

**ATIK SULARIN UÇUCU KÜLLÜ HARÇLARIN  
ÖZELİKLERİNE ETKİSİ  
ÖZGÜR TATAR  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ESKİŞEHİR**

**2006**

**THE EFFECT OF WASTE WATERS  
TO PROPERTIES ON FLY ASH ADDED MORTAR  
ÖZGÜR TATAR  
MASTER OF SCIENCE THESIS  
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

**ESKİŞEHİR**

**2006**

ATIK SULARIN UÇUCU KÜLLÜ HARÇLARIN ÖZELİKLERİNE ETKİSİ

ÖZGÜR TATAR

Osmangazi Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Anabilim Dalı  
YAPI Bilim Dalında  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

KASIM 2006 ESKİŞEHİR

Özgür TATAR'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "ATIK SULARIN UÇUCU KÜLLÜ HARÇLARIN ÖZELİKLERİNE ETKİSİ" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Üye : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

Üye : Y.Doç.Dr Ö.Fatih ESER

Üye : Y.Doç.Dr. Osman ÜNAL

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Abdurrahman KARAMANCIOĞLU

Enstitü Müdürü

## ÖNSÖZ

Günümüzde çevresel koşullar, kimyasal maddeler içeren sular ve nem betonun kullanıldığı ortamlarda giderek daha çok hasara yol açan boyutlara ulaşmaktadır. Açık deniz platformları, gaz tankları, nükleer santrallerin basınç depoları, beton borular gibi. Bununla beraber köprü ayakları, baraj, rıhtım, hava meydanları, beton yollar ve konut türündeki çeşitli klasik mühendislik yapılarının dayanım ve dayanıklılık problemleri de ön plana çıkmaktadır. Bu yapılarda kullanılan betonun çevresel etkilere karşı özelliklerini kaybetmemesi yani dayanıklı olması son zamanlarda üzerinde çok durulan bir konudur. Yapılan bir incelemede gelişmiş ülkelerde yapı sektöründe yapılan harcamaların % 40 'ı tamir ve bakıma, % 60'ının ise yeni inşaatlara ayrıldığı görülmektedir.

Baş döndürücü bir hızla gelişen beton teknolojisinin, artık kısa zaman içerisinde, kullanıldığı yapı elemanı içerisinde oluşan herhangi bir olumsuzluğa cevap verememesi söz konusu bile olamaz. Beton teknolojisinin hızla gelişmesi, daha eski teknolojiyle üretilmiş betonların zamanla bünyesel ve çevresel etkilerden zamanla olumsuz etkilenmesi ile olmaktadır. Bu durumda kompozit bir malzeme olan betonu farklı malzemeler (atık malzeme, kimyasal ve mineral katkı v.s.) ile üretilmesi gereksinimi ortaya çıkar.

Bu yüksek lisans tezinde; farklı tip uçucu küllerin, beton içerisinde oranlarda kullanılarak atık sulardan belirli bir zaman sonrasında nasıl etkilendiğini irdelemek ve yararlı kullanım oranını ve karışım miktarlarını ortaya çıkararak hasar oranını azaltmak ve betona kazandırdığı olumlu ve/veya olumsuz özellikleri araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda belirli oranlardaki uçucu küller standartlara uygun olarak harç numunelerine çimentoyla birlikte ilave edilmiş ve standartlarda belirtilen kür ortamına maruz bırakılarak belirli bir süre zarfında önce elde edilen ve analizleri yapılmış olan atık suların etkisine bırakılarak, ortaya çıkan değişiklikler incelenmiş ve irdelenmiştir.

## ÖZET

Beton kolay üretilebilmesi, kolay işlenebilmesi ve şekil verilebilmesi, ucuz olması ve her türlü yapıda kullanılmasının uygun olması nedeniyle, günümüzde yapılarda en çok kullanılan yapı malzemesi olmaktadır. Betonda aranan özelliklerden en önemlileri basınç dayanımı ve dayanıklılıktır. Beton basınç dayanımının yüksek olması ile beraber diğer özellikleri de iyi olmaktadır. Bir yapının kullanma amacına göre projelendirilmesi ve yapılması gerekir. Projelendirme yapılırken dayanım, dayanıklılık, işlevsellik, ekonomi ve estetik ilkelerin birlikte ele alınması gerekmektedir. Yapı servis yüklerini ve deprem gibi etkilerden kaynaklanan yükleri belirli bir güvenlikle taşıyabilmeli, planlanan hizmet ömrü sırasınca dıştan ve içten kaynaklanan yıpratıcı etkilere karşı dayanıklı olmalı, ekonomik olmalı, her türlü gereksinime cevap verebilmeli ve estetik bir görünüşe sahip olmalıdır.

Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır. Beton veya betonarme elemanların işlevleri gereği taşımaları gerekli yükler etkisinin dışında, bulunduğu yer ve çevreden doğan mekanik, fiziksel, biyolojik ve kimyasal etkiler nedeniyle zaman içerisinde bozulabilir ve hasar görebilir. Bu gibi olayları birçok yapıda görebilmekteyiz. Bu tür etkilerden biri olan kimyasal etkilerle çeşitli yapı elemanlarında karşılaşabilmekteyiz.

Bu çalışmada yukarıda anlatılan etkilerin yapabileceği düşünülen kanalizasyon (evsel atık su) ve endüstriyel atık suların betonunun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerinin ne derece olabileceğinin araştırılması, yapılan deneysel çalışmaların sonuçları verilmektedir. Sonuçlardan kanalizasyon ve endüstriyel atık suların içerdiği kimyasal maddeler nedeniyle betonun zaman içinde olumsuz etkileşimler olabileceği görülmüştür.

## SUMMARY

Concrete is mostly used construction material in buildings today owing to its being easily produced, processed and shaped, its being cheap and it can be used in all kinds of buildings. Compressive strength and durability are the most important properties of concrete. Other properties become alright together with concrete compressive strength's being high. It is necessary to project and construct a building according to its aim of utilization. It is necessary to deal with compressive strength, durability, functionality economy and aesthetic requirements together in design phase. Building service loads and loads occurring from effects like earthquake should be carried with certain confidence; while planned service life it should be durable against wearing effects resulting from in and out, it should be economic, it should response to the need and it should have an aesthetic appearance.

Being an artificial material, concrete's properties' sustainability is bound to its being durable. It is possible that concrete and reinforced concrete components can be spoiled and damaged in time not just because of necessary loads they must carry owing to their functions, but additionally we can observe that kind of events in lots of buildings because of mechanical, physical, biological and chemical effects arising from its position and environment. We can encounter chemical effects which are one of these effects in different building components.

In this study, effects of sewage (domestic wastes) and industrial waste water, that are considered to be that kind of effects, to physical and mechanic properties of concrete are examined with an examinational study results. It is observed from the results that there can be losses of compressive strength of concrete in time because of chemical components in sewage and industrial waste water.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın hazırlanmasında bizlerle yakından ilgilenen, çalışmalarımızı inceleyip, bize her anlamda yardımcı olan ve destekleyen saygıdeğer hocamız Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU'ya, Yrd. Doç. Dr. Ö.Fatih ESER'e , Yrd. Doç. Dr. Osman ÜNAL'a Arş. Gör. Cenk KARAKURT'a Arş. Gör. Abdullah DEMİR'e, Arş. Gör. Mehmet CANBAZ'a ,Arş. Gör. Ahmet R. BOĞA'ya , Tekn. Sevgin YILMAZ'a ve benim şu anda burada olmamı sağlayan aileme teşekkürü bir borç bilirim.

## İÇİNDEKİLER

<b>ÖNSÖZ</b> .....	i
<b>ÖZET</b> .....	ii
<b>SUMMARY</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	iv
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	v
<b>FOTOĞRAFLAR DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	vii
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	viii
<b>SİMGE VE KISALTMALAR</b> .....	ix
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
<b>2. ATIK SULAR İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR</b> .....	6
<b>3. AMAÇ VE KAPSAM</b> .....	8
<b>4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR</b> .....	9
4.1. Kullanılan Malzemeler.....	9
4.1.1. Uçucu Kül.....	9
4.1.2. Atık Su.....	9
4.1.3. Çimento.....	11
4.1.4. Standart Kum.....	12
4.1.5. Karma Suyu.....	13
4.2. Numunelerin Hazırlanması ve Dökülmesi.....	13
4.2.1. Harcın Bileşimi.....	14
4.2.2. Harcın Hazırlanması.....	14
4.2.3. Harcın karıştırılması.....	14
4.2.4. Karıştırıcı.....	15
4.2.5. Kalıplar.....	15
4.2.6. Kalıpların doldurulması.....	16
4.2.7. Sarsma Cihazı.....	17
4.2.8. Numunelerin Bekletilmesi ve Bakımı.....	17
4.3. Kür Koşulları.....	18
4.4. Taze Harç Deneyleri.....	18

4.4.1. Normal Kıvam Tayini.....	19
4.4.2. Priz Başlama ve Sona Erme Süreleri.....	19
4.4.3. Hacim Genleşmesi Tayini.....	19
4.4.4. Tane Büyüklüğü Tayini.....	19
4.4.5. Taze Birim Ağırlık.....	19
4.4.6. Yayılma Deneyi.....	19
4.4.7. Numunelerin Kür Havuzundan Çıkarılması.....	20
4.5. Numunelerin Atık Sular İçerisine Küre Bırakılması.....	21
4.6. Sertleşmiş Harç Deneyleri.....	22
4.6.1. Rezonans Frekansı Deneyi.....	22
4.6.2. Ultrasonik Ses Hızı Ölçme Deneyi.....	23
4.6.3. Eğilme Dayanımı Deneyi.....	24
4.6.4. Basınç Dayanımı Deneyi.....	26
<b>5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....</b>	<b>28</b>
5.1. Taze Harç Deneylerinin Değerlendirilmesi.....	28
5.1.1. Normal Kıvam Tayini Deneyi Sonuçları.....	28
5.1.2. Hacim Genleşmesi Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	28
5.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	29
5.2.1. Numune Ağırlıklarının Ölçümü.....	30
5.2.2. Numunelerin Kuru Birim Ağırlıklarının Değerlendirilmesi.....	30
5.2.3. Ultrases Deneylerinden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi.....	31
5.2.4. Rezonans Frekansı Deneyleri Sonuçları.....	33
5.2.5. Eğilme Dayanımı Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	35
5.2.6. Basınç Dayanımı Deneyleri sonuçlarının değerlendirilmesi.....	37
<b>6. DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ.....</b>	<b>40</b>
<b>7. SONUÇVE ÖNERİLER.....</b>	<b>43</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>45</b>
<b>KISA ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>48</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>49</b>
<b>CURRICULUM VITAE.....</b>	<b>50</b>

**FOTOĞRAFLAR DİZİNİ**

<b><u>NO</u></b>	<b><u>SAYFA</u></b>
1. Deneyleerde Kullanılan TS EN 197-1 nolu Cem I 42.5 Çimentosu.....	11
2. Harç Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	13
3. Karıştırıcı.....	15
4. 4x4x16 cm'lik kalıplar.....	16
5. Kalıpların Doldurulması.....	16
6. Yayılma deneyi aleti.....	20
7. Numunelerin hassas terazide tartılması işlemi.....	21
8. 90 Gün Endüstriyel Atık Suda Bekletilmiş Numuneler.....	21
9. 180 Gün Endüstriyel Atık Suda Bekletilmiş Numuneler.....	22
10. Rezonans Frekansı Ölçüm Aleti.....	23
11. Ultrasonik ses cihazı.....	24
12. Eğilme Dayanımı Deneyi Aleti.....	26
13. Cihazın Pres ve Bilgisayarlı Ayar Kısmı.....	27

## ŞEKİLLER DİZİNİ

1. UK Oranıyla Ağırlığın Değişimi.....	30
2. UK oranı ile kuru birim ağırlıkların değişimi.....	30
3. Ultrases geçiş süresinin UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda).....	31
4. Ultrases geçiş süresinin UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda) .....	32
5. Ultrases geçiş süresinin UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda) .....	32
6. Ultrases geçiş süresinin UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda) .....	33
7. Rezonans frekansının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda) .....	33
8. Rezonans frekansının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda) .....	34
9. Rezonans frekansının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda) .....	34
10. Rezonans frekansının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda).....	35
11. Eğilme Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda).....	35
12. Eğilme Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda).....	36
13. Eğilme Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda).....	36
14. Eğilme Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda).....	37
15. Basınç Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda).....	37
16. Basınç Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda).....	38
17. Basınç Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda).....	38
18. Basınç Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda).....	39

## ÇİZELGELER DİZİNİ

1. Kimyasal Maddelerin Betona Etkileri.....	3
2. Seyitömer ve Soma Uçucu Küllerinin Kimyasal Analiz Sonuçları.....	9
3. EOSB Çevre Laboratuvarı atık su deşarj noktası su analizi.....	10
4. EOSB sektörel atık su Çizelgesi.....	10
5. Arıtılmamış Evsel Atık Su Analizi.....	11
6. Deneylerde Kullanılan CEM I 42.5 R Çimentosunun Özellikleri.....	12
7. Deneylerde Kullanılan Standart Kumun Elek Analizi.....	12
8. Kullanılan Şebeke Suyunun Kimyasal Analizi.....	13
9. Karıştırma Kanadı Hızları.....	15
10. Evsel Atık Suda Bekletilmiş Numunelerin Deney Sonuçları.....	29
11. Endüstriyel Atık Suda Bekletilmiş Numunelerin Deney Sonuçları.....	29

## SİMGELER VE KISALTMALAR

- UK** : Uçucu Kül
- UK-F** : F tipi uçucu kül
- UK-C** : C tipi uçucu kül
- E** : Dinamik Elastisite modülü
- $\Delta$  : Harcın kuru birim ağırlığı ( $\text{kg}/\text{dm}^3$ )
- $\sigma_R$  : Çekme dayanımı, MPa
- M** : Eğilme momenti
- b** : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, mm
- P** : Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N
- L** : Eğilme deney aleti mesnet eksenleri arasındaki uzaklık, mm

---

---

## BÖLÜM 1 GİRİŞ

---

---

Günümüzde çevresel koşullar, kimyasal maddeler içeren sular ve nem betonun kullanıldığı ortamlarda giderek daha çok hasara yol açan boyutlara ulaşmaktadır. Açık deniz platformları, gaz tankları, nükleer santrallerin basınç depoları, beton borular gibi. Bununla beraber köprü ayakları, baraj, rıhtım, hava meydanları, beton yollar ve konut türündeki çeşitli klasik mühendislik yapılarının dayanım ve dayanıklılık problemleri de ön plana çıkmaktadır. Bu yapılarda kullanılan betonun çevresel etkilere karşı özelliklerini kaybetmemesi yani dayanıklı olması son zamanlarda üzerinde çok durulan bir konudur. Bir incelemede gelişmiş ülkelerde yapı sektöründe yapılan harcamaların % 40'ı tamir ve bakıma, % 60'ının ise yeni inşaatlara ayrıldığı görülmektedir.

Betonun kimyasal reaksiyonlar sonucu zamanla bozulması süreci, zararlı maddelerin (iyon ve molekül) çoğunlukla çevreden beton bünyesine taşınmasıyla söz konusudur. Bazı durumlarda zararlı maddeler betonun kendi bünyesinde de kaynaklanabilir. Bu durumda bile zararlı maddeler reaksiyona girecekleri yere taşınırlar. Madde transferi olmadığı takdirde zararlı reaksiyonlar gelişmemektedir. Dolayısıyla beton bünyesinde kimyasal reaksiyonların oluşması için ön koşul taşınmayı sağlayan su veya su buharının varlığıdır. Zararlı maddeler ve betonun reaktif bileşenleri arasındaki reaksiyon gerekli ortam oluşunca hemen başlar. Ancak genelde, beton bünyesi içinde ya da yüzeyden içeriye taşınım hızı oldukça yavaş olduğundan, bazı reaksiyonların zararlı etkileri yıllar sonra ortaya çıkabilmektedir (Baradan B, v.d.,2002).

Bazı beton ve betonarme yapı elemanları işlevlerine göre sürekli yada zaman zaman çeşitli kimyasal madde içeren sularla temasta bulunabilirler. Bu su yada sıvıların içinde bulunan bazı kimyasal maddeler beton ve donatıya zarar verirler. Zamanla meydana gelen bu zararlı etkiler sıvılarda bulunan kimyasal maddelerin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak zayıf, orta ve şiddetli olabilir. Sıvıların içinde betona zarar veren sülfat, sülfid, klor, amonyak, yağlar ,organik maddeler, karbonatlar, asitler ve benzeri maddeler bulunabilir. Bu maddeler az yada çok, dolaylı yada doğrudan betonda hasarların oluşmasına neden olabilmektedirler. Örneğin ortamda sülfatların bulunması betonda genleşen tuzların oluşmasına neden olarak betonda çatlamalara

neden olabilmektedir. Klor iyonları beton çeliğinin korozyonuna ve betonun yavaş da olsa parçalanmasına neden olabilmektedir. Suların alkalinitesinin yüksek olması da betona zarar vermektedir. Suda bulunan kalsiyum karbonatın karbonik asitle birleşerek kalsiyum bikarbonata dönüşmekte, bunda çimento içindeki kalsiyum hidroksiti eriterek betonu boşluklu hale getirmektedir (Baradan B, v.d.,2002).

Sularda bulunan kükürtlü bileşikler ve sülfür sıcak havalarda zamanla meydana gelen hidrojen sülfidin havanın oksijeni ile birleşerek sülfürik aside dönüşmesi sonucunda betona zararlı hale gelmektedir. Sülfürik asit sudaki konsantrasyonuna göre betonda çok yüksek derecede yıkıcı etkiye neden olur.

Kimyasal reaksiyonlar sonucu betonun bozulmasının engellenmesi için değişik boyutlarda önlemler alınabilir. Bunları kısaca özetlemek olanaklıdır: Kimyasal reaksiyonlar değişik transfer mekanizmaları ile geliştiğinden, zararlı maddelerin beton içinde taşınımını engellemek gerekir. Taşınım su veya su buharı ile gerçekleştiğinden, suyun varlığını engellemekle sorun çözülebilir. Ancak bu durumu uygulamada gerçekleştirmek oldukça zordur. Havanın neminde bile su vardır (Yeniboğalı A, 1999)

Kimyasal reaksiyonların gelişimi, büyük ölçüde zararlı maddelerin beton bünyesine taşınım hızına dolayısıyla betonun geçirimliliğine bağlıdır. Tüm kimyasal reaksiyonlarda olduğu gibi, sıcaklık reaksiyon hızını arttıran bir faktördür. Bunun nedeni sıcaklığın iyon veya moleküllerin hareketliliğini arttırmasıdır. Kimyasal reaksiyonlar değişik tiplerde oluşabilir ve çoğunlukla fiziksel ve biyolojik etkenlerle bir arada ve peş peşe gelişip betonun bozulmasına neden olurlar (ACI Comitee 201, 1999). Uygulamalarda kullanılan beton veya betonarme yapı elemanlarının yalnızca küçük bir kısmı ciddi kimyasal etkilerle karşılaşır. En çok karşılaşılan kimyasal saldırılar sülfat, asit ve alkali saldırılarıdır. Deniz suyu ve tuz etkileri de önemli kimyasal ve fiziksel etkileri olan saldırı kaynaklarıdır. Değişik tip kimyasal maddelerin betona zararlılığı konusunda bilgiler American Concrete Institute (ACI) tarafından derlenmiştir.

**Çizelge 1.** Kimyasal Maddelerin Betona Etkileri (Baradan B, v.d.,2002).

<b>Kimyasal Madde</b>	<b>Betona Etkisi</b>	<b>Kimyasal Madde</b>	<b>Betona Etkisi</b>
Amonyum Sülfat	Yavaşça Parçalar	Asidik Sular (pH ≤ 6)	Yavaşça Parçalar
Amonyum Nitrat	Parçalayıcı Etki	Glikoz	Yavaş Parçalayıcı Etki
Gübre(Dışkı)	-	Hayvansal Yağlar	Sıvı Halde Hızlı Parçalanma
Amonyum Süper Fosfat	Parçalayıcı Etki	Sülfürik Asit	Hızlı Parçalar
Potasyum Nitrat	Yavaş Parçalayıcı Etki	Organik Asitler	Parçalayıcı Etki
Sodyum Nitrat	Yavaş Parçalayıcı Etki	İdrar	Çeliğe Zarar
Sodyum Sülfat	Parçalayıcı Etki	Klor Gazı	Nemli Ortamlarda Parçalayıcı Etki
Sodyum Sülfid	Yavaş Parçalayıcı Etki	Hipoklorik Asit % 10	Parçalayıcı Etki
Soya Yağı	Sıvı Halde Yavaş Etki	Çamaşır Suyu	Parçalayıcı Etki
Şeker	Parçalayıcı Etki	Zeytinyağı	Parçalayıcı Etki
Sirke	Parçalayıcı Etki	Tereyağı	Parçalayıcı Etki
Karbonik Asit	Yavaş Parçalar	Sodyum Hidroksit % 20	Parçalayıcı Etki
Fenol % 5-25	Yavaş Parçalayıcı Etki	Fosforik Asit % 10-85	Yavaş Parçalayıcı Etki

Yapılan bu çalışmada; farklı iki tip uçucu külün, beton içerisinde belirli ve değişken oranlarda kullanılarak atık sulardan belirli bir zaman sonrasında nasıl etkilendiğini irdelemek ve yararlı kullanım oranını ve karışım miktarlarını ortaya çıkararak hasar oranını azaltmak ve betona kazandırdığı olumlu ve/veya olumsuz özellikleri araştırmak amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda belirli oranlardaki uçucu küller standartlara uygun olarak harç numunelerine çimentoyla birlikte ilave edilmiş ve standartlarda belirtilen kür ortamına maruz bırakılarak belirli bir süre zarfında önce elde edilen ve analizleri yapılmış olan atık suların etkisine bırakılarak, bu atık sular içinde öngörülen zaman dilimindeki davranışı gerek nitel, gerek nicel olarak kaydedilmiştir.

Çalışmalar da kullanılan uçucu küller, elektrik üreten termik santrallerden elde edilmiştir. Bu küllerin beton içerisindeki kullanım oranları daha önceden öngörölmüş olup ürettiğimiz harç numunelerine kazandırabileceği düşünölen özellikler araştırılmış ve çalışma içerisinde uygun başlıklarda belirtilmiştir. Elde edilen sonuçlar, beklenen sonuçlarla karşılaştırılmış, gerek mantıksal gerekse sayısal olarak değerlendirilmiş ve irdelenmiştir.

Betonun kimyasal reaksiyonlar sonucu zamanla bozulması süreci, zararlı maddelerin (iyon ve molekül) çoğunlukla çevreden beton bünyesine taşınmasıyla söz konusudur. Bazı durumlarda zararlı maddeler betonun kendi bünyesinde de kaynaklanabilir. Bu durumda dahi zararlı maddeler reaksiyona girecekleri yere taşınırlar. Madde transferi olmadığı takdirde zararlı reaksiyonlar gelişmemektedir. Dolayısıyla beton bünyesinde kimyasal reaksiyonların oluşması için ön koşul taşınmayı sağlayan su veya su buharının varlığıdır. Zararlı maddeler ve betonun reaktif bileşenleri arasındaki reaksiyon gerekli ortam oluşunca hemen başlar (Yeniboğalı A, 1999) .

Ancak genelde, beton bünyesi içinde yada yüzeyden içeriye taşınım hızı oldukça yavaş olduğundan, bazı reaksiyonların zararlı etkileri yıllar sonra ortaya çıkabilmektedir.

Bazı beton ve betonarme yapı elemanları işlevlerine göre sürekli ya da zaman zaman çeşitli kimyasal madde içeren sularla temasta bulunabilirler. Bu su ya da sıvıların içinde bulunan bazı kimyasal maddeler beton ve donatıya zarar verirler. Zamanla meydana gelen bu zararlı etkiler bu zararlı etkiler sıvılarda bulunan kimyasal maddelerin çeşidine ve konsantrasyonuna bağlı olarak zayıf, orta ve şiddetli olabilir. Sıvıların içinde betona zarar veren sülfat, sülfid, klor, amonyak, yağlar, organik maddeler, karbonatlar, asitler ve benzeri maddeler bulunabilir. Bu maddeler az yada çok, dolaylı ya da doğrudan betonda hasarların oluşmasına neden olabilmektedirler. Örneğin ortamda sülfatların bulunması, betonda genleşen tuzların oluşmasına neden olarak betonda çatlamalara neden olabilmektedir. Klor iyonları beton çeliğinin korozyonuna ve betonun yavaş da olsa parçalanmasına neden olabilmektedir. Suların alkalinitesinin yüksek olması da betona zarar vermektedir. Suda bulunan kalsiyum karbonatın bazı reaksiyonlar sonucun

da karbonik asitle birleşerek kalsiyum bikarbonata dönüşmekte, bununda çimentonun içinde bulunan kalsiyum hidroksiti eriterek betonu boşluklu bir hale getirmektedir.

Hidrate çimentonun katı fazını göreceli olarak çözünmeyen kalsiyum hidratlar (CSH, CH ve CAH) oluşturmaktadır. Bu bileşenler pH'ı oldukça yüksek olan gözenek suyu içinde kararlı durumdadır. Gözenek suyu içindeki  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  ve  $(\text{OH})^-$  iyonları betonun pH değerini 12.5-13.5 aralığında tutmaktadır. Buradan çıkarılabilecek doğal sonuç, betonun asidik ortamla karşılaştığında kimyasal kararlılığını kaybedeceğidir. Teorik olarak pH'ı düşük sular çimento hidrate bileşenlerinin çözülmesine yol açar (K. Tosun, v.d., 2003), (K. Kılınç, v.d., 2003), (B. Uzal v.d., 2003)

Bu açıdan bakıldığında birçok endüstriyel atık ve doğal su beton açısından saldırgan kabul edilebilir. Ancak, kimyasal saldırının şiddeti sıvının pH değeri ve betonun geçirimliliğinin fonksiyonudur. Sıvının pH değerinin 6.5'in üzerinde olması ve betonun geçirimliliğinin çok az olması halinde kimyasal saldırı çok yavaş gelişir ve sonucu gözardı edilebilir değerlerde kalabilir. Özellikle sülfat ve klor iyonları içeren yer altı suları, deniz suyu, serbest  $\text{CO}_2$  veya  $\text{H}^+$  iyonu içeren sular, endüstriyel atıkların, kanalizasyonların karıştığı sular zararlı reaksiyonlara neden olabilir. pH 5.5 ve altındaysa saldırı şiddetli, 4.5 ve altındaysa çok şiddetli gerçekleşir. Belirtildiği gibi sıvının beton içinde taşınım hızı önemli bir faktördür (N.H Atahan v.d., 2003), (T. Ertün v.d., 2003), (A. Uğurlu v.d.; 2003), (O Karahan v.d., 2003), (M.Şahmaran v.d., 2005).

---

---

## BÖLÜM 2

### KONU İLE İLGİLİ ÖNCE DEN YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

---

---

Dünyada bu çalışmayla ilgili az sayıda araştırma yapılmış olmasına rağmen elde edilen sonuçlar ilgi çekicidir. Çalışmalarda dikkati çeken en önemli nokta ise yapılan çalışmaların hemen hemen tümünde uçucu kül kullanılmasıdır. Bu çalışmalardan bir kaçını aşağıda özetlenmektedir.

H. Saricimen ve diğerleri (H. Saricimen v.d., 2003), Suudi Arabistan'daki atık su taşıma sistemlerinde kullanabilmek için farklı çimentolarla farklı oranlarda uçucu kül kullanarak harç numuneleri üretmiş ve bunları zararlı madde konsantrasyonları artırılmış atık sularda küre tabii tutmuş, 73. ve 150. günlerinde sertleşmiş beton deneyleri uygulayarak sonuçta sülfata dayanıklı çimento kullanılarak üretilen numunelerin her anlamda olumlu sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir.

A.K. Fisher ve diğerleri (A.K. Fisher v.d., 2001) selülozik fiber ile güçlendirilmiş beton boruların atık su uygulamalarındaki dayanıklılıklarını araştırmışlardır. Uygulama alanlarından aldıkları numuneleri SEM teknolojisiyle incelemişler ve bu uygulamanın özellikle sülfat saldırılarında bu ürünün uygunluğunu belirlemişler ve potansiyel biyolojik dayanıklılık derecesinin arttığını vurgulamışlardır.

S. Delgado ve diğerleri (S. Delgado v.d., 2001) kentsel atık su borularında H<sub>2</sub>S oluşumunu incelemişlerdir. Bu boruların içinde her ölçümde sıcaklığın 3 °C'den fazla olmadığını ne yaz mevsiminde ne de kış mevsiminde sıcaklığın 5 °C'den fazla olmadığını belirlemişlerdir. Oluşan reaksiyonların bu sıcaklıklarda meydana geldiğini gözlemlemişlerdir. Bu reaksiyonların tamamıyla gerçekleşme süresini matematiksel denklemler oluşturarak ifade etmişlerdir.

Jean-Marc Tulliani ve diğerleri (J.M. Tulliani v.d., 2002) beton bina temellerinde atık sulardan dolayı oluşan sülfat saldırılarını Torino'daki 35 yıllık bir binada incelemişlerdir. Temelde binanın iç kısımlarında kalan perde ve kolonlarda gözle

görölür hasarlar belirlemişlerdir. Bu hasarın ise SEM cihazı analizleri yardımıyla binanın yapıldığı 15 sene içerisinde oluştuğunu göstermişlerdir.

Topçu ve Canbaz (Topçu İ.B., Canbaz M., 2001) UK kullanımının betondaki etkilerini araştırmışlar ve işlenebilirlik açısından yapılan incelemelerde dozaj azaldıkça UK katılan betonlarda UK katkısız kontrol betonlarına göre VeBe süresinin azaldığı kanısına varmışlardır. UK kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve UK miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığını anlamışlardır. 2000 yılı Birim fiyatları ile yapılan maliyet analizinde çimento yerine % 20 UK kullanılması ile beton birim maliyetinde ortalama % 10'luk, % 40 UK kullanılması ile de % 18'lik bir ekonomik kazanç elde edileceğini belirtmişlerdir.

---

### BÖLÜM 3 AMAÇ VE KAPSAM

---

Uçucu kül ülkemizde termik santrallerin fazla olması nedeniyle çok fazla bulanabilen bir katı atık olarak karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla bu atık maddenin değerlendirilmesi, özellikle inşaat alanında kullanılabilirliğinin ispatlanması, özellikle ekonomik açıdan çok yararlı olacağı kaçınılmaz bir gerçek olarak karşımıza çıkmaktadır. Son yıllarda UK ile ilgili birçok çalışma yapılmış olup bu çalışmalarda başarılı alınmıştır. Bu alanda çalışmalar halen bir çok yerde devam etmektedir.

Çevreye zararlı olan bu atıkların harç içerisinde çimento yerine kullanılması ile hem bu atıkları değerlendirme, hem de kullanılan çimento miktarını azaltarak ekonomik olarak da yarar sağlama düşüncelerinden yola çıkarak bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada kullanılacak uçucu kül çimento yerine kullanılacağından, çimento oranı azaldıkça dayanımın azalabileceği düşüncesinden ötürü yüksek dayanımlı olan CEM I 42.5 çimentosu kullanılmıştır.

Bu çalışmada birçok etken göz önünde bulundurularak atık suların harçlara etkileri incelenmiştir. Çalışmada biri evsel diğeri endüstriyel olmak üzere iki farklı atık su temin edilmiştir. Bu suların kimyasal bileşimleri (içerdiği asitler, tuzlar, pH değerleri v.s.) bir çökelmeye ya da başka kimyasal etkiler altında kalmadan laboratuarda belirlenmiştir. Kontrol numuneleriyle birlikte geçirimsizlik sağlayan F ve C tipi uçucu külün farklı oranlarda katılmasıyla harç numuneleri üretilmiş ve 28 gün kür edilmiştir. Harçlar kalıplara dökülmeden önce taze harç deneyleri yapılmış, 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler, getirilen atık suları içeren kaplara aktarılmış ve 28, 56, 90 ve 180 gün sürelerinde bekletilerek özellikle asit ve sülfat altında gösterilen davranışlar incelenmiş ve sertleşmiş harç deneyleri yapılmıştır.

Çalışmanın amacı, harçların basınç dayanımı ve dayanıklılığına olumsuz etki yapan ve onların kullanım sürelerini azaltan kimyasal maddelerden olan kanalizasyon (evsel atık sular) ve endüstriyel atık sularının etkilerinin ne derece olduğunu araştırmaktır.

**BÖLÜM 4**  
**DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

#### 4.1. Kullanılan malzemeler

##### 4.1.1. Uçucu Kül (UK)

Seyitömer ve Soma termik santrallerinden elde edilen UK kullanılmıştır. Kimyasal analiz ve sonuçları Çizelge 3'te verilmiştir.

**Çizelge 2.** Seyitömer ve Soma Uçucu Küllerinin Kimyasal Analiz Sonuçları

Kimyasal Bileşim	Uçucu Kül		TS EN 450	TS EN 450		TS 639
	Seyitömer	Soma		V	W	
SiO <sub>2</sub>	54.49	42.82				
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.58	20.82				
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.27	4.57				
S+A+F	84.34	68.21				
CaO	4.26	23.45				>70.00
MgO	4.48	1.74				
SO <sub>3</sub>	0.52	1.47	<3.00			<5.00
K <sub>2</sub> O	2.01	1.31				<5.00
Na <sub>2</sub> O	0.65	0.32				
KK	3.01	2.75	<5.00	<5.00	<5.00	
Cl-	0.006	0.010	<0.10			<10.00
Serb.CaO	0.26	9.27	<1.00			
Reak.SiO <sub>2</sub>	39.01	30.04	>25.00	>25.00	>25.00	
Reak.CaO	249	19.88		<10.00	<10.00	

##### 4.1.2. Atık Su

Deneyde harç numunelerinin kür suyu olarak yetkili kurumlardan onaylı analizleri alınmış endüstriyel atık suyu, kanalizasyon suyu ve normal içme suyu kullanılmıştır. Kullanılan sular üzerinde yapılan kimyasal analizler Çizelge 4 ve 5'te verilmiştir. Elde

edilen analizler incelendiğinde atık sular içerisinde zararlı maddelerin bulunduğu görülmüştür fakat bu maddelerin oranlarının, ilgili kurumların belirlediği şartnamelerdeki sınır değerler arasında olduğu görülmüştür.

**Çizelge 3.** EOSB Çevre Laboratuvarı atık su deşarj noktası su analizi.

Parametre	Ölçü Birimi	SKKY Sınır Değer	ESKİ Sınır Değer	Ölçülen Değer
pH	-	6-9	6.5-10	7.214
Askıda Katı Madde	mg/L	200	400	196
KOİ	mg/L	400	1000	429
Yağ ve Gres	mg/L	20	200	43
Fe	mg/L	10		5.62
Cu	mg/L	3	2	1.29
Pb	mg/L	2	3	1.23
Ni	mg/L		5	0.39

Atık sular temin edilirken dikkat edilen en önemli nokta suyun tamamen homojen olarak laboratuvar ortamına götürebilmektir. Bunun için gösterilen birkaç noktadan, atık suyun kanalizasyon boruları içerisinde akış hızı en fazla olan noktalardan deney sularımız alınmıştır.

**Çizelge 4.** EOSB Sektörel Atık Su Çizelgesi

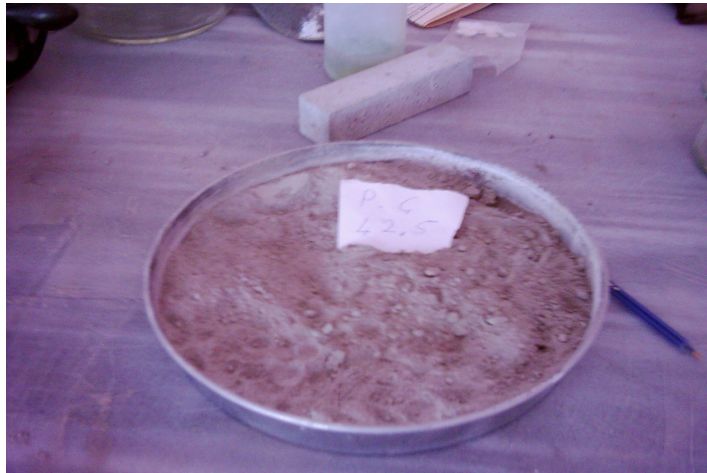
Sektörler	Atık su Parametreleri, %									
	pH	KOİ	BOİ	AKM	Fe	Pb	Cr	PO <sub>4</sub>	F	Cu
Gıda	7.92	320	105	90	0.09	0	0	0.05	0.87	0.02
Giyim	7.5	90	50	30	0	0	0	0	0.5	0.02
Plastik	8.5	200	90	100	0.1	0	0.1	0.1	0.9	0.3
Mobilya	8.1	300	180	220	0.1	0	0.07	0.3	1.5	0.4
Metal	8.27	450	200	160	5.5	1.7	1	0.47	1.5	1.5
Makina	8.3	347	153	72	2	0.5	1.16	0.33	1.6	1.3
Tarım Alet	7.73	100	116	45	1.3	0.18	0.27	0.2	1.3	1
Elektrik	7.7	120	60	50	1.3	0.13	0.07	0.1	1.15	0.5
Taş-Toprak	8.2	413	116	45	1.3	0.18	0.27	0.2	1.3	1

**Çizelge 5.** Arıtılmamış Evsel Atık Su Analizi

Parametreler	Ortalama	Sınır Değerler	
pH	7.4	6.2	8.2
KOI, mg/L	90	83	91
BOI <sub>5</sub> , mg/L	70	63	73
NH <sub>3</sub> -N, mg/L	212	123	269
AKM, mg/L	30	25	33
Toplam Fosfor, mg/L	2,6	0.1	6.4
Klorür, mg/L	342	725	850
Fe, mg/L	73.9	4.91	365.3
Mn, mg/L	4.82	0.27	21.1
Cu, mg/L	0.20	0.10	0.42
Zn, mg/L	1.07	0.25	3.61
Pb, mg/L	0.86	0.18	3.57
Cd, mg/L	0.09	0.03	0.21
Cr, mg/L	0.32	0.07	0.91
Ni, mg/L	0.75	0.36	2.23
Fenol, mg/L	6.5	6	7
Tuzluluk %	18	10	21
Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> ) mg/L	58	49.5	95
Toplam Sertlik (CaCO <sub>3</sub> ) mg/L	3	2	4
Organik Azot (N) mg/L	25	3	40

#### 4.1.3. Çimento

Araştırmada ÇİMSA Anonim Şirketi, Eskişehir Çimento Fabrikasının ürettiği TS EN 197-1 no'lu TSE standartlı CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri aşağıda Çizelge 7'de verilmiştir.



**Fotoğraf 1.** Deneyleerde Kullanılan CEM I 42.5 R Çimentosu

**Çizelge 6.** Kullanılan CEM I 42.5 R Çimentosunun Özellikleri

<b>Kimyasal Analiz Sonuçları</b>	<b>CEM I 42.5</b>
Toplam hacim Genleşmesi (mm)	3
Kızdırma Kaybı, %	1.33
Puzzolanik madde, %	0.20
Cl, %	0.004
Priz Başlama (dak)	3 <sup>10</sup>
Priz Sona Erme (dak)	5 <sup>20</sup>
<b>Kimyasal Bileşimler, ( % )</b>	
SO <sub>3</sub>	1.88
MgO	1.44
SiO <sub>2</sub>	19.96
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.17
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.41
CaO	63.93
Diğer maddeler	3.03
<b>Karmaşık Bileşimler ( % )</b>	
C <sub>3</sub> S	61.19
C <sub>2</sub> S	11.09
C <sub>3</sub> A	7.92
C <sub>4</sub> AF	10.39

**4.1.4. Standart Kum**

Araştırmada Set Çimento Sanayi ve Tic. A.Ş. Trakya Çimento Fabrikasında üretilen TS EN 12620'nolu, 1350 gr net ağırlıklı standart kum kullanılmıştır.

**Çizelge 7.** Deneylerde Kullanılan Standart Kumun Elek Analizi

<b>Elek Göz Açıklığı (mm)</b>	<b>Elek Üzerinde Kalan ( % )</b>
0.08	98 ± 2
0.16	87 ± 2
0.50	67 ± 2
1.00	33 ± 2
1.60	9 ± 2
2.00	0

#### 4.1.5. Karma Suyu

Deneylerde şehir şebekesine ait şebeke suyu kullanılmış ve kimyasal analizi aşağıda gösterilmiştir.

**Çizelge 8.** Kullanılan Şebeke Suyunun Kimyasal Analizi

Parametreler	Bulunan Değerler
pH	6.85
Kalsiyum (Ca)	58 mg/l
Magnezyum (Mg)	83 mg/l
Klorür (Cl)	46 mg/l
Sülfat (SO <sub>4</sub> )	45 mg/l
Buharlaştırma Bakiyesi	434 mg/l (% 0.4)



**Fotoğraf 2.** Harç Yapımında Kullanılan Malzemeler

#### 4.2. Numunelerin Hazırlanması ve Dökülmesi

UK katkılı harç yapımında 4x4x16 cm boyutlarında standart kalıpları kullanılmıştır. Harç yapımında geçmeden önce kalıplar yağlanmıştır. Harç yapılması için gerekli malzemelerin tartılması işlemine başlanmıştır. Tartma işlemi için elektronik terazi kullanılmıştır. Karıştırıcıya önce kaba malzemeden ince malzemeye doğru malzemeler yerleştirilerek kuru karışım elde edilmiştir. Hazırlanan bu kuru karışıma daha önceden hesap edilen su miktarını da ilave ederek harç elde edilmiştir.

Hazırlanan harç daha önceden yağlanmış olan standart 4x4x16 cm kalıplarına dökülmeye başlanmıştır. Dökülme işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk

aşamada kalıplara dökülen harç vibrasyon masasının yardımıyla vibrasyon işlemine tabi tutularak sıkıştırılması sağlanmıştır. Daha sonra harç dökülmesi işlemine devam edilerek kalıplar doldurulmuştur. Tamamen doldurulmuş olan kalıplar tekrar vibrasyon masasıyla su kusuncaya kadar sıkıştırılmıştır. Bu işlemlerin ardından kalıpların üzerleri mala yardımıyla düzeltildikten sonra üzerleri etiketlenerek nem oranı uygun olan bir yerde üzerleri örtülerek prizini almaya bırakılmıştır.

#### **4.2.1. Harcın Bileşimi**

Harç ağırlıkça 1 kısım çimento, 3 kısım kum ve 1/2 kısım suyun karıştırılması ile hazırlanır. Su olarak içilebilen su kullanılır

#### **4.2.2. Harcın Hazırlanması**

Üç numune için 450 gr çimento, 1350 gr kum ve 225 gr su tartılır. Tartım işlemleri 1 gr duyarlılığa sahip hassas terazilerde yapılır. Harç sıcaklığı  $20 \pm 2$  °C olan bir odada karıştırılarak hazırlanır. Çimento, kum, su, karıştırıcı ve kalıplarında aynı sıcaklıkta olması için bu oda içinde bekletilir. Deney yapılan odanın nisbi nemi % 65'den az olmalıdır.

#### **4.2.3. Harcın Karıştırılması**

Karıştırma kabına 225 g su boşaltılır. Üzerine 450 g çimento ilave edilir. Karıştırıcı düşük hızda 30 sn karıştırılır. 30 sn sonunda 1350 g kum, karıştırma devam ederken yavaş yavaş katılır. Kumun katılması 1 dak. sonunda bitmiş olmalıdır. 1 dak sonunda karıştırıcı yüksek hıza ayar edilerek 30 sn daha karıştırılır.

Bu 90 sn'lik çalıştırmadan sonra karıştırıcı durdurulur. Karıştırıcı durdurulduktan sonra 15 sn içinde karıştırma kabının cidarlarına yapışmış olan kauçuk bir çubuk ile kabın içi temizlenir. Kabın üzeri örtülerek 75 sn beklenir. Bu süre sonunda karıştırıcı yüksek hızda yeniden 1 dak daha çalıştırılır. Böylece toplam 4 dak sonunda harç kalıplara konulmak üzere hazır hale gelir.

#### 4.2.4. Karıştırıcı

Karıştırma kabı özel paslanmaz çelikten yapılmıştır. Kapasitesi 4.7'lt dir. karıştırıcı kanadı, hem kendi eksenini etrafında hem de karıştırma kabının eksenini etrafında döner. Dönme yönleri birbirine zıt olup hızlar elektrik motoru ile kontrol edilir. Karıştırma iki ayrı hız ile yapılmaktadır.

**Çizelge 9.** Karıştırma Kanadı Hızları

Hızlar	Karıştırıcı Kanadının	
	Kendi eksenini etrafında dönme hızı devir/dak	Kabın eksenini etrafında dönme hızı devir / dak
Düşük Hız	140 ± 5	62 ± 5
Yüksek Hız	285 ± 10	125 ± 10



**Fotoğraf 3.** Karıştırıcı

#### 4.2.5. Kalıplar

Kalıplar en az 400 Vickers sertliğinde çelikten imal edilmiş olmalıdır. Kalıplarda 3 numune prizmasını aynı anda hazırlayabilmek için 3 ayrı bölme bulunmalıdır. Kalıp boyutları aşağıda verilen değerlere uygun olmalıdır.

- Uzunluk = 160 ± 0.4 mm
- Genişlik = 40 ± 0.1 mm
- Yükseklik = 40 ± 0.1 mm
- Açılar = 90 ± 0.5 °
- Et kalınlığı = En az 10 mm

Kalıpların üzerine, harcın kalıpların üzerine doldurulmasını sağlamak üzere bir başlık takılır. Başlığın dik kenarlarının yüksekliği 20-40 mm,dir.



**Fotoğraf 4.** 4×4×16 cm'lik Kalıplar

#### **4.2.6. Kalıpların doldurulması**

Kalıp bölmelerinin her biri içine yaklaşık olarak 320 gr harç (kalıp hacimlerinin yarısı) doldurulur. Bu işlem ölçüsü belli bir kaşık ile yapılır. Kalıplara konan harç, kaşık ile ileri geri yayılarak, harcın kalıp içinde aynı kalınlıkta kalması sağlanır.



**Fotoğraf 5.** Kalıpların Doldurulması

Sarsma makinesi çalıştırılır ve 60 sn içinde 60 sarsma yapılır. Alet durduktan sonra harcın ikinci tabakası da aynı şekilde yerleştirilerek yeniden 60 sarsma yapılır. Kalıp sarsma tablasından alındıktan sonra üzerindeki huni çıkartılır. Harcın fazlası metal bir mastar ile sıyrılır. Kalıp üst yüzü aynı mastar ile düzlenir. Kalıplar numaralandırıldıktan sonra 28 gün boyunca kür edilmek üzere kür odasına bırakılır.

#### **4.2.7. Sarsma Cihazı**

Sarsma aleti, dikdörtgen şeklinde bir sarsma tablasından oluşmuştur. Bu tabla, hafif bir metalden yapılmış iki mil üzerine sağlamca oturtulur. Miller tablanın merkezinden itibaren 80 cm uzunlukta ve  $1 \pm 0.3$  kg ağırlıkta olmalıdır. Tabla, altında bulunan eksantrik bir disk vasıtası ile 15 mm yüksekliğe kaldırılır ve serbest olarak düşürülür.

Saniyede 1 devir yapan 250 Watt'lık bir motorla hareket ettirilen bir disk 60 düşme yaptıktan sonra otomatik olarak durur. Kalıp, prizmaların uzun kenarı diskin dönme eksenine dik gelecek şekilde tabla üzerine yerleştirilir ve her iki tarfta bulunan vidalarla sağlamca tespit edilir.

Tabla, kalıp, kalıp başlığı ve tutturma vidalarının toplam ağırlığı  $20 \pm 1$  kg olmalıdır. Sarsma aleti 1 m uzunluk, 30 cm genişlik ve 80 cm yüksekliğinde beton bir blok üzerine oturtulur. Alet betona saplanmış 4 vida ile sağlamca tespit edilir. Aletin tabanı ile beton bloğun üzeri arasına bol çimentolu bir harç doldurularak bloğa iyice oturması sağlanır.

#### **4.2.8. Numunelerin Bekletilmesi ve Bakımı**

Suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek için kalıp üzerleri çelik veya lastik bir plaka ile örtülür. Kalıplar  $20 \pm 1$  °C sıcaklık ve en az % 90 oranında nemli bir oda içinde bekletilir. Dökümden itibaren 20 – 24 saat sonra kalıplar sökülür. Kalıptan çıkan her harç prizması kontrol için tartılır ve alt yüzleri numaralanır.

Daha sonra  $20 \pm 1$  °C'lik musluk suyu içerisinde deneylere tabi tutulana kadar (28 gün) bekletilir. Döküm esnasında üste gelen yüzeyler (mala yüzeyi), Bekletilme sırasında da aynı durumda kalmalıdır. Prizmalar su içinde bütün yüzeylerine su değecek biçimde ve birbirinden ayrı olarak durmalıdır. Bekletilme suyu her 14 günde bir değiştirilmelidir. Prizmalar deneyden 15 dakika kadar önce sudan çıkarılıp bezle kurulandıktan sonra, deneysel çalışmalar yapılmak üzere çeşitli aletlerle test edilmeye başlanır.

### **4.3. Kür Koşulları**

Kalıplara dökülen numunelerin priz sürelerini doldurmalarının ardından numuneleri kür havuzlarına koymak için kalıp sökme işlemine geçilmiştir. Kalıp sökümü sırasında numune içerisinde bulunan katkı maddesinden dolayı, içerdikleri katkı maddesi oranına göre renklerinde farklılıklar gözlenmiştir. Çimento yerine kullanılan katkı malzemesinin oranı arttıkça atık malzemenin suyu bırakmama özelliğinden dolayı katkı oranı fazla olan numunelerin geç kurduğu gözlenmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler daha sonra öngörülen dayanımlarını kazanmak üzere 28 günlük deneylerin yapılması için küre bırakılmıştır.

### **4.4. Taze Harç Deneyleri**

Kalıplara döktüğümüz ve deney numunelerini oluşturacak olan taze harcın çeşitli özelliklerini anlamak için öngörülen ve aşağıda belirtilen standart taze harç deneyleri yapılmıştır.

- Normal Kıvam Tayini
- Priz Başlama ve Sona Erme Süreleri
- Hacim Genleşmesi Tayini
- Tane Büyüklüğü Tayini
- Taze Birim Ağırlık
- Yayılma deneyi

#### **4.4.1. Normal Kıvam Tayini**

Bu deneyde Vicat aleti, silindir şeklindeki sonda ve Vicat halkası kullanılmıştır. Elde edilen veriler kayıt altına alınmıştır.

#### **4.4.2. Priz Başlama ve Sona Erme Süreleri**

Bu deneyde Vicat aleti, Vicat iğnesi ve Vicat halkası kullanılmıştır.

#### **4.4.3. Hacim Genleşmesi Tayini**

Bu deneyde çimento hacminin değişimini ölçmek için Le Chatelier aleti kullanılmıştır. Aletin silindirik halkasının et kalınlığı 0.5 mm, iç çapı 30 mm'dir. Silindirik halka eksenine doğrultusunda yarıktır. Yarığın her iki tarafına ve silindirin tam ortasına gelmek üzere 150 mm uzunluğunda iki çubuk lehimlenmiştir.

#### **4.4.4. Tane Büyüklüğü Tayini**

Göz açıklığı 200  $\mu$  ve 90  $\mu$  olan elek kullanılmıştır.

#### **4.4.5. Taze Birim Ağırlık**

Harcın taze birim ağırlığını ölçmek için 0.1 g duyarlılıklı hassas terazi kullanılmıştır.

#### **4.4.6. Yayılma Deneyi**

Yayılma deneyi tablası üzerindeki koninin içine yeni dökülmüş harç dolduruldu. Koni tablanın ortasına getirildi. Daha sonra aletin alt kısmına yakın bir yerde olan ve tablayı kaldırıp düşüremeye yarayan çevirme kolu ile 25 defa sarsma vuruşu yapıldı. Bu vuruşlar sonunda numunenin yayılması X ve Y doğrultularında ölçüldü ve bulunan bu değerlerin ortalaması alındı. Yayılmalar numunelerdeki UK oranına göre karşılaştırıldı. Yapılan bu deneydeki amaç; harç karışımının işlenebilirliğini belirlemek ve kıvamını incelemektir. Yayılma ortalamaları ne kadar büyük olursa o kadar kolay işlenebilir bir harcımız var demektir. Fakat

yayılma miktarının belirli değerler arasında kalmasıda unutulmamalıdır. İşlenebilirlik harç üretiminde önemli bir unsur olduğundan deney her ne kadar basit bir deney gibi görünse de önemli bir deney olduğunu bilmek gerekir. Fotoğrafta deney aleti görölmektedir.



**Fotoğraf 6.** Yayılma Deneyi Aleti

#### **4.4.7. Numunelerin Kür Havuzundan Çıkarılması**

Kür sürelerini (28 Gün) dolduran harç numuneleri kür havuzundan çıkarılıp yapılan çalışmanın asıl amacı olan atık suların etkisine 28, 56, 90 ve 180 günlük 2. kür sürelerine tabi tutulmuş ve öngörölen kür sürelerini tamamlayan numunelerin özelliklerini araştırmak üzere sertleşmiş harç deneylerine geçilmiştir. İlk önce kür havuzundan çıkarılan numunelerin yüzeyindeki su bir bezle silinmiştir ve gerçek ağırlığını kazanmak üzere kür odasında 1 günlük bir bekleme süresine bırakılmıştır.



**Fotoğraf 7.** Numunelerin hassas terazide tartılması işlemi

#### **4.4. Numunelerin Atık Sular İçerisine Küre Bırakılması**

Kür odasında bir gün süreyle bekletilen numuneler maruz bırakılmadan önce sırasıyla ağırlıkları, hassas terazide ölçülmüş, ve elde edilen veriler kaydedilmiştir ve atık sular etkisine bırakılmışlardır. Numuneler sırasıyla, 28, 56, 90 ve 180 günlük kür sürelerine bırakılmışlardır.



**Fotoğraf 8.** 90 gün Endüstriyel atık suda bekletilmiş numuneler.

Numuneler atık sular içerisinde konmadan önce bir takvim belirlendi ve bu takvime göre en geç 2 haftada bir atık sular değiştirilmiştir. Bunun nedeni alınan atık sular hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan deşarj noktalarından alındıkları için içinde barındırdığı maddeler çökme yapacaklardır. Bu durum deneysel olarak hata getireceğinden böyle bir uygulama yapılmıştır. Bu sırada hasar gören numuneler belirlenmeye çalışılmıştır. Hasar gören numuneler kür koşullarını bozmadan sudan çıkarılıp incelenmiş ve kayda değer hasar gören numunelerin fotoğrafları çekilmiştir.



**Fotoğraf 9.** 180 gün Endüstriyel atık suda bekletilmiş numuneler

#### **4.6. Sertleşmiş Harç Deneyleri**

Bu deneylerde sertleşmiş harçların mekanik özellikleri belirlenmiştir. Önce hasarsız deney yöntemleri numunelere uygulanmıştır. Daha sonra hasarlı deneylerden eğilmede çekme ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

##### **4.6.1. Rezonans Frekansı Deneyi**

Bu deneyin büyük avantajı tek bir numunede deneyin birçok defa tekrarlanmasıdır. Yöntem basit hızlı olarak tek bir operatör tarafından numuneyi kırarak yapılan klasik deneylere nazaran yüksek bir doğrulukla bir çok defa tekrarlanır. Bu yöntemle bulunan E-modülü klasik yöntemdeki yüklemenin ağır olması nedeniyle yüksek çıkar. Bu yöntemle bulunan E' ye (1) dinamik elastisite modülü denir.

Deneyin yapılışı çok kolaydır. Önce ölçüm yapılacak numunenin yüzeylerinin pürüzsüz olmasına dikkat edilir. Varsa bu pürüzler dikkatlice giderilmelidir. Cihaz açıldıktan sonra numune cihazın rezonans frekansı gönderen kısıkaçlarına yerleştirildikten sonra cihazın üzerinde bulunan bir düğme vasıtasıyla göstergedeki elips düz bir konuma getirildikten sonra deneye başlanır ve cihazın gösterdiği değer okunur.



**Fotoğraf 10.** Rezonans Frekansı Ölçüm Aleti

#### 4.6.2. Ultrasonik Ses Hızı Ölçme Deneyi

Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 kHz den fazla olan ses dalgalarına ultrases denir. Deneyimizde 4x4x16 cm boyutlarındaki numunenin bir ucuna ultrasesi ortaya çıkaran bir verici, diğer ucuna da malzeme içinden geçen ses dalgalarını alan bir alıcı yerleştirilir. Alıcı tarafından tutulan ses dalgaları bir osilografa taşınarak sesin numune içinden geçiş süresi belirlenir. Buradan sesin numunedeki yayılma hızı bulunur. Deney yapılırken dikkat edilmesi gereken, alıcı ve vericinin boşluksuz olarak yüzeye temasının sağlanması için bu aparatların deneye başlamadan önce yağlanmasıdır.

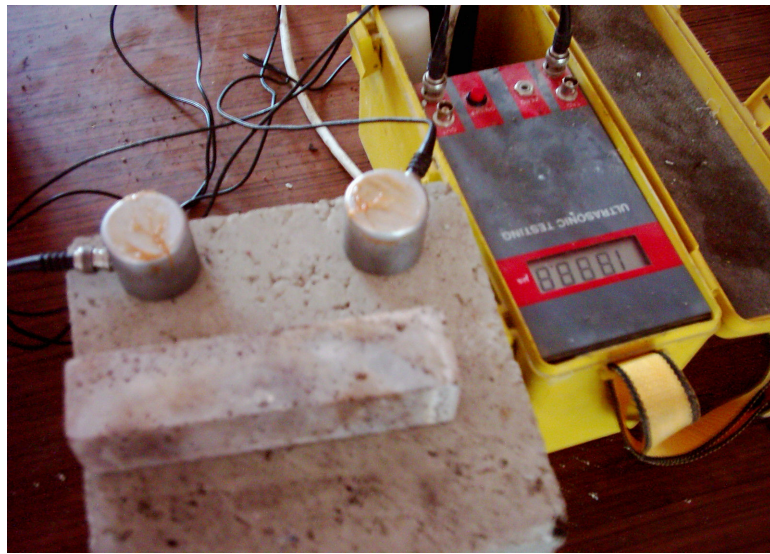
Deney; dinamik elastisite modüllerinin tayin edilmesinde kullanılır. Deneyde elde edilen verilerle kullanılan formüller aşağıdaki gibidir.

$$E = 10^5 \times V^2 \times \frac{\Delta}{g} \quad (1)$$

Burada; E = Harcın dinamik elastisite modülü

V = km/sn cinsinden ölçülen hız

$\Delta$  = Harcın kuru birim ağırlığıdır (kg/dm<sup>3</sup>)



**Fotoğraf 11.** Ultrasonik Test Cihazı

#### 4.6.3. Eğilme Dayanımı Deneyi

Deneylerde ALŞA'nın üretmiş olduğu Micahilis Çimento Çekme – Eğilme Cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz mekanik olarak kaldıraç esasına göre tasarlanan ve 1/50 üst manivela ile 1/5 alt manivela kolundan oluşturulmuş olup, kollar hassas bıçakların üzerlerine oturtulmuştur. Çekme ve eğilme deneyleri için değiştirilebilen alt çene ayarlı olarak yapılmıştır. Cihazla çekme ve eğilme yüklemesi, çapı 2 mm olan saçmaların bir kabın içine akışı ile temin edilmektedir. Numune kırıldığında otomatik kesici saçma akışını durdurmaktadır.

Eğilme aletinin duyarlılığı, 1000 N' dan daha az yüklerde % 1, daha büyük yüklerde ise % 0.8 olmaktadır. Eğilme aletinin yükleme düzeni birbirinden 100 veya 106.7 mm uzaklıkta olan 10 mm çaplı iki destek silindirinden oluşur. Bu iki silindirin tam orta yerinde aynı çapta üçüncü bir yükleme silindiri vardır. Bu üç silindirin eksenlerinden geçen düşey düzlemler birbirine paralel olmalı ve deney süresince paralel kalmalıdır.

Destek silindirlerinden birisi ve yükleme silindiri prizma üzerinde yükün düzgün şekilde dağılımını sağlayacak ve burulma gerilimi meydana getirmeyecek şekilde kendi merkezleri etrafında aşağı yukarı ayarlanabilmelidir. Harç prizmaları, kalıptan çıkmış yan yüzlerinden biri üzerine ve uzunluğuna eksenine destek silindirler eksenine dik gelecek şekilde destek silindirler üzerine konulur.

P yükü, yükleyici silindir vasıtası ile karşı yüzden dik olarak uygulanır. Yükleme hızı saniyede  $50 \pm 10$  N olacak şekilde ayarlanmalıdır. Eğilme momentinden çekme dayanımı  $\sigma_R$  (2) formülüyle hesaplanır.

$$\sigma_R = 6M/b^3 = 1.5xPL/b^3 \quad (2)$$

Burada;

$\sigma_R$  = Çekme dayanımı, MPa

M = Eğilme momenti (M = PL/4 )

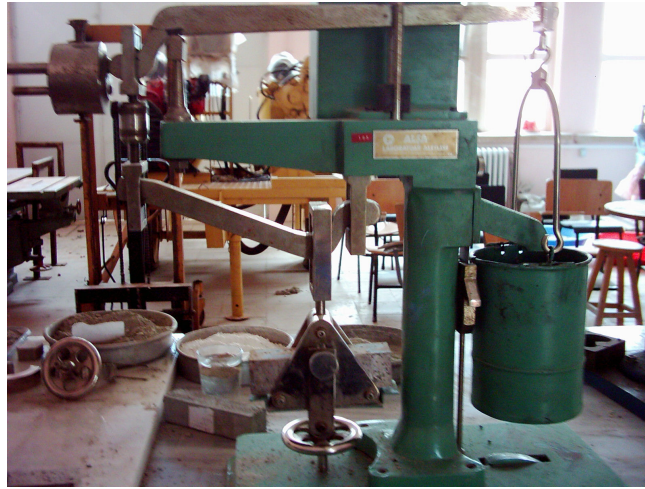
B = Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu, mm

P = Prizmanın ortasına uygulanmış olan kuvvet, N

L = Mesnet eksenleri arasındaki uzaklık, mm

Kür havuzundan çıkarılan numuneler deneylerde öngörülen sıcaklıklara tabi tutulduktan sonra, gerekli hasarsız deneylerin ardından deneye başlanır. Numuneler ayrı ayrı aletin sol alt tarafındaki numune yerine her iki taraftan da ortalanarak yerleştirilmiştir. Yerleştirilen numune alttaki halka yardımı ile sıkıştırılarak sabitlenmiştir.

Bu sabitleme esnasında üstteki yük kolunun da tam olarak yatay hale gelmesi sağlanmıştır. Tüm bu işlemlerden sonra haznedeki saçmaların kovaya dökülmesini engelleyen sürgü açılarak saçmaların kovaya akışı sağlanmıştır. Saçmaların kovaya akışı ile birlikte kuvvet kolu yardımıyla numune üzerine kuvvet uygulanmaya başlanmıştır. Uygulanan bu kuvvet zamanla artarak numunenin kırılmasını sağlamıştır.



**Fotoğraf 12.** Eğilme Dayanımı Deneyi Aleti

Kopma anında sistem kendiliğinden saçma akışını kesmiştir. Kova içerisindeki saçmaların elektronik terazide kova ağırlığı ile beraber tartılmasıyla numunenin kopmasını sağlayacak kuvvet bulunmuştur. Bu kuvvet belirtilen formüllerde yerine konularak numunelerin ayrı ayrı çekme dayanımları MPa cinsinden bulunmuş ve grafikler bu veriler ışığında sayısal ifade olarak sunulmuştur.

#### **4.6.4. Basınç Dayanımı Deneyi**

Eğilme deneyinde iki parçaya ayrılmış olan yarım prizmalar, basınç dayanımı deneyine kadar nemli bir yerde saklanmalıdır. Her yarım prizma 40x40 mm' lik ve kalınlığı en az 10 mm olan sert metalden yapılmış iki kalın levha arasında, mala yüzeyi denk gelmeyecek şekilde yan yüzlerinden kırılmalıdır.

Bu deneyde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan biri ise yükleme hızıdır. Uzun süre atık sular içerisinde bekleyen numuneler sadece yüzeylerinde hasarla uğramıştır. Dolayısıyla hızlı yüklemeler basınç dayanımını sonuçlarında yanlış değerlerle karşılaşılabılır.



**Fotoğraf 13.** Cihazın Pres ve Bilgisayarlı Kontrol Kısmı

Bu levhalar en az 600 Vickers sertliğinde veya daha iyisi Volfram karbüründen yapılmış ve yüzleri hassas taşlanmış olmalıdır. Kırma presinin duyarlılığı en küçük yerlerde bile en az % 1.5 olmalıdır. Presin yük göstergesi biri 4 veya 5 ton, diğeri 15 veya 20 ton olmak üzere en az iki kademeli olmalıdır. Prizmalar presin alt ve üst tablaları arasına yerleştirilen kırma başlığı yardımı ile kırılır. Kırma başlığı yükü, herhangi bir sürtünmeye fırsat bırakılmadan prizmaya iletilmelidir. Prizma kırıldıktan sonra kırma başlığı otomatik olarak eski halini almalıdır.

Hiçbir şekilde kırma süresi 10 sn'den az olmamalıdır. Yükleme devam ederken cihaz yükleme hızını sabit tutmakta ve numune kırılmaya başlar başlamaz cihaz otomatik olarak yüklemeyi bitirmekte ve kırılma anında uygulanan maksimum kuvveti hafızasına kaydetmektedir. Bulunan bu değer kullanılan plakalar ile oluşturulan 4×4 kesit alanına sahip numune alanına bölünerek MPa cinsinden basınç dayanımı elde edilir.

---

## BÖLÜM 5

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

---

#### 5.1. Taze Harç Deneilerinin Değerlendirilmesi

##### 5.1.1. Normal Kıvam Tayini Deneyi Sonuçları

Sondanın ucu hazırlanmış olan Vicat halkasının ortasında hamur üst yüzeyine dokunacak kadar indirilerek serbestçe bırakılmıştır. Bu işlemler sonunda bütün harç karışımlarında yarım dakika içinde sondanın cam levhaya ortalama 5 mm kalıncaya kadar indiği görülmüştür. Bu da çimento için kullanılan su miktarının yeterli olduğunu göstermiştir.

Yapılan bu deneyin doğruluğunu harçları kalıplara dökme işlemi gerçekleştirirken, iyi yerleşmeyi sağlamak amacıyla vibrasyon masasında uygulamış olduğumuz titreşim esnasında yüzeye çıkan suyu, (harcın kustuğu su) göz kararı inceleyerek deneyim olarak da değerlendirme olanağımız vardır.

##### 5.1.2. Hacim Genleşmesi Tayini Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Hamur kalıba konulduktan 24 saat sonra çubuk uçlarının açıklığı  $b = 7$  mm olarak ölçülmüştür. Kalıpların bir beher içindeki suya daldırılmıştır. Bundan sonra içinde kalıpların bulunduğu su dolu beher 30 dakika içinde kaynamaya başlayacak şekilde yavaş yavaş ısıtmaya başlandıktan 4 saat kaynama sonunda numune laboratuvar sıcaklığına kadar soğutulmuş çubuk uçlarının açıklığı  $c = 8$  mm olarak ölçülmüştür. Hacim genleşmesi  $(c-a) = 3$  mm olarak bulunmuştur. Bulunmuş olan bu değer 10 mm'den daha küçük olduğu için kabul edilebilir bir değerdir.

## 5.2. Sertleşmiş Harç Deneyleri Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 10. Evsel Atık Suda Bekletilmiş Numunelerin Deney Sonuçları

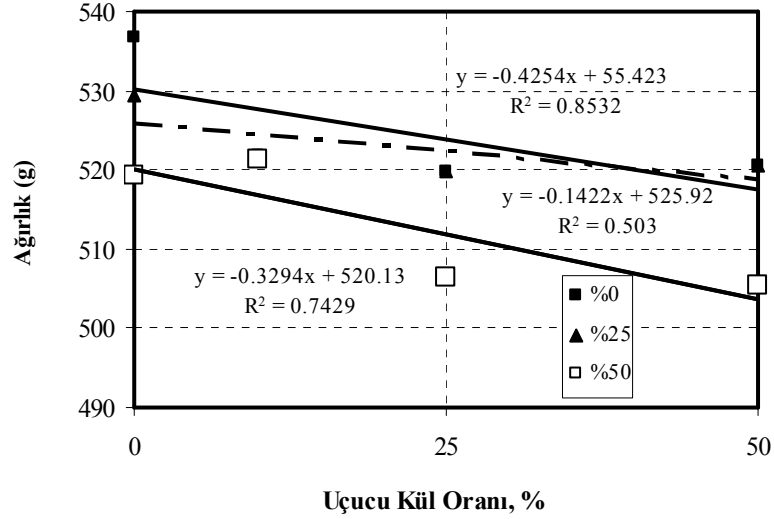
EVSEL ATIK SUDA BEKLETİLMİŞ NUMUNELERİN ORTALAMA DENEY SONUÇLARI								
UK Oranı %	F-28	F-56	F-90	F-180	C-28	C-56	C-90	C-180
<b>Basınç Deneyleri (Ortalama sonuçlar) MPa</b>								
0	42.28	41.25	40.22	39.88	43.27	42.26	40.56	40.45
25	38.36	37.54	36.55	35.65	39.78	38.15	37.52	36.84
50	32.24	31.56	31.02	30.54	33.22	32.12	31.86	32.14
<b>Eğilme Dayanımı Deneyleri (Ortalama sonuçlar)MPa</b>								
0	5.26	5.16	4.98	4.75	5.69	5.45	5.12	5.08
25	4.65	4.52	3.87	3.59	4.86	4.92	4.35	3.78
50	4.21	4.11	3.66	3.22	4.44	4.33	4.02	3.64
<b>Rezonans Frekansı Deneyleri (kHz)</b>								
0	2.99	2.91	2.9	2.88	2.8	2.75	2.82	2.65
25	3.17	3.08	3.12	3.15	3.22	3.16	3.08	3.01
50	3.42	3.28	3.22	3.06	3.55	3.22	3.14	3
<b>Ultras ses Hızı Deneyleri (µ s)</b>								
0	42.6	41.5	40.6	39.8	41.2	40.1	38.5	38.2
25	44.6	43.3	42.5	41.7	43.3	42.2	39.2	40.2
50	47.7	46.2	45.8	44.6	46.5	45.4	44.8	43.3

Çizelge 11. Endüstriyel Atık Suda Bekletilmiş Numunelerin Deney Sonuçları

ENDS. ATIK SUDA BEKLETİLMİŞ NUMUNELERİN ORTALAMA DENEY SONUÇLARI								
UK Oranı %	F-28	F-56	F-90	F-180	C-28	C-56	C-90	C-180
<b>Basınç Deneyleri (Ortalama sonuçlar) MPa</b>								
0	41.54	39.85	38.22	36.88	43.27	40.42	39.22	41.45
25	37.34	37.54	35.21	34.26	39.78	37.26	36.54	37.65
50	31.16	30.3	30.12	28.54	33.22	31.13	29.85	32.21
<b>Eğilme Dayanımı Deneyleri (Ortalama sonuçlar)MPa</b>								
0	5.12	4.88	4.77	4.22	5.24	5.22	4.68	5.25
25	4.25	4.25	3.42	3.19	4.42	4.26	4.19	3.88
50	4.05	3.88	3.35	2.86	4.14	4.02	3.87	3.67
<b>Rezonans Frekansı Deneyleri (kHz)</b>								
0	2.97	2.88	2.84	2.84	2.75	2.66	2.88	2.69
25	3.18	3.06	3.01	3.02	3.15	3.06	3.01	3.02
50	3.25	3.22	3.21	3.01	3.45	3.07	2.77	3.05
<b>Ultras ses Hızı Deneyleri (µ s)</b>								
0	43.4	42.1	41.5	41.5	42.5	41.8	40.2	39.9
25	45.6	44.2	43.2	42.6	44.8	43.5	41.6	42.1
50	48.7	47.2	46.2	45.9	49.2	46.9	46.1	44.2

### 5.2.1. Numune Ağırlıklarının Ölçümü

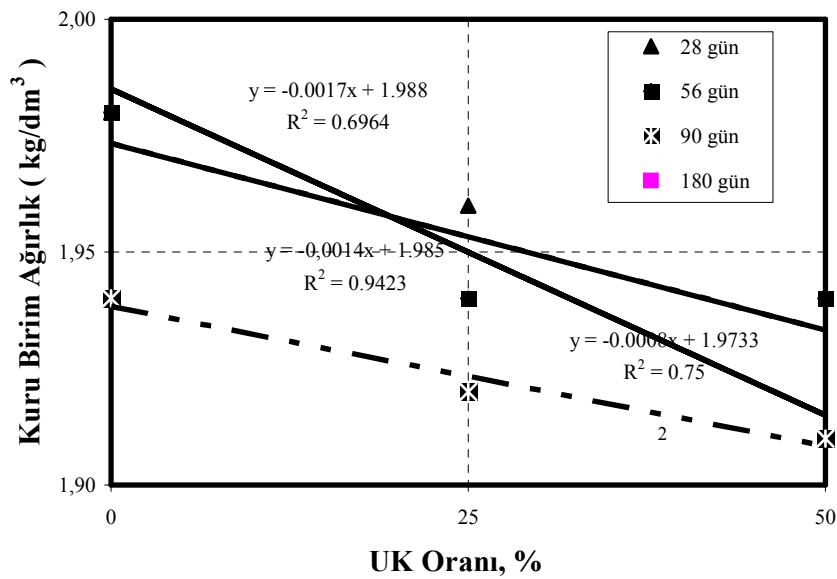
Kürleme işlemi sonrasında numunelerin ağırlıkları ölçülmüş ve ortalama ağırlıklarının UK oranıyla değişimi Şekil 4 ile gösterilmiştir.



Şekil 1. UK Oranı ile Birim Ağırlığın Değişimi

### 5.2.2. Numunelerin Kuru Birim Ağırlıklarının Değerlendirilmesi

28 gün laboratuvar ortamında kürleme işleminden sonra numunelerin kuru birim ağırlıkları; ağırlıklarının, kumpas ile ölçülüp bulunan boyutların çarpımıyla elde edilen hacme bölünmesiyle elde edilmiştir.

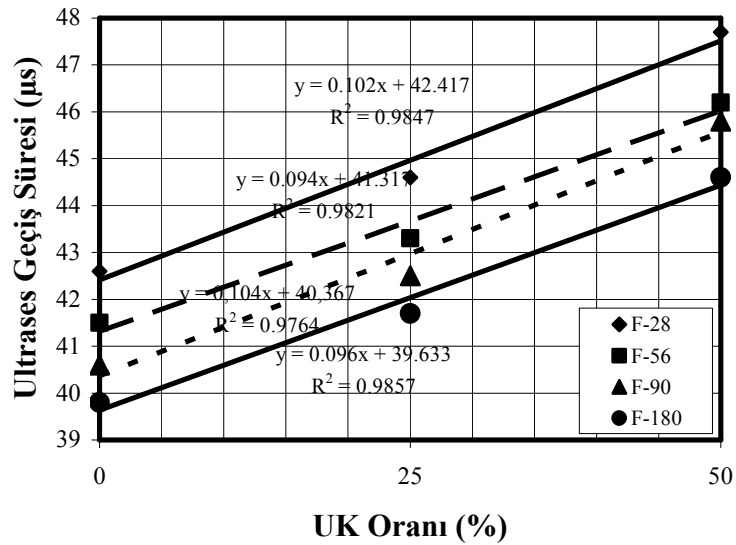


Şekil 2. UK oranı ile kuru birim ağırlıklarının değişimi

Grafiklerden de görülebileceği gibi kür süresi arttıkça numunelerin kuru birim ağırlıkları düşmektedir. Bunun nedeni kür süresinin artışıyla harçların bünyesindeki boşlukların büyümesi suyun bünyeye girmesidir. Su bünyeye girdikten sonra hem birim ağırlık artmış hem de 28 gün sonrasında yapılan atık sulu kür bu giriş noktalarından hasar oluşumu başlamıştır.

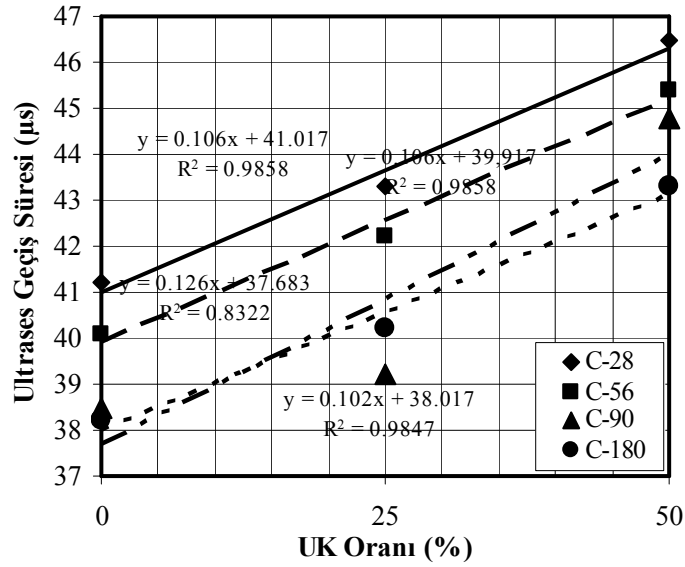
### 5.2.2. Ultrases deneylerinden elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

Numuneler, boyutları ölçülüp ağırlıkları tespit edildikten sonra ultrases deneyleri yapılmıştır. Elde edilen bu veriler ışığında önce numunelerin kuru birim ağırlıkları bulunmuş, sonra ultrases geçiş hızı ile numunelerin boşluk oranları hakkında bilgiler elde edilmiştir.



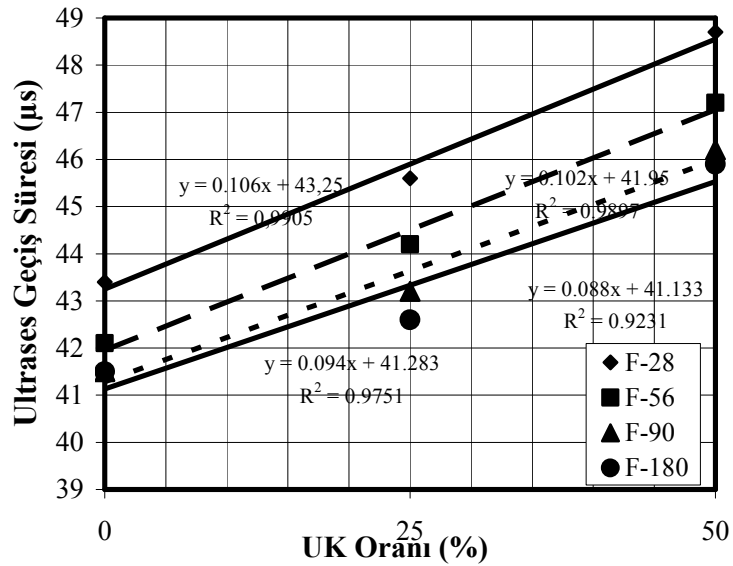
**Şekil 3.** Ultrases geçiş süresinin UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

Şekil 3'te görülmüştür ki, atık sularda kür süresi arttıkça ultrases geçiş sürelerinde azalmalar olmuştur. Bu durumdan anlaşılmıştır ki, F tipi UK'nın miktarının artmasıyla harç içerisindeki boşluk oranını azalmıştır.



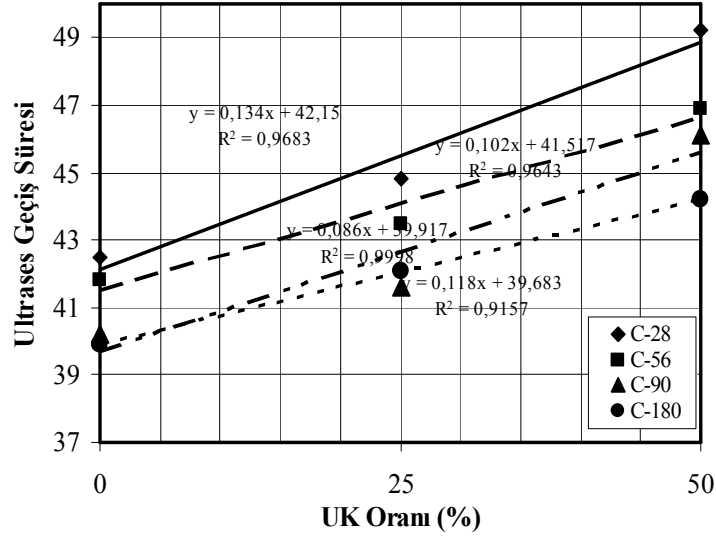
Şekil 4. Ultrases geçiş süresinin UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

Şekil 4'te 90. ve 180. günlerde ultrases geçiş sürelerinde beklenildiği gibi olmamakla beraber, kür süresine bağlı olarak ters orantı görülmüştür. Bu durumun kullanılan UK'nın bu numunelerin bünyesinde homojen dağılamaması olarak düşünülmüştür.



Şekil 5. Ultrases geçiş süresinin UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda)

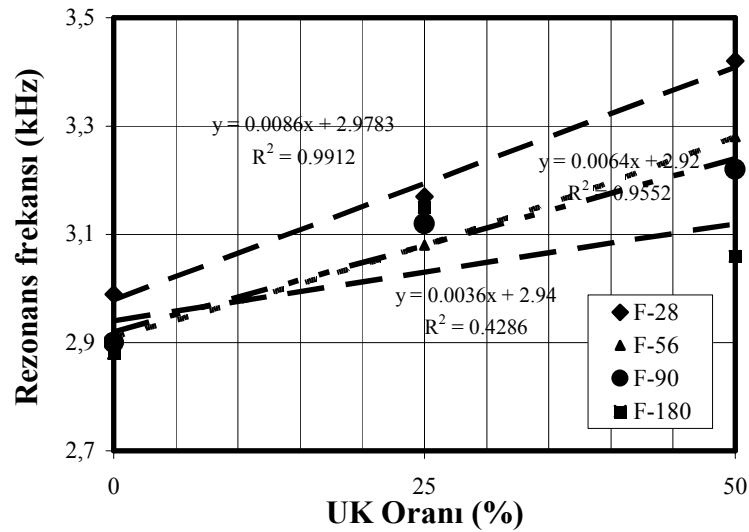
Şekil 5'te görülmüştür ki; UK oranındaki artış geçiş sürelerinde % 15 civarlarında artışlara neden olmuştur. Endüstriyel atık suda bekletilen numunelerde ultrases geçiş sürelerinin daha fazla olduğu görülmüştür.



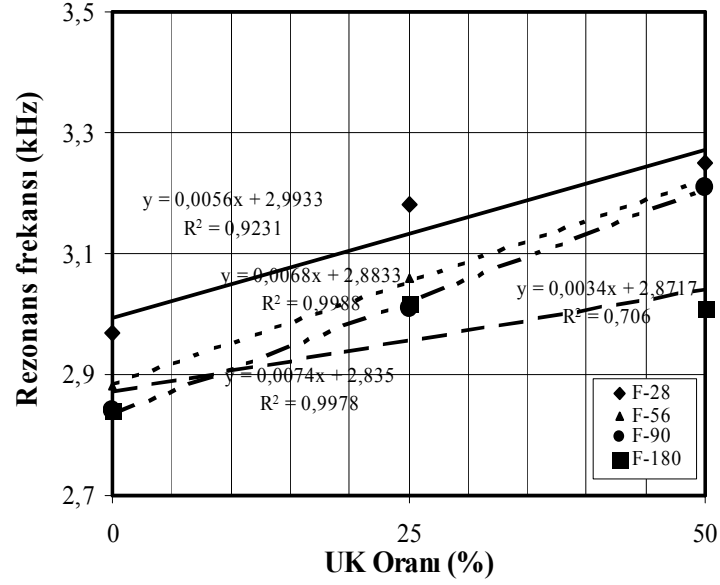
Şekil 6. Ultrases geçiş süresinin UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda)

Şekil 6’da görüldüğü gibi C tipi UK ile üretilerek endüstriyel atık suda bekletilen numunelerde ultrases geçiş süreleri diğerlerine göre % 8 oranında daha az olduğu görülmüştür. Bu durum bize C tipi UK nın boşluğu az harç üretimi için uygun bir malzeme olduğunu göstermiştir.

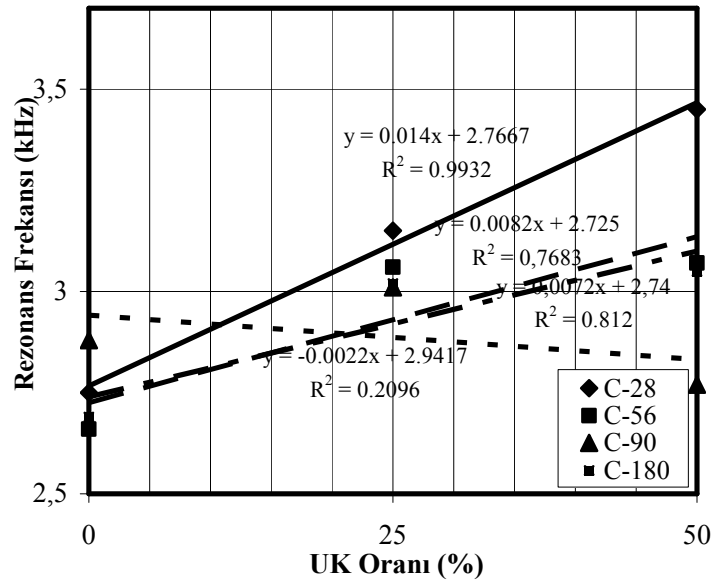
#### 5.2.4. Rezonans Frekansı Deneyi Sonuçları



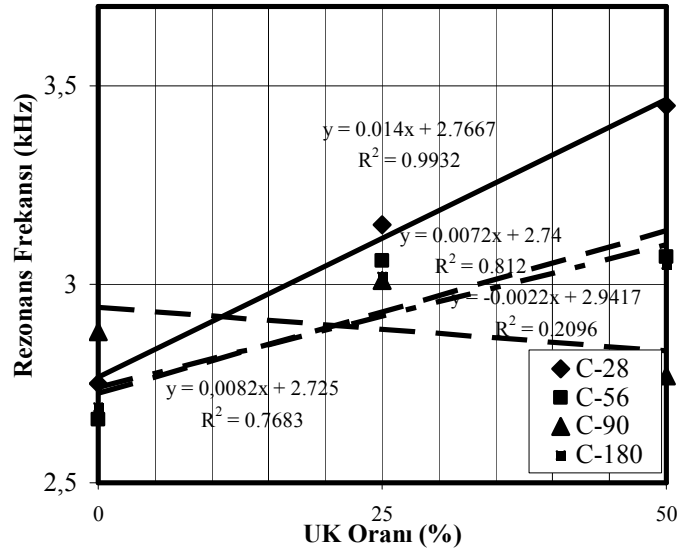
Şekil 7. Rezonans frekansının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda)



Şekil 8. Rezonans frekansının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda)

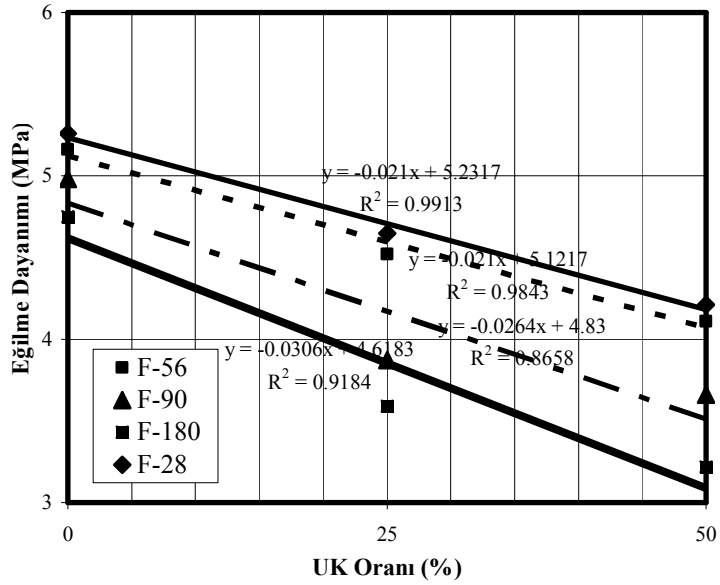


Şekil 9. Rezonans frekansının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda)



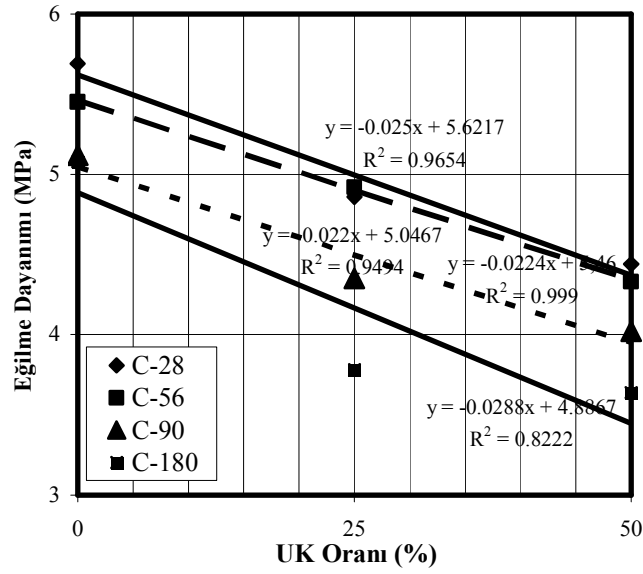
Şekil 10. Rezonans frekansının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda)

### 5.2.5. Eğilme Dayanımı Deneylerinin Sonuçlarının Değerlendirilmesi



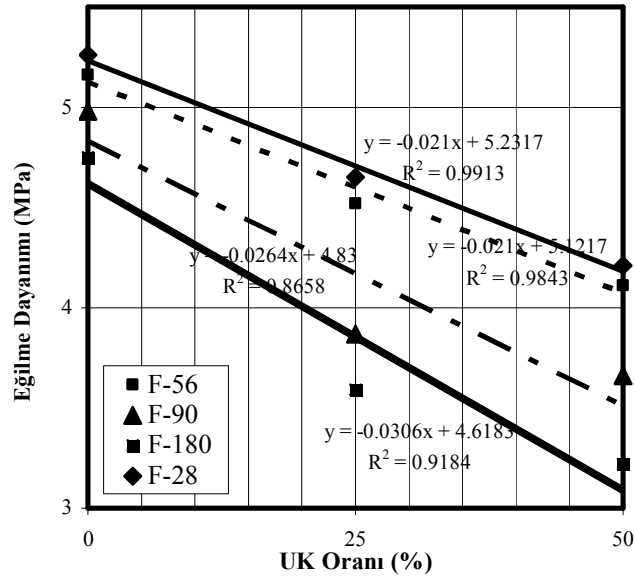
Şekil 11. Eğilme Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

Şekil 11'de görülmektedir ki; kür süresinin artmasıyla eğilme dayanımlarında azalmalar gözlenmiştir. Uçucu kül miktarının artmasıyla dayanımlarda yaklaşık % 10 civarında azalmalar görülmüştür.



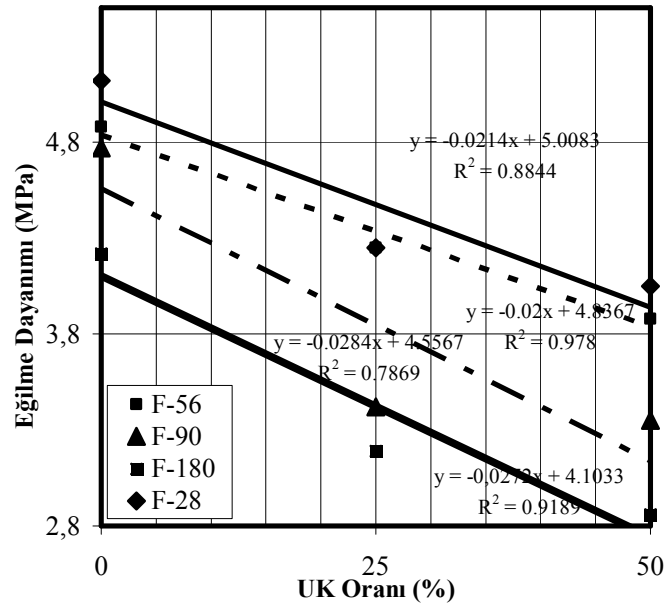
Şekil 12. Eğilme Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

Şekil 12’de görülmektedir ki; evsel atık suda bekletilen numunelerin eğilme dayanımları endüstriyel atık suda bekletilen numunelere göre daha yüksektir.



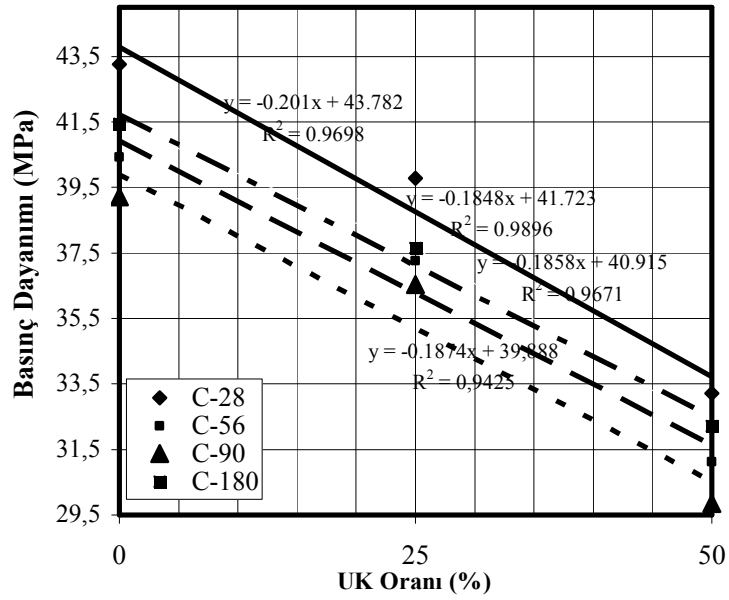
Şekil 13. Eğilme Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda)

Şekil 13’e göre F tipi UK ile üretilip endüstriyel atık suda bekletilen numunelerde UK’nın artmasıyla özellikle 90 günlük numunelerde dayanım kayıplarının % 20’lere kadar ulaştığı gözlenmiştir.

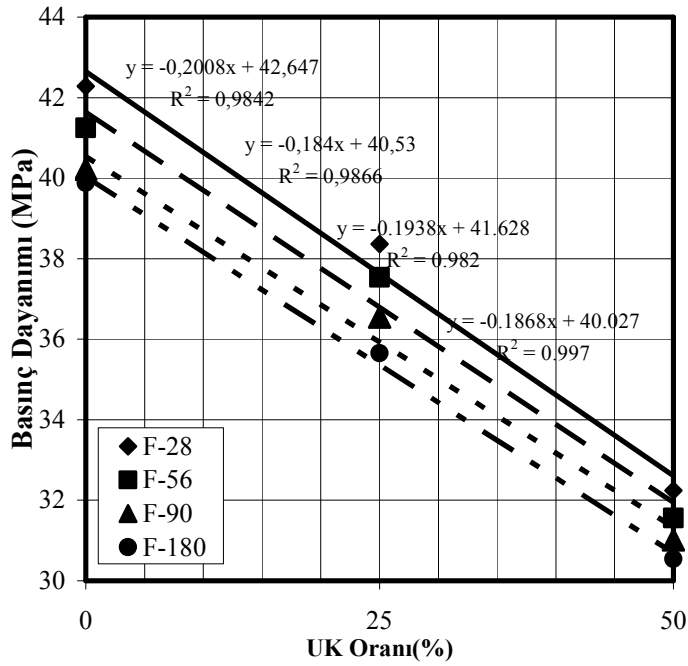


Şekil 14. Eğilme Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda)

### 5.2.6. Basınç Dayanımı DeneYleri sonuçlarının değerlendirilmesi

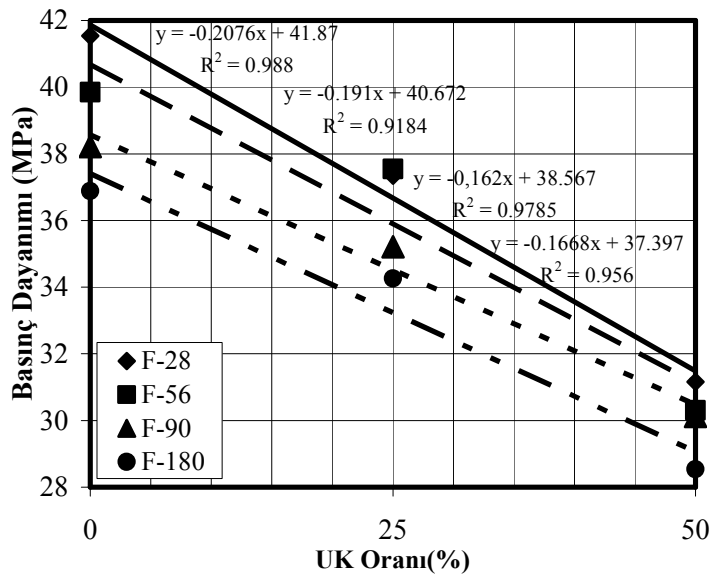


Şekil 15. Basınç Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

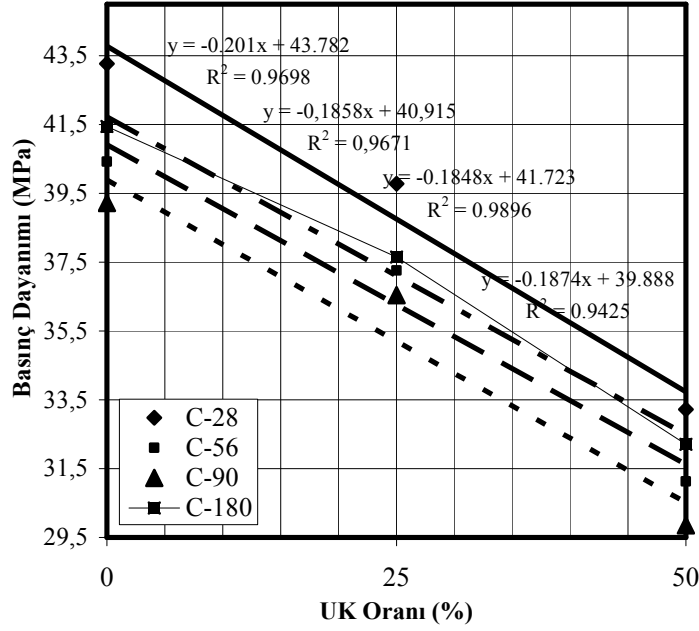


Şekil 16. Basınç Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (Evsel atık suda)

Şekil 16 ile Şekil 17 karşılaştırıldığında F tipi UK ile üretilip endüstriyel ve evsel atık suda bekletilen numunelerin basınç dayanımlarında hem % 25 hemde % 50 UK kullanım oranlarında % 5'e varan farklılıklar gözlenmiştir.



Şekil 17. Basınç Dayanımının UK-F oranı ile değişimi (End. atık suda)



Şekil 18. Basınç Dayanımının UK-C oranı ile değişimi (End. atık suda)

C tipi UK ile üretilen numunelerin endüstriyel ve evsel atık suda bekletilmeleri durumlarında basınç dayanımlarındaki farklılıklar Şekil 18 ve Şekil 15'te görülmektedir. Bu karşılaştırmalarda da görülmüştür ki endüstriyel atık suda bekletilen numuneler daha fazla hasara uğramıştır. UK oranının etkisi ise her iki durumda da benzer özellik göstermiştir.

---

## BÖLÜM 6

### DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

---

F ve C tipi uçucu küllerin arasındaki bilinen farklar çalışmamızda elde edilen deney sonuçları, deney sürelerinin kısa olmasından net bir biçimde ortaya çıkmamıştır. C tipi uçucu küllerin F tipi uçucu küllere göre bağlayıcılık oranının ortalama % 5 daha fazla olması dayanım deneylerinde açık bir biçimde tespit edilmiştir. Aynı karışım oranları ve aynı kür sürelerinde UK tipinin değişmesi % 10 yani ortalama 4 MPa değerlerine varan dayanım artışlarını ortaya çıkarmıştır. Özellikle bu durum çimento yerine % 50 UK kullanıldığında hemen hemen bütün dayanım grafiklerinde görülmektedir.

Rezonans frekansı ve ultrases deneylerinde elde edilen sonuçlara paralel olarak numunelerin hasar görme oranları tahmin edildiği gibi belirlenmiştir. Bu durum bize göstermiştir ki üretilen harç numunelerinde kullanılan UK tipi ve oranına göre harç bünyesinde bulunan boşluklar azalmakta ya da artmakta, boşluk miktarı fazla olan numuneler az olan numunelere göre daha fazla su emmiş ve yüzeyde oluşan hasarlar bir o kadar artmıştır.

Temin edilen evsel atık su ve endüstriyel atık sulardaki zararlı madde oranları şartnamelerdeki sınır değerler içerisinde kalıyor olmasına rağmen özellikle 90 günlük kür sonucunda UK oranının % 25 azalması ve kullanılan UK tipinin F olması durumunda numunelerde basınç dayanımlarında 3-4 MPa azalmalar gözlenmiş ve olumsuz özellikler ortaya çıkmaya başlamıştır.

Çalışmanın amaçlarından biri olan “atık sulara dayanıklı beton geliştirilmesi” konusu çok nitelikli ve uzun yıllar sürmesi gereken bir konu olmasına rağmen yaklaşık 6 ay süresinde bu durumla ilgili yönlendirici noktalar belirlenmiştir.

Şekillerden de görüleceği üzere kür süresinin ve UK kullanım oranının % 25 artması harç numunelerinde gerek dayanım gerekse mekanik özellikler açısından olumsuz sonuçlar ortaya çıkarmasına rağmen, dayanıklılık kavramının bahsedilen paralelliğe zıt olduğu çalışmanın her safhasında tespit edilmiş ve şekillerde ifade edilmiştir.

- ✓ Bu çalışmaya eşdeğer sayılacak çalışmalar irdelendiğinde genel anlamda paralellik gösteren sonuçlar elde edilmiş olsa da, deney sürelerinin kısa oluşu istenilen hasar oluşumlarını bu süreç içerisinde beklenen sonuç ve değerler ortaya çıkmamıştır.
- ✓ H. Sarıçimen ve diğerleri Suudi Arabistan'daki atık su taşıma sistemlerinde kullanabilmek için farklı çimentolarla % 10, %20 ve % 30 oranlarında uçucu kül kullanarak harç numuneleri üretmiş ve 73. ve 150. günlerinde sertleşmiş beton deneyleri yapmışlardır. Bizim çalışmamızdan farkı ise bahsedilen çalışmada zararlı madde konsantrasyonlarının %7 oranlarında arttırılmış olmasıdır.
- ✓ A.K. Fisher ve diğerleri selülozik fiber ile donatılanmış beton boruların atık su uygulamalarındaki durabilitelerini araştırmışlardır. Uygulama alanlarından aldıkları numuneleri SEM teknolojisiyle incelemişler ve bu uygulamanın özellikle sülfat saldırılarında bu donatıların uygunluğunu belirlemişlerdir. Bu çalışmada bizim çalışmamızdan farklı olarak herhangi bir deney numunesi üretilmemiş olup, doğrudan uzun süreç içerisinde atık sulardan etkilenen beton yüzeylerden numuneler alınmıştır.
- ✓ Jean-Marc Tulliani ve diğerleri beton bina temellerinde atık sulardan dolayı oluşan sülfat saldırılarını Torino'daki 35 yıllık bir binada incelemişlerdir. Temelde binanın iç kısımlarında kalan perde ve kolonlarda gözle görülür hasarlar tespit etmişlerdir. Bu hasarın ise SEM cihazı analizleri yardımıyla binanın yapıldığı 15 sene içerisinde oluştuğunu göstermişlerdir. Bu çalışmada ise görüldüğü gibi hem deneylerde kullanılmak için numune üretilmemiş, hemde deney süreleri 15 sene gibi uzun bir süre olarak belirlenmiştir.
- ✓ Analizleri yapılan her iki tür atık suyunda pH değerleri sınır değerler arasında çıkmıştır. (ortalama 8) Bu durum en başta çalışmaların yapıldığı atık suların deney numunelerimize beklenen ölçüde hasar vermeyeceği düşünülmüştür.

Buna paralel olarak gerek evsel atık su gerekse endüstriyel atık su içerisindeki zararlı madde oranları da şartnamelerin belirttiği sınır değerler arasındadır. Bu durum madde konsantrasyonu artırma gereğini ortaya çıkarmıştır fakat deney planlarında bu durum bulunmadığı için tercih edilmemiştir.

- ✓ 56 günlük atık su kürlерinden sonra hemen hemen bütün numunelerde çiçeklenmelere rastlanmıştır. Bu durum dayanıklılık kavramında ayrı bir husus olarak bir çok çalışmada incelenmiştir.
- ✓ Puzolanik bir katkı uçucu külün günümüzde bu denli yaygın kullanılmasının sebepleri çalışmamızda bir kez daha ortaya çıkmıştır. Fakat, UK kullanımında miktar tayininin önemli bir etken olduğu görülmüştür.
- ✓ Deneysel çalışmalarda performans belirleyicisi olarak UK oranının seçilmesinin nedeni, bu maddenin, deneylerin yapıış şekline paralel olarak (hasarın su içinde gerçekleşmesi), geçirimsizlik özeliğı sağlayan bir madde olmasıdır. UK oranı arttıkça mekanik özellikler şahit numunelere göre belirgin oranlarda düşmüş olsa da, numunelerin hasar görme oranları bir o kadar azalmıştır.

---

---

## BÖLÜM 7 SONUÇ VE ÖNERİLER

---

---

Harç içerisinde katkı maddesi olarak kullanılan uçucu külün taze ve sertleşmiş harç özelliklerine etkilerini kısaca aşağıdaki çıkarımlarla sıralayabiliriz;

### **Olumlu etkileri**

- Taze harçtaki işlenebilmeyi arttırmaktadır.
- Taze harçtaki terlemeyi azaltmaktadır.
- Harcın hidrasyon ısını %10 civarında arttırmaktadır.
- Sertleşmiş harcın su geçirimsizliğini %5 oranlarında azaltmaktadır
- Sertleşmiş harcın sülfatlara dayanıklılığını %15 artırmaktadır
- Ekonomi sağlamaktadır.

### **Potansiyel zararlı etkileri**

- Harcın prizini biraz geciktirmektedir. Bu durum soğuk havalarda sorun olabilmektedir.
  - Harcın ilk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltmaktadır.
  - Harcın daha uzun süreyle kür edilmesini gerektirmektedir.
  - Harç içerisinde belirli miktarlarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok miktarda hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektirmektedir.
- Yukarıda belirtildiği gibi UK' da bir çok katkı maddesinin betona kazandırdığı özellikler bulunmaktadır. Fakat bazı durumlarda da yine özellikle dayanım konusunda %12 civarlarında (ortalama 4Mpa) vardır.
  - Çalışmalarda uygunluk ve karşılaştırılabilir standart özellikler olması bakımından yalnızca tek bir çimento tipi kullanılmıştır. (CEM I 42.5). Eğer bu çalışmanın devamı sayılabilecek bir çalışmada SDÇ 32.5 çimentosu kullanılırsa olumlu özelliklerin ortaya çıkabilecektir. Devam ettirilebilir bir çalışma olan bu

araştırma konusunun farklı imento türleriyle yapılması mutlaka daha nitel ve araştırılan özeliklerin daha belirgin olacağı sonuçlar ortaya çıkaracaktır.

- Performans belirleyicisi olan UK'nın, bu çalışmanın devamı niteliğinde olacak diğer çalışmalarda sabit oranlarda tutulup değişken performans belirleyicisi olarak farklı agrega çeşitlerinin seçilmesiyle aynı deney yöntemi biraz daha uzun tutularak, beton teknolojisinde günümüzün önemli sorunlarından biri olan ASR (Alkali-Silika Reaksiyonu) incelenmeye alınması gereken diğer önemli bir dayanıklılık kavramıdır.
- Son yıllarda büyük gelişmeler kaydetmiş olan beton kimyasalları teknolojisinin bu tip bir çalışma üzerinde denenmesi de ayrı bir araştırma konusu olacaktır.

**KAYNAKLAR**

Baradan B., Yazıcı H., Ün H., (2002) “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (durabilite)”  
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, N. 218 İzmir

Yeğınobalı, A. “Betonun Dayanıklılığı I”, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği,  
Çimento ve Beton Araştırma Geliştirme Enstitüsü, Seminer Notları, Ankara,  
(1999).

ACI Commitee 201, 2R-92, “Guide to Durable Concrete”, Materials and General  
Properties of Concrete, ACI Manuel of Concrete Practice, (1999).

H. Saricimen , M. Shaneem, M. Ibrahim, T.A. Abbasi, “Durability of proprietary  
cementitious materials for use in waste water transport systems”, Cement &  
Concrete Composites 25 pp. 421-427 (2003).

A.K. Fisher, F. Bullen, “The Durability of Cellulose Fibre Reinforced Concrete Pipes In  
Sewage Applications”, Cement & Concrete Research 31 pp.543-553 (2001)

S. Delgado, M. Alvarez, L. E. Rodriguez-Gomez And E. Aguiar, “ H<sub>2</sub>S Generation in  
Reclaimed Urban Wastewater Pipe.”. Cement and Concrete research, Vol. 33,  
No. 2 pp. 539-547 (2003)

Jean-Marc Tulliani, Laura Montanaro, Alfredo Negro, Mario Collepardi, “Sulfate  
attack of concrete building foundations induced by sewage waters” Cement &  
Concrete Research 32 pp.843-849 (2002)

### **Kaynaklar devamı**

Topçu İ.B., Canbaz M., “Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri” Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Dergisi, pp. 11-21 (2001).

ASTM C 618 : Standart Specification for coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, Annual Book of ASTM Standarts, No. 4, (1998)

TS EN 197-1 : Çimento-Bölüm 1: Genel çimentolar-Birleşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Mart (2002)

TS EN 450 : Uçucu Kül-Betonda Kullanılan-Tarifler, Özellikler ve Kalite Kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan (1998)

TS 639: Uçucu Küller, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan (1998)

K. Tosun, H. Yazıcı, H. Yiğiter, S. Aydın, Uçucu Kül İçeren Çimento Harçlarının Sülfat Dayanıklılığının İncelenmesi, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, , İstanbul, ss. 17-26 1-3 Ekim (2003).

K. Kılınc, M. Uyan, Beton Karışım Suyundaki Sülfat Tuzlarının Çimento Harcı Özelliklerine Etkisi, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 393-402.

B. Uzal, F. Bektaş, L. Turanlı, Öğütülmüş Doğal Zeolitin Alkali-Silika Reaksiyonu ve Sülfat Etkisi ile Genleşmesinin İncelenmesi, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 403-409.

H.N. Atahan, B.Y. Pekmezci, M. Uyan, H. Yıldırım, Sülfatların Portland Çimentolu ve Sülfata Dayanıklı Çimentolu Betonların Durabilitesine Etkisi, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 411-419.

**Kaynaklar devamı**

- T. Ertün, A. Başkoca, P. Türker, Kalkerli Çimentoların Sülfat Direnci, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 421-432.
- A. Uğurlu, Sulama Kanallarında Sülfat Problemi ve Çözüm Önerileri, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 567-574.
- O. Karahan, K. Arı, T. Haktanır, C.D. Atış, Farklı Portland Çimentolu Betonların Sülfürik Asitli Ortamdaki Dayanıklılığının Karşılaştırılması, TMMOB, İMO İstanbul Şubesi, 5. Ulusal Beton Kongresi, 1-3 Ekim 2003, İstanbul, ss. 575-583.
- M. Şahmaran, Ö. Kasap, İ.Ö. Yaman, Tras ve Uçucu Kül Katkılı Çimentoların Sülfat Etkisindeki Performansları, TMMOB, 6. Ulusal Beton Kongresi, 16-17-18 Kasım 2005, İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi, İstanbul, ss. 201-208.



## KISA ÖZGEÇMİŞ

30.05.1981'de Bodrum'da doğdu. İlkokula Ankara/Gölbaşı Baldudak İlk okulunda başladı ve 1993 yılında Bingöl Cumhuriyet İlk okulunda Mezun oldu. Ortaokula 1994 yılında Gebze Anadolu Lisesi'nde başladı ve 1997 yılında Ağrı Anadolu Lisesi'nden mezun oldu. Liseyi Sivas Selçuk Anadolu Lisesi'nde 1999 yılında bitirdi. Daha sonra 2000 yılında Osmangazi Üniversitesi, Mimarlık- Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı ve 2004 yılında mezun oldu. 2004 Yılında Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı bilim Dalı Yapı malzemesi dalını kazandı ve öğrenimimi 2. Sınıf 4. Dönem olarak devam ettirmektedir.

Özgür TATAR

**Adres:** Arifiye Mah. Postane Sok. No:22/1 ESKİŞEHİR

**Telefon :** 0 222 225 84 79 GSM:0535 227 23 84

**e-mail:**ozgurtatar@hotmail.com

## ÖZGEÇMİŞ



**Adı ve soyadı** : Özgür TATAR  
**Doğum yeri ve yılı** : Bodrum – 30.05.1981  
**Baba adı** : Sedat

**Eğitim :** 2000 – 2004 Osmangazi Üniversitesi,  
Mühendislik Mimarlık Fakültesi,  
İnşaat Mühendisliği Bölümü / ESKİŞEHİR  
1996 – 1999 Selçuk Anadolu Lisesi  
1992 - 1996 Gebze Anadolu Lisesi  
1986 - 1992 Baldudak İlköğretim Okulu

**Bitirme Projesi** : Uçucu Küllü Harçların Yangına Karşı Dayanımı  
**Yıl içi Proje** : Betonarme Yapı Analizi  
**Yapı Stajı (aktif)** : ORKA İnşaat Ltd. Şti Gebze  
**Yol Stajı (aktif)** : AKYAPI A.Ş. İstanbul

**Yabancı Dil** : İngilizce

**Bilgisayar** : Microsoft Office, IDEstatik ,IDEmimar, SAP2000, Visual Basic

**Ehliyet** : B sınıfı

**Hobiler** : Bilgisayar, müzik, kitap,

**Adres** : Arifiye Mah. Postane Sok. No:22/1 ESKİŞEHİR

**Tel** : 0 222 225 84 79 – GSM : 0 544 727 23 84

**E – Posta** : ozgurtatar@hotmail.com



## CURRICULLUM VITAE

### A – GENERAL

Surname and name : TATAR Özgür  
 Date and place of birth : 1981 Bodrum / TURKEY  
 Marial status : Single  
 Career : Civil Engineering,BSc  
 Language : English

---

Adres (home) Arifiye Mah. Postane Sok. No:22 ESKİŞEHİR/TURKEY

### B – EDUCATION

BSc : Osmangazi University, Civil Engineering Dept.  
 Eskişehir TURKEY, 2004

### C – OCCUPATIONAL INTERESTS

1. CONCRETE (Aggregates. Cements. Admixtures. Fresh/Hardened Concrete Tests)
2. ADMIXTURES (Mix Design. Concrete Materials)
3. COMPUTER SYSTEMS ( New Technologies, Hardware and Software )

### D-PERSONAL INTERESTS

1. Playing Football, Basketball, Reading Occupational Boks, Computer Programming

### E – PERSONAL REFERANCES

1. Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

**CERTIFICATION** : I certify the information in this Curriculum Vitae is complete and accurate to the best of my knowledge.