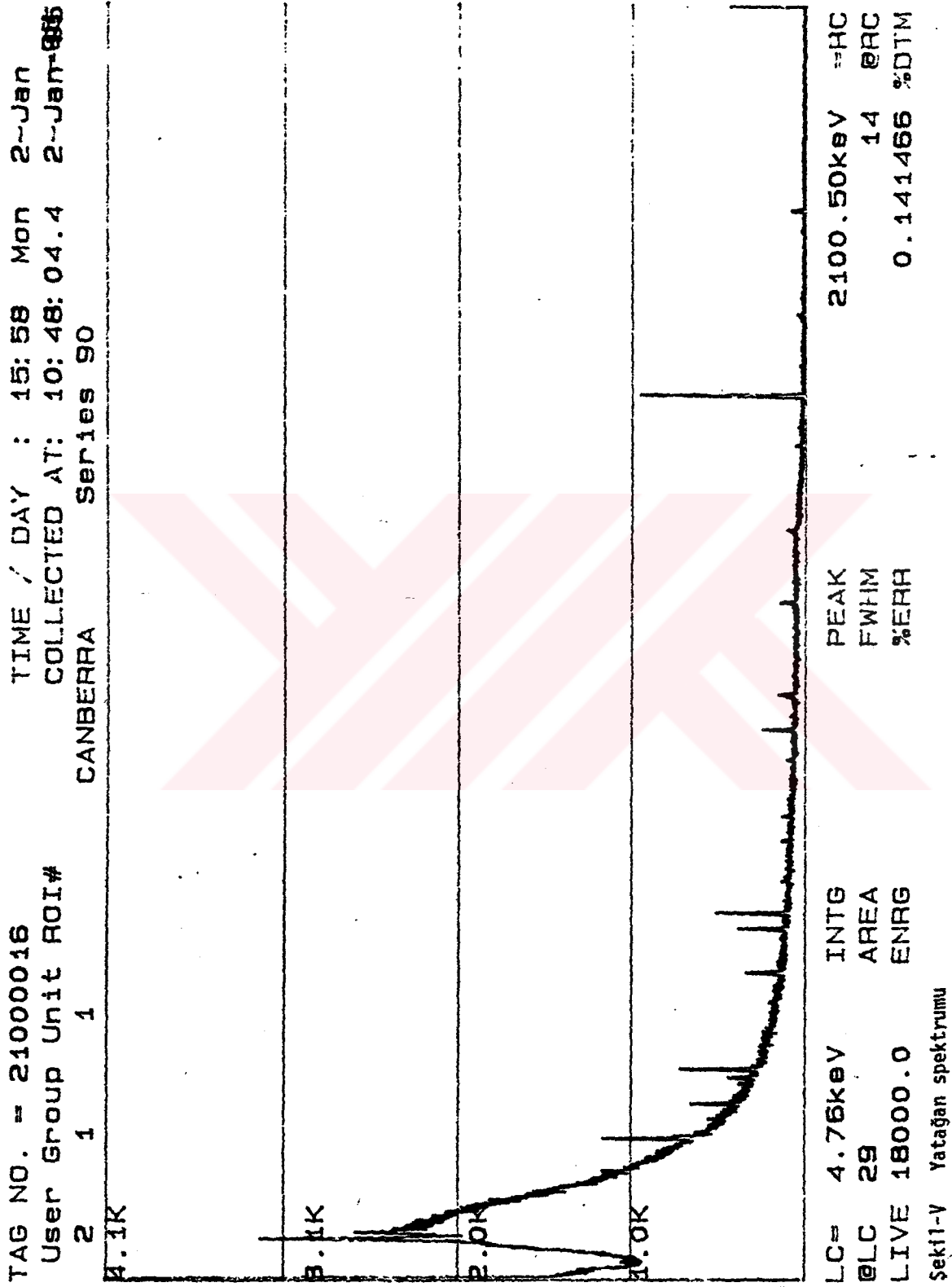
TAG NO. = 210000023
 User Group Unit ROI#
 2 1 1
 TIME / DAY : 15:38 Mon 9-Jan-95
 COLLECTED AT: 10:30:17.5 9-Jan-95
 CANBERRA Series 90



LC= 4.76keV	INTG	2100.50keV	=RC
@LC 13	AREA	9	@RC
LIVE 18000.0	ENRG	0.274795	%DTM

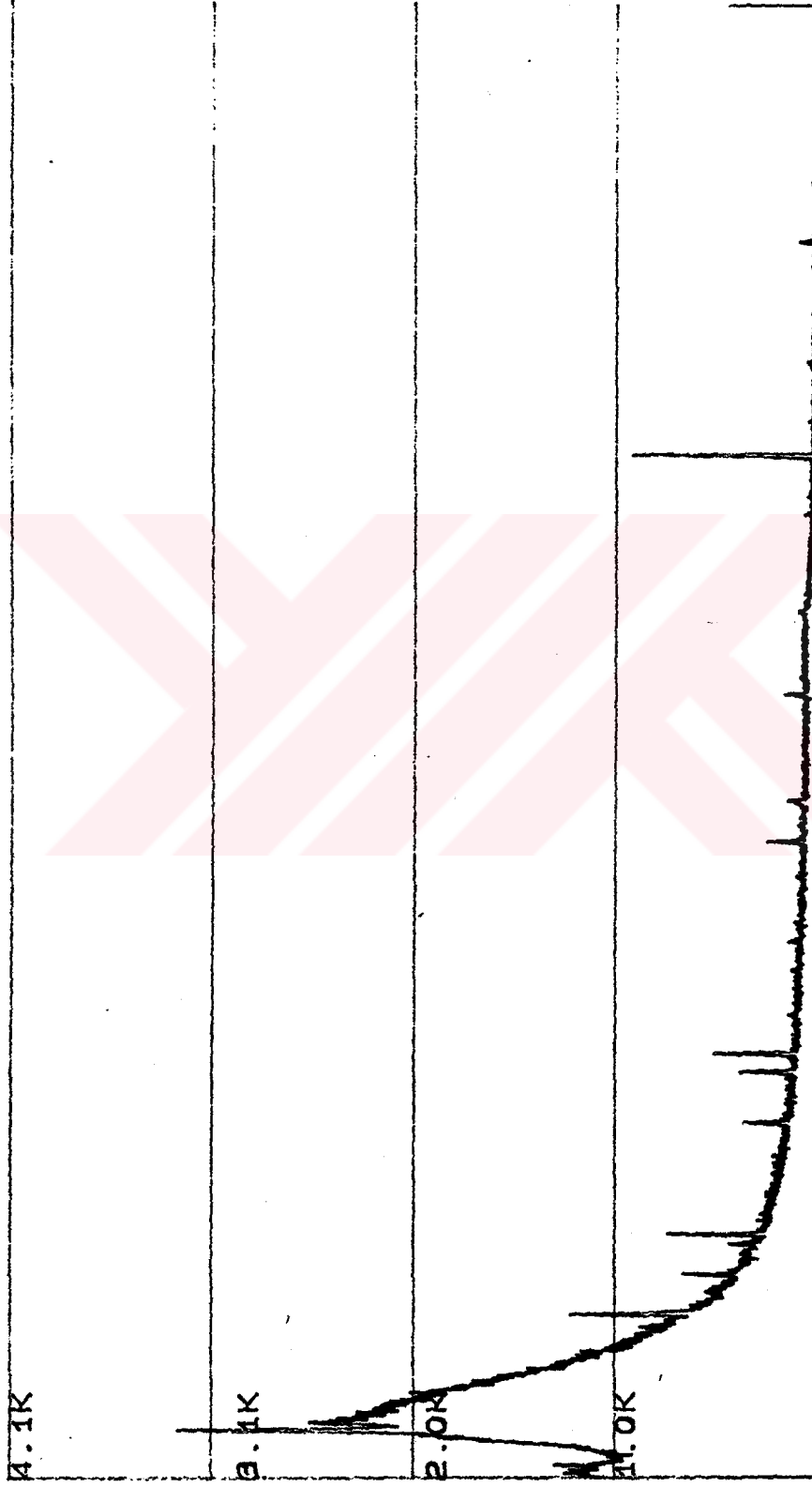
Sekil-VI Afşin-Elbistan II spektrumu

Şekil 4.7. Afşin-Elbistan II Spektrumu



Şekil 4.8. Yatağan Spektrumu

TAG NO. = 21000019
User Group Unit ROI#
2 1 1
CANNERRA Series 90
TIME / DAY : 15:43 Wed 4-Jan-95
COLLECTED AT: 10:39:57.6 4-Jan-95



LC=	4.76keV	INTG	2100.50keV	--RC
@LC	12	AREA	19	@RC
LIVE	18000.0	ENRG	0.245512	%DTM

Şekil 4.9. Orhanelli spektrumu

Şekil 4.9. Orhanelli Spektrumu

Tablo 4.3. Örneklerde ve Doğal Ortamda Gözlenen
Radyoaktivite Düzeyi $\mu\text{R/h}$

	Doğal ortam	Afşin Elb.I	Afşin Elb.II	Çimento	Orhaneli	Yatağan
Yüzeyden	15.3	18.5	19	18.5	15.8	15.8
10 cm uzaklıktan		14.8	13	7.5	12.5	11

4.2. Uçucu Küllerin İyileştirilmesi

4.2.1. Fransa'da Yapılan Deneyler

Bölüm 2.2.2.'de belittığımız gibi Cerchar firmasına 20 kg numune iyileştirme işlemi uygulanmak üzere gönderilmiştir. İyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş (ham) Afşin-Elbistan küllerinin granülometrik analiz ve kimyasal analiz sonuçları aşağıda verilmiştir. (Deney raporları için bkz. EkB)

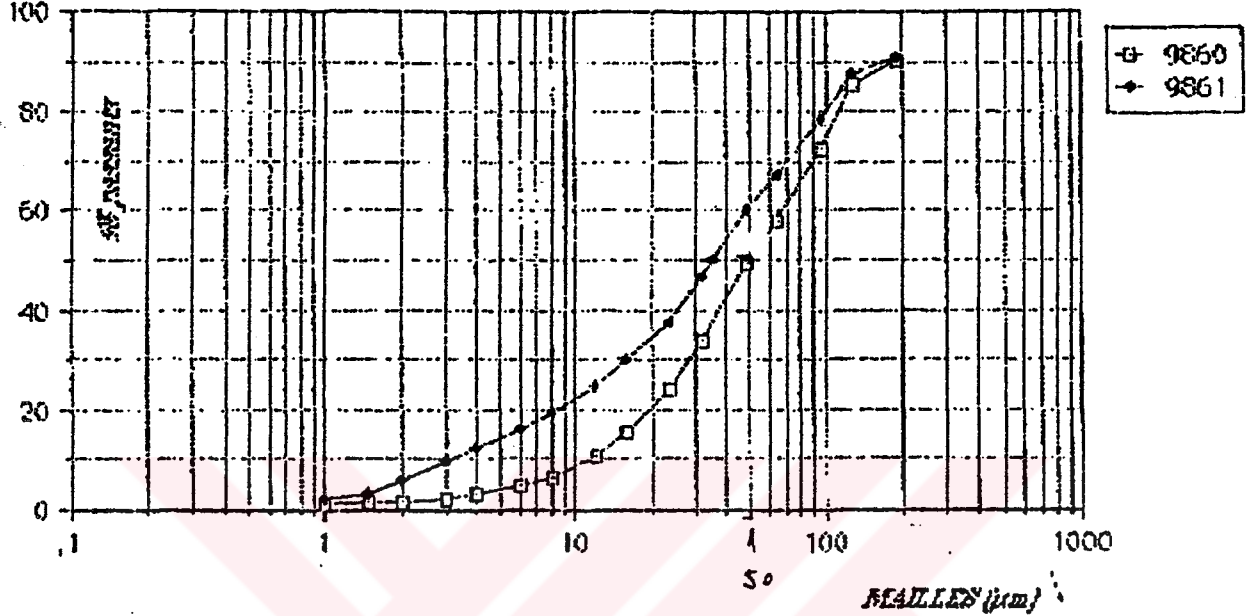
Tablo 4.4. Cerchar'dan Gelen Sonuçlar

	Serbest kireç %	Salt kükürt %	SO ₃ %	Medyan Çap μm	200 no elek üst. %
Ham Afşin-Elb. külü	14.5	3.79	9.48	48.5	9.9
İyileştirilmiş Afşin-Elb. külü	3.4	3.6	-	35.9	9.4

İyileştirilmiş (9861) ve ham (9860) Afşin-Elbistan külü granülometri analizi mukayesesi isopropanol içinde lazer yöntemi ile elde edilen granülometri analizlerine dayanır.

Granulométrie Laser dans l' isopropanol.

Cendres Turques brutes et éteintes (02/93).



Diamètre moyen: 9860 = 48,5 µm

9861 = 35,9 µm

Supérieurs à 200 µm = 9860 = 9,9 %

9861 = 9,4 %

Şekil 4.10. Ham ve İyileştirilmiş Afşin-Elbistan Küllerinin Granülometri Analizleri Kıyaslaması

İyileştirilmiş Afşin-Elbistan ile iyileştirilmemiş Afşin-Elbistan numunelerinde Ca^{+2} varlığının incelenmesi:

İTÜ Kimya Met. Fak. Kimya Mühendisliği Bölümünde ASTM-D 2795-86 nolu standarda göre kalsiyum analizi yapılmıştır. (Aslında amaç Cerchar'dan gelen sonuçlardaki serbest kireç oranını saptamaktır.)

Sonuçlar:

Ham Afşin-Elbistan küllerinde %15.03 Ca^{+2}

İyileştirilmiş Afşin-Elbistan küllerinde %10.02 Ca^{+2}

Aynı işlem İTÜ İnşaat Fak. Çevre Mühendisliği Bölümünde atomik adsorbsiyon yöntemine eşdeğer olan flame fotometresi yöntemiyle yapılmıştır. Bunun sonuçları:

Ham Afşin-Elbistan küllerinde Ca^{+2} 167.2 gr/kg (kuru ağırlık) %16.72

İyileştirilmiş Afşin-Elbistan küllerinde Ca^{+2} 55 gr/kg (kuru ağırlık) %5.5 bulunmuştur.

4.2.2. Fransa'da Uygulanan İşlemin Kontrolü

Düşük kireçli uçucu kül kullanımında bilgi birikimi ve deneyim yüksek kireçli uçucu küllere göre çok daha fazladır. Ancak yüksek kireçli uçucu külün puzolanik reaktivitesiyle beraber sahip olduğu zayıf hidrolik bağlayıcılığı ve büyük miktarlardaki üretim potansiyeli bu küllerin avantajıdır. Ülkemiz küllerinin çok büyük kısmı yüksek kireçlidir. Bu yüksek kireç içinde serbest kireç miktarının fazlalığı birtakım problemleri beraberinde getirmektedir. Suyula reaksiyona girerek genleşmesi, çözülmesi gibi.

Daha önce Bölüm 2.2.2.'de belirttiği gibi çeşitli yöntemlerle küllerin olumsuzluklarını gidermek mümkün olabilmektedir.

%47 CaO içeren Afsin-Elbistan küllerinin % 18.6'sı serbest CaO'tir [10]. Bu külün özellikle bölgedeki barajların inşaatında kullanılma potansiyeli düşünülürse serbest kireci elimine etmenin değeri çok daha iyi anlaşılacaktır. Bu doğrultuda bir Fransız firması (Cerchar) ile Afşin-Elbistan küllerinde iyileştirme prosesinin uygulanması için işbirliği yapılmıştır.

4.2.2.1. Afşin-Elbistan Sülfokalsik Uçucu Küllerinin İyileştirilmesi

Deney

Amaç : İşlem görmüş ve görmemiş küllerle üretilen eğilme ve basınç betonlarının kıyaslanarak iyileştirmenin sağladığı yarar gözlenmek istenmiştir.

Konu : İyileştirilmiş ve ham Afşin-Elbistan külü içeren beton numuneler üretilerek basınç ve eğilme mukavemetlerinin elde edilmesi.

Malzemeler:

Uçucu kül: İyileştirilmiş uçucu kül 1993 Temmuz'unda Fransa'ya gönderilen 20 kg. mununeden alınmıştır. İyileştirilmemiş uçucu kül laboratuarda önceden varolan ve kullanılan [12] Afşin-Elbistan külleridir (Bu küller uzun zamandır laboratuarlarda ağzı kapalı büyük varillerde saklanmaktadır. İyileştirilmiş kül ağzı kapalı plastik bir bidonda saklanmıştır)

İri agrega: Set Taş firması Kartal Taşocagından temin edilen 1 nolu (5-12 mm.) mıcır

Tablo: 4.5. Granülometrik Analizler

	Elekten geçen malzeme yüzdesi						
	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Elek göz boyutu	16	8	4	2	1	0.5	0.25
I no'lu mıcır	100	59	7	0	0	0	0
Kum	100	97	94	86	83	75	13
Mıcır %70	70	41.3	4.9	0	0	0	0
Kum %30	30	29.1	28.2	25.8	24.9	22.5	3.9
Karışım	100	70.4	33.1	25.8	24.9	22.5	3.9

İnce agrega: Laboratuvardaki deniz kumu

Çimento: Akçimento PÇ325

Akışkanlaştırıcı: Sıkament FF ASTM C494 Tip F süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi.

Deneyin Yapılışı:

. 300 dozlu bağlayıcı içeren mikro beton (max. agrega dane boyu= 12.0 mm), 7x7x28'lik kalıplarda üretilerek su içinde ve nemli ortamda saklanmıştır. Deney ve şahit grubu üretimlerinde yalnız külün etkisi gözlenmek istendiği için diğer parametrelerin etkisinin en aza indirilmesi gerekliliğinden:

. Su/bağlayıcı oranı katkı maddesi gerekse dahi sabit tutulmuştur.

. En önemli kül ikamesinin % 70 kül içeren üretimde olacağı düşünülmüş ve katkı miktarı için kıvam tesbitinin bu üretimde yapılması düşünülmüştür. Bağlayıcı ağırlığının % 1'i kadar süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Kıvam tesbitinin sarsma tablasında Ve-Be aletinden daha anlamlı olacağı düşünülmüştür. 15 defa sarsma sonucu yayılma ölçülmüştür. Karışım hesapları ve deneme karışımları yapılarak 1 m³ betona girecek gerçek miktarlar tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo: 4.6. 1 m³ Betonda Bulunan Gerçek Miktarlar

Bağlayıcı (Çimento+kül)	300 kg/m ³
Su	225 kg/m ³
Mıcır (ktI)	1067 kg/m ³
Kum	702 kg/m ³
Akışkanlaştırıcı *	3 kg/m ³

Üretim Grupları:

- I : %100 çimento + %0 kül (*)
II : %70 çimento + %30 kül (*)
III : %50 çimento + %50 kül (*)
IV : %30 çimento + %70 kül (*)
A : iyileştirilmemiş Afşin-Elbistan külü
C : iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külü

Her grup için 28. ve 90. gün mukavemetleri ile su içinde ve nemli ortamda saklanma koşulları istendiğinden 12 adet 7x7x28 cm prizma üretimi yapılmıştır.

Tablo 4.7. Taze Betonda Gözlenen İşlenebilirlik

Üretim Grubu	Kohezyon	Segregasyon	Kıvam * [yayılma (cm)]
I	Zayıf	yüksek	> 45 aşırı akıcı
II-A	orta	orta	41 akıcı
II-C	orta	orta	- akıcı
III-A	iyi	yok	36-plastik
III-C	iyi	yok	38-plastik
IV-A	iyi	yok	31-plastik
IV-C	iyi	yok	36 akıcı plastik

* Büyük kesik koni h=12 cm, R1=16 cm, R=25 cm

Numunelerin Saklanması:

Numuneler 24 saat sonra kalıplarından çıkarıldı. Birkaç gün üretim yerinde tutulduktan sonra saklama odalarına yer-

leştirildiler. Mevsim koşullarının etkisiyle hava oldukça sıcaktı. Nem odasında bağıl nem bazı günler %55 düşmüştür. Su içinde saklanan numuneler özel bir bölmede kireç katılmamış suda bekletilmiştir.

Gözlem: Normalin üzerinde bir kireç çıkışı görülmüştür. Su içinde numunelerin üst yüzeyi beyaz bir tabaka ile örtülmüştür. Yakından incelenince bu kireç çıkışının ham Afşin-Elbistan külü içeren numunelerde yüzeyde ağ şeklinde damarlar (çok küçük çatlak) çevresinde yoğunlaştığı gözle fark edilmiştir. Ancak hiç bir numunede herhangi bir bozulma, belirgin çatlak kapak atması kesinlikle gözlenmemiştir. Numuneler kırılmadan 1 gün önce havuzdan çıkarılmıştır.

Sonuçlar:

Ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külü içeren, su içinde ve nemli ortamda saklanan numunelerin 28.ve 90.gün eğilme ve basınç mukavemet değerleri tablo ve şekiller halinde aşağıda gösterilmiştir.

Tablo 4.8. 28.Gün Mukavemet Değerleri

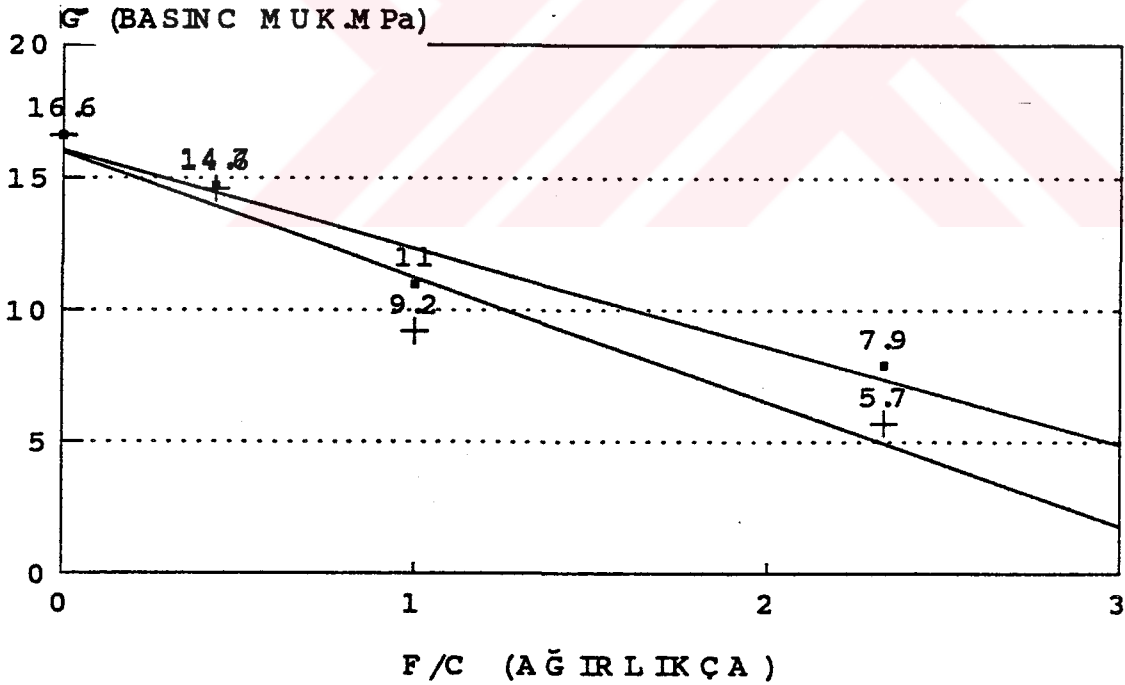
Uçucu Kül (%)	Çimento (%)	Uçucu kül/Çimento	Eğilme Mukavemeti (MPa)					
			Su içinde saklananlar			Nemli ortamda saklananlar		
			Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu külü	Ham - uçucu külü	Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu külü	Ham uçucu külü
0	100	0	4.9			3.9		
30	70	0.43		4.8	4.1		2.7	3.1
50	50	1.00		3.3	4.1		1.9	2.8
70	30	2.33		1.2	2.8		1	1.9

Uçucu Kül (%)	Çimento (%)	Uçucu kül/Çimento	Basınç Gerilmesi (MPa)					
			Su içinde saklananlar			Nemli ortamda saklananlar		
			Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu külü	Ham uçucu külü	Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu külü	Ham uçucu külü
0	100	0	30.6			16.6		
30	70	0.43		26.7	25		14.6	14.7
50	50	1.00		18.9	22.3		9.2	11
70	30	2.33		11.3	16.3		5.7	7.9

Tablo 4.9. 90. Gün Mukavemet Değerleri

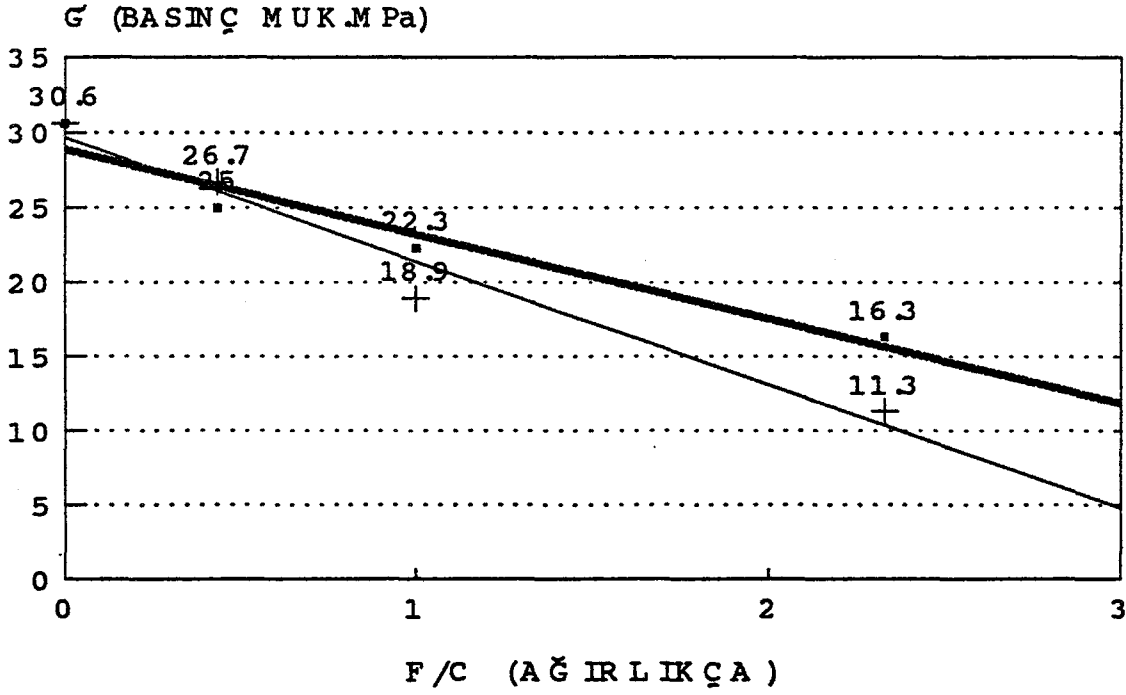
Uçucu Kül (%)	Çimento (%)	Uçucu kül/Çimento	Eğilme Mukavemeti (MPa)					
			Su içinde saklananlar			Nemli ortamda saklananlar		
			Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu küllü	Ham uçucu küllü	Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu küllü	Ham uçucu küllü
0	100	0	6.1			3.4		
30	70	0.43		6.6	5.9		3.4	5.1
50	50	1.00		4.8	5		1.7	4.8
70	30	2.33		4.2	3.4		0.9	3.4

Uçucu Kül (%)	Çimento (%)	Uçucu kül/Çimento	Basınç Mukavemeti (MPa)					
			Su içinde saklananlar			Nemli ortamda saklananlar		
			Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu küllü	Ham uçucu küllü	Salt Çimento	İyileştirilmiş uçucu küllü	Ham uçucu küllü
0	100	0	34.2			22.7		
30	70	0.43		30.4	32.6		17.5	24.9
50	50	1.00		21.4	30.8		10.1	21.7
70	30	2.33		17.6	22.3		7.1	18.6



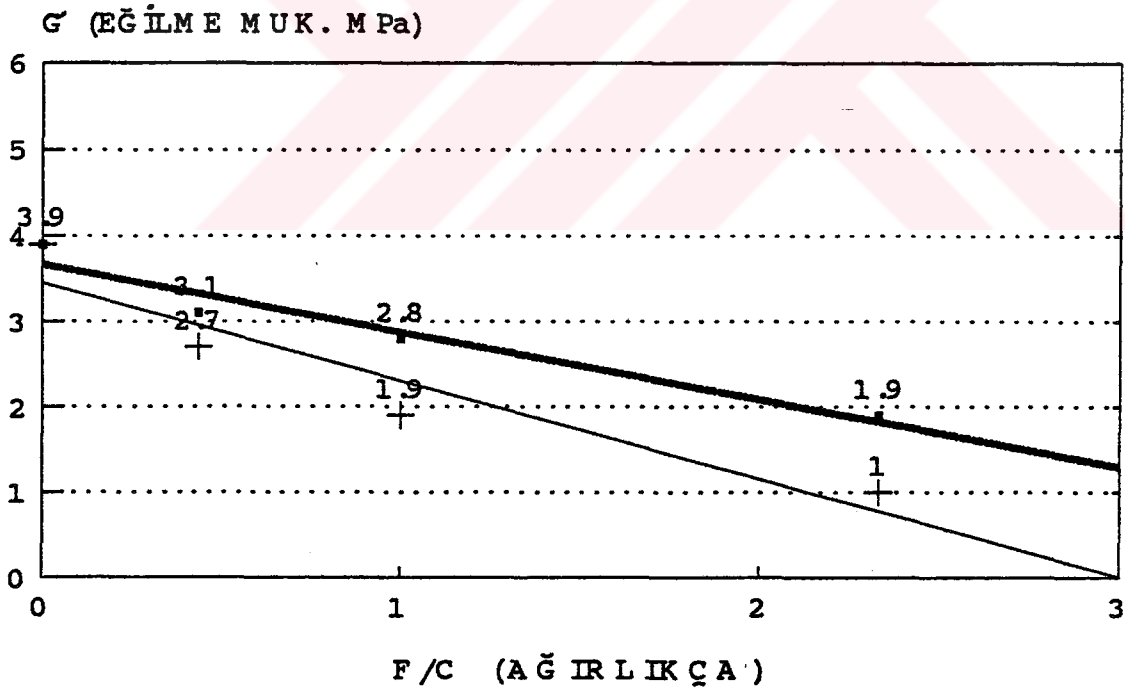
• ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.11. 28. gün ham ve iyileştirilmiş Aışın-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.- Nemli ortamda saklanan numuneler)



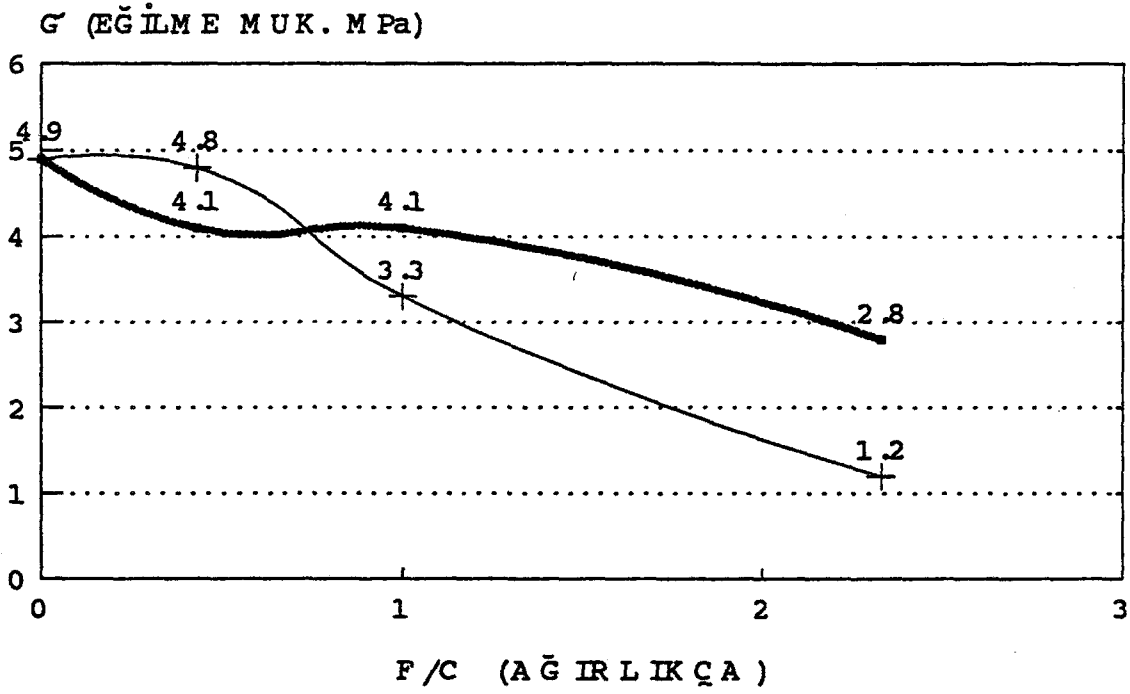
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.12. 28. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan köülleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.- Su içinde saklanan numuneler)



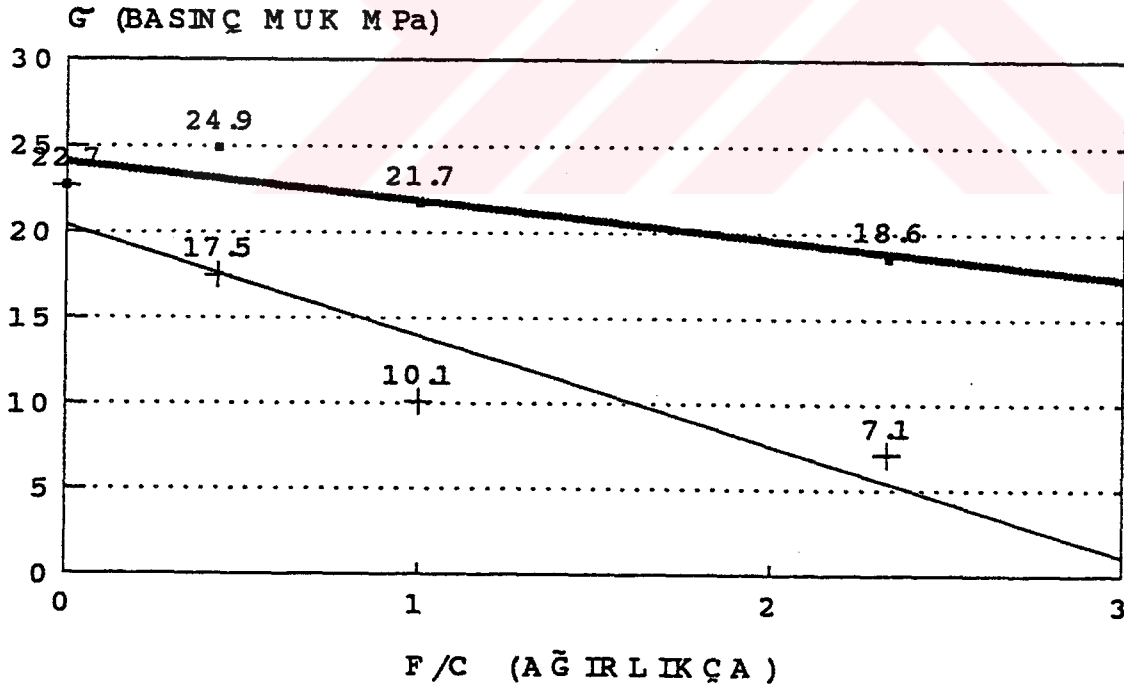
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.13. 28. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan köülleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Eğilme muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



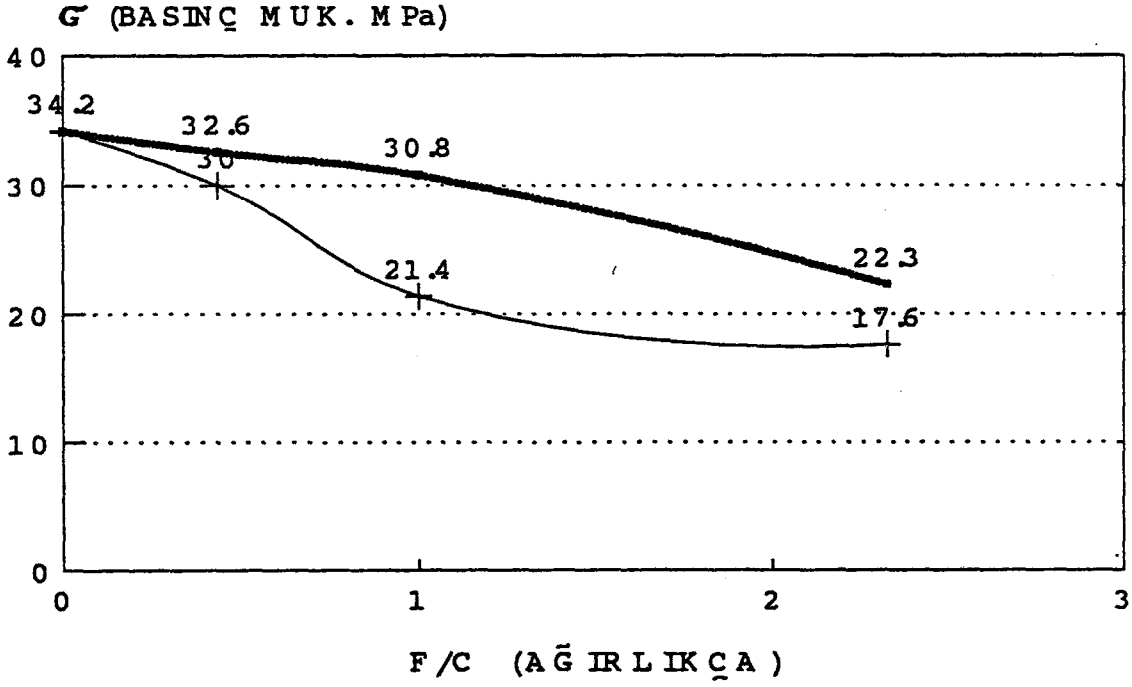
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.14. 28. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Eğilme muk.-Su içinde saklanan numuneler)



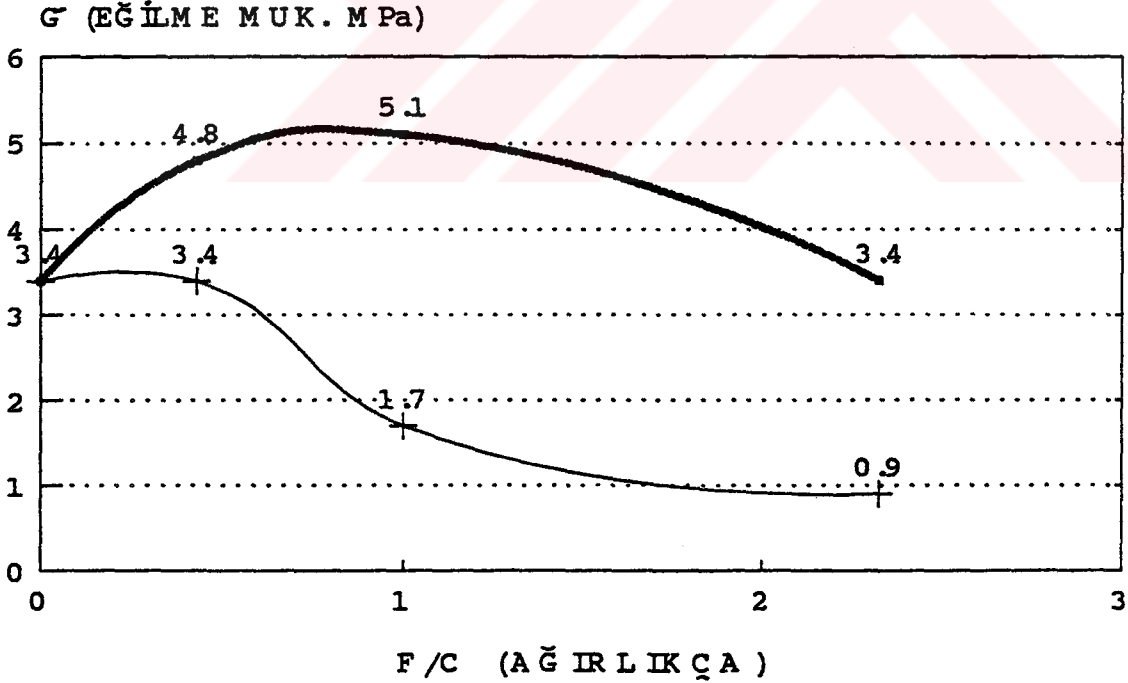
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.15. 90. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



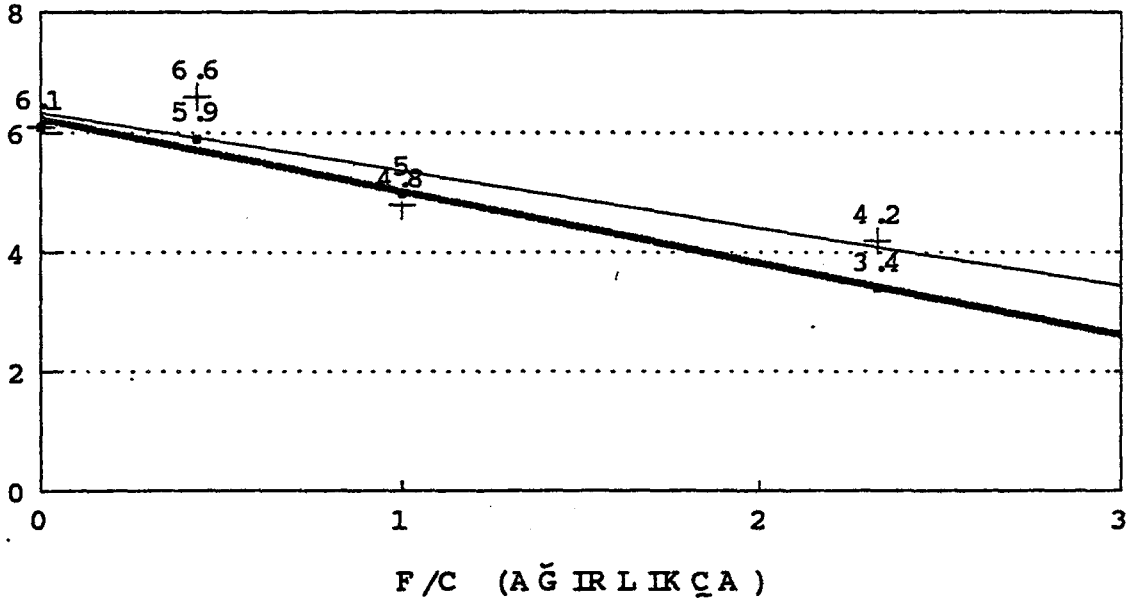
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.16. 90. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.-Su içinde saklanan numuneler)



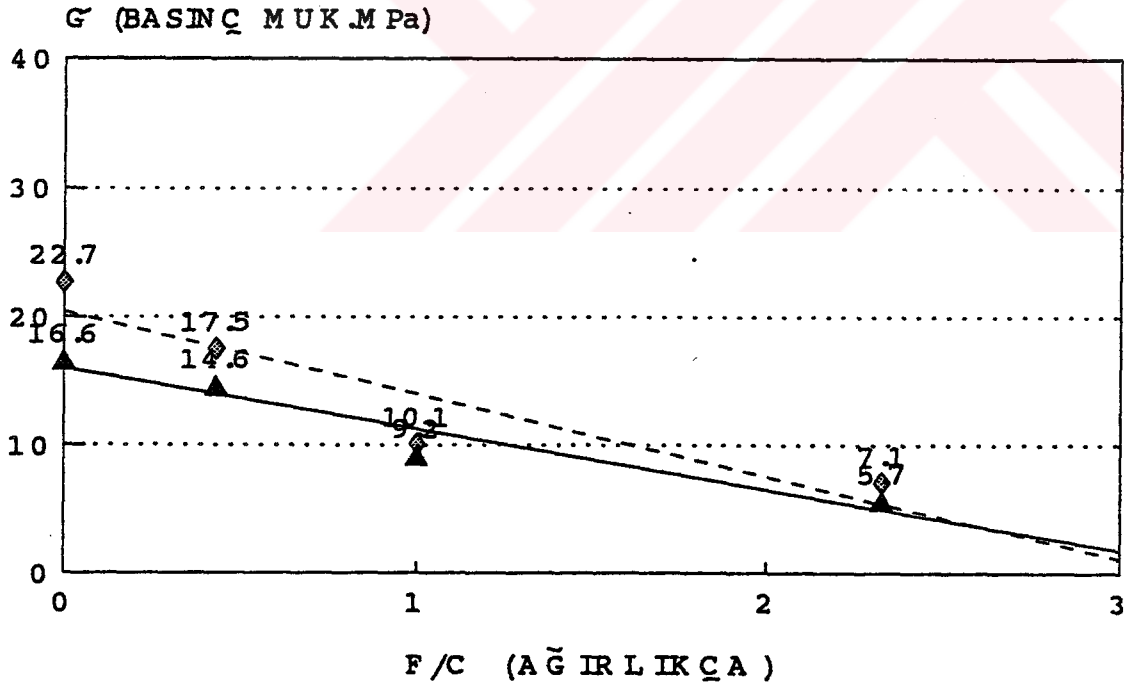
— ELBİSTAN + CERCHAR

Şekil 4.17. 90. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Eğilme muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



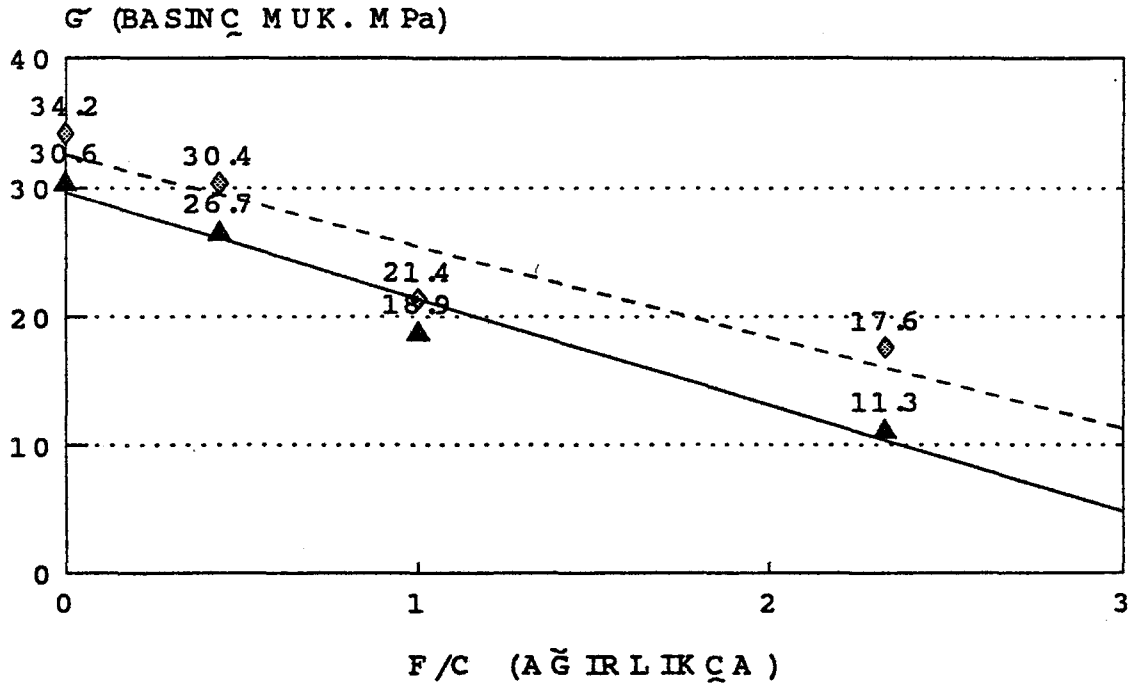
— ELBİSTAN — CERCHAR

Şekil 4.18. 90. gün ham ve iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Su içinde saklanan numuneler)



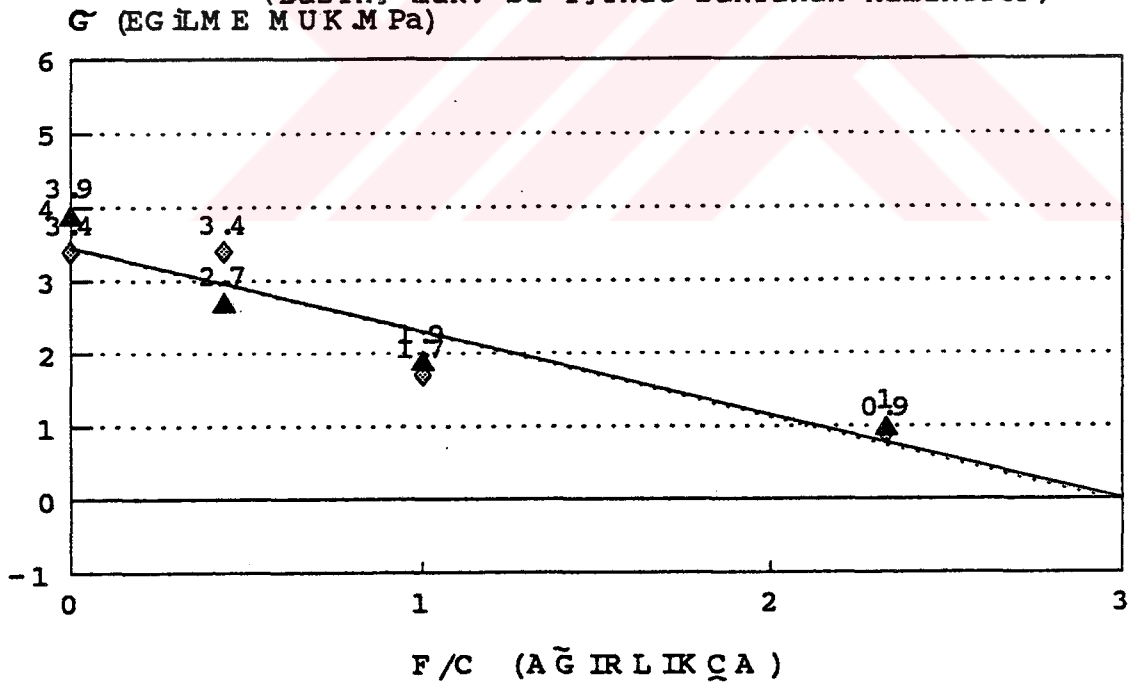
▲ 28.gün ◆ 90.gün

Şekil 4.19. 28.ve 90.gün iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



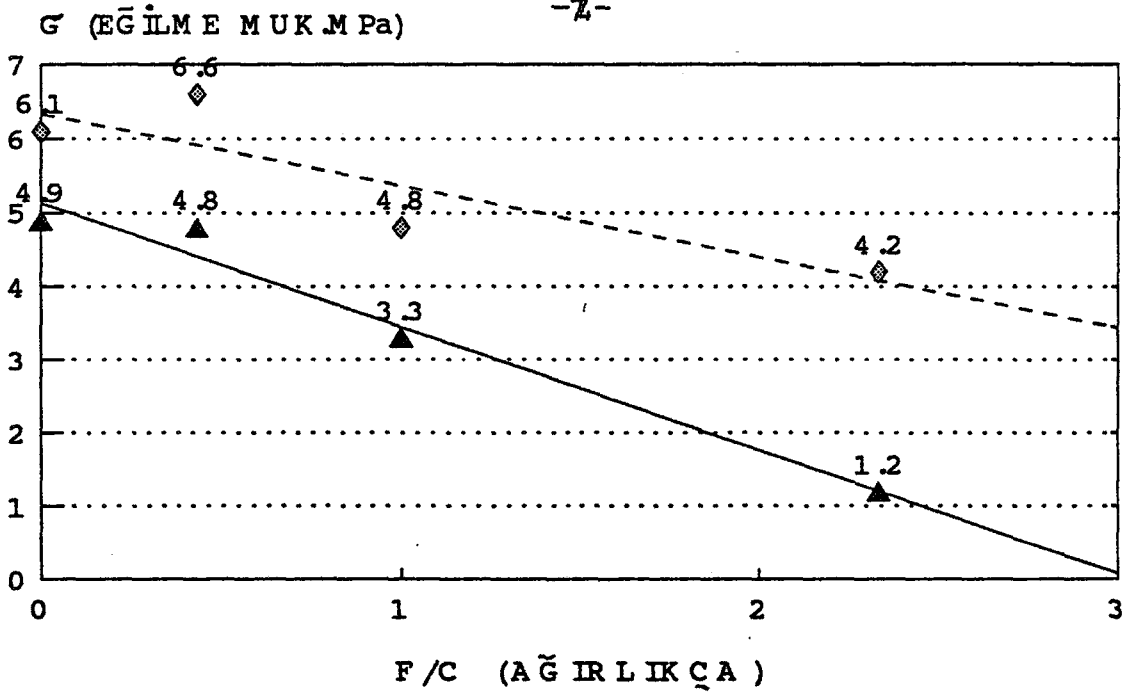
▲ 28.gün ◆ 90.gün

Şekil 4.20. 28.ve 90.gün iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması
(Basınç muk.-Su içinde saklanan numuneler)



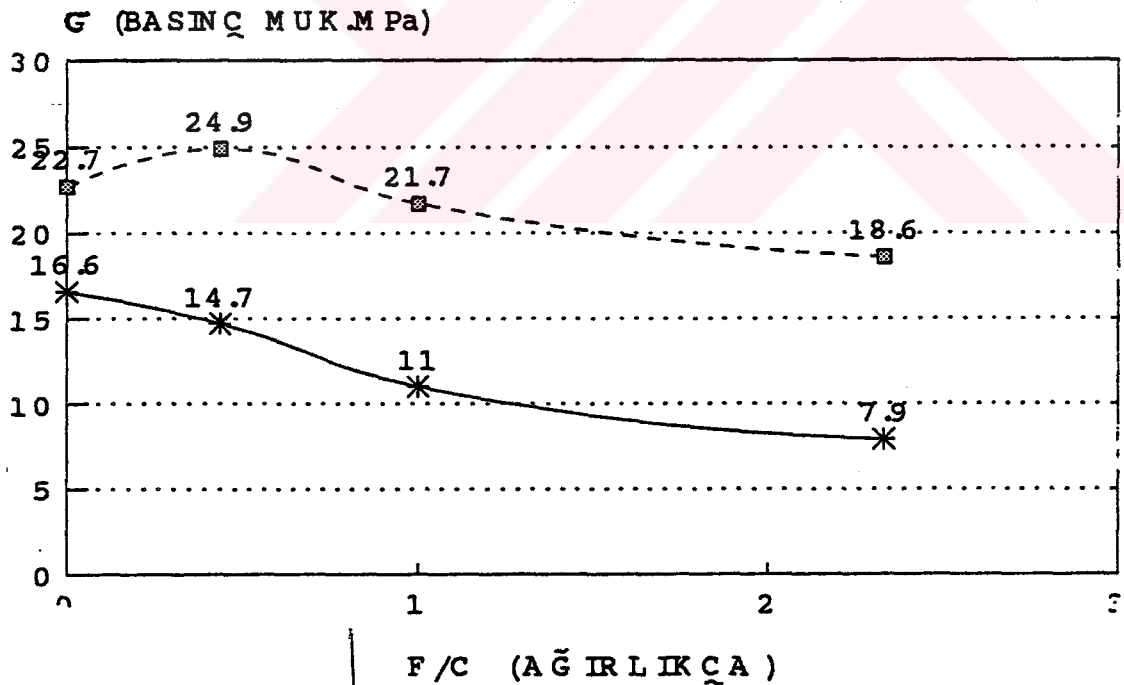
▲ 28.gün ◆ 90.gün

Şekil 4.21. 28.ve 90.gün iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması
(Eğilme muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



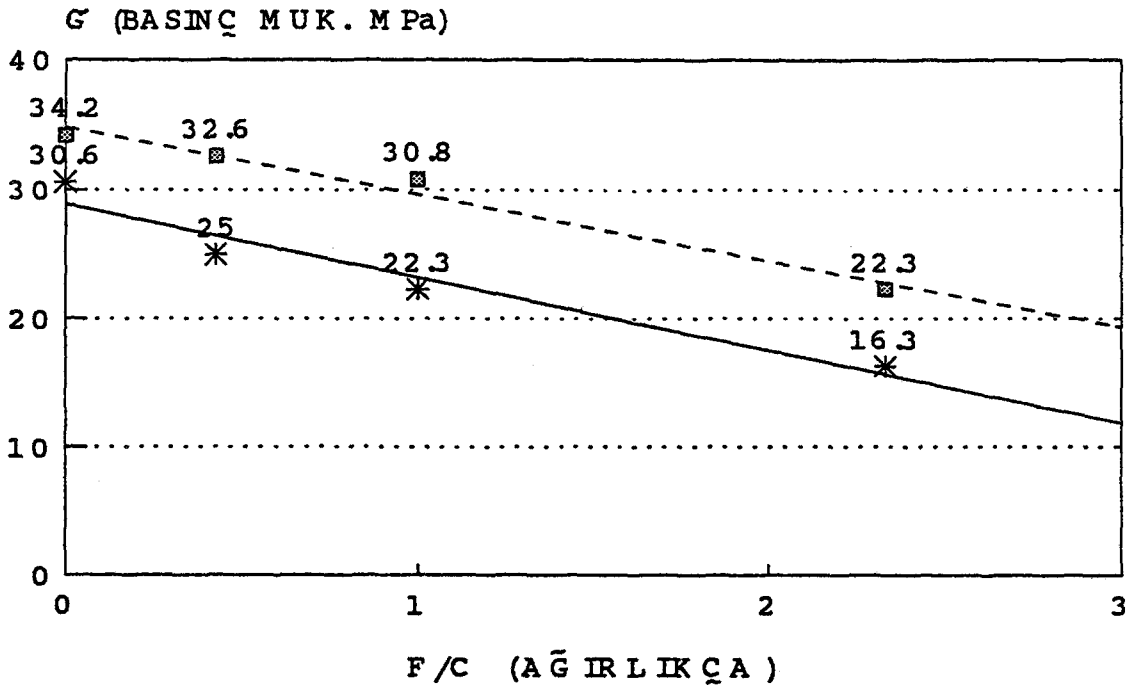
▲ 28.gun ◆ 90.gun

Şekil 4.22. 28.ve 90.gün iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Eğilme muk.-Su içinde saklanan numuneler)



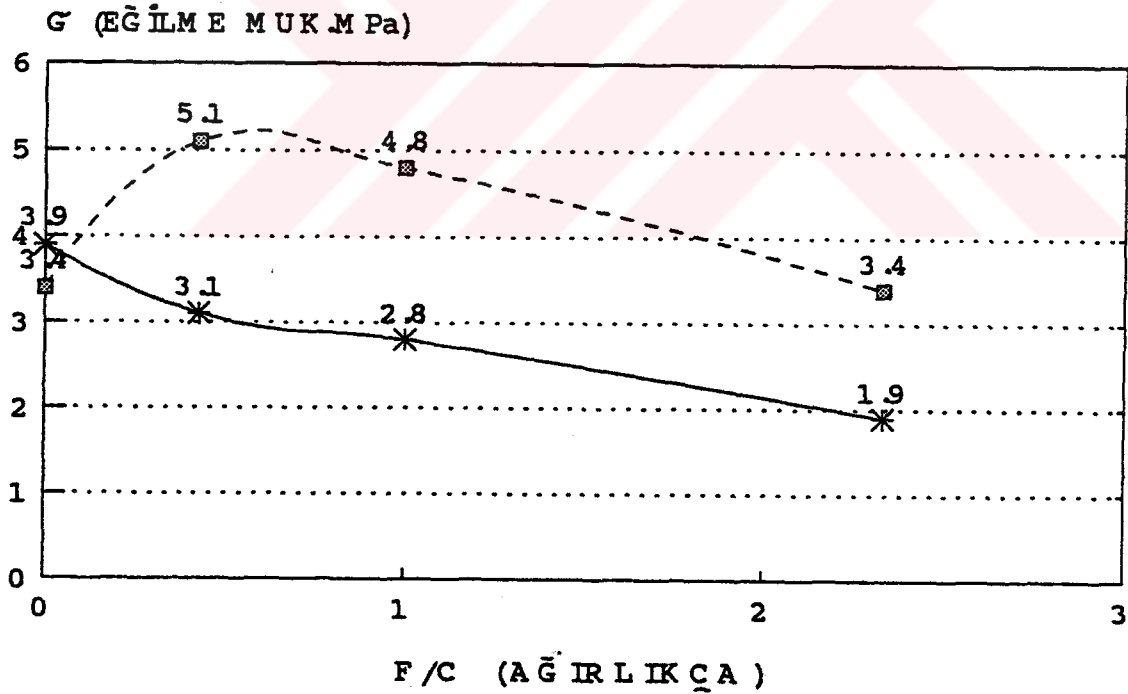
* 28.GÜN ■ 90.GÜN

Şekil 4.23. 28.ve 90.gün ham Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması (Basınç muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



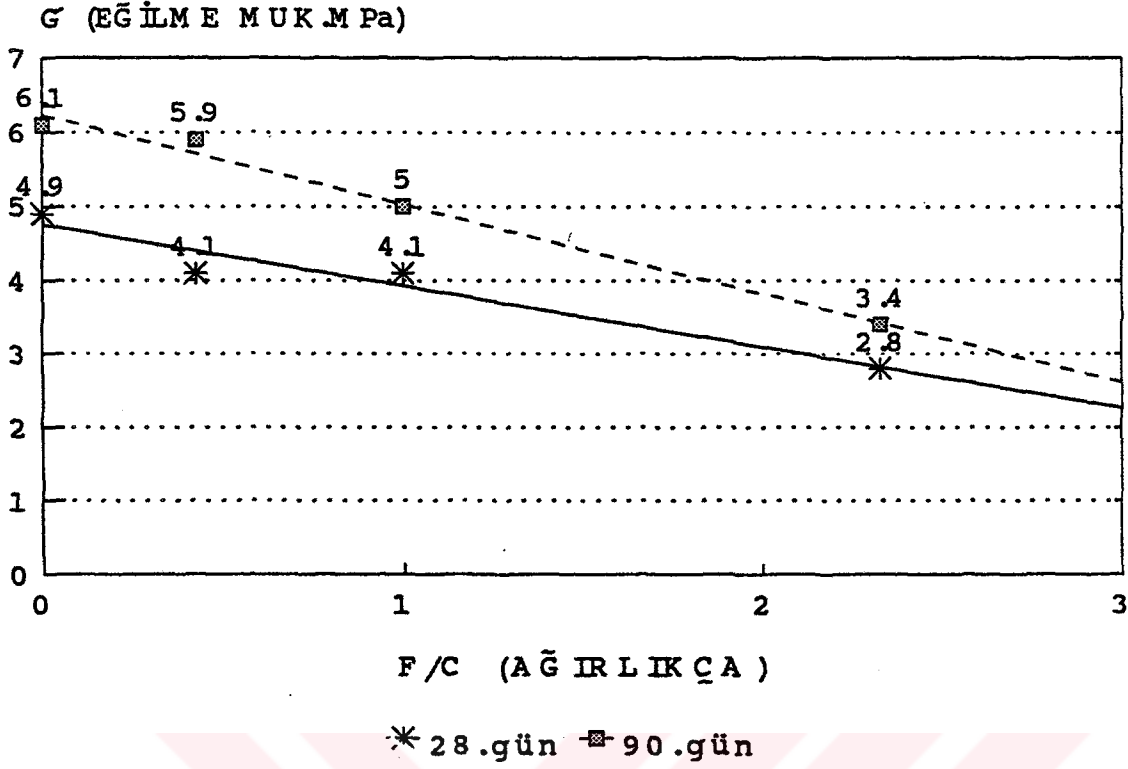
* 28.gün ■ 90.gün

Şekil 4.24. 28.ve 90.gün ham Afşin-Elbistan kölleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması
(Basınç muk.-Su içinde saklanan numuneler)



* 28.gün ■ 90.gün

Şekil 4.25. 28.ve 90.gün ham Afşin-Elbistan kölleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması
(Eğilme muk.-Nemli ortamda saklanan numuneler)



Şekil 4.26. 28.ve 90.gün ham Afşin-Elbistan külleriyle yapılan üretimin karşılaştırılması
(Eğilme muk.-Su içinde saklanan numuneler)

Üretim Tekrarı: %50 çimento + %50 kül içeren üretim grubu değişik küller için tekrar denendi.

Çünkü ham Afşin-Elbistan külleriyle daha önce yapılmış çalışmalarda su içinde saklanan numuneler hasara uğramıştır [12]. Biz bu durumla karşılaşmadık. Sonuçlardan emin olmak için üretim tekrarı yapılmıştır.

A1 :Bir önceki deneyde kullanılan Afşin-Elbistan külü ile aynı varilden alınan kül içeren üretim.

A2 :Laboratuvardaki eski Afşin-Elbistan küllerinden 2. varilden alınan kül içeren üretim.

A3 :Laboratuvara yeni gelen Afşin-Elbistan külü (1994 sonu) içeren numuneler

C :İyileştirilmiş Elbistan külü içeren numuneler

Y :Yatağan külü içeren numuneler

Çimento : Nuh çimento PÇ325,

Diğer malzemeler aynı.

Tablo 4.10. Tekrar Üretimdeki Gözlemler

Üretim Grubu	Katkı	Su ilavesi	Kıvam + (Yayılma)	B.H.A. t/m ³
A1 Üretimi	var	-	plastik, 21 cm.	2,230
A2 "	-	20lt/m ³	plastik, 19 cm.	2,225
A3 "	-	25lt/m ³	plastik-akıcı 24cm	2,265
C "	var	-	plastik, 22cm	2,240
Y "	-	25lt/m ³	plastik-akıcı 27cm	2,226

+ Küçük koni h=8 cm, R1=10 cm, R2=15 cm

Bu üretimler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış ve hemen suya bırakılmıştır. Nemli ortam için üretim yapılmamıştır.

Gözlem: 24 saat sonra kalıp alınırken numuneleri sarsmamaya özen gösterilmiştir. Darbe etkisiyle kenarlardan parça kopmuştur. Aynı üretimler yazın kalıptan alınırken böylesi bir özen gerektirmemiştir.

Numuneler bu haliyle hemen suya konmasına rağmen dağılmamıştır. Su içindeki numunelerde kireç çıkışı yine üst yüzeyleri kaplayıp suyu bulandırabilecek kadar oluşmuştur.

28. gün sonuçları tabloda verilmiştir.

Sonuçlar:

Tablo 4.11. 28.gün Değerleri

Üretim grubu	Eğilme mukavemeti MPa	Basınç muk. MPa
A1	1,82	9,36
A2	1,55	7,80
A3	2,07	10,80
C	1,46	6,92
Y	2,67	8,67

4.2.2.2. iyileştirilmiş ve Ham (iyileştirilmemiş) Afşin-Elbistan Külü İçeren Hamurda Etrenjit Oluşumunun Gözlenmesi

Bölüm 2.2.3.'de belirtildiği gibi Cerchar firması serbest kireci indirgeme yönteminin sülfat içeriği ile granulometri üzerinde de olumlu etkisi olduğunu belirtmiştir.

Deney

Amaç: Serbest kireç indirgeme yönteminin sülfat içeriğine etkisinin gösterilmesi.

Konu: Etrenjit oluşumunun (uçucu kül+çimento) hamurundan üretilen numunelerde ileri yaşlarda (180 gün) X-ışınları difraksiyonu yöntemiyle incelenmesi.

Malzemeler: iyileştirilmiş Afşin-Elbistan külü, iyileş-

tirilmemiş Afşin-Elbistan külü, Akçimento PÇ325 çimento ve su.

Numunelerin hazırlanması: 4x4x16 cm boyutunda prizma şeklinde değişik ikame oranlarında birer adet üretim yapılmıştır. Üretimde yalnızca çimento, kül ve su kullanılmıştır. Karışımlar İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki harç karıştırıcısında üretilmiştir. Yerleştirme el ile yapılmıştır. İlave katkı kullanılmamış, kül oranıyla birlikte işlenebilirliğin değişmesi sarsma tablosunda yapılan ölçümlerle gözlenmiştir.

Tablo 4.12. Harçların Karışım Miktarları ve Kıvamı

				Su	Kül	Yayılma	
Toplam	U.Kül	Çimento	Su	—	—	(cm)	
Bağ.	(gr)	(gr)	(gr)	bağlayıcı	Top.bağ.	Ham	İşlem
548	-	548	220	0.40	0	-	-
548	164	384	220	0.40	0.30	13.5	14
548	274	274	220	0.40	0.50	15	15
548	164	384	220	0.40	0.70	12.5	11

Numunelerin saklanması: 24 saat sonra kalıplardan çıkarılan numuneler ilk 30 gün İTÜ Yapı Malzemesi Laboratuvarında oda şartlarının sağlandığı bölümde saklanmıştır. Daha sonraki ~150 gün ise nem odasında ıslak bez ile sarılı (%80 üzerinde bağıl nem) saklanmıştır. Daha sonra dişli öğütücüde 200 micron elekten %100 geçinceye kadar öğütülmüştür. Toz haline getirilen hamur numuneler küçük cam kavonozlarda X-ışınları laboratuvarına gönderilmiştir. Yaklaşık 15 gün ağzı kapalı kavonozlarda, toz halde bu laboratuvarında bekledikten sonra X-ışınları difraktogramları

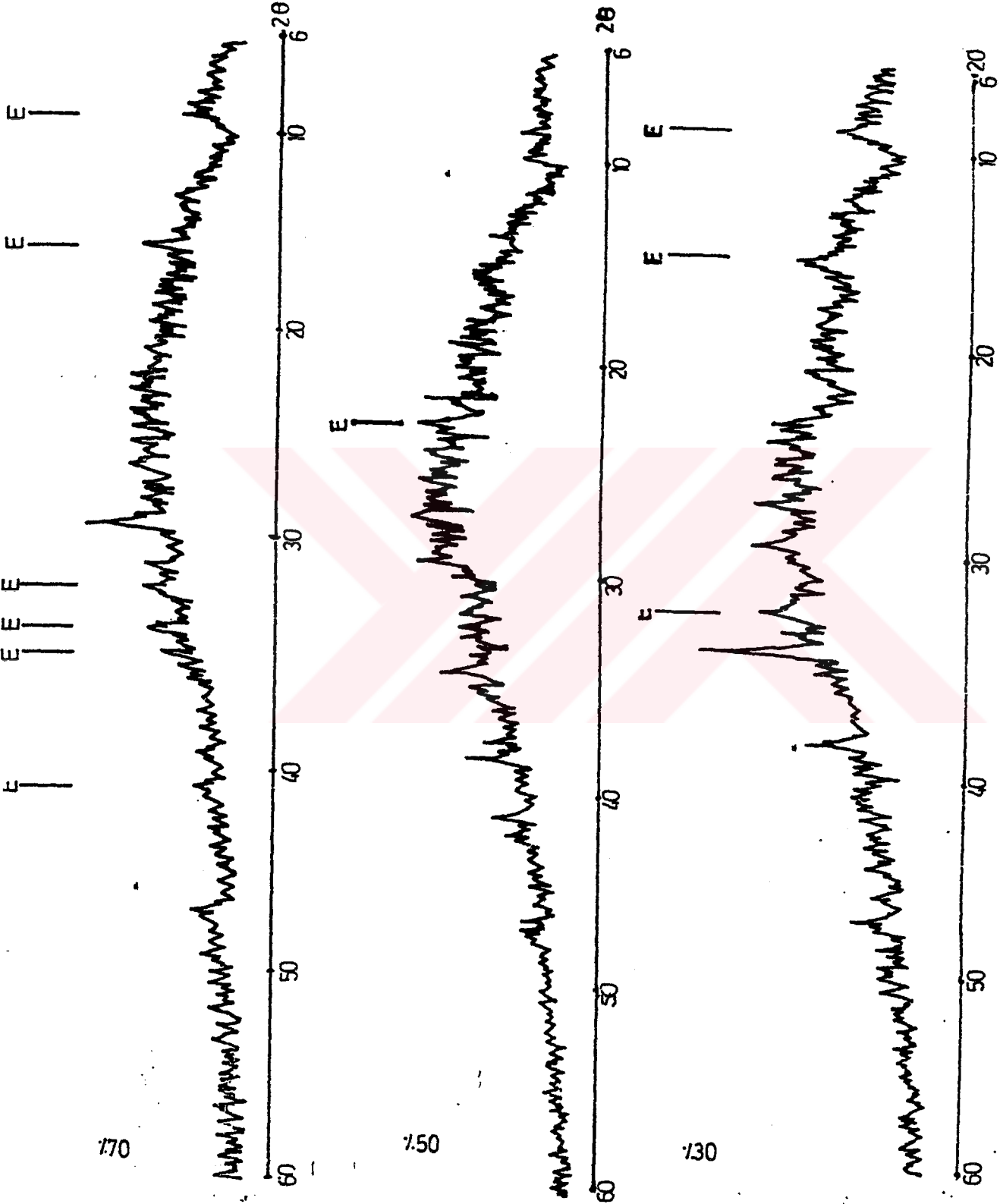
elde edilmiştir. (İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi X-ışınları Lab.)

Difraktogramlar şekil 4.27'de gösterilmiştir.

Şekillerin incelenmesinde görülen durum:

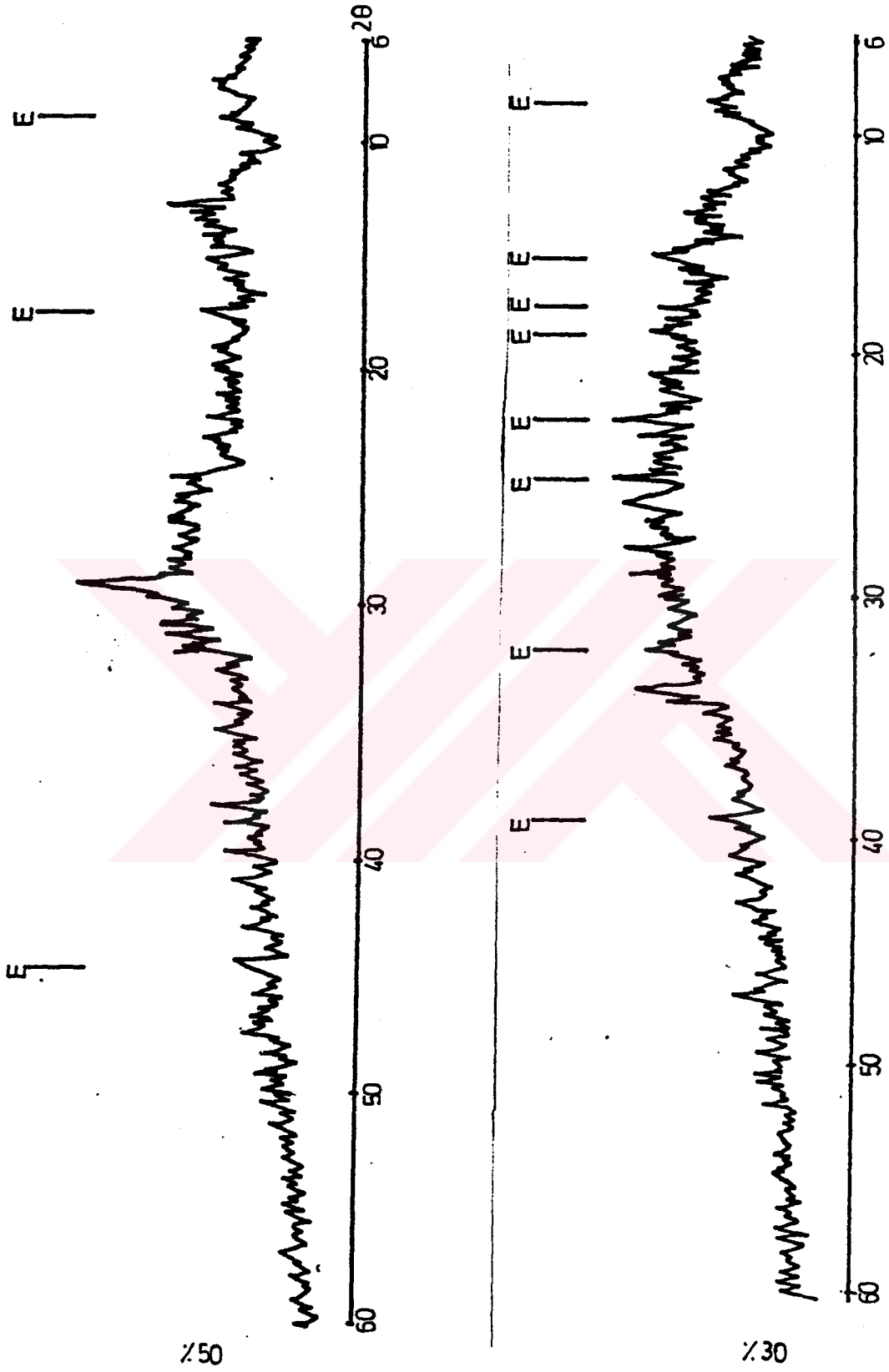
. %100 çimentolu üretimde	Enterjit yok.
%30 iyileştirilmiş Afşin-Elbistan küllü üretimde	Enterjit var (az)
%30 iyileştirilmemiş Afşin-Elbistan küllü üretimde	Etrenjit var (çok çok az)
%50 iyileştirilmiş Elbistan küllü üretimde	Enterjit var (az)
%50 iyileştirilmemiş Elbistan küllü üretimde	Etrenjit yok
%70 iyileştirilmiş Elbistan	Etrenjit var (az)
%70 iyileştirilmemiş Elbistan	Etrenjit var (az)

E : Etrenjit



Şekil 4.27. X-Işınları Difraktogramları Ham Afşin-Elbistan Külü

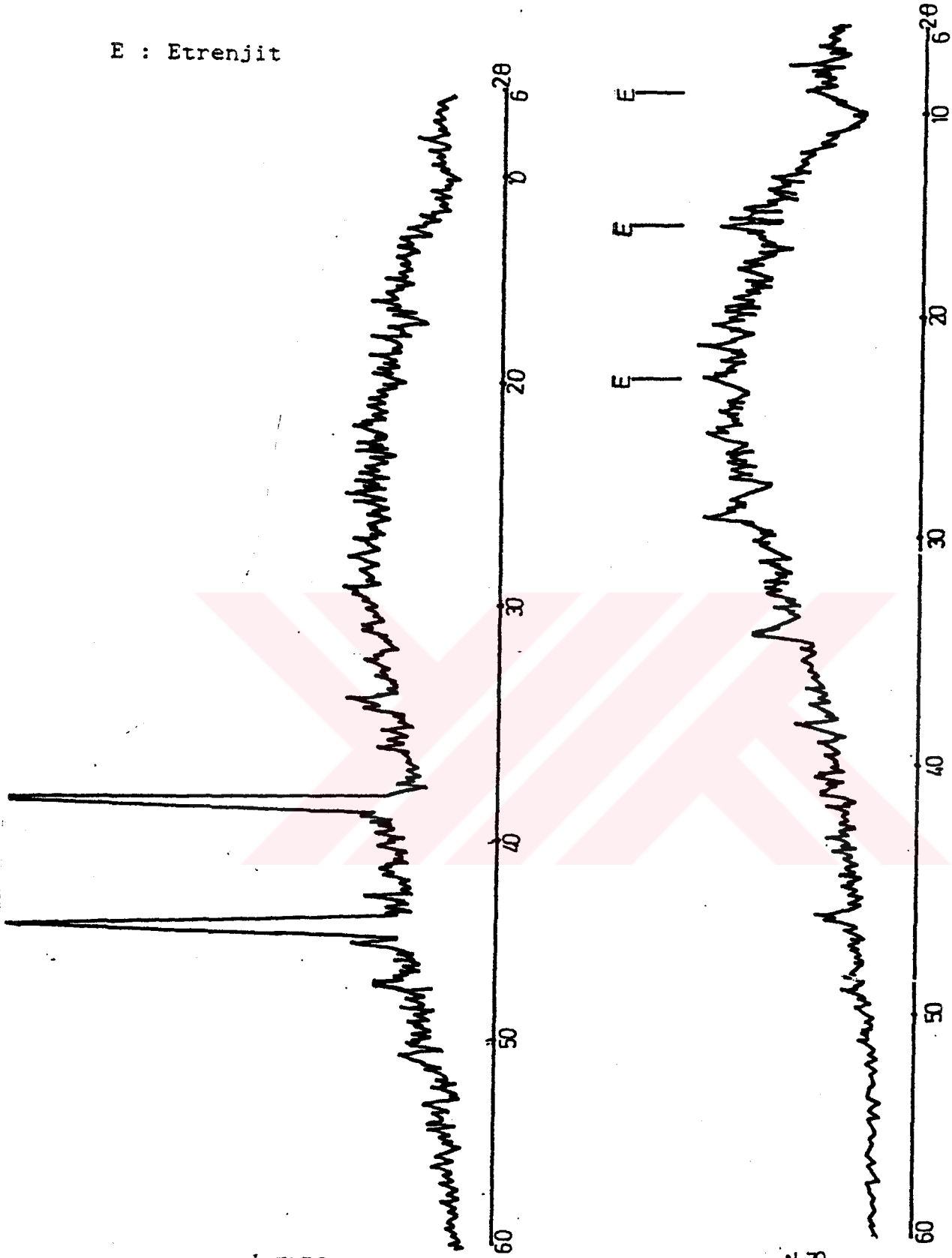
E : Etrenjit



Şekil 4.28a. X-Işınları Difraktogramları İyileştirilmiş
Afşin-Elbistan Küllü

E : Etrenjit

-83-



Şekil 4.28b. ^{ÇİMENTO} X-ışınları Difraktogramları iyileştirilmiş
Afşin-Elbistan Külü ve Çimento

4.3. Silindirle Sıkıştırılmış Beton (Rollcrete) Üretimi

Daha önce bölüm 3'de bahsettiğimiz SSB üretiminin laboratuvar şartlarında denenmesi, şekil 3.1'deki [ACI 207.5R-7 nolu yayında şekil 2.4.1 numaralı V_f/V_c ve $V_w/V_f + V_c$] abağın bizim uçucu küllerimiz için elde edilmesi hedeflenmiştir.

SSB karışım hesabı maksimum yoğunluk yaklaşımı (Max. densitiy approach) yöntemiyle yapılmıştır.

Deney

Amaç: SSB'nin Türkiye uçucu külleri için mümkün olduğunu göstererek su-toplam bağlayıcı ve kül-çimento oranları ile basınç mukavemetleri arasında ilişki kurulması.

Konu: Tablo 4.14'deki üretim noktalarında SSB üretiminin yapılarak basınç mukavemetlerinin bulunması.

Malzemeler:

Çimento : Nuh çimento PÇ 325, $\delta=3.15 \text{ kg/dm}^3$

Uçucu kül : Yatağan uçucu külü, $\delta=2.13 \text{ kg/dm}^3$

(Eskihisar ve Tınaz havzaları külü)

İri agregat: (Kartal Taşocagından temin edildi)

1 numara mıcır (5-12)mm, $\delta=2.746 \text{ kg/dm}^3$

2 numara mıcır (12-21)mm, $\delta=2.746 \text{ kg/dm}^3$

3 numara mıcır (21-31.5)mm, $\delta=2.716 \text{ kg/dm}^3$

İnce agregat: Laboratuvarda mevcut olan deniz kumu

$\delta=2.652 \text{ kg/dm}^3$

Tablo 4.13. Agregaların granülometrik analizleri

	Elekten geçen %							
Elek açıklığı	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Kum	100	100	100	97	94	86	75	13
Mıcır I	100	99	79	21	3	2	1	1
Mıcır II	100	100	72	1	0	0	0	0
Mıcır III	100	1	0	0	0	0	0	0

Kalıp : 15x15x15 boyutundaki küp kalıplar.

Tokmak: Sıkıştırma işleminin el ile tokmaklayarak yapılması düşünüldüğünden 10 cm çapında silindirik şeklinde ahşap tokmak yapılmıştır.

. Ve-Be aleti normal betonda kullanıldığı 3.4 kg (7 lb) disk ağırlığı ile çökmesiz betonda bir anlam ifade etmez. [30] nolu yayında açıklandığı üzere ağırlığı 9 kg (20 lb) arttırılarak modifiye edilmiştir.

Karışım Oranları Hesabı:

Maksimum yoğunluk yaklaşımına göre 2. adımda V_f/V_c ve $V_w/(V_f+V_c)$ değerleri istenen karakteristik mukavemet değeri için abaktan seçiliyordu. Bu abagı elde etmek için muhtelif V_f/V_c ve $V_w/(V_f+V_c)$ değerlerini seçerek üretimler yapmak, bunların 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını saptamak yoluna gidilmiştir. Tablo 4.14'de gösterildiği gibi 35 üretim noktası seçilerek herbiri için 6 adet küp (3 adet 28. gün+3 adet 90. gün) üretilmiştir.

Tablo 4.14. Üretim Grupları

V_w						
$V_F + V_C$						
2.0	A7	B7	C7	D7	E7	
1.8	A6	B6	C6	D6	E6	
1.6	A5	B5	C5	D5	E5	
1.4	A4	B4	C4	D4	E4	
1.2	A3	B3	C3	D3	E3	
1.0	A2	B2	C2	D2	E2	
0.9	A1	B1	C1	D1	E1	
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	V_F/V_C

Max agrega boyu 31.5 mm dir. En yoğun agrega karışımının A32-B32 referans eğrilerinin arasından geçen referans eğrisine uymakla sağlanacağı varsayılmıştır. Referans eğrisi incelik modülü 4.85'tir. Agregaların incelik modülleri ise

1 nolu mıcır incelik modülü 4.94

2 nolu mıcır inelik modülü 6.24

3 nolu mıcır incelik modülü 6.99 değerleridir.

$$4.94x_{mI} + 6.24 x_{mII} + 6.99 x_{mIII} = 4.85 \dots\dots\dots (1)$$

$$x_{mI} + x_{mII} + x_{mIII} = 1.0 \dots\dots\dots (2)$$

incelik modülleri metoduna göre karışım oranları 1 ve 2 denklemlerini gerçeklemelidir. Bilindiği gibi bu iki denk-

lem çözüm için yetersizdir. Bu yüzden bu denklemlerden deneme karışımları yapılmış ve en yoğun karışım oranı böylece saptanmıştır.

Mıcır I %35, Mıcır II %35 ve Mıcır III %30'dur.

Maksimum yoğunluk yaklaşımına göre:

$P_v = 0.38$, $V_{ma} = 0.52 \text{ m}^3$ seçilmiştir, hava boşluğu %2 kabul edildi. Buna göre harç hacmi $V_m = 1 - 0.02 - 0.52 = 0.460 \text{ m}^3$ olur. Mutlak hamur hacmi $V_{\mu} = 0.38 \times 0.460 = 0.175 \text{ m}^3$ olarak hamur hacmi bulunur. İnce agrega mutlak hacmi $V_{ra} = V_m - V_{\mu} = 0.460 - 0.175 = 0.285 \text{ m}^3$ bulunur. Su çimento ve kül mutlak hacimleri her V_f/V_c ve $V_w/V_f + V_c$ değerleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır.

$$V_w = \frac{V_w/(V_c + V_f)}{1 + V_w/(V_c + V_f)} \times 0.175 \quad (\text{Su mutlak hacmi})$$

$$V_c = \frac{V_w}{V_w/V_c + V_f(1 + V_f/V_c)} \quad (\text{Çimento mutlak hacmi})$$

$$V_f = V_c (V_f/V_c) \quad (\text{Uçucu kül mutlak hacmi})$$

Hacimler özgül ağırlıklarla çarpılarak malzemeler ağırlık cinsinden hesaplanmıştır. Sonuçlar tablo 4.15'de verilmiştir.

Tablo 4.15. (SSB) Beton Üretiminde Kullanılan Miktarlar

Bütün Üretim Grupları İçin Geçerli Miktarlar			
Agrega		Mıcır I	: 500 kg/m³
		Mıcır II	: 500 kg/m³
		Mıcır III	: 428 kg/m³
		Kum	: 756 kg/m³
Yalnızca Bir Üretim Grubu İçin Geçerli Miktarlar			
F/C	0.5	Su	: 82.9 lt/m³
W/(F+C)	0.9	Çimento	: 193.7 kg/m³
Grup Sembolü	A1	Kül	: 65.4 kg/m³
F/C	0.5	Su	: 87.5 lt/m³
W/(F+C)	1.0	Çimento	: 184.0 kg/m³
Grup Sembolü	A2	Kül	: 62.0 kg/m³
F/C	0.5	Su	: 95.5 lt/m³
W/(F+C)	1.2	Çimento	: 167.4 kg/m³
Grup Sembolü	A3	Kül	: 56.0 kg/m³
F/C	0.5	Su	: 102.1 lt/m³
W/(F+C)	1.4	Çimento	: 153.4 kg/m³
Grup Sembolü	A4	Kül	: 51.8 kg/m³
F/C	0.5	Su	: 107.7 lt/m³
W/(F+C)	1.6	Çimento	: 141.6 kg/m³
Grup Sembolü	A5	Kül	: 47.8 kg/m³
F/C	0.5	Su	: 112.5 lt/m³
W/(F+C)	1.8	Çimento	: 131.5 kg/m³
Grup Sembolü	A6	Kül	: 44.4 kg/m³

Yalnızca Bir Üretim Grubu İçin Geçerli Miktarlar			
F/C	0.5	Su	: 116.7 lt/m ³
W/(F+C)	2.0	Çimento	: 112.7 kg/m ³
Grup Sembolü	A7	Kül	: 41.3 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 82.9 lt/m ³
W/(F+C)	0.9	Çimento	: 145.3 kg/m ³
Grup Sembolü	B1	Kül	: 98.1 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 87.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.0	Çimento	: 138.0 kg/m ³
Grup Sembolü	B2	Kül	: 92.3 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 95.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.2	Çimento	: 125.5 kg/m ³
Grup Sembolü	B3	Kül	: 84.7 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 102.8 lt/m ³
W/(F+C)	1.4	Çimento	: 115.0 kg/m ³
Grup Sembolü	B4	Kül	: 77.6 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 107.7 lt/m ³
W/(F+C)	1.6	Çimento	: 106.2 kg/m ³
Grup Sembolü	B5	Kül	: 71.7 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 112.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.8	Çimento	: 98.6 kg/m ³
Grup Sembolü	B6	Kül	: 66.6 kg/m ³
F/C	1.0	Su	: 116.7 lt/m ³
W/(F+C)	2.0	Çimento	: 92.0 kg/m ³
Grup Sembolü	B7	Kül	: 62.0 kg/m ³

Yalnızca Bir Üretim Grubu İçin Geçerli Miktarlar				
F/C	2.0	Su	:	82.9 lt/m ³
W/(F+C)	0.9	Çimento	:	96.9 kg/m ³
Grup Sembolü	C1	Kül	:	130.8 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	87.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.0	Çimento	:	92.0 kg/m ³
Grup Sembolü	C2	Kül	:	124.3 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	95.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.2	Çimento	:	83.7 kg/m ³
Grup Sembolü	C3	Kül	:	112.9 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	102.8 lt/m ³
W/(F+C)	1.4	Çimento	:	76.7 kg/m ³
Grup Sembolü	C4	Kül	:	103.5 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	107.7 lt/m ³
W/(F+C)	1.6	Çimento	:	70.8 kg/m ³
Grup Sembolü	C5	Kül	:	95.6 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	112.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.8	Çimento	:	65.7 kg/m ³
Grup Sembolü	C6	Kül	:	88.7 kg/m ³
F/C	2.0	Su	:	116.7 lt/m ³
W/(F+C)	2.0	Çimento	:	61.4 kg/m ³
Grup Sembolü	C7	Kül	:	82.6 kg/m ³
F/C	3.0	Su	:	82.9 lt/m ³
W/(F+C)	0.9	Çimento	:	72.6 kg/m ³
Grup Sembolü	D1	Kül	:	147.2 kg/m ³

Yalnızca Bir Üretim Grubu İçin Geçerli Miktarlar			
F/C	3.0	Su	: 87.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.0	Çimento	: 69.0 kg/m ³
Grup Sembolü	D2	Kül	: 139.8 kg/m ³
F/C	3.0	Su	: 95.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.2	Çimento	: 62.7 kg/m ³
Grup Sembolü	D3	Kül	: 127.2 kg/m ³
F/C	3.0	Su	: 102.8 lt/m ³
W/(F+C)	1.4	Çimento	: 57.5 kg/m ³
Grup Sembolü	D4	Kül	: 116.5 kg/m ³
F/C	3.0	Su	: 107.7 lt/m ³
W/(F+C)	1.6	Çimento	: 53.1 kg/m ³
Grup Sembolü	D5	Kül	: 107.5 kg/m ³
F/C	3.0	Su	: 112.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.8	Çimento	: 49.3 kg/m ³
Grup Sembolü	D6	Kül	: 99.8 kg/m ³
F/C	3.0	Su	: 116.5 lt/m ³
W/(F+C)	2.0	Çimento	: 46.0 kg/m ³
Grup Sembolü	D7	Kül	: 93.2 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 82.9 lt/m ³
W/(F+C)	0.9	Çimento	: 58.1 kg/m ³
Grup Sembolü	E1	Kül	: 156.9 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 87.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.0	Çimento	: 55.2 kg/m ³
Grup Sembolü	E2	Kül	: 149.1 kg/m ³

Yalnızca Bir Üretim Grubu İçin Geçerli Miktarlar			
F/C	4.0	Su	: 95.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.2	Çimento	: 50.2 kg/m ³
Grup Sembolü	E3	Kül	: 135.5 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 102.8 lt/m ³
W/(F+C)	1.4	Çimento	: 46.0 kg/m ³
Grup Sembolü	E4	Kül	: 124.2 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 107.7 lt/m ³
W/(F+C)	1.6	Çimento	: 42.5 kg/m ³
Grup Sembolü	E5	Kül	: 114.7 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 112.5 lt/m ³
W/(F+C)	1.8	Çimento	: 39.4 kg/m ³
Grup Sembolü	E6	Kül	: 106.5 kg/m ³
F/C	4.0	Su	: 116.5 lt/m ³
W/(F+C)	2.0	Çimento	: 36.9 kg/m ³
Grup Sembolü	E7	Kül	: 99.7 kg/m ³

Tablo 4.15'de verilen miktarlara göre üretimler yapılmıştır. Yerleştirilen kaplarda taze betonbirim hacim ağırlığı bulunarak karışımdaki gerçek miktarlar tespit edilmiştir. A1, B1, C1, D1, E1 üretim grupları için aşağıda tablo 4.16'da verilen bileşenlerin gerçek ağırlığına göre hava boşluğu %15 civarında çıkmıştır. Teorik birim hacim ağırlıkla gerçek birim hacim ağırlık arasındaki büyük fark her üretim grubu için benzer hava boşluğu oranları verecektir.

Tablo 4.16. Beton Bileşiminin Gerçek Miktarları

A1	B.H.A. _τ = 2.526 ton/m ³	B.H.A. _α = 2.104 ton/m ³
	MıcırI _α = 416.3 kg/m ³	MıcırII _α = 416.3 kg/m ³
	MıcırIII _α = 356.8 kg/m ³	Kum _α = 629.7 kg/m ³
	U.Kül _α = 54.5 kg/m ³	Çimento _α = 161.3 kg/m ³
	Su _α = 69 lt/m ³ hava boşluğu %18	
A2	B.H.A.(gerçek) = 2.153 ton/m ³	
A3	B.H.A.(gerçek) = 2.138 ton/m ³	
A4	B.H.A.(gerçek) = 2.178 ton/m ³	
A5	B.H.A.(gerçek) = 2.331 ton/m ³	
A6	B.H.A.(gerçek) = 2.309 ton/m ³	
A7	B.H.A.(gerçek) = 2.243 ton/m ³	
B1	B.H.A. _τ = 2.510 ton/m ³	B.H.A. _α = 2.116 ton/m ³
	MıcırI _α = 421.3 kg/m ³	MıcırII _α = 421.3 kg/m ³
	MıcırIII _α = 361.1 kg/m ³	Kum _α = 637.3 kg/m ³
	U.Kül _α = 82.7 kg/m ³	Çimento _α = 122.5 kg/m ³
	Su _α = 69.9 lt/m ³ hava boşluğu %17	
B2	B.H.A.(gerçek) = 2.104 ton/m ³	
B3	B.H.A.(gerçek) = 2.173 ton/m ³	
B4	B.H.A.(gerçek) = 2.188 ton/m ³	
B5	B.H.A.(gerçek) = 2.325 ton/m ³	
B6	B.H.A.(gerçek) = 2.296 ton/m ³	
B7	B.H.A.(gerçek) = --	
C1	B.H.A. _τ = 2.495 ton/m ³	B.H.A. _α = 2.099 ton/m ³
	MıcırI _α = 420.5 kg/m ³	MıcırII _α = 420.5 kg/m ³
	MıcırIII _α = 360.5 kg/m ³	Kum _α = 636.1 kg/m ³
	U.Kül _α = 110.1 kg/m ³	Çimento _α = 81.5 kg/m ³
	Su _α = 69.8 lt/m ³ hava boşluğu %17.5	

Tablo 4.16'nin devamı

C2	B.H.A.(gerçek) = 2.163 ton/m ³	
C3	B.H.A.(gerçek) = 2.114 ton/m ³	
C4	B.H.A.(gerçek) = 2.217 ton/m ³	
C5	B.H.A.(gerçek) = 2.272 ton/m ³	
C6	B.H.A.(gerçek) = 2.291 ton/m ³	
C7	B.H.A.(gerçek) = 2.249 ton/m ³	
D1	B.H.A. _τ = 2.487 ton/m ³	B.H.A. _α = 2.151 ton/m ³
	MıcırI _α = 432.3 kg/m ³	MıcırII _α = 432.3 kg/m ³
	MıcırIII _α = 370.6 kg/m ³	Kum _α = 653.9 kg/m ³
	U.Kül _α = 127.3 kg/m ³	Çimento _α = 62.8 kg/m ³
	Su _α = 71.7 lt/m ³ hava boşluğu %15	
D2	B.H.A.(gerçek) = 2.193 ton/m ³	
D3	B.H.A.(gerçek) = 2.193 ton/m ³	
D4	B.H.A.(gerçek) = 2.222 ton/m ³	
D5	B.H.A.(gerçek) = 2.257 ton/m ³	
D6	B.H.A.(gerçek) = 2.281 ton/m ³	
D7	B.H.A.(gerçek) = 2.232 ton/m ³	
E1	B.H.A. _τ = 2.482 ton/m ³	B.H.A. _α = 2.185 ton/m ³
	MıcırI _α = 440 kg/m ³	MıcırII _α = 440 kg/m ³
	MıcırIII _α = 377 kg/m ³	Kum _α = 665.6 kg/m ³
	U.Kül _α = 138.1 kg/m ³	Çimento _α = 51.1 kg/m ³
	Su _α = 73 lt/m ³ hava boşluğu %14	
E2	B.H.A.(gerçek) = 2.143 ton/m ³	
E3	B.H.A.(gerçek) = 2.202 ton/m ³	
E4	B.H.A.(gerçek) = 2.237 ton/m ³	
E5	B.H.A.(gerçek) = 2.222 ton/m ³	
E6	B.H.A.(gerçek) = 2.311 ton/m ³	
E7	B.H.A.(gerçek) = 2.217 ton/m ³	

Her grup için 25 lt beton bir defada cebrik karıştırıcı betoniyerde karıştırılarak üretilmiştir. Modifiye edilmiş (toplam disk ağırlığı 12.4 kg) Ve-Be aletinde kıvam tesbit edilmeye çalışılmıştır. Ve-Be aletinin çalışmaya başlamasıyla birlikte (0. saniye) gözlenen sonuçlar aşağıda tabloda verilmiştir.

ACI 207 5R-80 yayınındakine benzer vibrasyon süresi ve yoğunluk (kompaksiyon) arasında ilişki elde etmek amacıyla aşağıdaki tablo 4.17'deki ölçümler yapılmıştır. Ancak ilişki kurulamamıştır.

Tablo 4.17. Üretim Gurubu Çökme Değerleri
(Modifiye Edilmiş VeBe Aletinde)

	0. san.	10. san.	20. san.	30. san.
A 1	5	9	10	10
A 2	7	16	16	16
A 3	12	15	16	16
A 4	-	-	-	-
A 5	7	10	10	10
A 6	5	11	12	13
A 7	6.5	12	12	12.5
B 1	5	9	9.5	10
B 2	5.5	9	9.5	9.5
B 3	6.5	8.5	9.5	10
B 4	4.5	9.5	9.5	10
B 5	-	-	-	-
B 6	6	9.5	10	10.5
B 7	-	-	-	-

Tablo 4.17'nin devamı

	0. san.	10. san.	20. san.	30. san.
C 1	5.5	9.5	9.5	9.5
C 2	6	9	9.5	9.5
C 3	5.5	9.5	9.5	9.8
C 4	6	9.5	9.8	10
C 5	5.5	9.5	9.7	9.8
C 6	6	6.3	6.5	6.7
C 7	6.5	9.5	10	10
D 1	6	9.2	9.5	9.6
D 2	6	9	9.3	9.4
D 3	7	10	10.3	10.4
D 4	6	9.5	9.7	9.8
D 5	6	9	9.5	9.6
D 6	5.5	9	9.5	9.7
D 7	5.3	9.5	9.8	9.9
E 1	6.5	9.5	9.8	9.9
E 2	5.5	9.5	9.8	10
E 3	6.3	9.5	9.8	9.9
E 4	6	9.5	9.8	9.9
E 5	-	-	-	-
E 6	6	9.5	9.8	9.9
E 7	6.5	9.5	9.9	10

Numuneler kalıplara yerleştirilirken doldurma işlemi üç aşamada ve her aşamada tokmaklayarak (yaklaşık 10 vuruş) yapılmıştır. İri ve ince daneler ayrışmasın diye dikkatli davranılmıştır.

Numuneler kalıplardan 10-15 saat sonra çıkarılmıştır. Numunelerin saklanması 210 adet numune nemli ortamda istif edilerek korunmuştur. İstifteki numunelerin hava ile temasını sağlamak amacıyla aralarına yaklaşık 2 cm. genişliğinde 1.5 cm. yüksekliğinde çatalar yerleştirilmiştir. Saklama süresince ortamın bağıl nemi %60-80 arasında kalmıştır.

Numunelere başlık yapılması: Gerek kalıptan çıkarırken gerekse taşıırken bazı küplerin köşelerinden parça kopmuştur. Kesit kayıplarını gidermek ve düzgün temas yüzeyi sağlamak için alçı başlıklar yapılmıştır. (Hızlı imalat için alçı kullanılmıştır.)

Ükleme, taze beton kalıba yerleştirilirken uygulanan sıkıştırma doğrultusu ile aynı doğrultuda yapılmıştır. Başlık yapılmış numuneler şekil 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Başlık Yapılmış Numuneler Kırılma Aşamasında

Tablo 4.18. 28. Gün Basınç Mukavemetleri

Vw		(MP)a				
Vc+Vf						
		11.2	10.3	7.6	7.0	6.0
2.0		11.1	10.3	7.5	7.0	5.8
		9.0	9.2	6.6	6.7	5.3
1.9		11.6	8.3	8.1	7.2	7.4
		10.6	7.1	7.7	6.9	7.3
		9.8	6.3	6.2	6.1	6.4
1.8		11.9	11.3	8.0		6.6
		11.5	8.9	7.6	9.2	6.5
		9.6	6.7	7.6	8.0	6.6
1.7		11.6	9.9	8.7	8.4	7.0
		10.6	8.1	8.4	7.8	7.0
		10.2	5.9	8.3	7.0	6.6
1.6		10.6	9.0	8.9	7.3	6.2
		9.7	8.9	8.6	7.1	5.8
		8.1	7.2	8.2	5.7	5.6
1.5		10.5	9.7	8.1	8.7	7.9
		9.5	9.6	8.9	7.0	7.6
		8.4	8.5	6.2	5.7	6.4
0.9		10.9	10.2	7.9	6.7	6.7
		9.5	8.8	7.7	6.5	6.6
		8.6	7.6	7.1	6.4	6.1
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0

Vf

Vc

Tablo 4.19. 28. Gün Basınç Mukavemetleri Ortalaması

Vw		(MPa)				
Vc+Vf						
2.0	10.43	9.96	7.23	6.90	5.67	
1.8	10.68	7.26	7.33	6.75	7.05	
1.6	11.02	8.96	7.75	8.61	6.51	
1.4	10.81	7.99	8.47	7.23	7.18	
1.2	9.46	8.37	8.56	6.59	5.93	
1.0	9.45	9.27	7.03	7.14	7.31	
0.9	9.64	8.86	7.71	6.52	6.46	
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	Vf
						Vc

Tablo 4.20. 90. Gün Basınç Mukavemetleri

V_w		(MPa)				
V_c+V_f						
2.0		14.7	14.7	9.0	7.8	7.9
		12.4	13.6	8.2	6.9	7.9
		11.4	12.6	6.3	6.5	7.2
1.8		13.2	12.6	8.5	8.6	9.7
		12.5	11.0	8.2	6.9	9.0
		10.3	8.6	7.3	6.5	8.3
1.6		15.4	14.1	9.2	9.3	8.7
		14.5	13.8	8.5	9.0	8.0
		13.7	12.1	8.0	7.8	6.9
1.4		15.7	13.4	9.0	9.2	10.4
		15.1	11.1	8.2	8.3	8.4
		9.6	10.2	7.7	6.4	7.8
1.2		13.9	10.8	8.6	8.0	9.5
		12.3	9.9	7.9	7.1	7.8
		11.1	9.7	7.7	6.1	7.7
1.0		12.2	12.1	9.3	10.7	8.5
		12.0	12.0	8.9	9.1	8.3
		11.1	10.2	8.3	8.9	7.0
0.9			13.9	11.7	9.0	7.6
		13.5	11.3	7.7	8.1	9.0
		13.4	11.0	6.6	7.3	9.1
		0.5	1.0	2.0	3.0	4.0

V_f
—
 V_c

Tablo 4.21. 90. Gün Basınç Mukavemetleri Ortalaması

V_w

V_c+V_f

2.0	12.8	13.6	7.90	7.17	7.70
1.8	12.0	10.7	8.00	7.30	9.00
1.6	14.5	13.3	8.57	8.70	7.90
1.4	13.5	11.6	8.30	7.90	8.70
1.2	12.4	10.1	8.07	7.07	8.30
1.0	11.8	11.4	8.83	9.57	7.90
0.9	13.5	11.7	8.67	8.13	8.60
	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0

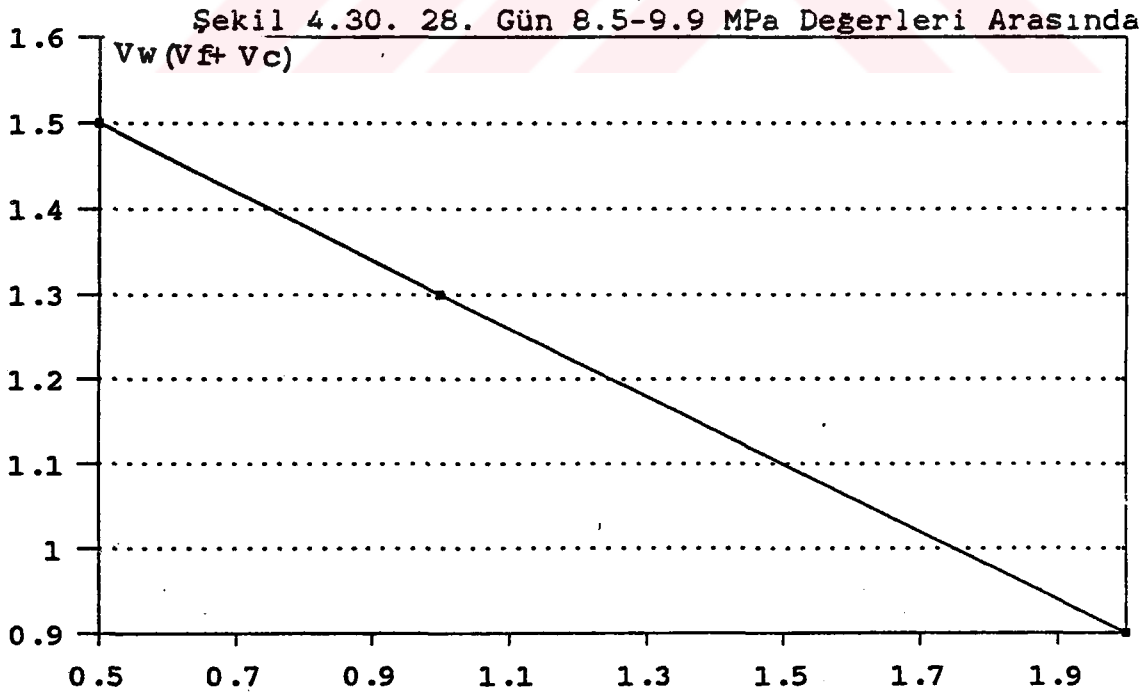
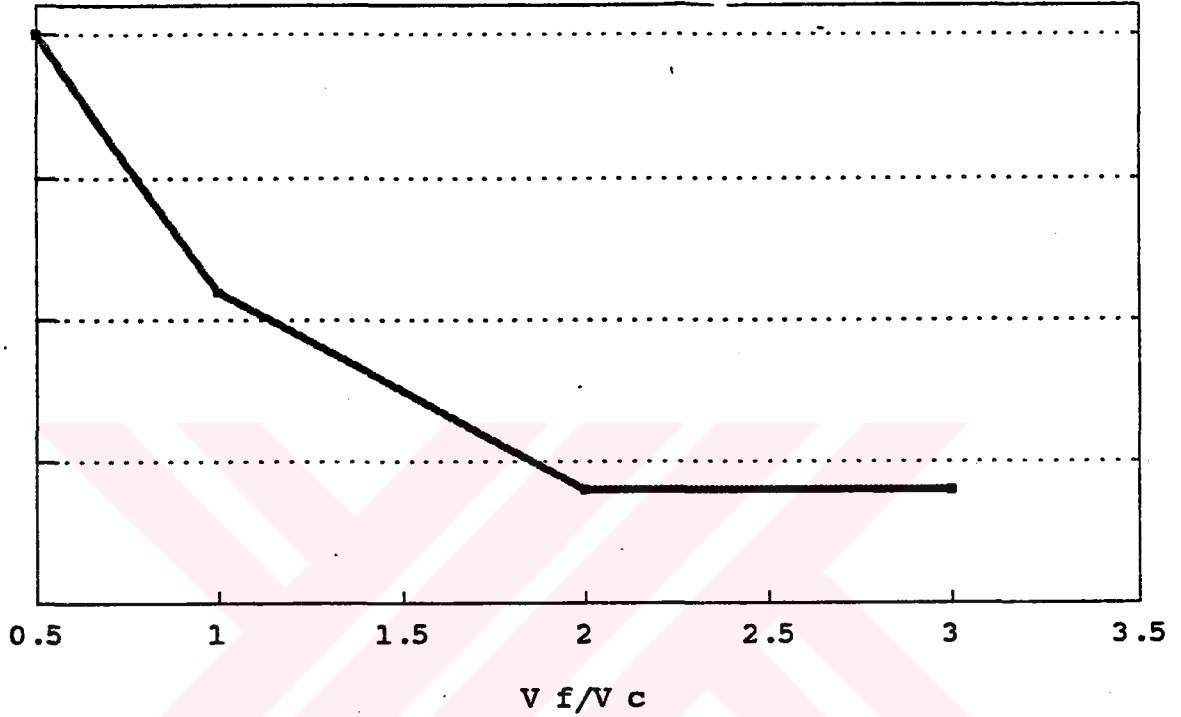
V_f

V_c

Tablo 18., 19., 20., 21.'de 28. gün ve 90. gün basınç değerleri yukarıda belirtilmiştir. Bu sonuçlara göre V_f/V_c ve $V_w/(V_f+V_c)$ ile basınç mukavemetleri arasında anlamlı ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır. Bu aşamada korelasyonun kurulabilmesi için 2 bağımsız 1 bağımlı değişkenli regresyon analizleri yapılmıştır. Lineer ve non-lineer regresyonlar denenmiştir. Bu işlemlerde Microsta adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. Bu programlar sayesinde $r=0.90$ nın üzerinde hassasiyetlerle regresyon eğrileri sınıflandırılan mukavemet değeri aralıklarında geçirilebilmiştir. Ancak bu regresyonlar basit formüllerle ifade edilemediğinden ve basit şekillere ulaşamadığından uygulanabilir olmaktan uzaktır. Ayrıca başlangıçta hedeflediğimiz abaktaki şekillere pek benzememektedir. Bu nedenle bu regresyon değerleri dikkate alınmayıp yalnız iki aralık için bulunan

regrasyonlar aşağıda şekillerde gösterilmiştir. Dikkate alınmayan regrasyon analizi sonuçlarına bir örnek olarak 90. gün (9-10 MPa arası) mukavemetine göre kurulmuş olan aşağıdaki denklem verilebilir.

$$\text{Basınç mukavemeti} = +75.2885 + 8.7957 V_f + 22.2319/V_f - 12.1417 \ln V_w - 5.9956 V_f/V_w, \quad (r = 0.95)$$
$$V_w/(V_f + V_c)$$



Şekil 4.31. 90. Gün 10-11.9 MPa Degerleri Arasında

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Afşin-Elbistan uçucu külü daha önceki bir çalışmada [12] kullanılan küldür.

Yatağan uçucu külü Yatağan termik santralinden temin edilen Eskişehir-Tınaz havzaları kömürlerine aittir.

İyileştirilmiş kül ise Afşin-Elbistan küllerinin Fransa'da iyileştirmeye tabi tutulmuş bölümüdür.

5.1. Uçucu Küllerin Nitelik İncelemelerinin Değerlendirilmesi

5.1.1. Fiziksel ve Kimyasal İncelemelerin Değerlendirilmesi

Puzolanik aktivite testinde bulunan sonuçlar gerçek reaktiviteyi belirtmekten uzaktır. Çünkü standart deney yöntemlerinde uçucu külün işlenebilmeye olumsuz etkisi dikkate alınmamaktadır. Öyle ki aynı miktar harçla salt çimentolu numuneden üç prizma çıktığı halde uçucu kül içeren harçtan dört prizma üretilmiştir. Bu standart yöntemle iyi yerleştirilemediğine ve mukavemetin düşük çıkacağına işarettir. Bu bakımdan puzolanik reaktivitenin gerçekte daha yüksek olacağına inanılmaktadır (Ayrıca Yatağan külü S+A+F miktarı %82'dir).

Hidrometre analizleriyle medyan çap 45 ve 35 μm civarında iyi sayılabilecek bir değerde bulunmuştur. Demek ki küllerimizin işlenebilirliğe olumsuz etkisi dane boyutundan ziyade yüzey şeklinden kaynaklanmaktadır. Bunun nedeni ise

santrallerde baca külü ile diğer külleri ayırma ve depolamada gereken özenin gösterilmemesidir. Zaten Halaskar Toros'un çalışmasında da küresellikten sapmalardan bahsedilmektedir.

Afşin-Elbistan külünün özgül ağırlığı uçucu kül için üst sınır sayılabilecek degerdedir. Bu durum küldeki kalsiyum bileşenleri oranının yüksekliğinin sonucu olarak yorumlanabilir (kalsiyum bileşiklerinin ağırlığı 2.88 ile 3.28 gr/cm³ arasındadır).

5.1.2. X-Işınları Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Mineralojik kompozisyonu belirlemek için yaptığımız X-ışınları analizinde elde ettiğimiz difraktogramlar ve bunların tablo halinde ifade edilen sonuçlarında görüyoruz ki:

Küllerimizde amorf ve camsı yapı en çok gözlenen mineralojik yapıdır. Bu özellik reaktivite açısından olumludur.

Diğer bir gözlem ise özellikle Afşin-Elbistan külünde serbest kireç miktarının fazlalığıdır. Bu durum serbest kirecin sönmesi sonucu hacim genleşmesi yaratarak betonun durabilitesini bozar. İyileştirilmiş Afşin-Elbistan numunelerinde serbest kireç gözlenememiştir. Bu hiç olmadığı anlamına gelmez, ancak %5 ve daha küçük bir oranda olabilir. Zaten Cerchar'dan bildirilen analizde de bunun %4 civarında olduğu belirtilmiştir.

Minerolojik analizlerde sonuç olarak söyleyebileceğimiz literatürde belirtilen mineralojik kompozisyonun bizim çalışmamızda da gözlemlendiğidir.

5.1.3. Radyoaktivite Analizi Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Afşin-Elbistan I ve II, Orhaneli ve Yatağan uçucu külleriyle, çimento örneği üzerinde ve doğal ortamda ölçümler yapılmıştır. Doğal ortam deneylerin yapıldığı laboratuvarın içidir. Yani yerkabuğundan alınan malzemelerle üretilmiş binadır. Kuşkusuz uranyum, toryum, potasyum gibi radyoaktif elementlerin etkisi doğal ortamda da vardır. Verilen grafikler ve tablolar incelendiğinde görüyoruz ki:

5 saatlik sayım sonunda değerler doğal ortam radyasyonundan çok farklı değildir. Ancak bazı element radyasyonlarının az da olsa varlığı bir gerçektir. Bu sayım süresinin 20 saate çıkarılabilmesi durumunda bu değerlerin biraz daha artması beklenebilir (karşılaştırmalar genelde 20 saatlik ölçümler üzerindendir).

Bu tespitler uçucu küllerin ve çimentonun yapı malzemeleri içerisinde kullanılması durumunda insana ne doz yükleyeceğinin kesin olarak saptanmasına uygun bulunmamıştır. Ancak doğal ortam radyasyonundan görülen ufak farkların çok geniş yüzeyi olan kapalı mekanlarda kişiyi etkileyebileceği düşünülebilir.

Ayrıca kesin karar verebilmek için uygun bir hesaplama yöntemi seçerek güvenmek de pek mümkün görülmemiştir. Ancak gerçeğe uygun deney mekanları hazırlayarak ölçüm yapılabilir. Deney mekanları toplanacak radyoaktif radon (U^{238} bozunma ürünü) gazının ölçülmesini sağlayacağı için de ayrıca faydalıdır. Bilindiği gibi radon gazı teneffüs edilmesi halinde akciğerlerden kana karışarak vücuda yerleşmekte ve iç ışıma yapmaktadır.

Söz konusu örneklerde alfa radyo aktivitesine neden olan elementler bulunduğu bunların yutulması durumunda iç radyasyon önemli olmaktadır. Bu hususun özellikle bu malzemelerin yapı malzemesi imalatında kullanılması duru-

munda çalışanları etkileyeceği düşünülmelidir.

Sonuç olarak diyebiliriz ki sanayileşme ile birlikte artan radyasyon yapı malzemelerinde de doğal ortamdan az bir miktar daha fazladır. Yapı malzemesi yapısında uçucu kül olması radyasyon miktarını pek etkilemez, herhangi bir zarar beklenmemelidir. Ancak külün depolandığı büyük yığınların sebep olduğu ışıma çevrede zararlı olabilir.

5.2. Uçucu Küllerin İyileştirilme Süreci Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İyileştirme için Fransa'ya gönderilmiş numunelerin gerek Fransa'da yapılan analizleri, gerek İTÜ'de yapılan incelemelerinde aşağıdaki bulgulara varılmıştır:

Tablo 4.7'deki yayılma ölçümlerine dayanarak Afşin-Elbistan (ham ve iyileştirilmiş) ve Yatagan küllerinin taze betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilediğini söyleyebiliriz. Ancak bu durumun dane boyutuna değil dane şekli ve yüzeyine bağlı olduğunu düşünüyoruz. Çünkü granülometri işlenebilirliği olumlu etkileyecek düzeydedir.

Asıl üretimde su içinde saklanan numuneler umulduğu şekilde davranmayıp hiç bir durabilite problemi çıkarmamıştır. Bunun üzerine %50 ikame oranında tekrar üretim yapılmıştır.

Asıl üretim ile tekrar üretim arasında kür koşulları bakımından oldukça büyük fark vardır. Asıl üretim yazın 25~30 °C civarında, tekrar üretim ise kışın 15~20°C civarında bir sıcaklıkta üretildi. Yazın yapılan üretim 1 gün 25°C sıcaklıkta kaldıktan sonra kalıptan alınmış ve 4-5 gün daha burada kür uygulanmıştır. Kışın yapılan üretim ise 1 gün 10°C sıcaklıkta kalmış ve kalıptan alınır alınmaz suya bırakılmıştır. Kür şartlarının etkinliği (sıcak artışı ile

mukavemetin artması) tablolaradaki mukavemet değerleri gözlenerek rahatça görülebilir.

Tekrar üretimde Yatağan ve Elbistan numunelerinin 28. gün basınç mukavemetini karşılaştırırsak Elbistan üretimlerinin daha yüksek çıktığını görürüz. Bu durumun sebebini kireç (CaO) ve sülfat (SO₄) miktarlarının Elbistan külünde Yatağan külünden daha fazla olmasına bağlayabiliriz. Bilindiğı gibi bu iki unsur erken mukavemeti (28. gün) yükseltmektedir. Ancak bunlardan hangisinin daha etkin olduğunu söylemek bu araştırma için pek mümkün değildir. Literatür araştırmasında her ikisi içinde bu etkiler gözlemiştir.

%40 civarında kül içeren numunelerin mukavemetlerinin genelde %100 portland çimentolu numunelerden daha yüksek olması dikkat çekicidir.

Bu deneylerde asıl gözlemek istediğimiz Afşin-Elbistan küllerinin içerdığı yüksek serbest kirecin ham Elbistan küllerinde betona yaptığı olumsuz etki ile iyileştirilmiş (serbest CaO indirgenmiş) Elbistan küllerinin olumlu etkisi ne yazık ki gözlenememiştir. Hatta ham Afşin-Elbistan külleri mukavemeti daha yüksek çıkmıştır. Bu durumda;

Fransa'dan gelen analiz sonucu iyileştirme işlemi başlamadan önce serbest kirecin yüksek olduğunu proses tamamlandıktan sonra %4'e indirildiğini bildiriyor. Zaten bizde X-ışınları analizinde iyileştirilmiş külde serbest kireç varsa bile %5'in altındadır diyerek bunu doğruladık.

Fransa'ya giden külleri gönderdiğimiz ve sonra ham kül üretiminde kullandığımız küllerin varili 7-8 ay zarfında ağzı kapalı bir şekilde saklanmıştır. Ham küllerin bir şekilde nemlenip serbest kirecin sönmüş olması beklenmemelidir.

Eğer serbest kireç bidon içindeki nemin etkisiyle

sönmediyse veya aktif silisle reaksiyona girip CS (Kalsiyum Silikat) oluşturmadiysa betonu olumsuz etkileyecek etki yapmıyor demektir.

Ayrıca iyileştirme işleminde sülfat indirgendigi belirtilmiştir. Her iki külle üretilen harçlar 180 gün sonra öğütölüp X-ışınları analizi yöntemiyle incelenmiştir. İyileştirilmiş kül içeren numunelerde daha az etrenjit oluşumu gözlenmemiştir. Yani iyileştirmenin sülfat indirgeyici olduğunu söylemek güçtür.

İyileştirme işleminin etkisinin inceliği arttırdığı (işlenebilmeyi arttıracak) belirtilmiştir. Nitekim taze betonda gözlenen işlenebilirlik durumuna göre (tablo 4.7) işlenebilirlik az da olsa artmıştır.

Buna göre iyileştirme yöntemi hakkında daha geçerli ve güvenilir bir kanıya varmak için kimyasal, minerolojik ve fiziksel tam etüd edilmiş yeni kül örneği sağlanarak proses bu örnek üzerinde tekrar denenmeli ve kontrol edilmelidir.

5.3. SSB (Rolkrit) Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İlk olarak kullanılan malzemeler açısından bakarsak 31.5 mm açıklıktan %100 geçen iri agrega dane boyutu vardır ki bu aslında SSB için küçük bir dane boyutudur. Gerçek SSB uygulamalarında kullanılan dane boyutu daha büyüktür.

Üretim yöntemi açısından deneye bakarsak, 15x15x15 küplerde tokmakla sıkıştırılarak yapılan üretimle gerçekte sınırsız diyebileceğimiz boyutta ve silindir yol vibratörleriyle sıkıştırılarak yapılan üretime ne kadar yaklaşılabunu söyleyebilmek oldukça güçtür. Tokmakla sıkıştırmak numuneler arasında dahi değişik kompaksiyon dereceleri oluşturabilir.

Taze beton birim hacim ağırlığına dayanarak hesaplanan gerçek bileşim oranlarında %15 civarında bir hava boşluğu çıkmıştır. Bu çok yüksek bir orandır.

15x15x15 cm küplerde tokmakla sıkıştırılarak üretilen numunelerin 28. ve 90. günlerde basınç mukavemetleri bulunmuştur. Bu değerlerin 15 MPa değerine kadar ulaştıkları gözlenmiştir. Baraj betonu için 1 yıllık mukavemet değeri bu düzeyde istenmektedir. Dolayısıyla 90. günden elde ettiğimiz bu değer bizim küllerimizle de SSB üretiminin istenen mukavemeti rahatlıkla sağlayabileceğini göstermektedir.

Bizim küllerimizle SSB üretimi mümkün olduktan sonra gösterilmek istenen diğer bir konu V_f/V_c ve $V_w/(V_f+V_c)$ ile basınç mukavemeti ilişkisini grafik halinde gösterebilmektir. Bulunan sonuçlar değişik alt gruplara ayrılarak (2 bağımsız 1 bağımlı değişken içeren fonksiyonun) lineer ve non-lineer regresyon analizleri yapılmış beklediğimiz grafikler tam olarak elde edilememiştir. 8.5-9.9 MPa (28.gün) değerleri arasında elde edilen bu grafik abaktaki şekillere benzeyen tek grafikdir.

Beklenen eğrilerin rahatlıkla bulunamamasının nedeni bu eğrilerin Türkiye külleri için elde edilemeyeceği anlamına gelmez. Hatta daha uygun (SSB'yi temsili bakımından) deney yöntemleri tespit edilerek bu eğrilerin elde edilmesi mümkün olabilir.

BÖLÜM 6. DEĞERLENDİRMELERİN TOPLU ŞEKİLDE İFADESİ

* Afşin-Elbistan ve Yatağan küllerinin işlenebilirliği olumsuz etkilemesi granülometrisinden ziyade geometri ve yüzey şekline dayanır.

* Afşin-Elbistan külünün özgül ağırlığının yüksek çıkması kalsiyum bileşenleri miktarı fazlalığındandır.

* X-ışınları analiziyle bulduğumuz minerolojik yapı literatürde belirtilen sonuçlara yakındır.

* Radyoaktiflik açısından uçucu küller teknoloji ile hayatımıza girmiş pek çok maddeden daha az zararlıdır. Hatta bazı küllerin radyoaktivitesi Çimentodan bile düşüktür. Ancak büyük miktarda ve geniş alanlar için kullanıldığı takdirde radyasyon tehlikesi düşünülebilir.

* İyileştirme işleminin serbest kireç indirgemesi tam olarak gözlenememiştir. Buradan prosesin serbest kireci indirgeyemediği sonucu kolaylıkla söylenemez. Çünkü indirgenmiş kül içeren numuneler umulduğu gibi davranmıştır. Ancak iyileştirilmemiş kül içeren numunelerin performansı beklenmedik bir şekilde iyi çıkmıştır.

* İyileştirmede sülfat indirgemesi gözlenmemiştir.

* İyileştirmede işlenebilirlik az da olsa artmıştır.

* SSB üretiminde yeterli mukavemet rahatlıkla elde edilmiştir.

* SSB üretiminde hedeflenen su-toplam bağlayıcı, kül-çimento oranları ile basınç mukavemeti arasında ilişki kurulamamıştır. Bu durum böyle bir ilişkinin gerçekte olmadığı sonucundan ziyade deney yönteminin gerçek SSB'yi temsil etme-yişinden kaynaklanmaktadır.



KAYNAKLAR

- [1] Akman, S., Esenli, F. "A Comperative Study of Netural Puzzolans Used in Blended Cement Production", IV. Canmet/ACI Int. Conf. Fly Ash, pp.471-477, 1992, istanbul.
- [2] Akman, S. "İleri Beton Teknolojisi Ders Notları", İTÜ, 1992.
- [3] Mehta, P.K. "Natural Puzzolans", Canmet/Suplementary Cementing Materials for Concrete; pp.3-31, May 1987.
- [4] Leckebush, R. "Investigations on the Use of Turkish Natural Puzzolans as Mineral Addivities in Cement Production", (in Turkish) Technical Report, Cement Research and Development Center, Ankara, 1984.
- [5] Furkan, V., Houst, Y. "Les Materiaux Pouzzolaniques et Leur Utilisation", Chroniques du LMP 1980, Lousanne, pp.29-32.
- [6] Berry, E.E., Malhotra, V.M. "Fly Ash in Concrete", Canmet/Suplemantary Cementing Materials for Concrete, pp.37-144, March 1987.
- [7] TS 639

- [8] Iribarne, A.P., Anthony, E.I., Blandin, J. "The Phase Analysis of Coal Combustion Residues", 12th International Conference on Fluidized Bed Combustion, pp.827-834, May 1993.
- [9] Yurttutan, R. "Türkiye'deki Termik Santrallerden Elde Edilen Uçucu Küllerin Petrol ve Gaz Kuyuları Çimentolamasında Kullanılması".
- [10] Tokyay, M. "Uçucu Küllerin Minerolojik Kompozisyonlarının Hidratasyon ve Puzolanik Reaksiyonlara Etkileri", Türkiye İnşaat Mühendisleri X. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı, s.389-402, Ankara, Ekim 1989.
- [11] Zhonggui, G., Xiaolian, T., Xuyun, P., Youyui, Z. "Investigation of Theory and Technological Method of Fly Ash Separation", Proceedings of the First International Conference on Modern Process Mineralogy and Mineral Processing, pp.618-623, Beijing-China, September 1992.
- [12] Toros, H. "Afşin-Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Kullanılabilirliği", Haziran 1987.
- [13] Blondin, J. "The Cerchar Ash Hydration Process", 4th International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, Poster Presentation, Istanbul 1992.
- [14] Blondin, J., Akman, M.S., Anthony, E.J. "A New Hydration Process to Improve Quality of Silica and Sulfocalcic Ashes", 5th Canmet/ACI International Conference on Fly Ash, in Concrete-Milwaukee, June 1995.

- [15] Akman, M.S. "Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi", s.132-144, İTÜ, İstanbul 1992.
- [16] Tang, Y.S., and Saling J.H. "Radioactive Waste Management" Hemisphere Publishing Corporation, 1990.
- [17] Özden, N. "Nükleer Çağın İlk 40 Yılı", Cilt II, İTÜ Nükleer Enerji Enstitüsü, İstanbul 1983.
- [18] Peurfay, R.L., Ledbetter, W.B. "Construction, Planning, Equipment and Methods", McGraw Hill Book Company, 1985.
- [19] Davis, R.E., Carison, R.W., Kelly, J.W., and Davis, H.E. "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash", ACI Journal 33:577-612, 1937.
- [20] Akman, M.S., Öztekin, E., Erdinç, M. "Düşük Çimento Dozajlı ve Uçucu Kül Katkılı Hazır Betonlarda Dayanım ve Dayanıklılık", III. Ulusal Beton Kongresi-Hazır Beton, s.297-309, İstanbul, Ekim 1994.
- [21] Baron, J. et.al., "Fly Ash Replacement of Cement: Threshold Values of Cement Content in Relation to Concrete Durability", P.K. Mehta Symp. on Durability of concrete, Ed:Aitcin, Khayat, pp.21-34, Nice 1994,
- [22] Corneille, A. et.al., "Performance et Durabilite`des Betons Additionnes de Cendres Volantes et de Fillers Calcaires", Proc. of the 3rd. Canmet/ACI International Conf. on Durability of Concrete, pp.639-656, Nice 1994.

- [23] Dunstan, M.R.H. "Use of Pozzolans in RCC Dams", Canmet/ACI International Workshop on Advances in Concrete Technology, pp.32-53, Athens, Greece, May 1992.
- [24] Özturan, T. "Uluslararası IV. Canmet/ACI Betonlarda Uçucu Kül Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması, Sempozyum Bildiriler Kitabı, s.57-78, Ankara, Kasım 1993.
- [25] Chen, H., Malhotra, V.M., Sales, J.A. "For Reducing Alkali-Aggregate Reaction", Canmet Investigation of Supp. Cement Material, Canada, 1990.
- [26] Alasdi, M.M., Malhotra, V.M. "The Role of High Volume Fly Ash Concrete in Controlling Expansion Due to Alkali-Aggregate Reaction", Canmet Investigation of Supp. Cement Material, Canada, 1990.
- [27] DSI Teknik Bülteni
- [28] Akman, M.S. "Ağırlık Barajlarında Uçucu Küllü Rolkrit Kullanımı", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiri Kitabı, s.9-23, Kasım 1993.
- [29] Schrader, E.K. "Roller Compacted Concrete for Dams the State of the Art", Canmet Advances in Concrete Technology pp.361-407, Ed:Malhotra, 1992.
- [30] "Roller Compacted Concrete", ACI 207.5R-80.
- [31] "Mass Concrete for Dams and Other Massive Structures", ACI 207. 1R-70 (Reaffirmed-1980).

- [32] Raphael, J.M. "Concrete Dam", Development of Dam Engineering In The United States,Ed:Kollgaard, Chadwick, 1988.
- [33] Chao, P.C. "Tarbela Dam-Problems Solved by Novel Concretes", ASCE-Civil Engineering Volume 50, Number 12, pp.58-65, December 1980.
- [34] Chao, H.T., Bucea,L., Wortley, B., and Sirivivatnanon "Corrosion Behaviours of Steel Embedded in Fly Ash Blended Cements", pp.215-227.
- [35] Öztürk, A. "Rolkrit Üretimi ve Denetimi", Türkiye İnşaat Mühendisliği X. Teknik Kongre Bildiri Kitabı, Cilt I, s.491-506, Ankara, 1988.

EK A : RADYOAKTIVITE ÖLÇÜMÜ DENEY RAPORU

R A P O R

Laboratuvarımıza teslim edilen 5 örnekle yapılan ölçümler sonucu elde edilen bulgular ekteki laboratuvar raporunda görülmektedir. Elde edilen bulguların incelenmesinde şu sonuçlara varılmıştır :

a) Sayımların doğal ortam radyasyonundan (Background) çok az farklı olduğu görülmektedir. Ancak bazı element radyasyonlarının etkisinin az da olsa bulunduğu bir gerçek olarak bilinmektedir.

b) Bu ölçümler, malzemenin yapı malzemeleri içerisinde kullanılması durumunda kişiye ne doz yükleyeceğinin kesin hesabını yapmaya uygun değildir. Ancak görülen ufak farkların (doğal ortam radyasyonundan) metrekairelerce yüzeyi olan kapalı mekanlarda kişiyi etkileyebileceğini düşünmek gerekir.

c) Kesin karar verebilmek için uygun bir hesaplama yöntemi seçerek güvenmek pek olası görülmemektedir. Fakat deney mekanları hazırlayarak ölçüm yapılabilir.

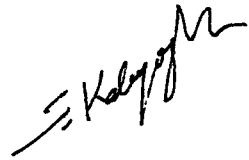
d) Deney mekanları hazırlanması, bu mekanlarda toplanacak radyoaktif radon (U^{238} bozunma ürünü) gazının ölçülmesini sağlayacağı için de gereklidir.

e) Söz konusu örneklerde α radyoaktivitesine neden olan elementler bulunduğundan bunların yutulması durumunda iç radyasyon önemli olmaktadır. Yapı malzemesi imalatı sırasında bu durumun dikkate alınması gereklidir.

11. Ocak. 1995



Prof.Dr. Şarman GENÇAY
Nükleer Bilimler Anabilim Dalı
Başkanı



Araş.Gör. Sevilay HACIYAKUPOĞLU
Nükleer Bilimler Anabilim Dalı

R A P O R

Yeryüzündeki tüm jeolojik tabakalarda değişik oranlarda radyoizotop bulunur. Binaların yapısında kullanılan malzemeler de yerkabuğundan alındığından bina yapı malzemeleri de belli oranda radyoaktivite içerir. Uranyum, Toryum ve Potasyum, detektör çevresi ve laboratuvar duvarlarında bulunur, gözlemlenen ortam radyasyonu bu elementlerin bozunma ürünleridir.

ORTEC HpGe yarı iletken detektör ve Canberra Series 90 Çok Kanallı Analizörle, yaklaşık 30 gramlık her bir örnek ve doğal ortam için detektöre 12 cm uzaklıktan alınan 5 saatlik sayım sonucu gözlenen doğal ortam piklerinden elde edilen sayımlar Tablo-I'de görülmektedir. Doğal ortam ve örneklerin sayımları karşılaştırılarak, örneklerdeki radyoaktivitenin doğal ortamın radyoaktivitesine oranı belirlenebilir. Şekil I, II, III, IV, V, VI 'da sayım sonucunda elde edilen doğal ortam ve örneklerin spektrumları görülmektedir.

Radyoaktivite düzeyini belirlemek için diğer bir yol olarak Eberline el monitörüyle doğal ortam ve yaklaşık 30 gramlık örnekler için alınan sonuçlar $\mu R/h$ olarak Tablo-II'de görülmektedir.

Tablo-II- Örneklerde ve Doğal Ortamda Gözlenen Radyasyon [$\mu R/h$]

	Doğal ortam	Afşin Elbistan I	Afşin Elbistan II	Çimento	Orhaneli	Yatağan
Yüzeyden	15.3	18.5	19	18.5	15.8	15.8
10 cm uzaklıktan		14.8	13	7.5	12.5	11

SB

EK B : CERCHAR DENEY RAPORU

CERCHAR *Bizim için*

Mazingarbe, le 7 septembre 1993

Centre d'Etudes et Recherches du Charbon
Rue Aimé Dubost
BP n° 19
62670 MAZINGARBE

Téléphone : 21 72 84 44
Télécopie : 21 72 83 51

Csk Onemli
Professeur Suheyl AKMAN
Istanbul Technical University
Civil Engineering Faculty
Ayazaga Kampusu
80626 Istanbul
TURKIYE

N/réf : PRD 546 /93/JB1

Monsieur le Professeur,

Nous espérons que vous avez bien reçu les cendres éteintes les 11 et 12 août qui vous ont été renvoyées le 17 août 1993.

Nous avons réalisé quelques analyses de contrôle que nous vous donnons pour information et pour comparaison avec vos propres résultats, à savoir :

- 1 - analyse thermogravimétrique sous gaz neutre (azote)
- 2 - dosage de chaux libre par la méthode LEDUC (eau sucrée)
- 3 - dosage du soufre total
- 4 - granulométrie laser dans l'isopropanol

Deux échantillons ont été constitués :

- n° 9860 des cendres telles que reçues, encore appelées "cendres brutes"
- n° 9861 des cendres ayant subi le traitement d'extinction, encore appelées "cendres éteintes"

1 - ATG sous hélium

La perte de poids a été mesurée à 440°C, température de décomposition de la chaux éteinte en chaux vive. Cette perte de poids est attribuable au départ de l'eau de constitution. On peut en déduire la teneur en chaux éteinte, exprimée en CaO :

- n° 9860 < 1,5% de Ca(OH)₂ exprimée en % de CaO
- n° 9861 = 11,2% de Ca(OH)₂ exprimée en % de CaO

Le dépouillement nous permet également de mettre en évidence une perte de poids à une température inférieure à 400°C qui pourrait être attribuée à la décomposition de la brusite, formée pendant le traitement, (Mg(OH)₂ en périclase (MgO). D'après nos calculs la teneur de MgO hydratée pendant le traitement en Mg(OH)₂ pourrait être d'environ 1,6%.

2 - Dosage de la chaux libre

Cette méthode permet d'évaluer les quantités cumulées de chaux vive et de chaux éteinte, exprimées en % de CaO.

- n° 9860 = 16,0%
- n° 9861 = 14,6%

Par différence il est possible de calculer la teneur en chaux vive, bien qu'il faille en toute rigueur confirmer ce résultat par une analyse de la diffraction des rayons X :

- n° 9860 > 16,0 - 1,5 = 14,5% de CaO (chaux vive initiale)
- n° 9861 = 14,6 - 11,2 = 3,4% de CaO (chaux vive résiduelle)

Copies : MM. SALOMEZ, BRUYET

3 - Dosage du soufre

n° 9860 = 3,79% de S total, soit 9,48% exprimé en SO₃

n° 9861 = 3,60% de S total (il y a diminution relative dans le rapport d'augmentation des pertes au feu avant et après traitement, soit 1,048)

4 - Granulométrie laser

Les courbes montrent une nette augmentation des fines inférieures à 10µm puisque leurs proportions passent respectivement de 9% avant traitement à 22% après traitement. Les d₅₀ passent respectivement de 40 µm avant traitement à 22µm après traitement.

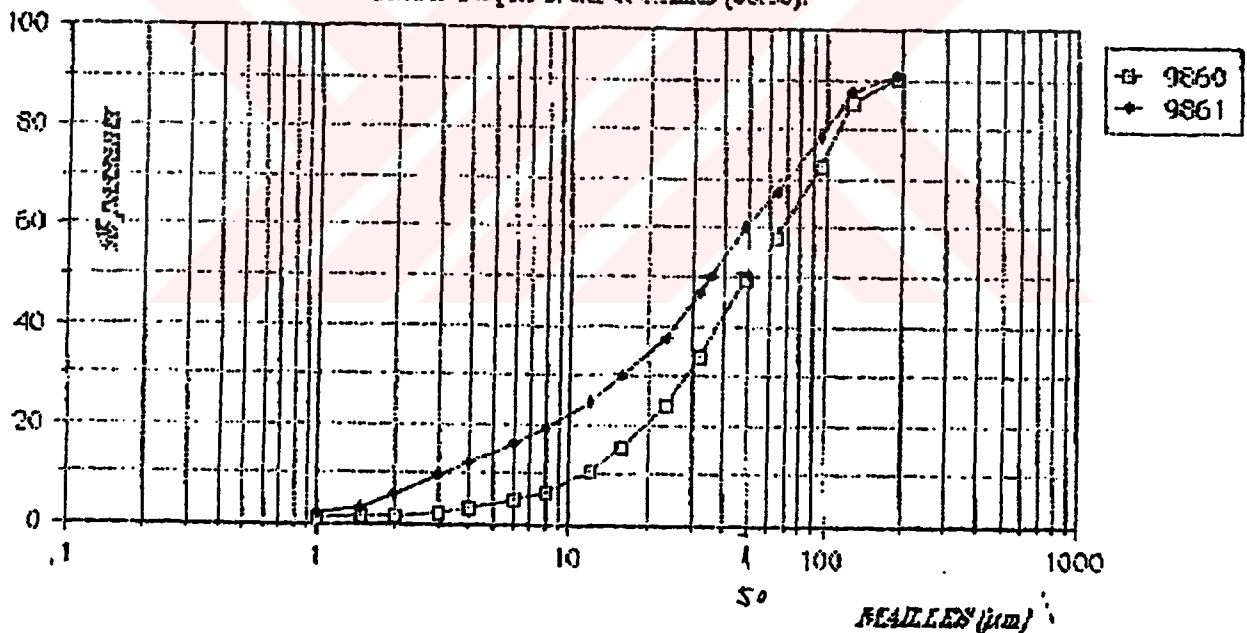
Nous restons à votre disposition pour la poursuite de notre collaboration.

Veuillez agréer, Monsieur le Professeur, l'expression de nos sentiments les plus cordiaux.


k_m Jacques BLONDIN

Granulométrie Laser dans l' isopropanol.

Cendres Turques brutes et éteintes (02/93).



Diamètre médian: 9860 = 48,5 µm

9861 = 35,9 µm

Supérieurs à 200 µm = 9860 = 9,9 %

9861 = 9,4 %

**F.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON BİRİMİ**

ÖZGEÇMİŞ

1970 yılında Muğla'nın Ortaca ilçesinde dünyaya geldi. İlköğrenimini Cengiz Topel İlkokulu'nda ortaöğrenimini Köyceğiz-Ortaca Lisesi Orta bölümünde tamamladı. 1986-87 öğretim yılında İzmir Özel Türk Kolejinden mezun oldu. Aynı yıl girdiği İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği bölümünü 1992 yılında bitirdi. 1992'de İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsünde master eğitime başladı. 1993-94 döneminde Marmara Üniversitesi "Çağdaş İşletme Yönetimi " programını tamamladı. Bir yapı kooperatifinde 1,5 yıl şantiye mühendisi olarak çalıştı.



P.C. FURSEKÖRETİM NURULU
PORTİMANASYON MBR19921