



T.C.  
NIĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK KÜL DOLGULU ÜRETİLEN  
YAPI PANELLERİNİN RADYASYON  
SÖNÜMLEME DURUMLARININ BELİRLENMESİ

GAMZE YILDIRIM

Ağustos 2018

T.C.  
NİĞDE ÖMER HALİSDEMİR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ATIK KÜL DOLGULU ÜRETİLEN  
YAPI PANELLERİNİN RADYASYON  
SÖNÜMLEME DURUMLARININ BELİRLENMESİ

GAMZE YILDIRIM

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Ağustos 2018

**Gamze YILDIRIM** tarafından **Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR** danışmanlığında hazırlanan “**Atık Kül Dolgulu Üretilen Yapı Panellerinin Radyasyon Sönümlleme Durumlarının Belirlenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Çevre Mühendisliği** Ana Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.



Başkan : Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi



Üye : Prof. Dr. Sefa ERTÜRK Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi



Üye : Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

#### ONAY:

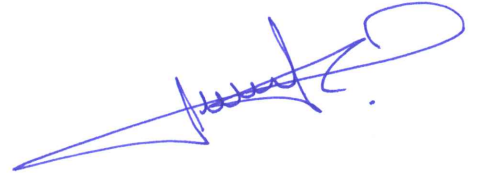
Bu tez, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulunca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından ....../...../20.... tarihinde uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu’nun ....../...../20.... tarih ve ..... sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

...../...../20...

**Doç. Dr. Murat BARUT**  
**MÜDÜR V.**

## TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Gamze YILDIRIM

## ÖZET

### ATIK KÜL DOLGULU ÜRETİLEN YAPI PANELLERİNİN RADYASYON SÖNÜMLEME DURUMLARININ BELİRLENMESİ

YILDIRIM, Gamze

Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman

: Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

Ağustos 2018, 63 sayfa

Önemli çevresel sorunlara neden olan uçucu kül (UK) ve kazan altı külü (KAK) endüstriyel katı atıklardır. İnşaat sektörü, bu atıkların kullanıldığı ana sektördür. Bu çalışmada endüstriyel atık kül(AK)lerin ekonomik ve faydalı yapı panelleri üretiminde kullanılabilirliğinin ve radyasyon emilim durumu da dahil olmak üzere fiziksel-mekanik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. İsken Sugözü Termik Santrali (İSTS)'nden, Bor Şeker Fabrikası'ndan ve ÇİMSA Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş.'den temin edilen sırasıyla UK, KAK ve Portland çimento, ticari tip kireç ve kartonpiyer alçısı bu çalışmanın materyalleridir. AK'larda elek analizi yapılmıştır. Bu tezde AK oranları %10-90 aralığında belirlenmiştir. Fiziksel ve mekanik testler (eğilme ve basınç dayanımı, birim hacim ağırlığı, su emme yüzdesi, porozite ve radyasyon sönümlenme) gerçekleştirilmiştir. Üretilen yapı paneli numunelerinde en yüksek basınç dayanım değeri %90 çimento+%10 KAK ve %90 çimento+%10 UK karışımında 49,8 ve 64,5 MPa, en yüksek radyasyon sönümlenme ise %10 KAK+%90 çimento karışımında %13,07 olarak tespit edilmiştir.

*Anahtar Sözcükler: Yapı paneli, çevre, radyasyon sönümlenme, yeniden kullanım, atık kül*

## SUMMARY

### DETERMINATION OF ABSORPTION OF RADIATION IN BUILDING PANELS PRODUCED FROM WASTE ASH

YILDIRIM, Gamze

Niğde Ömer Halisdemir University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Environmental Engineering

Supervisor : Associate Professor Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR

August 2018, 63 pages

Fly ash (FA) and bottom ash (BA) causing important environmental problems are industrial solid wastes. The construction industry is the main sector where they are used. In this study, it is aimed to evaluate the usability of industrial WAs in the production of economical and useful building panels and to determine their physical-mechanical properties including status of radiation absorption. WAs supplied from İsken Sugözü Thermal Power Plant (AETPP) as FA and Bor Sugar Factory as BA, Portland cement supplied from ÇİMSA Cement Industry and Trade Inc., lime and moulding plaster in commercial types are the materials of this study. Sieve analysis was carried out in the WAs. Ratios of the WAs were specified in the range of 10-90%. The physical and mechanical tests (flexural and compressive strengths, bulk density, water absorption, porosity and radiation absorption) were done. The results of the experiments show that the highest compressive strengths values were obtained in the building panels having combination of 90% cement+10% BA and 90% cement+10% FA were 49.8 and 64.5 MPa, respectively. And the highest radiation absorption value (%13.07) was determined in the building panel produced from %10 BA+%90 cement mixture.

*Keywords:* Building panel, environment, radiation absorption, reuse, waste ash

## ÖN SÖZ

Bu yüksek lisans çalışmasında, endüstriyel atık küller olan uçucu kül ve kazan altı külü dolgu olarak kullanılarak yapı paneli üretilirken bağlayıcı olarak çimento, kartonpiyer alçısı ve kireç kullanılmıştır. Üretilen bu yapı panellerinde temel fiziksel-mekanik testler gerçekleştirilmiş ve radyasyon sönümleme durumları belirlenmiştir.

Yüksek lisans tez çalışmamın başından bu zamanlara gelebilmesinde çok büyük emeği olan, tezin her kısmında desteğini benden hiç esirgemeyen ve bana olan inancını hiç yitirmeyen kıymetli danışmanım Doç. Dr. Neslihan DOĞAN SAĞLAMTİMUR'a içten teşekkürlerimi sunarım. Tezde yapı paneli üretim aşamalarının teorik ve deneysel kısımlarında oldukça destek veren arkadaşım Hatice AKBULUT'a, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Ahmet BİLGİL ve Dr. Öğretim Üyesi Fatih ÇELİK'e, radyasyon sönümlemesi testlerini gerçekleştiren ve teorik katkılar sunan Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fizik Bölümü'nden Dr. Öğretim Üyesi Vakkas BOZKURT'a teşekkürler ederim. Laboratuvar imkanlarını sundukları için Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği ve Fizik Bölümlerine, Merkezi Araştırma Merkezi'ne teşekkür etmek isterim. Tezin bilimsel içeriğine olan değerli katkılarından dolayı jüri üyeleri Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Fizik Bölümü'nden Prof. Dr. Sefa ERTÜRK ve Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü'nden Doç. Dr. Serkan ŞAHİNKAYA'ya teşekkür ederim. Çalışmamın kalbi diyebileceğim materyal metot kısmında bana destek veren Dr. Adnan GÜVEN'e, bana karşı anlayışlı, ılımlı ve destekleyiciliği sayesinde tezimin yazım aşamasını hızlı ilerletmemde çokça emeği olan değerli işverenim Hasan TÜRKEŞ'e teşekkürü borç bilirim.

Tezimi, kariyer basamaklarını birer birer çıkmaya başladığım bu uzun yolda benden maddi manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her zaman yanımda olan, bana güvenen, verdikleri destekle bana güç veren, canımdan çok sevdiğim biricik anneme ve babama ithaf ediyorum...

## İÇİNDEKİLER

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| ÖZET .....                                     | iv  |
| SUMMARY .....                                  | v   |
| ÖN SÖZ .....                                   | vi  |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....                       | vii |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....                        | ix  |
| ŞEKİLLER DİZİNİ .....                          | x   |
| FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ .....           | xi  |
| SİMGE VE KISALTMALAR .....                     | xii |
| BÖLÜM I GİRİŞ .....                            | 1   |
| BÖLÜM II GENEL BİLGİLER .....                  | 3   |
| 2.1 Atık Kül .....                             | 5   |
| 2.2 Uçucu Kül .....                            | 7   |
| 2.3 Taban Külü .....                           | 8   |
| 2.4 Yapı Malzemesi .....                       | 9   |
| 2.5 Alçı .....                                 | 10  |
| 2.5.1 Alçının kullanım alanları .....          | 11  |
| 2.6 Alçıpan .....                              | 11  |
| 2.7 Alçı Panel Duvar .....                     | 12  |
| 2.7.1 Alçı panel duvar kullanım alanları ..... | 12  |
| 2.8 Kireç .....                                | 13  |
| 2.9 Çimento .....                              | 13  |
| 2.9.1 Çimentonun tarihçesi .....               | 14  |
| 2.10 Radyasyon .....                           | 14  |
| 2.10.1 Radyasyon soğurulması .....             | 17  |
| 2.10.2 Radyasyon ölçüm sistemleri .....        | 18  |
| 2.10.3 Radyasyon kaynakları .....              | 18  |
| 2.10.4 Radyasyon kullanım alanları .....       | 19  |
| 2.10.5 Radyasyondan korunma yöntemleri .....   | 20  |
| 2.10.6 Müsaade edilen maksimum dozlar .....    | 22  |
| 2.10.7 Geiger-Müller sayacı .....              | 23  |
| 2.11 Literatür Araştırması .....               | 23  |

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| BÖLÜM III MATERYAL VE METOT .....                                                | 28 |
| 3.1 Materyal .....                                                               | 28 |
| 3.2 Metot .....                                                                  | 29 |
| 3.2.1 Yanabilir madde verim hesabı .....                                         | 30 |
| 3.2.2 Atık küllerin, kireç ve kartonpiyer alçının elek analizi .....             | 30 |
| 3.2.3 Atık küllerin birim hacim ağırlığı .....                                   | 31 |
| 3.2.4 Numunelerin hazırlanması .....                                             | 31 |
| 3.2.5 Atık küllerden çimento bağlayıcısı ile numune eldesi deneyi .....          | 33 |
| 3.2.6 Atık küller ve kartonpiyer alçısı ile numune eldesi deneyi .....           | 34 |
| 3.2.7 Atık küller ve kireç ile numune eldesi deneyi .....                        | 35 |
| 3.2.8 Üretilen yapı paneli numunelerinde tek eksenli basınç dayanım deneyi ..... | 36 |
| 3.2.9 Üretilen yapı paneli numunelerinde eğilme deneyi .....                     | 38 |
| 3.2.10 Üretilen yapı paneli numunelerinde su emme deneyi .....                   | 38 |
| 3.2.11 Üretilen yapı paneli numunelerinde porozite deneyi .....                  | 39 |
| 3.2.12 Üretilen yapı paneli numunelerinde birim hacim ağırlığı deneyi .....      | 39 |
| 3.2.13 Üretilen yapı paneli numunelerinde radyasyon sönümlleme deneyi .....      | 40 |
| 3.2.14 Geiger-Müller sayacı .....                                                | 40 |
| BÖLÜM VI BULGULAR .....                                                          | 42 |
| BÖLÜM V SONUÇLAR VE TARTIŞMA .....                                               | 50 |
| KAYNAKLAR .....                                                                  | 53 |
| ÖZ GEÇMİŞ .....                                                                  | 65 |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Çizelge 2.1. İzin verilen maksimum radyasyon dozları.....                                                                                  | 22 |
| Çizelge 3.1. UK, KAK, çimento ve alçının kimyasal analiz sonuçları.....                                                                    | 28 |
| Çizelge 3.2. Deneylerde kullanılan araç gereçler .....                                                                                     | 29 |
| Çizelge 3.3. Yanabilir madde verimi hesabı.....                                                                                            | 30 |
| Çizelge 3.4. KAK, UK ve çimentonun birim hacim ağırlıkları .....                                                                           | 31 |
| Çizelge 3.5. Atık küllerin çimento, kireç ve KA ile ön deneme karışım oranları .....                                                       | 32 |
| Çizelge 3.6. Atık küller ve çimento ile üretilen numunelerin karışım oranları .....                                                        | 34 |
| Çizelge 3.7. KAK ve UK'nın KA ile üretilen numunelerin karışım oranları .....                                                              | 35 |
| Çizelge 3.8. KAK ve UK'nın kireç ile numune üretimi için hazırlanan karışım oranları .....                                                 | 36 |
| Çizelge 4.1. AK'ların çimento ile karışımından elde edilen ürünlerin 7 ve 28 günlük ED ve BD test sonuçları.....                           | 42 |
| Çizelge 4.2. AK'ların kartonpiyer alçısı ile karışımından elde edilen numunelerin 7 günlük ED ve BD sonuçları .....                        | 43 |
| Çizelge 4.3. AK'ların kireç ile karışımında elde edilen ürünlerin 7 ve 28 günlük ED ve BD sonuçları .....                                  | 44 |
| Çizelge 4.4. AK ve çimentolu karışım ile elde edilen ürünler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin (su emme, porozite, BHA) sonuçları ..... | 45 |
| Çizelge 4.5. AK'ların KA karışımı ile elde edilen ürünler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin (su emme, BHA) sonuçları .....              | 47 |
| Çizelge 4.6. AK'ların kireç karışımı ile elde edilen ürünleri üzerinde gerçekleştirilen BHA deney sonuçları .....                          | 47 |
| Çizelge 4.7. Radyasyon sönmemesi yapılan numunelerin deney sonuçları .....                                                                 | 49 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                       |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 2.1. Atık yönetim piramidi .....                                                                                                                                                | 4  |
| Şekil 2.2. Radyasyon çeşitlerin göre zırlama .....                                                                                                                                    | 17 |
| Şekil 2.3. X ve gama ışınlarının soğurulması.....                                                                                                                                     | 18 |
| Şekil 2.4. Radyasyon kaynakları .....                                                                                                                                                 | 19 |
| Şekil 2.5. Radyasyondan korunmanın üç temel yolunun şematik gösterimİ .....                                                                                                           | 21 |
| Şekil 3.1. Alçı, UK, KAK ve kirecin elek analiz sonuçları .....                                                                                                                       | 31 |
| Şekil 3.2.Geiger-Müller sayacı ile radyoaktif kaynağın önünde herhangi bir yapı paneli numunesi yokken (sol) ve numune varken (sağ) yaklaşık 1 saatlik süre içinde yapılan ölçüm..... | 41 |

## FOTOĞRAF VB. MALZEMELER DİZİNİ

|                                                                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fotoğraf 3.1. Yayılma deneyi fotoğrafları .....                                                                                                                                                | 32 |
| Fotoğraf 3.2. AK ve çimentolu ürünlerin a) kalıplarda sıkıştırılması, b) kalıplarda bekletilmesi, c) su tankında bekletilmesi .....                                                            | 33 |
| Fotoğraf 3.3. AK ve KA karışımli numunelerin fotoğrafları.....                                                                                                                                 | 35 |
| Fotoğraf 3.4. AK ve kireç karışımli numunelerin fotoğrafları .....                                                                                                                             | 36 |
| Fotoğraf 3.5. Etüvde bekleyen numunelerin fotoğrafları .....                                                                                                                                   | 37 |
| Fotoğraf 3.6. Basınç dayanımında kullanılan cihaz fotoğrafları .....                                                                                                                           | 37 |
| Fotoğraf 3.7. Numuneler üzerinde eğilme deneyi gerçekleştirilmesi .....                                                                                                                        | 38 |
| Fotoğraf 3.8. Etüv sonrası kuru BHA tartılması .....                                                                                                                                           | 39 |
| Fotoğraf 3.9. Tezde üretilen yapı panellerinin radyasyon sönümleme durumunun belirlenmesinde kullanılan kurşun levha ile kaplanmış kafes/kutu, radyasyon kaynağı ve Geiger-Müller sayacı ..... | 40 |

## SİMGE VE KISALTMALAR

### Simgeler

|          |             |
|----------|-------------|
| $\mu$    | Mikron      |
| A        | Kesit alanı |
| $\Sigma$ | Gerilme     |

### Açıklama

### Kısaltmalar

|      |                                  |
|------|----------------------------------|
| ACI  | Amerikan Beton Enstitüsü         |
| AK   | Atık Kül                         |
| ASTM | Amerikan Test ve Malzeme Birliği |
| GYFC | Granüle Yüksek Fırın Cürufu      |
| UK   | Uçucu Kül                        |
| KAK  | Kazan Altı Külü                  |
| KA   | Kartonpiyer Alçısı               |
| BHA  | Birim Hacim Ağırlığı             |
| BD   | Basınç Dayanımı                  |
| ED   | Eğilme Dayanımı                  |

### Açıklama

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Hızlanan kentleşme sebebiyle 2025 yılına kadar insanların yaşadığı her bölgede nüfusun 2-3 katına ulaşacağı tahmin edilmektedir (UNEP, 2005). Nüfus artışı ile düzensiz ve plansız büyüme olacak, bu durum da birçok kirliliğin ortaya çıkmasına sebebiyet verecektir. Bunların sonucunda da çevresel kirlilik artacaktır (Alexis, 2009).

İnsanlar hayatta kaldıkları süre boyunca kaçınılmaz olarak katı atık oluşmaktadır. Bu atıklar hem günlük hayata zarar vermekte ve yaşam kalitesini düşürmekte hem de birçok çevresel probleme sebep olmaktadır. Bu durumu düzeltmek ve sağlıklı, kaliteli bir çevrede yaşamak için bu atıkların ortamdan kaldırılması gerekmektedir (Shekdar, 2009). Kentlerdeki yetkili kişiler/merciler bu atıkların yönetimi sorunlarıyla uğraşmaktadır. Yaşanan bu sorunlar, atık yönetiminde uygulanan toplama, taşıma, depolama sisteminin yeterli olmadığını ortaya koymuştur (Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

Ekonomik olarak ciddi maddi yüke neden olan toplama, taşıma ve bertaraf işlemi toplum sağlığı bakımından önem arz ettiği gibi katı atıklar doğru değerlendirilemezse, oluşturulan bu sistemin yükü, ekonomik ve mali durumlar da dahil olmak üzere, bütün sorumluluk yerel yönetimde olacak şekilde gerçekleştirilmek durumunda kalacaktır (Yılmaz ve Bozkurt, 2010). Sürekli artmakta olan atıklar sebebiyle zorluk yaşayan atık yönetim hususunda gelişme kaydetmek durumunda olan il/ilçe yönetimleri çözümü özel sektörle ortak iş yapılmasında bulmaktadır (Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

Yerel yönetimlerle yürütülen ve katı atık yönetimi olarak isimlendirilen bu çalışmalarda, “ürüne odaklı olan” bir yaklaşım önemlidir. Böylece katı atıkların yönetim sürecindeki bütün halka, farklı bir ihale ve alış-satış nedeni sayılarak tekrardan tanımlama işlemi olan ve endüstri sektörüne devri yapılabilecek işlerden olacaktır. BU bakış açısı ile beraber topluma yapılan bu hizmetin çevre sorununu kapsayan ve ürün odaklı çalışmaya teşvik eden bir durum olduğu düşünölmeye başlanmış, bu sayede sorumluluk belediyelerden özel işletmelere kaymış ve ölçek belediye merkezinden bölge merkezine yükselmiştir (Ayman Güler, 2001).

Ülkemizde hala atıkların bertarafı ve bu konuda hangi çalışmayı yürütmenin en fizibil çözüm seçeneği olabileceği hususunda karar verme işlemi gerçekleşirken, gelişmiş ülkeler atıklarından kurtulabilmek adına kompost işlemi, geri dönüştürme, tekrar kullanma ve atıktan enerjiyi üretebilen teknolojileri ile enerjinin üretimini gerçekleştirerek bu durumun ülke kalkınmasına olan katkısını arttırma çalışmaları ile ilgilenmektedirler (Mrayyan ve Hamdi, 2006). Örneğin İsveç'te endüstri sebebiyle ortaya çıkan katı atıklar sayesinde, maddelerdeki geri dönüşüme olanak veren ve enerjinin üretiminin yapılabilmesine olanak veren bir model geliştirilmiştir. Ardından birçok ülke geliştirilmiş olan “eko-endüstriyel park” şeklinde tanımlanan modelle özel sektörle bütünlük, çevreye dayalı mükemmellikler, toplum ilişkilerinde ve değerlerinde ekonomi tabanlı durumlar üretmek, ekosistem iyileştirilme durumuna benzer birçok uygulama gerçekleştirmiştir (Casares vd., 2005).

Bu çalışmada yukarıda bahsi geçen katı atık sorunlarından biri olan atık külün çözümüne yönelik bir yüksek lisans tezi hazırlanmıştır. Tezin materyallerinden biri olan atık küller endüstriyel türde katı atıktırlar. Bu tezde atıkların ürün odaklı bir yaklaşım ile yeniden kullanımı sağlanarak çevreye ve ekonomiye katkıda bulunulması ve ayrıca üretilen ürünlerin, ülkemizin ve dünyanın büyük problemi haline gelmiş olan radyasyon kirliliğini sönmölemeye yönelik durumunun da belirlenmesi, birden çok kirliliğe ve çevre sorununa maksimum kazançla çözüm getirebilmesi amaçlanmıştır.

## BÖLÜM II

### GENEL BİLGİLER

Literatür ve mevzuat içeriğinde “katı atık” olgusuna dair birçok tanım bulunmaktadır. Armağan ve arkadaşları (2006) “katı atık” kavramının “üreticisi tarafından istenmeyen fakat ekonomik değere sahip, toplumun faydası için toplanıp fen ve sanat kuralları, bilimsel dayanaklar, mühendislik prensipleri uyarınca bertaraf edilmesi gereken katı şeyler” (Armağan vd., 2006) şeklinde tanımını verirken, Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği’ne göre ise “katı atık” tabiri, “üreticisinin atmak istediği ve toplum refahı ile bilhassa çevre korunumu bakımından, düzenli şekilde bertaraf edilmesi gereken katı maddeler ve arıtma çamuru” olarak belirtilmektedir (Yılmaz ve Bozkurt, 2010).

Katı atık kavramı, tehlikeli ve sıvı atıkları, ayrıca atmosferik gazlar hariç tutularak bütün atıkları içeren genel bir ifade olmasına karşın kentsel katı atıklar konut, ticari, kurumsal, inşaat yıkım ve kentsel hizmetler, vb. nedenlerden kaynaklanmaktadır (Badran ve El-Haddar, 2006).

Palabıyık ve Altunbaş (2004) tarafından “evsel, ticari ve/veya endüstriyel etkinliklerden dolayı meydana gelen ve artık işe yaramadığı gerekçesiyle üretici/tüketicinin attığı, ancak çevre ve insan sağlığı yanında diğer toplumsal yararları nedeniyle düzenli biçimde uzaklaştırılması gereken maddeler” olarak belirtilen katı atıklar kaynaklarına göre 4 grupta toplanabilir (DPT, 2000):

- Evsel Katı Atıklar,
- Endüstriyel Nitelikli Katı Atıklar (Tehlikeli ve Tehlikesiz Atıklar),
- Tıbbi Katı Atıklar,
- Özel Katı Atıklar

Katı atıklar sebebi ile oluşan kirlilik ve bununla bağlantılı olarak ortaya çıkan kirlilikle bu kirliliğin potansiyel riskinin miktarının gün geçtikçe artması, doğal kaynaklarımızın azalması, ekonomik ve diğer nedenler sebebiyle günümüz ve gelecek için atık yönetimi konusu gitgide önemini arttırmaktadır. Buna bağlı olarak da karmaşık halde

gelmektedir. Bu nedenle atık oluşumu işleminden nihai bertaraf işlemine kadar tüm basamakları kapsayan entegre katı atık yönetimine ait unsurlar ve bu unsurların kendi içlerindeki ilişki durumlarının detaylı bir şekilde öğrenilmesi şarttır (Yılmaz ve Bozkurt, 2010). Günümüzde atık yönetimi politikasında hiyerarşik sıralama önleme, azaltma, yeniden kullanım, geri dönüşüm, atık azaltma ve daha az atık depolama şeklindedir (Doğru, 2012).



**Şekil 2.1.** Atık yönetim piramidi

Atık Yönetim Hiyerarşisi Piramidi üst basamaktan alt basamaklara doğru değerlendirilir. Birinci aşamada atık oluşumunun önlenmesi, işlem gerçekleştirilemiyorsa atık miktarının azaltılması hedeflenir. İkinci aşamada ise atığın yeniden kullanımı işlemi için çalışma yapılır. Fakat bu aşamada da herhangi bir çalışma imkanı yoksa öncelikli olarak geri dönüşüm, daha sonra enerji geri kazanımı hedeflenir. Uygulaması yapılan bu işlemlerden sonra kalmış olan atık ya da bu işlemlerin uygulanamadığı atık bertaraf edilir (Doğru, 2012).

Gelişmiş ülkelerde sanayi sektörü, ‘sürdürülebilirlik’ hedeflerinin gerçekleştirilebilmesi için ciddi yükümlülükler içerisindedir. Günümüzde atık yönetimi kavramı, sanayi sektöründe yer alan tüm firmaların yönetim sistemlerine entegre etme zorunluluğunda oldukları önemli bir kavram durumuna gelmiştir. Doğal kaynakların kullanımı (su, hammadde vb.) ve üretim aşamalarının çevresel maliyeti ise firmaların sahip olduğu bu sorumluluğun diğer önem arz eden bileşenleri arasındadır (Doğru, 2012).

Günümüzde kömür, enerji kaynakları içerisinde en önemlileri arasında yer almaktadır. Ülkemizde ve dünyada enerji ihtiyacının giderilmesi amacıyla kömür kullanan birçok yüksek kapasiteli termik santral bulunmaktadır. Bu termik güç santrallerinde, düşük kalorili ve kül oranı yüksek linyit kullanılmaktadır. Kömürün yüksek sıcaklıkta yanması neticesinde uçucu kül, cüruf ve baca gazı gibi atıklar ortaya çıkar (Güler vd., 2005).

## 2.1 Atık Kül

Ülkemizdeki elektrik enerjisinin hala büyük bir kısmı kömür kullanan termik santraller tarafından üretilmektedir. Termik güç santrallerinde enerjiyi üretebilmek için öğütme işleminden geçmiş kömür kullanılır. Bu kömür değişik özellikte ve görünüşteki kül ve cüruf meydana getirmektedir (Bahranowski vd. 1998; Baba, 1999). Termik güç santrallerinden öğütülme işlemi gerçekleşen kömürlerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması sonucunda bacadan çıkan gazlar ile birlikte uçan çok ince parçalara "uçucu kül", bacadan çıkan gazları ile beraber yükselemeyen ve taban kısmında birikme yapan iri parçacıklara ise "cüruf ya da taban külü" denilmektedir (Kızgut vd., 2001).

Kömürlerin termik güç santrallerinde yüksek sıcaklığa maruz bırakılması sonucunda oluşan fakat yanma gerçekleşmeyen mineral yapısına sahip malzemenin (kül) hemen hemen %80'i fırın çıkışı olan uçucu gazlar ile beraber fırın dışına çıkar (uçucu kül (UK)). Geriye kalmış olan %20'lik dilimse topaklar şeklinde yanma işleminin alt tabakasında birikir (kazan altı külü (KAK)) (Demir, 2005). Türkiye'de bulunan birçok termik güç santrallerinden çıkışı olan UK'nın %1'lik diliminden daha azının inşaat uygulamasında kullanımı gerçekleşmektedir. Ayrıca 2020'ye kadar termik güç santrallerinde senelik 50 milyon ton atık kül (AK) oluşabileceği tahmin edilebilmektedir (Tütünlü ve Atalay, 2001).

Termik güç santrallerinde kullanımı olan taş kömürünün %10 ya da %15'i ve linyit kömürlerininse %20 ya da %40'ı küldür. Termik güç santrallerinden 1 kWh enerji üretilmesi için yaklaşık olarak 110 g kül atık malzeme oluşur. Dolayısı ile, 1000 MW'lık bir termik güç santralinden senede yaklaşık olarak 650.000 ton UK ve KAK oluşabilmektedir. Bu seviyede üretilen külün depolama işleminin yapılabilmesi için senede 60.000 m<sup>2</sup>, termik güç santrallerinde çalışma süresi şeklinde kabulü olan 30 yıllık süre içerisinde ise 1.800.000 m<sup>2</sup> kadar bir arazi ihtiyacı doğmaktadır (Yılmaz ve

Bozkurt, 2010). Dünyada 1998 senesine kadar olan süreçte hemen hemen 360 milyon ton UK depolanması bildirimi yapılmıştır. Elektro-statik ve mekaniksel yöntemler ile atmosfer çıkış durumu engellenmiş olan UK'lar, filtre kısımlarının alt bölmelerindeki haznede birikir ve güç santrallerinin dışına depolama işlemi yapılır. Bu sebeple UK'lar kıymeti olan bir hammadde. (Baba, 1999; Bahranowski, 1998). KAK'lar ise kazan altından su ile uzaklaştırılırlar (Kızgut, 2001).

İleri gelişmişlik seviyesinde olan ülkelerde insanlar çevre, sağlık ve yapı güvenliği konusunda daha bilinçlidir ve bu seviye gitgide artmaktadır. Bu durum, yapılarda kullanılan/kullanılabilecek inşaat malzemelerinin seçimindeki önemi gündeme getirmektedir. Toplumun sağlık, konfor ve huzuruna direkt etkisi bulunan inşaat sektöründe yapılacak mekanlarda kullanılacak yapı malzemesinin seçimi ve çeşitliliği oldukça önem arz etmektedir. Bu nedenle yapılarda kullanılacak malzemelerin seçimi ve bu malzemelerin sahip olduğu içeriğine bağlı olarak birçok değişik çalışma yapılmıştır (Çoban vd., 2004).

Sürdürülebilir bir gelecek için ilerletilen endüstriyel ekoloji kavramına göre, bir endüstrinin yan ürünü bir başka endüstride hammadde olarak kullanılabilir. Böylece iki endüstrinin de çevreye zararları azaltılabilir (Mehta, 2001). AB ülkelerinde ortaya çıkan külün veya uçucu külün %15'i, ABD'de ise %20-30'u farklı sektörlerde hammadde olarak değerlendirilebilirken ülkemizde bu oran %1'den daha fazla değildir. Termik santrallerden çıkan atık küllerinin kullanım alanları içerisinde öncelikli olarak atık külün çimento ve betonda katkı maddesi, yol yapımında dolgu maddesi, zemin stabilizasyonu ve beton blok olarak kullanılması gelir (Bentli vd., 2001, Kızgut vd., 2001, Kumar, 2002, Cultrone vd., 2009, Consoli vd., 2014, Atış vd., 2015, Naganathan vd., 2015).

Bu zamana kadar birçok araştırmacı granüle yüksek fırın cürufu (GYFC), UK, KAK, silis dumanı, inşaat artıkları ve atık cam gibi farklı atıkların yan ürün olarak, beton üretiminde bağlayıcı veya mineral katkı ya da doğrudan agrega olarak kullanım durumunu ele almışlardır (Kula, 2001; Basheer, 2003; Yüksel, 2003; Arıöz, 2004; Topçu, 2004; Yüksel vd., 2006). Fakat son yıllarda birçok araştırmacı termik santrallerinden ortaya çıkan atık küllerden tuğla vb. yapı malzemesi üretilmesi üzerine çalışmalar yapmaktadır (Bentli vd., 2001; Kızgut vd., 2001; Kumar, 2002;

Cultrone vd.; 2009, Consoli vd.; 2014, Atış vd., 2015; Naganathan vd., 2015).

UK'nın çok az miktarı (yaklaşık %3-4) çimento üretiminde ve beton üretiminde agreganın yerine ya da katkı olarak kullanılabilir (Demir, 2005). Yüksek hacimli UK ve GYFC içeren beton teknolojileri; çağdaş tasarım kısıtları açısından karmaşık olmayan, malzeme ve servis maliyetleri düşük, çevreyle dost ve beton endüstrisinde etkili teknolojilerdir (Yüksel vd., 2007).

Günümüzde atık kül ve çimento haricinde alçı ve kireç de birçok alanda kullanılabilen, büyük öneme sahip yapı malzemeleri arasındadır. UK, alçı ve kireç kalıplanarak şekillendikten sonra, su kürü ile mukavemet kazandırılmasıyla yapı elemanı üretilmektedir (Demir, 2005).

## **2.2 Uçucu Kül**

UK'lar içi boşluklu ya da boşluğu olmayan camsı küreler, sünger gibi mineral partiküller ve yanma işlemi gerçekleşmemiş küçük tanelerden oluşur. Kimyasal içeriklerindeki ana elementler Si, Al, Ca, Fe ve S'dir. UK'ların matrisi esas olarak alümina silikatlardan ve bunlarla beraber bulunabilen az miktarda alkali, metal, ağır metal ve nadir toprak elementlerinden oluşur. Uçucu olan ve uçucu oksitleri oluşturan As, Cd, Ga, Mo, Pb, Se, ve Zn gibi elementler ise matrikse girme eğilimi göstermeyerek UK'ların yüzeyinde toplanırlar (Bayat, 1995; Kurama, 1994; Özdemir ve Çelik, 2002).

UK'lar ASTM C618'e göre F ve C olmak üzere iki genel sınıfa ayrılırlar. F sınıfı UK'lar taş kömürünün yakılması sonucu elde edilirler ve %10'dan daha az CaO içerdikleri için düşük kireç külü olarak da isimlendirilirler. Bu küllerin bünyesinde serbest kireç (CaO) bulunmadığından kendi kendine sertleşme özelliğine sahip değildirler ve ancak sulu ortamda kireçle reaksiyona girerek sertleşme gösterirler. C sınıfı UK'lar ise linyit kömürünün yakılması sonucu elde edilir, bünyesinde %10'dan daha fazla CaO bulundurlar ve bundan dolayı da yüksek kireçli UK olarak da tanımlanmaktadırlar. C sınıfı UK'lar serbest kireç nedeniyle kendi kendine çimentolaşma özelliğine sahiptirler (Alkaya vd., 1999).

Kimyasal bileşimi sayesinde yapay puzolan olarak elde edilebilen en modern atık ürün olarak bilinen UK'lar, başlangıçta inşaat sektörü olmak üzere seramik, plastik, atık su arıtımı, çimento, beton, tuğla, hafif agrega, gaz beton ve karayolları gibi birçok alanda kullanılabilir (Alkaya vd., 1999; Çakır 1999; Ergüt vd., 1994). Bunların yanı UK'lar taşkın ve erozyonun önlenmesinde, döküm kumu olarak inşaatlarda, duvar harçlarında, metal kaplı yüzeylerin püskürtme ile temizlenmesi işleminde, asfalt yol yüzeyinde kayma durumunu önleyici olarak, cam üretiminde, petrol kuyu sondajlarında, dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde, seramik karo üretiminde, zirai amaçlarda, plastik ve benzeri malzemelerde katkı maddesi olarak da kullanım alanına sahiptir (Ay ve Eşmeliler 1998; Atış vd., 2002). Çok ince taneli olan UK'lar, sertleştiklerinde yüksek dayanım verebilmesi ve tuğlanın hammaddesi olan kilin yapısındaki oksitleri içermesi gibi nedenlerden dolayı tuğla üretiminde de kullanılabilirler (Alkaya vd., 1999). Bu konu ile ilgili dünya genelinde birçok çalışma yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir (Öztürk 2002; Cumpston 1992).

### **2.3 Taban Külü (Kazan Altı Külü)**

KAK termik santralde yüksek sıcakta yanan kömürden tabana kalan küldür; atık depolama sahalarında biriktirilir ya da bulamaç halinde denize boşaltılır. Yani her iki durumda da çevresel kirliliğe sebep olmaktadır. Sadece ABD'de bulunan termik santrallerden bir yılda yaklaşık 130 milyon ton kül (KAK ve UK) ortaya çıkmaktadır. Ortaya çıkan bu atık külün dörtte biri kullanılıp, diğer kısım atık olarak bekletilmektedir. Türkiye'den bir örnek olarak Çatalağzı Termik Santral'ini gösterecek olursak, bu termik santralden yılda yaklaşık 57.400 ton/yıl KAK ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de hala bir fiil çalışmaya devam eden ve ülkenin geneline yayılmış 10'dan fazla termik santral vardır. Dolayısı ile her yıl ortaya çıkan KAK miktarı büyük miktarları bulmaktadır. Ayrıca bu atığın da depolanması için gerekli bir maliyet vardır ve depolama kalıcı bir çözüm olarak görünmemektedir (Yüksel vd., 2006).

Taban küllerini çimento üretiminde kullanılmak, öğütme veriminde artışa ve çimento maliyetinde azalmaya sebebiyet vermesi yönünden oldukça yararlıdır (Aslan, 1998). Termik santrallerden oluşan KAK'ların klinkere eklenmesi ile beraber öğütülmesi durumunda cürufu çimento ortaya çıkarılır. KAK beton üzerinde iyileştirici etkiye sahiptir ve bu içerikteki çimentolar sayesinde de elde edilebilir. Termik santralden

Üretilen KAK'ların imento üretiminde kullanılma durumu üzerine yapılan alışmalar UK ve GYFC çalışmalarına göre oldukça azdır (oka, 1995). KAK'lar içerisinde yanmamış pulverize kömür olabileceğinden dolayı imento hammaddesi olarak kullanılması ekonomik ve dayanıklılık açısından daha doğru olacaktır. Kazan altından ıslatılarak alındığı için nemli olan bu malzemede kullanımdan önce su muhtevasının ölçülmesi ve buna bağlı olarak karışımda kullanılacak su miktarının güncellenmesi gereklidir (Wel vd., 1994). Yanmamış kömür metallerin aşınmasına ve paslanmasına sebep olacağından, metal yapıların yanında kullanılmamalıdır (Huang ve Lowell, 1990).

## 2.4 Yapı Malzemesi

Bina ve diğer İnaaat Mühendisliği işlerini içeren tüm yapı içlerinde kalıcı olarak kullanılmak amacıyla üretilen bütün malzemelere yapı malzemesi denir. İnsanlar yaratıldıkları günden itibaren malzeme ihtiyaı duymuşlardır. Beyin olarak diğer varlıklardan üstün konumda bulunan insan beslenme, barınma ve korunma için yeterli içgüdü ve beceriye yetisine sahip değildir. İnsan bu sorunları, aklı ve çevresinde bulunan malzeme olanakları sayesinde çözmek zorundadır. Bugün uygar seviyeye ulaşmak ve günümüzdeki ihtiyaçlara karşılık verebilen malzeme ve mhimmatlara sahip olabilmek uzun ve meşakkatli bir süreçle gerçekleşmiştir (Akman, 2003). Yapı malzemelerinin gelişme süreci insanlık tarihi kadar eskilere dayanır.

İlk insanlar malzemeleri doğadaki ilk halleri ile kullanmıştır. Ağacın dallarından ve çamurdan yapılmış barınaklar, taş yığınlarından oluşturulan yapılar bu kapsamda yer alan iyi örneklerdendir. İkinci aşamada insanlar basit araç gereçler kullanarak malzemelere şekil vermiş ve bu şekilde kullanmışlardır. nc aşama ise doğadaki malzemelerin fiziksel ve kimyasal değişikliklere uğratılarak kullanıldığı devirdir. Örneğin, bu devirde madenler eritilerek metaller, metal eriyikleri karıştırılarak alaşımlar, killer şekillendirilip, pişirilerek tuğla vb. retilmiştir. Dördüncü aşamada insanlar doğada bulunmayan yapay malzemeleri (plastik, betonarme vb.) retmişlerdir (Baradan, 2003).

Doğadaki ham malzemelerin işlenerek yapıda kullanılabilir duruma getirilmesi, yapı tasarımlarının yapılarak gerekli projelerinin hazırlanması ve seçilecek uygun malzemelerle yapının inşa edilmesi mühendislerin sorumluluk alanları içerisinde yer

alır. Bu sebeple yapının ve yürütülmesi planlanan çalışmanın başarısı için sadece yapı tasarımının iyi yapılması değil, yapının kullanım amacına bağlı olarak çeşitli elemanlarında kullanılacak en uygun malzemelerin seçimi de son derece önem taşır. Bu durumların olabilmesi, mühendisin kullanacağı malzemeleri ve özelliklerini çok iyi bilmesi ile ilişkilidir (Baradan, 2003).

Yapıların uzun yıllar ayakta durabilmesi, hem yapım amacına göre (çevre, iklim, fonksiyon vb.) malzemelerin seçilmesine, hem de yapıyı oluşturacak malzemelerin sahip olduğu özelliklerle birbirleri arasında iyi bir uyum ve bütünlük göstermelerine bağlıdır (Eskici vd., 2006). Günümüzde yapı malzemeleri konusunda yapılan çalışmaların neticesinde birçok yeni malzeme ortaya çıkmaktadır. Örneğin UK, alçı ve kirecin kalıplanarak şekillendirilmesiyle beraber, su kürü ile mukavemet kazandırılmasının sonunda yapı elemanları üretilmektedir (Akman, 2003).

## 2.5 Alçı

Alçı, kalsiyum esaslı bağlayıcı özelliğe sahip bir malzemedir; tek başına bir bütün oluşturabilmesi nedeni ile yapılarda sadece bağlayıcı olarak değil, aynı zamanda kaplama, süsleme gibi farklı amaçlarla da kullanılmaktadır. Alçıdan paneller ile duvar ve tavan kaplamaları üretilmekte, bloklar ile duvar teşkil edilebilmektedir. Kolay şekillendirilebilmesi, döküm yapılabilirliği, hafifliği ve bağlayıcılığı ile yapılarda sıkça kullanılan bir malzemedir. Alçı, hammaddesi sık rastlanan bir madde olması, pişirme sıcaklığı düşük, öğütülmesi kolay ve enerji maliyetinin düşük olması gibi sebepler nedeni ile ucuz bir malzemedir (Gürdal, 1976). Alçının hammaddesi olan alçı taşı, kimyasal bileşimi  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  olan jips mineralinden oluşan tek mineralli bir tortul taşıdır. Kalıp ve model yapımında kullanılan alçı, alçı taşının öğütüldükten sonra döner fırın, kazan veya otoklav denilen basınçlı kaplarda yaklaşık 120-200 °C’de kalsine edilmesi ile elde edilir (Herhández vd., 1999). Alçı, tuğla üretiminde kullanılan enerjinin yarısı, çimento üretiminde kullanılan enerjinin ise 1/5’ni kullanılarak elde edilmektedir. Bir t alçı üretmek için 30 litre fuel-oil gerekirken, 1 t tuğla üretmek için 60 L, bir t çimento için 150 L fuel-oile ihtiyaç vardır. Emsali olan diğer inşaat malzemelerinden, örneğin kireç 900 °C, çimento 1000 °C’de, alçı ise 90-120 °C aralığında de elde edilir (URL 1).

Ülkemizde Selçuklulardan kalma Akşehir/Konya'daki eserlerde alçı kullanıldığı bilinmektedir. Yine Erzurum'da alçı sıvalı 200 yıllık evlerin varlığı dikkate alındığında oldukça eski tarihlerden beri alçı kullanıldığı anlaşılmaktadır (Eriç, 1978). Alçı taşının 1999 yılı sonuna kadar Maden Kanunu kapsamında olmaması nedeni ile Türkiye'deki alçı taşı rezervleri sistematik bir şekilde incelenmemiştir. VI. Beş Yıllık Kalkınma Planı Alçı Özel İhtisas Komisyon Raporu'nda tahminlere dayalı olarak görünür rezervin 165 milyon ton, görünür ve muhtemel rezervin ise 1,8 milyar ton olduğu belirtilmiştir. Alçı üretim tesislerinin coğrafi olarak dağılımına bakıldığında alçı taşı yataklarının genelde İç Anadolu, Güney ve Doğu Anadolu'da yoğun, batı bölgelerinde ise daha az olduğu söylenebilir (Gürdal, 1976).

Geleneksel bir yapı malzemesi olan alçı, ısı yalıtımı ve diğer olumlu özellikleri nedeniyle günümüzdeki yapıların duvar konstrüksiyonlarının estetik, konfor ve insan sağlığı açısından standardını yükseltecek niteliktedir. İnşaat sektöründe doğadan kolayca elde edilip işlenebilen alçı, malzeme kullanımının artması ile minimum enerji sarfiyatıyla yüksek performanslı ürün elde edilebilecek ve binalardaki ısı kaybı da azalacaktır (Gürdal, 1976). Alçı malzemesi doğru şekilde ve uygun yerlerde kullanıldığında, mimariye çok fazla çalışma imkanlar tanıyabilen ve yüzyıllarca bozulmadan kalabilen bir malzemedir. Ayrıca düşünülenin tam tersi olarak alçı malzeme, çimento ve kireç esaslı malzemelerden maliyet açısından daha ekonomiktir (Gürdal, 1976).

### **2.5.1 Alçının kullanıldığı alanlar**

Günümüzde alçı taşı kullanımında, genel toplamın %5'i zirai amaçlı, % 10-15 kadarı ise endüstriyel kullanım olarak adlandırılabilir uygulamalardır. Geri kalan alçı taşının tamamı inşaat sektöründe kullanılan alçı türlerinin imalatında kullanılır. Bugün inşaat sektöründe kullanılan sıva alçısı, kartonpiyer alçısı, saten perdah alçısı ve makine sıva alçısı gibi toz alçı ürünleri kullanım miktarları gün geçtikçe artmaktadır. Alçı, hazır bina bölme duvarları, panolar, blok kiriş ve tavanların yapımında kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra alçı tıpta, cerrahide, dişçilikte, cam sanayii, sondaj işleri, hayvan yemi ve böcek ilacı üretimi, yapay kükürt, tutkal, plastik üretimi ve gıda gibi çok çeşitli faaliyet alanlarında kullanılmaktadır (Koçak, 2010).

## 2.6. Alçıpan

Alçıpan ortası alçı, iki yüzü karton kaplı, seri olarak, standart veya özel boyutlarda ve belli normlarda üretilen düzgün yüzeyli plakalardır. Dış duvarları bitmiş binaların içinde, yerden duvara kadar her alanda kullanılabilir. Alçıpan ile asma tavan, bölme duvar, kuru sıva ve kuru yer döşemesi uygulamaları yapılmaktadır.

Alçıpan pH değeri insan vücuduyla aynı olan hafif, bakteri üretmeyen ve yangına dayanıklı bir malzemedir. Tek kaplama yapılarak oluşturulan 7,5 cm genişliğindeki en basit alçıpan duvar yangına 30 dk dayanabilir bir malzemedir. Alçıpan esnektir ve deprem sarsıntılarında esneyebilen yapısı sayesinde patlamaz ve yıkılmaz. 1 m boyaya hazır alçıpan bölme duvar tuğla duvardan 9 kat daha hafiftir. Bu, depremden daha az etkileneceği anlamına gelmektedir. Alçıpan bölme duvarlar yer kaybına yol açmaz ve minimum 7,5 cm duvar kalınlığı ile düzgün bir duvar elde edilir. Ayrıca, alçıpan ile oluşturulan bir duvar istenildiği zaman kolaylıkla demonte edilebilir. Böylece mekanlar genişletebilir veya küçültülebilir. Hızlı ve kolay montaj sayesinde işçilikten ve zamandan tasarruf edilebilir (Ege, 2018).

## 2.7 Alçı Panel Duvar

Yalnız yük taşımayan bölme duvarlarında uygulanan ve hafif agregalı betondan yapılmış, donatısız panellerden oluşan duvardır. Kalınlıkları 6, 10, 12, 14,16,18 ve 20 cm, genişlikleri 60 cm'dir. Yükseklik ve boyları da duvar genişliği ile tavan yüksekliği kadar imal edilir. Panel duvarların diğer özellikleri alçı blok ve gazbeton duvarlarda anlatılanların benzeridir. Bağlayıcı malzeme olarak 250-300 dozlu çimento harcı kullanılmaktadır. İnşaat ve dekorasyon sektöründe çok yaygın olarak kullanılan alçı paneller istenilen biçimi alabilme özellikleri ile tasarım açısından sınırsız seçenekler sunmaktadır. Hafif, yangına dayanıklı, ısı ve ses yalıtkanlığı yüksek olan bir malzeme olmasının yanı sıra montajı da hızlı yapıldığından işçilikten ve zamandan tasarruf etmek mümkün olmaktadır ([URL 2](#)).

### 2.7.1 Alçı panel duvar kullanım alanları

Alçı panel birçok çalışmada kendine yer bulmaktadır. Ofis binalarında bölmeler yapılmasında, ıslak mekanların bütün duvarlarının yapılmasında, imalat yapılan atölyelerde iş alanlarının ayrılmasında ve daha bir çok amaçla kullanılan alçı paneller, istenilen tüm formlarda ve ölçülerde uygulanabilme özellikleri ile kişiye özel ve yaratıcı projelerin üretilmesine olanak verir. Alçı panel, teknik özellikleriyle de iyi bir profile sahiptir. Hafifliği sayesinde binanın toplam yüküne bindireceği ağırlığın minimum düzeyde kalmasının yanı sıra oldukça yüksek yangın izolasyon değerine çıkabilmesi ve ses izolasyonunu istenen değerde tutmayı başarabilen bir malzeme olması yönüyle de tercih sebebidir ([URL 2](#)).

### 2.8 Kireç

Kireçtaşı (CaCO<sub>3</sub>-CaMg(CO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>) çeşitli derecelerde (850-1400 °C) pişirilmesi sonucunda kireç meydana gelir. Suyla karıştırıldığında inorganik esaslı bir hidrolik bağlayıcı özelliği gösterir (Damar Tekin, 2014).

Kireç ve kireçtaşı bazen karıştırılan ve birbirlerinin yerine kullanılabilen deyimlerdir. Kireçtaşı, kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonattan oluşur. Genellikle alümina ve silis gibi değişen miktarlarda safsızlıklar içerir. Kireç ise kireçtaşının kalsine olması sonucu oluşur. Kalsinasyon işlemi kalsiyum karbonattan CO<sub>2</sub>'in çıkartılması ile meydana gelir. Geriye kalan kalsiyuma okside sönmemiş kireç denir. Sönmemiş kirecin su ile reaksiyonu sonucunda sönmüş kireç haline dönüştürülür. Günümüzde kireç gazlı beton sıva, bağlayıcı boya malzemeleri ve plastik endüstrisinde hammadde olarak kullanılmaktadır (Öncel, 2005).

Kireç bilinen en eski bağlayıcılardan biridir. Eski Babil, Mısır, Finikeliler, Hitit ve Persler tarafından hava kireci yapıda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Romalılar devrinde su kireci bulunmuş ve su içi inşaatlarında kullanılmıştır. Tuğla kırığı ve kireç kullanılarak hazırlanan horasan harcı ve sıvaları tarihi yapıların inşasında kullanılan en önemli bağlayıcı malzemelerdendir. Bizans'ta kireç sıva fresk tekniği altında uygulanmıştır. Ortaçağda bu sanayide daha fazla bir ilerleme görülmemiştir (Gökhan, 2006).

## 2.9 Çimento

Çimento kelimesi Latince'deki “cometum” kelimesinden Fransızca'ya “cement” Almanca'ya “zement” olarak geçmiş, Türkçe'ye ise İtalyanca'daki “çimento” kelimesinden geldiği Türk Dil Kurumu tarafından kabul edilmiştir. Genel anlamda çimento; havada ve suda sertleşen ve sertleştikten sonra su ile havanın etkisiyle çözülmeyen hidrolik bir bağlayıcı olarak tanımlanır. Silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitler ihtiva eden hammaddelerin sinterleşme derecesine kadar pişirilmesi sonucunda elde edilerek yarı mamul olan klinkerin bir ya da bir çok katkı maddesiyle öğütülmesi sonucunda meydana gelmektedir. Çimento, doğal kalker taşlarının yüksek sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki yapı malzemesidir. Su ile karıştırıldığında kimyasal olarak birleşerek bağlayıcı özelliği kazanan hidrolik bağlayıcılara verilen isimdir. Çimento %76-78  $\text{CaCO}_3$  ve geri kalan kısmı kilden meydana gelen bir karışımın 1400 °C ile 1500 °C'de ısıtılması ile meydana gelir (Kökipek, 2010).

### 2.9.1 Çimentonun tarihçesi

Çimento yapımında gerekli içeriğe sahip maddelerin, çimentonun geçmişi ile betonun öyküsü antik çağlara kadar dayanır. Çimento kullanılmadan önce en çok kullanılan yapı malzemesi kireç taşı ve alçıydı. Bugün tüm dünya genelinde yapı malzemelerinde bağlayıcı olaak kabul gören çimento ilk kez İngilizler tarafından üretilmiştir. Sontwick İngiltere'de 1810 yılında Edgar Dobs kireçtaşı ile kilden bir çimento imal etmiştir. 1874 yılında Joseph Aspdin tarafından İngiltere'de Portland adasındaki doğal kireç taşına benzemesi nedeniyle Portland ismini verdiği bu taşın suni olarak elde edilebileceği anlaşılmış ve 1845 yılında I.C. Johnson tarafından “Portland Çimentosu” ismi ile piyasaya çıkarılmıştır. İlk cürufu çimento fabrikası 1892 yılında işletmeye alınmıştır. Dünyada çimento üretimi 2000 yılı sonu itibariyle 1,23 milyar ton civarında olup Çin yıllık üretim miktarı ile birinci sırada yer almaktadır. Türkiye'nin dünya üretimindeki payı % 2-3 civarındadır (Kökipek, 2010).

## 2.10 Radyasyon

Bu çalışmada yapı panellerinde kullanılması düşünülen endüstriyel atık küllerin radyasyon emilim durumuna bakmadan önce radyasyon hakkında kısaca bilgi verilmesi faydalı olacaktır.

İnsanoğlu var olduğu günden bu güne kadar radyasyonla beraber yaşamak durumunda kalmıştır. Wilhelm Roentgen'in 1895 yılının sonlarında X ışınlarını keşfetmesinden sonra, Henri Becquerel bu keşfin kendi çalışmasına çok benzerlik gösterdiğini düşünerek, çalışmasına hız katmış ve deneylerinde kullandığı uranyum tuzlarının hiçbir etkiye sebep olmadan siyah kâğıttan geçen ışınlar yaydığını keşfetmiştir. Curie ailesi ise o zamanlar henüz isim verilmemiş olan "Radyoaktif Işıma" olayını geliştirmiştir. Işıma yayılımı yapan farklı elementlerin bulunması ile 'Radyoaktivite' bilim tarihine girmiştir (Oto, 2012).

Radyoaktivite kavramının keşfiyle beraber tıbbi ve endüstriyel alanlarında radyoaktivite kullanımı günümüze kadar giderek artmış, hızla yaygınlaşmış ve ilermiş, radyasyonu hayatımızın önemli bir parçası haline getirmiştir. Güneşten gelen kozmik ışınlar da bu ışınlanmanın kaynaklarından biridir. Günümüzde radyasyon kullanımı temel bilim, tıp, tarım, endüstri ve askerî alanlarında çok yaygındır (Özalpan, 1980). Radyasyon teknolojisinin ilerlemesi ve yaygın kullanımı günlük yaşamı kolaylaştırmış olsa da radyasyon sebebiyle kalınan maruziyet birçok sağlık sorununa da sebep olmuştur. Radyasyon maruziyet süresine, şiddetine ve vücudun maruz kaldığı bölgeye bağlı olarak; o bölgedeki hücreyi parçalayabilir, zarar verebilir (Shapiro, 1972). Bu tarz sebepler neticesinde radyasyon üzerine yapılan çalışmalar artmaktadır. Radyasyonun canlılar için zararlı olması sebebiyle korunma yöntemlerinin önemi daha da artmıştır. Günlük hayatımızdaki doğal radyasyon maruziyetini tamamen yok edemeyeceğimiz için radyasyondan korunma ve radyasyonun yarattığı kirliliğini en aza indirecek koruma önlemlerini almamız gerekmektedir (Oto, 2012).

Radyoaktif ışınlar ve parçacıklar dokuya zarar verdikleri için kanserojen etki gösterirler. Bilindiği üzere nötron parçacığı, X- ve  $\gamma$ -ışınları radyasyon türleri madde içerisinde ilerleyebilme özelliğine sahiptir ve madde ile atomik ve çekirdek seviyesinde reaksiyona girebilirler. Bu nedenle bu radyoaktif parçacık ve ışınların bir şekilde madde

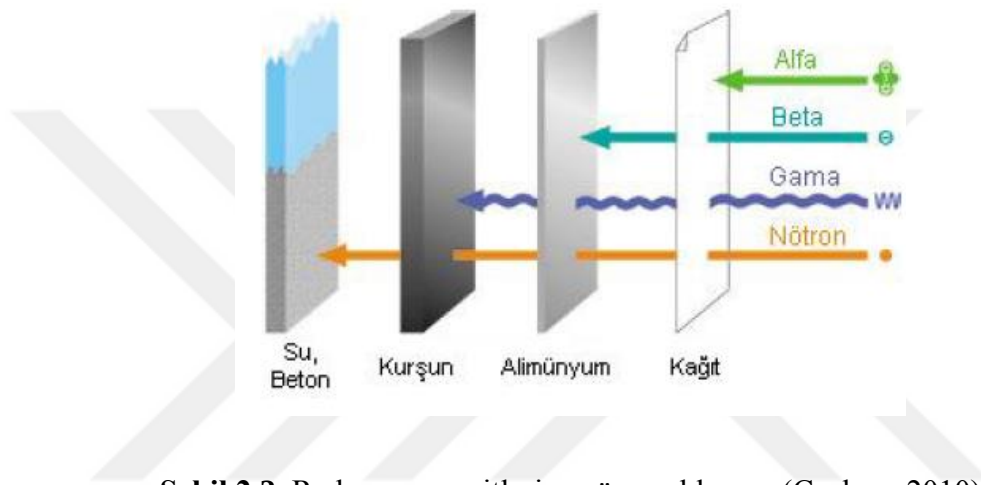
içerisinde durdurulması gerekir. X- ve  $\gamma$ -ışınları yoğunlukları yüksek malzemelerle durdurulabilirken, nötronlar ise hafif elementlerle durdurulabilir (Demir, 2009).

Radyasyondan korunmak için üç temel unsur vardır. Bunlar zaman, mesafe ve zırhlama kuralıdır. Maruz kalınan dozu azaltmak için radyasyon kaynağı ile insan arasında zırhlama malzemesi koyulmalıdır (Kılınçarslan, vd., 2007). Bu zırhlama malzemeleri kurşun, tuğla ve beton gibi malzemeler olup bunların duvar gibi koyulmasına zırhlama denir ( Kılınçarslan, 2004). Zırh malzemelerinin zırh kalınlığı seçimi vb. özelliklerini radyasyon kaynağının enerjisi, kaynağın bulunduğu yer, çevre ile olan ilişkisi, kaynağın çalışma biçimi, bu kaynağın kullanıldığı çevrede insanların bulunma oranları ve bu kişilerin radyasyonla ilişki durumları, zırh malzemelerinin radyasyon soğurma katsayısı ve yoğunluğu, birincil veya ikincil zırh gibi parametreler belirler (Kaçar, 2006). Radyasyon zırhlaması uygulanacak yapıdaki tasarımda kullanılacak olan yapı malzemelerinin seçimi, zırhlaması düşünülen radyoaktif materyalin yaydığı radyasyonun türüne göre değişiklik gösterir (Kaplan, 1964; Başyigit ve Kaçar, 2006). İnsanlar yaşadıkları zaman diliminde vakitlerinin %50 sinden fazlasını ev, iş yerleri, hastaneler vb. yapılarda geçirmektedir ve sudan sonraki en temel ihtiyaç barınmadır. Bu nedenle radyasyona maruz kalma ve kirliliğini önlemede yapılarda kullanılması düşünülen malzemeler büyük öneme sahiptir. Genellikle radyasyon maruziyetinin fazla olduğu yerlerde ağır betonlar kullanılmaktadır. Çünkü ağır betonlar ile radyasyon soğurulması daha çok gerçekleşebilmekte ve özellikleri iyileştirilebilmektedir (Ünal, 2016). Ağır betonların kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler, röntgen odaları, onkoloji hastaneleri ve savunma amaçlı sığınaklar yer alır. Bu yerlerde radyoaktif ışınlarla karşı ağır metaller kullanılır.

$\alpha$  ve  $\beta$  parçacıkları, x ışınları ve nötronlar canlı dokularda zararlı etki yaratabilir. Bu sebeple radyasyon dozlarını olabildiği kadar azaltmak için zırh veya kalkan denilen koruyucu katmanlar yapılabilir. Radyoaktif ışın ve parçacıkların ortam dışına çıkışını engellemek için kullanılan kurşun tabakaların nötronları yakalama kapasiteleri zayıftır. Nötron hareketini hidrojen zengin olan ortamlar durdurabildiğinden hidrojen içeriği açısından yoğun olan betonlar bu açıdan en yararlı malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır (Ünal, 2016). Günümüzde nükleer teknolojinin kullanım alanlarının artmasıyla beraber bu radyasyonlardan korunmanın önemi de artmıştır. Radyasyondan korunmak için kurşun gibi değişik materyallerin kullanımı standart hale gelmiştir.

Ancak betonların en yaygın yapı malzemesi olduğu düşünülürse bu betonların radyasyon zayıflatma özelliklerinin geliştirilmesi daha önemli hale gelmiştir (Ünal, 2016).

Radyasyon kirliliğine ek olarak, endüstrileşmenin artmasıyla birlikte yüksek oranda atık sorunları da yaşanmaya başlanmıştır. Bu nedenle barınma ihtiyacını karşılayacakları, atık problemlerini ortadan kaldıracakları, radyasyon maruziyetini ve kirliliğini de azaltacakları bir çözüm insanlar için büyük önem taşımaktadır.



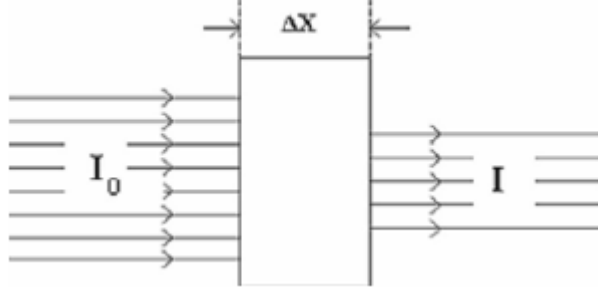
Şekil.2.2. Radyasyon çeşitlerine göre zırhlama (Coşkun, 2010)

### 2.10.1 Radyasyonun soğurulması

X ve gama ışınları madde içinde başlıca üç çeşit etkileşim ile enerji kaybeder,

- a) Atomun iç yörüngesine elektronları ile etkilenerek oluşan Foto Elektrik Olayı,
- b) Atomun dış yörünge elektronları ile oluşan Compton Olayı,
- c) Atomun çekirdeğine yakın bir yerde bir pozitron ve bir elektron meydana getirmesi ile oluşan Çift Oluşumu Olayıdır.

Bu üç olayın olma ihtimali, X ve gama ( $\gamma$ ) ışınlarının enerjileri ile etkileşen maddenin atom numarasına bağlı olarak değişir (Akkurt v.d. 2005). Gelen radyasyonun şiddetindeki azalma, radyasyonun zayıflaması veya zayıflatılması, etkileştiği maddede terk edilen enerjiye de soğurma denir (Kaplan 1964).



**Şekil 2.3.** X ve gama ( $\gamma$ ) ışınlarının soğurulmaları (Coşkun, 2010)

Cisimlerin içinden meziyeti yüksek olan nötron ışınları ile gama ( $\gamma$ ) ışınları tehlikelidir. Nötron ışınları atom ağırlıkları küçük olan elementler, gama ( $\gamma$ ) ışınları ise doğrudan birim kütlesi yüksek olan malzeme tarafından durdurulmaktadır. Bu sebeple ağır beton her iki ışına karşı iyi bir yalıtım ve kalkan görevi yapmaktadır. Bu malzemenin içinde %50den fazla miktarda bulunan hidrojen ve oksijen gibi hafifi atomlu cisimler nötron ışınlarını pratik koşullar altında durdurmaya yeterli olmaktadır. Diğer yandan bu betonun içinde bulunan ağır agregalar da gama ( $\gamma$ ) ışınlarının geçmesini engellemektedir. Bu durum ağır betonun radyasyondan korunmak için ideal bir malzeme olduğunu göstermektedir (Gürsoy, 1997; Durmuş ve Gürsoy, 2000).

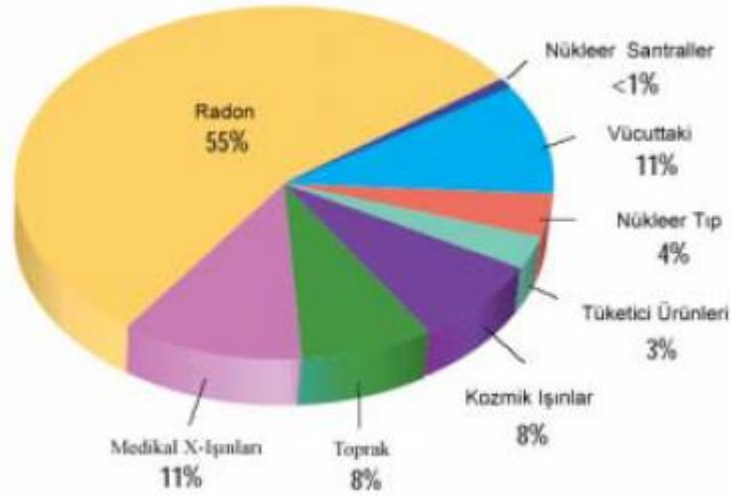
### 2.10.2 Radyasyon ölçüm sistemleri

Duyu organlarımızla radyasyonun varlığını anlamak mümkün olmadığı için, algılanması ve ölçümünün yapılabilmesi radyasyona karşı hassas cihazlar ile mümkündür. Radyasyonun ölçülmesinin temeli, radyasyon ile maddenin etkileşmesi esasına dayanır. Radyoaktif olarak bilinen atomların çekirdeği kararsız olduklarından radyoaktivite özelliği gösterirler. Yani kararsız çekirdekler parçalanır ve parçalanma sonucu yeni bir çekirdek ve parçalanma ürünleri meydana gelir. Atom çekirdeklerinde yaşanan bu değişikliklerin sonucunda radyasyon yayılır (Coşkun, 2010).

### 2.10.3 Radyasyon kaynakları

Yeryüzünde bulunan bütün canlı ve cansız varlıklar hava, su, toprak ve kendi vücutları da dahil olmak üzere bütün bunların içerisindeki doğal radyasyon kaynaklarından ve

üretilen yapay radyasyon kaynaklarından çıkan ışıma maruz kalmaktadırlar (TAEK, 1999). Radyasyon kaynaklarına ait bilgiler şekilde yer almaktadır.



Şekil 2.4. Radyasyon kaynakları (Kaçar, 2006)

#### 2.10.4 Radyasyonun kullanım alanları

Günümüzde radyasyon birçok alanda kullanılmaktadır. Kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır.

**Sağlık alanında kullanım:** Radyasyonun tıp alanında kullanılması, radyasyonla görüntü elde edilebilmesi ve radyasyonun hücre veya tümörleri yok edebilme yeteneğine sahip olması temeline dayanır. Bu iki özelliğinden dolayı radyasyon hastalıkların teşhis ve tedavi işlemlerinde kullanılmaktadır (Kaçar, 2006).

**Enerji üretiminde kullanımı:** Nükleer enerji birçok ülkenin başta gelen enerji kaynağıdır. Dünyanın birçok ülkesinde nükleer santrallerden enerji üretebilen reaktörlerin sayısı 434 civarındadır. Günümüzde dünyadaki elektrik enerjisi üretiminin %13'ü nükleer santraller tarafından karşılanmaktadır. Bu oran bazı ülkelerde %70 ve daha üzeri miktarlara ulaşabilmektedir, örneğin Fransa'da %78,2'dir. Avrupa Birliği'nde bu oran %30'lar civarındadır. Hala 14 ülkede 35 nükleer santral inşa halindedir (Kaçar, 2006).

**Endüstride kullanımı:** X ve gama ışınlarından yararlanılarak röntgen filmleri çekilen endüstriyel ürünlerin (borular, buhar kazanları, her türlü makine aksamaları, vs.) herhangi bir hata içerip içermediği tespit edilebilmektedir. Bu işlemler, özel olarak imal edilmiş X ışını üreten veya gama ışını yayan radyoizotop içeren cihazlarla yapılmaktadır (Kaçar, 2006).

Radyografi çalışmalarının yanı sıra yine birçok sanayi ürününün (demir, çelik, lastik, kağıt, plastik, çimento, şeker, vs.) üretim aşamasındaki seviye, nem ve yoğunluk ölçümleri radyasyondan yararlanılarak yapılmaktadır. Hava alanları ve çeşitli güvenlik noktalarında X-ışını cihazları kullanılmaktadır (Kaçar, 2006).

**Tarımda kullanımı:** Çeşitli tohumların radyasyona maruz bırakılmasıyla mutasyonlar sağlanır. Bunların bir kısmı yararlı olabilir ve daha nitelikli ürün elde edilebilir yani tohum ıslahında kullanılmaktadır. Son yıllarda gama ışınları baharatların, drogların ve besinlerin dekontaminasyonu amacıyla da kullanılmaktadır (Kaçar, 2006).

**Silahlarda kullanımı:** Radyoizotoplar çeşitli nükleer silahların, nükleer başlıklı füzelerin, bombaların yapımında kullanılmaktadır (Kaçar, 2006).

**Tüketici ürünleri olarak kullanımı:** Televizyonlar, duman detektörleri, fosforlu saatler, paratonerler ve lüks lambası fitilleri gibi ürünler de radyasyonun kullanıldığı ürünler arasında yer almaktadır (Kaçar, 2006).

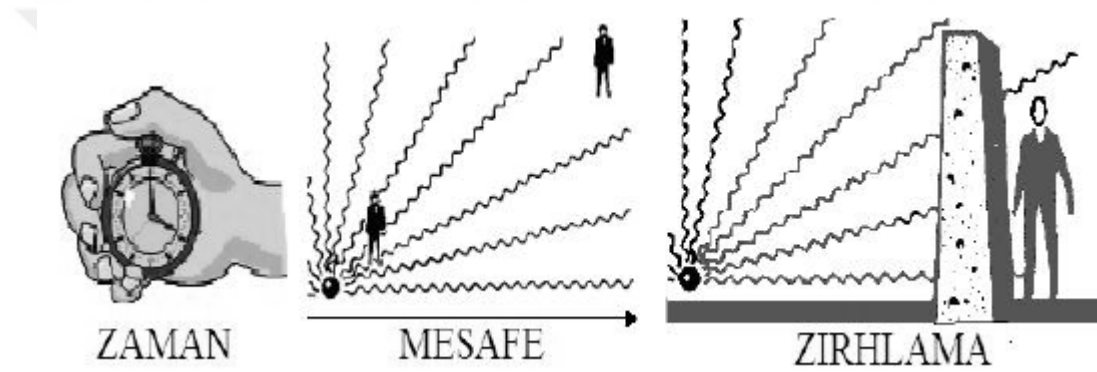
**Diğer kullanım alanları:** Çeşitli arkeolojik kazılarda ortaya çıkarılan buluntuların yaş tayininde, adli tıpta çeşitli suç delillerinin saptanmasında, akarsularda debi ölçümünde, barajlardaki kaçak su tespitinde, yeraltı su hareketlerinin takibinde radyasyondan yararlanılır. Ayrıca haberleşme uyduları ve uzay roketleri için gerekli uzun ömürlü pillerin yapımında da radyasyondan yararlanılmaktadır (Kaçar, 2006).

#### **2.10.5 Radyasyondan korunma yöntemleri**

Radyasyon etkilerinden bir kısmı herhangi bir eşik dozu almadan meydana gelebilmektedir. Ciddiyetinden ziyade meydana gelişleri radyasyon dozunun bir fonksiyonu olan bu tür radyasyon etkilerine skotastik etkiler denir. Bununla beraber,

meydana gelebilmesi belirli bir eşik dozuna ihtiyaç gösteren ve önemi radyasyon dozuna bağlı olarak radyasyon etkilerine de skotastik olmayan etkiler denilmektedir.

Radyasyon korunmasının amacı skotastik olmayan radyasyon etkilerinin meydana gelmesini önlemek, skotastik etkilerin meydana geliş olasılıklarını ise kabul edilebilir bir düzeye indirmektir. İnsanların radyasyona maruz kalmasının biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak dozun sadece müsaade edilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır (Kaçar, 2006).



**Şekil 2.5.** Radyasyondan korunmanın üç temel yolunun şematik gösterimi  
(Günoğlu, 2012)

### **Radyasyondan korunmada zırhlama kuralı**

Radyasyon kaynağı ile bu kaynağın sebep olduğu doza maruz kalma ihtimali olan kişiler arasına kurşun, tuğla, beton, duvar gibi malzeme konulmasına zırhlama denilmektedir. Radyasyon dozunu azaltan malzemeye de zırhlama malzemesi denir. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu ne kadar fazla ise X ve gama ışınlarını zırhlama özelliği o kadar artar (Kaçar, 2006).

Farklı radyasyonların zırhlama işlemi için kullanılan malzemeler ve zırhlama işleminin yapılışı birbirinden farklıdır. Zırhlamanın esası, elektromanyetik veya parçacık radyasyonların doz seviyelerinin, zırhlama için kullanılan malzemenin atomları arasından geçerken doğrudan doğruya veya dolaylı olarak iyonizasyon yapmaları ve bu

şekilde enerjilerini tamamen veya kısmen kaybederek canlılar için zararsız seviyelere gelmeleridir (Kahya, 1985).

Zırhlamanın gerekliliği zırhlanması planlanan radyasyon tipine bağlıdır. Kaynağın aktivitesi, kabul edilebilir doz oranı zırhlamada esas alınır. Zırh malzemesi seçiminde ilk düşünülmesi gereken bireylerin korunmasıdır. Etkili bir zırhlama ile radyasyonun zararlı etkileri en aza düşürebilir. Bununla birlikte ekonomiklik, hafiflik ve boşluklu yapı gibi faktörler zırh malzemesi seçiminde etkili olurlar (Kaçar, 2006).

#### 2.10.6 Radyasyonda müsaade edilen maksimum dozlar

Radyasyondan korunmanın sınırlarını belirlemek amacıyla 1931 yılında toplanan Amerikan ulusal radyasyondan korunma konseyince, bir kişinin yılda tüm vücudunun alabileceği maksimum müsaade edilebilir doz, 500 mSv olarak belirlenmiştir. Bu rakam o dönemden günümüze çok sayıda değişiklikler geçirerek son olarak 50 mSv/yıl olarak değişmiştir. Mesleği nedeniyle radyasyon alan binlerce kişi araştırılmış ve oldukça az kişinin bu rakamın biraz üzerine çıktığı görülmüştür (Kılınçarslan vd., 2011).

Yıllık doz sınırları sağlığa zarar vermeyecek şekilde uluslararası standartlara uygun olarak, kurum tarafından ayrı belirlenmiştir. Yıllık toplam doz aynı yıl içindeki dış ışınlama ile iç ışınlamadan alınan dozların toplamıdır. Kişilerin, denetim altındaki kaynaklar ve uygulamalardan kaynaklanan bu sınırların üzerinde radyasyon dozuna maruz kalmalarına izin verilemez ve bu sınırlara tıbbi ışınlamalar ve doğal radyasyon nedeniyle maruz kalınacak dozlar dahil edilemez (Kılınçarslan vd., 2011).

**Çizelge 2.1.** İzin verilen maksimum radyasyon dozları (Kılınçarslan vd., 2011).

| <b>MÜSAADE EDİLEN MAKSİMUM<br/>RADYASYON DOZLARI</b> |           |                |             |
|------------------------------------------------------|-----------|----------------|-------------|
|                                                      |           | <b>Görevli</b> | <b>Halk</b> |
| <b>Yıllık Etkin Doz</b>                              |           | 20 mSv         | 1 mSv       |
| <b>Yıllık Eşdeğer Doz</b>                            | Göz       | 150 mSv        | 15 mSv      |
|                                                      | Cilt      | 500 mSv        | 50 mSv      |
|                                                      | Kol-bacak | 500 mSv        | 50 mSv      |

İnsanların radyasyondan etkilenmesinin biyolojik zararları olduğu bilindiği için maruz kalınacak doz sadece izin verilen seviyelerin altında kalması yeterli olmayıp, olabildiği kadar düşük tutulmalı ve bunun için gerekli her türlü tedbir alınmalıdır (Kılınçarslan vd., 2011).

#### **2.10.7 Geiger-Müller sayacı**

Geiger-Müller sayacı, iyonlaştırıcı radyasyonu ölçen bir çeşit parçacık detektörüdür. İyonlaşma miktarı az olan yüklü parçacıklar, düşük enerjili X ve gama ışınları ölçülür. Bu dedektörle parçacık enerjisinin ölçülmesi ve parçacık cinslerinin birbirinden ayrılması söz konusu değildir. Odanın önüne yerleştirilen bir zırh ile beta parçacıkları tutulup, yalnız gama ışınları sayılabilir. Radyasyonun ve radyoaktif kirlenmenin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılır. Survey metre ve alan monitörleri Geiger-Müller tipi dedektörlere sahip radyasyon ölçüm cihazlarıdır (Dönmez, 2017).

#### **2.11 Literatür Araştırması**

Ikeda ve Tomisaka (1990) çalışmalarında UK, alçı ve kireç kullanarak oldukça düşük yoğunluğa sahip, yeterli mukavemeti olan izolasyon amaçlı yapı ürünleri üretmiş, farklı kalitede uçucu kül kullanımına bağlı olarak bünyelerde meydana gelen ettringit fazının varlığını inceleyerek mukavemet üzerindeki etkilerini gözlemlemişlerdir. CaO oranı düşük olan UK'da ettringit fazının oluşmadığını belirlemişlerdir.

Özkul ve Koral (1995) çalışmalarında; baca gazı desülfürizasyon sistemi kurulan Çayırhan Termik Santrali'nde açığa çıkan iki atık ürün (UK ve desülfojips) ve kireç ile kalsiyum sülfö-alüminat ve kalsiyum silikat hidrate ürünlerini oluşturarak bağlayıcı malzeme elde edilmesi amaçlamışlardır ve desülfojips UK ve kireci çeşitli oranlarda karıştırarak 40x40x50 mm boyutlarda numuneler üretilmişlerdir. Desülfojips oranını karışımlarında ağırlıkça %10 ve %20 olarak almışlar, UK %80-70-60 ve kireç %20-30-40 olarak karışım oranlarını belirlemişlerdir. Üretilen numunelere laboratuvar şartlarında kür uygulayıp ve 7, 14, 28, 56 ve 90 günlük basınç dayanımlarını ve fiziksel deneylerini yapmışlardır. Kür sıcaklığının arttırılmasının sonuçlarına olan etkisi araştırmışlar ve elde ettikleri sonuçlara göre; UK kireç karışımına kimyasal alçı (desülfoalçı) ilave etmenin aktiviteyi arttırdığını ve en yüksek dayanımların %10-20

alçıtaşı ilaveli serilerde olduğunu gözlemlemişlerdir. Kür sıcaklığını arttırmanın, hidrasyon hızının artmasına neden olduğunu ve buna paralel dayanımların arttığını görmüşler, yaklaşık 50 MPa dayanım elde etmişlerdir. Kür sıcaklığındaki artış basınç dayanımlarını arttırırken, birim hacim ağırlıklarında düşüşe ve hacimce su emmelerde ise artışa neden olduğunu fark etmişlerdir.

Yıldırım ve Alataş (1997), çalışmalarında Afşin-Elbistan Termik Santrali'nde açığa çıkan UK'yı, kireç ile birlikte yol stabilizasyonu için kullanmışlardır. Kireç ve UK karışımlarında %0, %5, %10, %15 oranlarını belirlemişler ve bu numunelere 7 ve 28 günlük kürden sonra serbest basınç mukavemeti deneyi yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre aynı kireç oranı için, UK oranı arttıkça basınç mukavemetinin de arttığını, %10 UK oranından sonra ise azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu deney sonuçları ile Afşin Elbistan Termik Santrali UK'sının bir mineral katkı maddesi olarak kullanıldığı zaman zemin-kireç karışımlarının özelliklerini iyileştirdiğini ve stabilizasyonda kullanılan diğer yapı malzemelerinden daha az kullanarak tasarruf sağlanacağını göstermişlerdir.

Kumar vd., (1999) çalışmalarında Hindistan'da bulunan yapı malzemelerini ve bunların yan ürünlerinin doğal radyoaktivitesini NaI(Tl) dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüştür;  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını sırasıyla 37,0-67,3 Bq/kg, 24,1-77,7 Bq/kg ve 88,4-455,8 Bq/kg aralığında ölçmüşlerdir.

Croft vd.,(1999) çalışmalarında yapı malzemesi olarak kullanılan agrega, kum ve çimentodaki  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  konsantrasyonlarının ölçümü için HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak elde ettikleri sonuçlar neticesinde yapı malzemesi yapımında kullanılan bu malzemelerin bina yapımında kullanılmaya uygun olduğunu bulmuşlardır.

Lav ve Lav (2000) çalışmalarında uçucu külün içyapısı, kimyasal ve mineralojik özellikleri, termal analiz sonuçları nedeniyle kaldırım malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır; UK'yı, çimento ve kireç ile stabilize ederek çimento ve kireç stabilizasyonunun kimyasal karışma, kristal yapıya ve hidrasyona etkisini test etmişlerdir. F sınıfı düşük kalsiyum içerikli yanmamış karbon içeriği %0,90-1,28 arasında olan UK kullanmışlardır. Elde edilen sonuçlara göre çimento ve kireç

stabilizasyonlu UK karışımları aynı basınç dayanım değerlerini vermektedir; fakat kireç stabilizasyonlu örneklerde miktar, yoğunluk ve hidrasyon gelişim süreci çimento stabilizasyonlu örneklerden daha düşük bulunmuştur.

Turhan (2008) çalışmasında Türkiye çimentosu ve ham maddelerinin doğal radyoaktivitesini belirlemek için HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanmış ve aktivite konsantrasyonları  $^{26}\text{Ra}$  için ortalama  $40,5 \pm 26,7$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için ortalama  $26,1 \pm 18,9$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için ortalama  $267,1 \pm 102,4$  Bq/kg olarak bulmuştur.

Türker vd., (2009) çalışmalarında, UK'nın özelliklerinin kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar gösterdiğini belirtmişlerdir. UK'lar silisli ve alüminyumlu bileşimleri sebebiyle puzolanik özellik göstererek çimento ve betona katkı malzemesi olarak destek verdiğini belirtmişlerdir. Küresel taneleri dolayısı ile taze betonda işlenebilmeyi arttırdığını, ayrıca hidrasyon ısını azalttığını ifade etmişlerdir. Çimento hidrasyonu sonucu oluşan kireçle reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturduğu, çimento hamurundaki boşlukları doldurduğu ve betona dayanıklılık kazandırdığını raporlamışlardır. Linyit kömürü yakılması ile elde edilen UK'da kireç oranı genellikle yüksek olup bu tür küller aynı zamanda hidrolik, yani bağlayıcılık özelliği gösterdiklerini belirtmişlerdir.

Zaidi vd., (1999) çalışmalarında Rawalpindi-Islamabad bölgesinde yapı malzemelerinin doğal radyo çekirdeklerini ( $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$ ) ve uranyum, toryum içeriklerini belirleyebilmek için Ge(Li) dedektörlü gama ışın spektrometresi ve enstrümantal nötron aktivasyon analizi (INAA) kullanmışlar ve elde edilen aktivite konsantrasyonları  $^{40}\text{K}$  için 103-971 Bq/kg,  $^{238}\text{U}$  için 5-59 Bq/kg ve  $^{232}\text{Th}$  için 7-96 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Charewicz vd., (2000) çalışmalarında bina hammaddesi olarak kullanılan tuğla, cüruf, kum, alçı, kül ve çakıldaki radyoaktif izotopların belirlenebilmesi için HPGe dedektörlü çok kanallı gama spektrometresi kullanmışlar ve bu amaç doğrultusunda  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını incelenmişlerdir.

Higgy vd., (2000) çalışmalarında Mısır'daki konutlarda kullanılan briket, fayans, mermer ve seramik örneklerinin radyonüklid içeriklerini HPGe dedektörlü gama

spektrometresi kullanarak ölçmüşler ve  $^{238}\text{U}$  aktivite konsantrasyonu için 63.3 KeV enerjili  $^{234}\text{Th}$  piki,  $^{226}\text{Ra}$  aktivite konsantrasyonu için 295.2, 351.9 KeV ( $^{214}\text{Pb}$ ) ve 609.3, 1764.5 KeV ( $^{214}\text{Bi}$ ) piklerini,  $^{232}\text{Th}$  aktivite konsantrasyonu için 338.4, 911.1 KeV ( $^{228}\text{Ac}$ ), 2614.7 KeV ( $^{208}\text{Tl}$ ) piklerini,  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonu için ise 1460 KeV karakteristik pikini kullanmışlardır. Elde ettikleri aktivite konsantrasyonların  $^{226}\text{Ra}$  için  $4.4\pm0.7$  ile  $81.6\pm5.0$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $2.8\pm0.6$  ile  $64.3\pm3.3$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $18.8\pm2.6$  ile  $569\pm19$  Bq/kg aralığında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Hewamanna vd., (2001) çalışmalarında Sri Lankan'da bulunan 17 bölgede 24 tuğla numunesinin doğal radyoaktivitesini HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşler ve ortalama aktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$  için 35 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 72 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 585 Bq/kg olarak bulmuşlardır. Ayrıca ortalama radyum eşdeğer aktivitesini 183 Bq/kg ve ortalama absorbe edilen doz oranını havada 102 nGy/h, bina içi yıllık etkin dozu ise 0,20 mSv olarak bulmuşlardır.

Amrani vd., (2001) çalışmalarında Cezayir'de kullanılan yapı malzemelerinin doğal radyoaktivitelerini HPGe dedektörlü gama spektrometre sistemi kullanarak ölçmüşler ve aktivite konsantrasyonları  $^{226}\text{Ra}$  için 12-65 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 7-51 Bq/kg aralığında ve  $^{40}\text{K}$  için 36-675 Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Petropoulos vd., (2002) çalışmalarında yapı malzemelerinin doğal radyoaktivitesini LEGe dedektörlü dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşler ve  $^{226}\text{Ra}$  için  $^{214}\text{Pb}$  (295.2, 352.0 keV) ait iki fotopik ve  $^{214}\text{Bi}$  (609.3, 1120.3, 1764.5 keV) ait üç fotopik,  $^{232}\text{Th}$  için  $^{228}\text{Ac}$  (338.4, 911.1 keV) ait iki fotopik 20 ile  $^{212}\text{Pb}$  (238.6 keV) ve  $^{208}\text{Tl}$  (583.1 keV) fotopikleri ile  $^{40}\text{K}$  için karakteristik tek fotopiki (1460.75 keV) incelemişlerdir.

Righi vd., (2006) çalışmalarında İtalya'da kullanılan 42 yapı malzemesinin doğal radyoaktivitesini HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak ölçmüşler ve  $^{226}\text{Ra}$  aktivitesini  $0,53\pm0,08$ - $280\pm20$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  aktivitesini  $0,25\pm0,04$ - $22360\pm30$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  aktivitesini  $5.4\pm0.7$ - $1900\pm200$  Bq/kg aralığında bulmuşlardır.

Ereeş vd., (2006) çalışmalarında Manisa'da yapı malzemesi olarak kullanılan tuğla, çimento ve kumun  $^{238}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonlarını NaI(Tl) dedektörlü

gama spektrometresi kullanarak incelemişler ve en yüksek aktivite sonuçlarını kum numunelerinde ölçmüşlerdir. Elde ettikleri aktivite sonuçlarını  $^{238}\text{U}$  için 1559,10 Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için 142,48 Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için 1711,47 Bq/kg olarak bulmuşlardır.

Krstić vd., (2007) çalışmalarında Güney Doğu Avrupa'daki bazı ülkelerde (Makedonya, Yunanistan ve Bulgaristan) kullanılan önemli yapı malzemelerinde  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  ve  $^{40}\text{K}$  aktivite konsantrasyonları incelemek amacıyla HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılmışlardır ve elde ettikleri aktivite konsantrasyonu değerleri ve belirlenen standartları üç ülke arasında karşılaştırmışlardır.

Damla vd., (2011) çalışmalarında Türkiye'de kullanılan tuğla ve kiremitler üzerinde HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanarak tuğla ve kiremit numunelerindeki ortalama aktivite konsantrasyonu belirlemişlerdir. Tuğlada  $^{226}\text{Ra}$  için  $34\pm14$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $34\pm13$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $462\pm175$  Bq/kg, kiremit numunelerinde ise  $^{226}\text{Ra}$  için  $34\pm14$  Bq/kg,  $^{232}\text{Th}$  için  $33\pm12$  Bq/kg ve  $^{40}\text{K}$  için  $429\pm161$  Bq/kg bulmuşlardır.

Shakhreet vd., (2003) çalışmalarında parafin ve alçının 662 keV'daki kütleli soğurma katsayılarını NaI(Tl) gama spektroskopi sistemi kullanarak ölçmüşler ve bu ölçümler sonucunda elde edilen kütleli soğurma katsayı değerleri parafin için  $(3.37\pm0.05)\cdot10^{-3}$  m<sup>2</sup>/kg ve alçı için  $(2.96\pm0.05)\cdot10^{-3}$  m<sup>2</sup>/kg olduğunu gözlemlemişler ve teorik değerler ile uyumluluğunu belirtmişlerdir.

## BÖLÜM III

### MATERYAL VE METOT

#### 3.1 Materyal

Bu tez çalışmasında atık kül olarak kullanılan UK İskele Sugözü Termik Santrali ve KAK ise Bor Şeker Fabrikası'ndan temin edilmiştir. UK, KAK ve alçı kimyasal analizleri Niğde ÇİMSA A.Ş. de yapılmış ve sonuçları Çizelge 3.1'de verilmiştir. Çimento olarak TS EN 197-1 standardına göre sadece Portland çimentosu klinkeri ve alçıtaşıdan oluşan CEM I 42,5 R tipi Portland çimento kullanılmış olup Niğde ÇİMSA A.Ş'den temin edilmiştir. Bu çimentonun kimyasal özelliklerini belirlemek için herhangi bir deney yapılmamış, üretici çimento fabrikası olan ÇİMSA A.Ş'den alınan veriler kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Başlangıç ve bitiş priz süreleri TS EN 196-3 standardı baz alınarak yapılmış olup 210-510 dk olarak belirlenmiştir ve yoğunluğu  $1,40 \text{ g/cm}^3$ 'dir. Bağlayıcı olarak kullanılan kartonpiyer alçısı Akasya Alçı Maden Üretim A.Ş. (Ak Alçı)'den alınmış olup, Kalsiyum Sülfat Hemihidrat+Kalsiyum Karbonat+Sitrik Asit içeriğine sahiptir. Rengi beyaz, toz biçiminde ve kokusuzdur. TS EN 13279-1 Yapı ve Sıva Alçıları Lifle güçlendirilmiş alçı elemanları için yapı alçısı-C1/8 CE Uygunluk Beyanı kapsamındadır. Üreticisinden alınan teknik bilgiye göre birim hacim ağırlığı  $680-700 \text{ kg/m}^3$ , donma süresi 8-12 dk, yayılma çapı 180-210 mm, toplam su emmesi %33-38, pH'ı 7-8 arasındadır. Kireç ise ticari satış yerinden satın alınmıştır.

**Çizelge 3.1.** UK, KAK, çimento ve alçı kimyasal analiz sonuçları

| Elementler                     | Kimyasal Analiz Sonuçları (%) |         |           |       |
|--------------------------------|-------------------------------|---------|-----------|-------|
|                                | AK                            |         | Bağlayıcı |       |
|                                | İskele UK                     | Bor KAK | Çimento   | Alçı  |
| SiO <sub>2</sub>               | 42,12                         | 27,98   | 3,59      | 0,40  |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 20,27                         | 10,30   | 18,90     | 0,10  |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 6,07                          | 8,98    | 3,36      | 0,11  |
| CaO                            | 1,77                          | 7,97    | 63,59     | 40,10 |
| MgO                            | 1,44                          | 1,64    | 1,57      | 0,22  |
| SO <sub>3</sub>                | 0,32                          | 10,35   | 2,65      | 49,10 |
| K <sub>2</sub> O               | 3,81                          | 0,82    | 0,40      | 0,02  |
| Na <sub>2</sub> O              | 0,26                          | 0,46    | 0,77      | -     |
| Kızdırma Kaybı                 | 3,8                           | -       | 3,59      | 9,95  |

Deneylerde kullanılan malzemelerin temini ve deneylerin yapılmasında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı (İML), Merkezi Araştırma Laboratuvarı (MAL), Fizik Bölümü Laboratuvarı (FBL) ve ÇİMSA A.Ş Niğde Fabrikası(ÇNF)’dan destek alınmıştır. Malzemelerin detayları Çizelge 3.2.de verilmiştir.

**Çizelge 3.2.** Deneylerde kullanılan araç gereçler

| <b>Kullanılan Araç ve Gereçler</b> | <b>Kullanıldığı Yer/Laboratuvar</b> | <b>Kullanılan Araç ve Gereçler</b> | <b>Kullanıldığı Yer/Laboratuvar</b> |
|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Hassas terazi                      | İML                                 | Desikatör                          | İML                                 |
| Etüv                               | MAL                                 | Eldiven                            | İML                                 |
| Elek serisi                        | MAL                                 | Kırtasiye Malzemeleri              | İML                                 |
| Kül fırını                         | İML                                 | Pres Makinesi                      | İML                                 |
| 40*40*160 mm üç gözlü kalıp        | ÇNF                                 | Masa tipi miser                    | İML                                 |
| Arşimet terazisi ve seti           | İML                                 | Kıvam deney setleri                | İML                                 |
| Spatula, mala                      | İML                                 | TS Standartları                    | TSE                                 |
| Cam mezürler                       | İML                                 | Geiger-Müller Sayacı               | FBL                                 |

### 3.2 Metot

Çalışmada -atık küllerin kimyasal içeriğine (Çizelge 3.1) göre- ön denemeler gerçekleştirilmiştir. UK ve KAK için sırasıyla (a) elek analizi (Şekil 3.1), (b) yanabilir madde verim hesabı (Çizelge 3.3), (c) birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Ardından kireç, kartonpiyer alçısı ve çimento ile numune eldesi deneyleri yapılmıştır. Üretilmiş olan ürün setleri (AK+Çimento, AK+Kireç, AK+Kartonpiyer Alçısı) ikinci aşamada da fiziksel ve mekanik testlere tabi tutulmuştur. Bu testler (i) eğilme ve basınç dayanımı, (ii) birim hacim ağırlığı (iii) su emme yüzdesi, (iv) porozite, (v) yayılma yöntemi ile alçı/su oranı belirleme ve (vi) radyasyon sönümlene durumunun belirlenmesidir.

### 3.2.1 Yanabilir madde verimi hesabı

Bu deney, malzeme içerisindeki yanabilir maddelerin miktarını tespit edebilmek için yapılmıştır. Öncelikle kullanılacak olan krozenin darası alınmıştır. 1 g kül kroze konulmuş ve 105 °C’ de 1 saat süresince etüvde bekletilmiştir. Daha sonra numunenin desikatörde soğuması beklenmiştir. Desikatörden çıkarılan numune hassas terazide tartılmış ve 750 °C’ de 2 saat süresince kül fırınında bekletilmiştir. 1 gün sonra tekrar desikatöre alınmış ve soğuyuncaya kadar burada tutulmuştur.

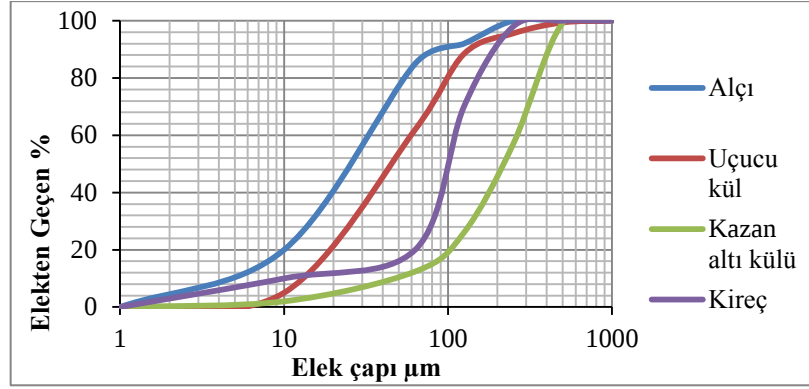
Yanıcı madde miktarı hesabı = (İlk tartılan numune-son tartılan numune) x 100 şeklinde hesaplanır (Çizelge 3.3).

**Çizelge 3.3. Yanabilir madde verimi hesabı**

| Ham maddeler | Sıcaklık (°C) | Bekleme Süresi (saat) | Tartılan Numune Ağırlığı (g) | Yanıcı Madde Miktarı (%) |
|--------------|---------------|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| KAK          | 750           | 1                     | 20 g                         | 24                       |
| UK           |               |                       |                              | 7,5                      |

### 3.2.2 AK, kireç, UK, KAK ve kartonpiyer alçısının elek analizi

UK, KAK, alçı ve kirecin elek analizi için 105 (±5) °C’de 1 gün süreyle etüvde sabit ağırlığa ulaşuncaya kadar kurutulmuştur. Nemini kaybeden numunelerin elek analiz sonuçları Şekil 3.1’de verilmiştir. Elek analizleri TS EN 13279-1 standardına göre yapılmıştır.



**Şekil 3.1.** Alçı, UK, KAK ve kirecin elek analiz sonuçları

### 3.2.3 Atık küllerin sıkışık birim hacim ağırlığı deneyi

KAK ve UK sıkışık birim hacim ağırlığı (BHA) deneyi için  $105 (\pm 5) ^\circ\text{C}$ 'de 1 gün süreyle etüvde sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Kurutulan KAK ve UK 500 mL'lik mezür kullanılarak hacimleri ve o birim hacime karşılık gelen ağırlıkları bulunmuştur. Ağırlıklarının hacimlerine bölünmesiyle KAK ve UK'nın yoğunlukları belirlenmiştir (Çizelge 3.4)

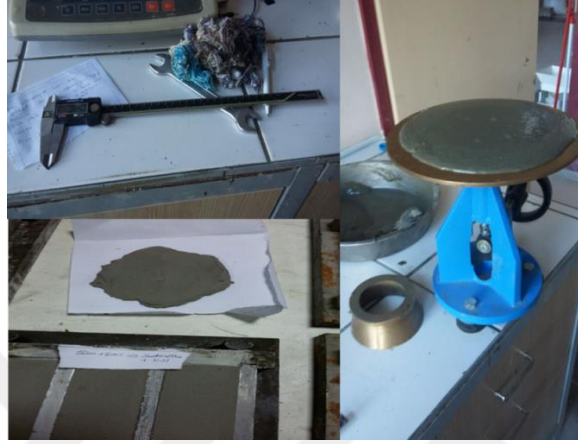
**Çizelge 3.4.** KAK, UK ve çimento BHA değerleri

|                       | Bor KAK | İsken UK | Çimento |
|-----------------------|---------|----------|---------|
| BHA g/cm <sup>3</sup> | 0,70    | 1,2      | 1,36    |

### 3.2.4 Yapı paneli numunelerinin hazırlanması

Çalışmada kullanılan AK, çimento, kartonpiyer alçısı (KA) ve kirecin BHA'ları birbirinden farklı olduğu için karışım parametrelerinin belirlenmesinde hacim esas ve karışım hesabında TS EN 3234, TS EN 12859, TS EN 13279-1, TS EN 13279-2, TS EN 520+A1, TS EN 13950 ve TS EN 14190 standartlarından yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan AK'lar, kireç ve alçı ile farklı kombinasyonlar oluşturulmuştur. Bu kombinasyonlar KAK+Çimento, UK+Çimento, KAK+K.Alçı, UK+K.Alçı, KAK+Kireç, UK+Kireç'tir. Ayrıca kalıplara dökülecek bu karışımların yeterli olabilmesi için ön denemeler gerçekleştirilmiştir. Karışıma giren numunelerin karışım hesabında hacim esas yerine ağırlık esas dikkate alınmıştır. Ancak numune üretiminde kullanılan çimento harç numune kalıpları 40\*40\*160 mm ölçülerinde ve 3 adet olduğu

için hacimsel olarak malzeme kaybı olmaksızın karışım hesabı yapılarak ayarlanmıştır. Bağlayıcı malzemelerin BHA'ları çok farklı olduğu için ağırlık esasına çevrilmiştir. TS EN 13279-2 standardında yer alan yayılma yöntemine ön denemeler gerçekleştirilmiş ve üretim yapılmıştır (Fotoğraf 3.1.). Üretilen numune grupları ve kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.5.'de verilmiştir.



**Fotoğraf 3.1.** Yayılma deneyi

**Çizelge 3.5.** KAK ve UK'nın çimento, kireç ve KA ile ön deneme karışım oranları

| N.N | Ç.O (%) | Su | KAK (g) | UK (g) | N.N | Kireç | Su | KAK (g) | UK (g) | N.N | KA (%) | Su | KAK (g) | UK (g) |
|-----|---------|----|---------|--------|-----|-------|----|---------|--------|-----|--------|----|---------|--------|
| 1   | 10      | KG | 1200    | -      | 11  | 10    | YY | 900     | -      | 21  | 10     | YY | 1000    | -      |
| 2   | 20      | KG | 1200    | -      | 12  | 20    | YY | 900     | -      | 22  | 20     | YY | 1000    | -      |
| 3   | 30      | KG | 1200    | -      | 13  | 30    | YY | 900     | -      | 23  | 30     | YY | 1000    | -      |
| 4   | 40      | KG | 1200    | -      | 14  | 40    | YY | 900     | -      | 24  | 40     | YY | 1000    | -      |
| 5   | 50      | KG | 1200    | -      | 15  | 50    | YY | 900     | -      | 25  | 50     | YY | 1000    | -      |
| 6   | 10      | KG | -       | 1200   | 16  | 10    | YY | -       | 1000   | 26  | 10     | YY | -       | 1000   |
| 7   | 20      | KG | -       | 1200   | 17  | 20    | YY | -       | 1000   | 27  | 20     | YY | -       | 1000   |
| 8   | 30      | KG | -       | 1200   | 18  | 30    | YY | -       | 1000   | 28  | 30     | YY | -       | 1000   |
| 9   | 40      | KG | -       | 1200   | 19  | 40    | YY | -       | 1000   | 29  | 40     | YY | -       | 1000   |
| 10  | 50      | KG | -       | 1200   | 20  | 50    | YY | -       | 1000   | 30  | 50     | YY | -       | 1000   |

\*KG: Kıvamına göre, \*\*YY: Yayılma yöntemine göre, \*\*\* NN: Numune no, \*\*\*\*Ç.O: Çimento oranı

### 3.2.5. Atık küllerden imento bağlayıcısı ile numune eldesi deneyi

Karışım­larda imento olarak ÇİMSA CEM I 42,5 R Portland Kalkerli imento kullanılmış olup 4x4x16 cm boyutlarında numune kalıplarına sıkıştırılarak dökülmüştür (Fotoğraf 3.2). Dökülen numuneler 23±3°C de 24 saat süre ile kalıplarda bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan çıkarılan numuneler, su havuzuna yerleştirilmiştir. Üretilen bu numunelerden biri 7 gün, diğeri ise 28 gün suda bekletilmiş ve 7-28 günlük basınç dayanım testleri yapılmıştır. Üretilen karışım grubu için kullanılan AK ve imento miktarları izelge 3.6’de belirtilmiştir.



**Fotoğraf 3.2.** AK ve çimentolu ürünlerin kalıplarda sıkıştırılması (a), kalıplarda bekletilmesi (b), su tankında bekletilmesi (c)

**Çizelge 3.6.** AK'lar ve çimento ile üretilen numunelerin karışım oranları

| Oran<br>% | Ç.M (g) | KAK miktarı<br>(g) | KAK için S.M<br>(g) | UK<br>miktarı (g) | UK için S.M<br>(g) |
|-----------|---------|--------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| 10        | 120     | 1080               | 438                 | -                 | -                  |
| 20        | 240     | 960                | 438                 | -                 | -                  |
| 30        | 360     | 840                | 426                 | -                 | -                  |
| 40        | 480     | 720                | 410                 | -                 | -                  |
| 50        | 600     | 600                | 418                 | -                 | -                  |
| 60        | 720     | 480                | 413                 | -                 | -                  |
| 70        | 840     | 360                | 412                 | -                 | -                  |
| 80        | 960     | 240                | 410                 | -                 | -                  |
| 90        | 1080    | 120                | 400                 | -                 | -                  |
| 10        | 120     | -                  | -                   | 1080              | 350                |
| 20        | 240     | -                  | -                   | 960               | 352                |
| 30        | 360     | -                  | -                   | 840               | 360                |
| 40        | 480     | -                  | -                   | 720               | 382                |
| 50        | 600     | -                  | -                   | 600               | 418                |
| 60        | 720     | -                  | -                   | 480               | 410                |
| 70        | 840     | -                  | -                   | 360               | 426                |
| 80        | 960     | -                  | -                   | 240               | 438                |
| 90        | 1080    | -                  | -                   | 120               | 438                |

\*Ç.M: Çimento miktarı

\*\*S.M: Su miktarı

### 3.2.6 Atık küller ve kartonpiyer alçısı ile numune eldesi deneyi

Numuneler, yapılan ön denemeler sonucunda 28 adet karışımdan oluşmaktadır. Karışımların homojen olması için TS EN 13279-2 standardında bulunan yayılma yöntemi kullanılarak KA/su oranı belirlenmiştir (Fotoğraf 3.3); daha sonra KA/su miktarları hesaplanarak yeni karışım oranları hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlar kalıplarda 24 saat oda sıcaklığında bekletilmiş ve 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılarak kuru bir zemin üzerinde 7-28 günlük basınç deneyleri yapılana kadar tekrar beklemeye alınmıştır. Karışım oranlarına ait detaylı bilgiler Çizelge 3.7'de yer almaktadır.



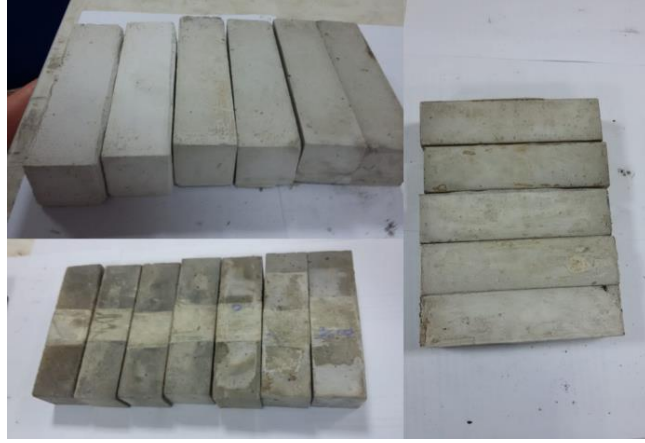
**Fotoğraf 3.3.** AK ve KA karışımlı numuneler

**Çizelge 3.7.** KAK ve UK' nın KA ile numune üretimi için hazırlanan karışım oranları

| KA Oranı % | KAK için KA Miktarı (g) | KAK Miktarı (g) | KAK için S.M (g) | UK için KA Miktarı (g) | UK Miktarı (g) | UK için S.M (g) |
|------------|-------------------------|-----------------|------------------|------------------------|----------------|-----------------|
| 10         | 90                      | 810             | 440              | 100                    | 900            | 560             |
| 20         | 180                     | 720             | 440              | 200                    | 800            | 650             |
| 30         | 270                     | 630             | 440              | 300                    | 700            | 730             |
| 40         | 360                     | 540             | 450              | 400                    | 600            | 730             |
| 50         | 450                     | 450             | 450              | 500                    | 500            | 750             |
| 60         | 540                     | 360             | 460              | 600                    | 400            | 770             |
| 70         | 630                     | 270             | 470              | 700                    | 300            | 750             |
| 80         | 720                     | 180             | 470              | 800                    | 200            | 630             |
| 90         | 810                     | 90              | 480              | 900                    | 100            | 620             |

### 3.2.7 Atık küller ve kireç ile numune eldesi deneyi

Karışımlarda bağlayıcı olarak kireç kullanılmıştır ve 4x4x16 cm boyutlarında numune kalıplarına sıkıştırılarak yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.4). Bu numuneler  $23\pm3^{\circ}\text{C}$ 'de 24 saat süre ile kalıplarda bekletilmiştir. 24 saat sonunda kalıplardan çıkartılarak kuru bir zemin üzerinde 7-28 günlükleri gelinceye kadar beklemeye alınmış ardından basınç dayanım testleri yapılmıştır. Üretilen karışım grubu için kullanılan atık kül ve kireç miktarları Çizelge 3.8'de belirtilmiştir.



**Fotoğraf 3.4.** AK ve kireç karışımlı üretilen numuneler

**Çizelge 3.8.** KAK ve UK'nın kireç ile numune üretimi için hazırlanan karışım oranları

| Kireç Oranı (%) | KAK için Kireç Miktarı (g) | KAK Miktarı (g) | S.M (g) | UK için Kireç Miktarı (g) | UK Miktarı (g) | S.M (g) |
|-----------------|----------------------------|-----------------|---------|---------------------------|----------------|---------|
| 10              | 90                         | 810             | 430     | 90                        | 810            | 440     |
| 20              | 180                        | 720             | 440     | 180                       | 720            | 430     |
| 30              | 270                        | 630             | 450     | 270                       | 630            | 440     |
| 40              | 360                        | 540             | 456     | 360                       | 540            | 420     |
| 50              | 450                        | 450             | 460     | 450                       | 450            | 400     |
| 60              | 540                        | 360             | 466     | 540                       | 360            | 380     |
| 70              | 630                        | 270             | 470     | 630                       | 270            | 360     |
| 80              | 720                        | 180             | 476     | 720                       | 180            | 350     |
| 90              | 810                        | 90              | 480     | 810                       | 90             | 330     |

### 3.2.8 Üretilen yapı panellerinde basınç dayanım deneyi

Deneye başlamadan önce küresel yatağın oynaklığı kontrol edilmiştir. Yükleme tablalarının ve deney numunelerin yüzeyleri iyice silinerek temizlenmiş ve numune alt tablanın üzerine yerleştirilmiştir. Deney numune eksenini ile küresel yatak üzerindeki tablanın basınç merkezi aynı olacak biçimde ayarlamalar yapılmıştır. Numuneye uygulanacak yükün yüzeye eşit olarak dağılımını sağlamak için, oynak tabla numune yüzeyine tümüyle degecek biçimde ayarlanmıştır. Yükleme sürekli olarak, olabildiğince değişmez bir yükleme hızı (5-10 dakikalık bir zaman diliminde) oluşacak biçimde ayarlanmıştır (TS 772-1). Atık küllerin KA üretilen numuneleri 7 gün sonunda 40°C, 24 saat bekletildikten sonra (Fotoğraf 3.5), kireç kullanılarak üretilen numuneleri 7 gün

sonunda 70-105 derecede 24 saat bekledikten sonra sabit ağırlığa geldiği zaman basınç dayanım testleri yapılmıştır (Fotoğraf 3.6).



**Fotoğraf 3.5.** Etüvde bekletilen numuneler



**Fotoğraf 3.6.** Basınç dayanım testi için kullanılan cihaz

### 3.2.9 Yapı panellerinde eğilme dayanımı deneyi

Numunelerin eğilme dayanımı (ED) değerlerinin bulunabilmesi için TS EN 12390-5 standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutunda prizmatik numuneler hazırlanmış ve eğilme presi ile eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmuştur (Fotoğraf 3.7.).



**Fotoğraf 3.7.** Numuneler üzerinde eğilme deneyi gerçekleştirilmesi

### 3.2.10 Yapı paneli numunelerinde su emme deneyi

Bu tezde üretilen yapı panelleri için su emme deneylerinde her biri küp şekline getirilmiş olan numuneler kullanılmıştır. Numuneler 24 saat süreyle 105 °C’ de etüvde kurutulmuştur. Numuneler kurutulduktan sonra oda sıcaklığında 30 dk bekletilmiş ve tartılmıştır. Kurutulmuş numuneler 20-25 °C sıcaklığa sahip su dolu tankta 24 saat bekletilmiştir. Daha sonra üzerindeki su damlaları ıslak bir sünger ile silinmiş ve hemen tartılarak tekrar su içine bırakılmıştır. Bu işlem 24 içinde belirli aralıklarla tekrarlanmış; 24 saatlik zaman dilimin son kısımlarında suda doymuş olan değişmez ağırlık bulunmuştur.

Numuneler üzerinde TS EN 12859 standardına göre su emme deneyi yapılmıştır. Kartonpiyer alçılı numunelerin su emme deneyinde 20-25 °C sıcaklığa sahip su dolu tanka konulmuştur. Bu esnada alçılı blokların tank tabanına temas etmesini önlemek için bloklar, iki mesnet üzerine köprü biçimi oluşturularak yatay tarzda, üzerlerinde 50-10 mm kalınlıkta su tabakası olacak yerleştirilmiştir. Su içerisinde 120 dk bekletildikten

sonra bloklar sudan çıkartılmış, suyunun süzülmesi için 5 dk bekletilerek tekrar tartılmış ve bu şekilde suda doymuş numuneler belirlenmiştir. Kireçli numunelerde su emme deneyi, kirecin su kullanımından sonra numunelerde deformasyon oluşturması nedeni ile yapılmamıştır.

### 3.2.11 Yapı paneli numunelerinde porozite deneyi

Tezde üretilen yapı paneli numunelerinde porozite deneyi toplam hacmi bilinen bir numune vasıtası ile gerçekleştirilmiştir. Numune etüvde sabit bir ağırlığa ulaşınca kadar 105 °C'de kurutulmuştur. Böylece numunelerin dane yüzeyinde tutulan su uzaklaştırılmış olur. Kurutulan örnek daha sonra hacmi bilinen su içine batırılmış ve doygun hale gelinceye kadar bekletilmiştir. Boşlukların hacmi, başlangıçtaki suyun hacminden doygun hale ulaşan numune alındıktan sonra hazne içerisinde kalan su hacmi çıkarılarak elde edilmiştir. Alçılı numunelerde porozite deneyi, ilgili standartta (TS EN 13279-2) belirtilmediği ve kireçli numunelerde su dökülmelere yol açtığı için yapılmamıştır.

### 3.2.12 Üretilen yapı paneli numunelerinde birim hacim ağırlığı deneyi

Üçer adet numunenin BHA'sının aritmetik ortalaması alınarak o gruba ait BHA elde edilmiştir.

$$\rho_{g,u} = \frac{m_{dry,u}}{V_{g,u}} \quad (g/cm^3) \quad (3.1)$$

Burada;

$m_{dry,u}$ : Kuru birim ağırlıkları (Fotoğraf 3.8)

$V_{g,u}$ : Numunelerin brüt hacimleri (uzunluk, genişlik ve yükseklik çarpımı)

$\rho_{g,u}$ : BHA



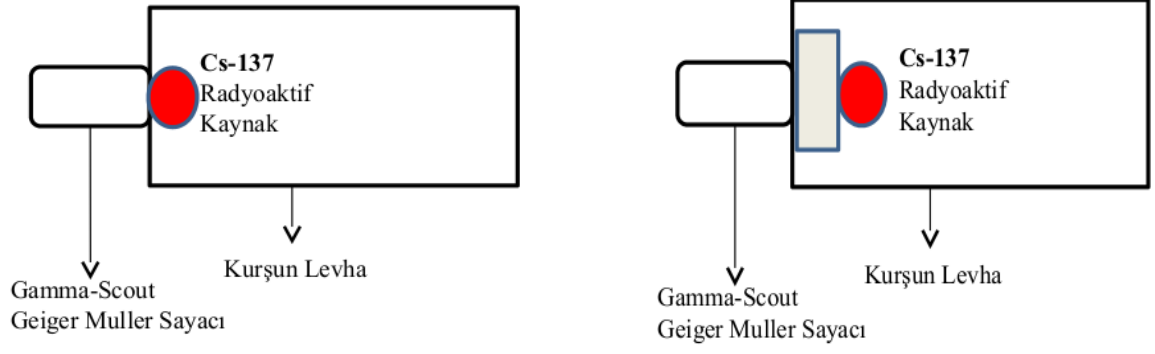
**Fotoğraf 3.8.** Etüv sonrası kuru BHA tartılması

### 3.2.13 Yapı paneli numunelerinde radyasyon sönümlleme deneyi

Bu tezde üretilen yapı panellerinden basınç dayanım değerleri en iyi olan numunelerin radyasyon sönümlleme durumu belirlenmiştir. Bunun için numuneler 4 mm kalınlığında kurşun levha ile kaplanmış kafes içine yerleştirilmiştir (Fotoğraf 3.9, Şekil 3.2). Ölçümlerde kurşunla zırhlanmış ortam içerisine numune arkasına konulan standart radyoaktif kaynak (60 °C) kullanılmıştır. Geiger-Müller sayacı, kurşunla zırhlanmış kafes dışına yerleştirilmiştir ve radyoaktif kaynaktan yayınlanan gama-ışınları miktarını algılamaktadır. Birinci aşamada, hazırlanmış olan bu kafesin/kutunun içerisinde sadece radyoaktif kaynak (Cs-137 (Cesium) veya Co-60 (Cobalt)) varken (ortamda herhangi bir örnek numune yokken) Geiger-Müller sayacı ile ölçüm yapılmıştır. Yaklaşık 1 saat süren bu işlemin ardından, kutu içerisinde radyoaktif kaynak ile Geiger-Müller sayacı arasına (radyoaktif kaynağa 5 cm uzaklıkta), hazırlanmış olan yapı paneli örnekleri yerleştirilmiştir. Ölçümler, sadece numuneyi görebileceği bir boşluktan numune arkasına yerleştirilen ve numuneden absorblanan gama-ışınlarından arta kalan gama ışınlarını algılayan sayaç üzerindeki değer okunarak gerçekleştirilmiştir. Böylece ölçüm yapılan numunenin absorbladığı radyasyon miktarı oransal olarak tespit edilmiştir.



**Fotoğraf 3.9.** Tezde üretilen yapı panellerinin radyasyon sönümlleme durumunun belirlenmesinde kullanılan kurşun levha ile kaplanmış kafes/kutu, radyasyon kaynağı ve Geiger-Müller sayacı



**Şekil 3.2.** Geiger-Müller sayacı ile radyoaktif kaynağın önünde herhangi bir yapı paneli numunesi yokken (sol) ve numune varken (sağ) yaklaşık 1 saatlik süre içinde yapılan ölçüm

## BÖLÜM IV

### BULGULAR

Bu yüksek lisans tezinde, endüstriyel atık olan UK ve KAK'tan çimento, alçı ve kireç karışımları hazırlanarak %10-90 aralığındaki kombinasyonlarda yapı paneli üretilmiş, bu yapı malzemesinin fiziksel-mekanik testleri ve radyasyon sönümlenme durumu belirlenmiştir. Yapılan deneylerin ve testlerin bulguları (Çizelge 4.1-4.7) verilmiştir. Yapı panelleri üzerinde ilk etapta mekanik testlerden olan eğilme ve basınç dayanım testleri 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde yapılmıştır. Test sonuçlarına göre; Çimentolu karışımlarında: KAK kullanılan karışımlarda, 7 ve 28 günlük en düşük basınç dayanım (BD) sonucu (0,2-0,9 MPa) %10 çimento+%90 KAK kullanılan karışımda, en yüksek BD sonucu (39,4-49,8 MPa) ise %10 KAK+%90 çimento karışımında bulunmuştur. En düşük 7-28 günlük ED değeri (0-1,66 MPa) %10 çimento+%90 KAK karışımında, en yüksek ED değeri (8,25-8,65 MPa) ise %90 çimento+%10 KAK karışımında bulunmuştur. UK kullanılan karışımlarda 7 ve 28 günlük en düşük BD değeri (1,9-4,05 MPa) %10 çimento+%90 UK kullanılan karışımda, en yüksek değer (57,3-64,05 MPa) ise %90 çimento+%10 UK karışımında bulunmuştur. UK'lı yapı panellerinde 7-28 günlük ED değeri sırasıyla %10 çimento+%90 UK karışımında en düşük (0,58-0,93 MPa), %90 çimento+%10 UK karışımında ise en yüksek (10,22-15,08 MPa) olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.1.).

**Çizelge 4.1.** AK+çimento karışımından elde edilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük ED ve BD test sonuçları

| Çimento<br>% | KAK'lı üretilen numuneler (MPa) |       |        |        | UK'lı üretilen numuneler (MPa) |       |        |        |
|--------------|---------------------------------|-------|--------|--------|--------------------------------|-------|--------|--------|
|              | ED                              | BD    | ED     | BD     | ED                             | BD    | ED     | BD     |
|              | 7-gün                           | 7-gün | 28-gün | 28-gün | 7-gün                          | 7-gün | 28-gün | 28-gün |
| 10           | 0                               | 0,2   | 1,66   | 0,9    | 0,58                           | 1,9   | 0,93   | 4,05   |
| 20           | 0                               | 0,5   | 1,15   | 4,8    | 1,64                           | 5,8   | 2,16   | 12,05  |
| 30           | 0                               | 2,1   | 3,36   | 8,35   | 3,1                            | 10,6  | 4,11   | 25,3   |
| 40           | 1,22                            | 5,0   | 4,7    | 13,55  | 5,42                           | 14,5  | 8,39   | 29,9   |
| 50           | 3,1                             | 7,8   | 5,47   | 20,95  | 7,2                            | 21,6  | 9,8    | 39,85  |
| 60           | 2,49                            | 12,4  | 7,14   | 31,4   | 7,05                           | 31,2  | 9,11   | 40,75  |
| 70           | 4,3                             | 17,8  | 10,13  | 34,3   | 7,57                           | 34,8  | 9,22   | 45,95  |
| 80           | 9,28                            | 25,5  | 10,84  | 49,3   | 11,53                          | 46,8  | 7,83   | 57,6   |
| 90           | 8,25                            | 39,4  | 8,65   | 49,8   | 10,22                          | 57,3  | 15,08  | 64,05  |

\*\*BD: Basınç dayanımı \*ED: Eğilme dayanımı

AK+KA kombinasyonlarında TS 13279-1 standardındaki bilgiler nedeniyle sadece 7 günlük BD testi gerçekleştirilmiştir. KAK kullanılan karışımlarda, 7 günlük BD değeri %20 KA+%80 KAK'lı karışımında en düşük (0,15 MPa) ve %90 KA+%10 KAK karışımında en yüksek değer (11,22 MPa) tespit edilmiştir. ED sonuçlarında ise en düşük (0 MPa) değer %10 KA+%90 KAK karışımında, en yüksek değer (5,26 MPa) ise %90 KA+%10 KAK karışımında ölçülmüştür. UK kullanılan karışımlarda, 7 günlük en düşük BD değeri (0,98 MPa) %50 KA+%50 UK'lı karışımında, en yüksek BD değeri (6,79 MPa) %90 KA+%10 UK karışımında bulunmuştur. ED sonuçlarında en düşük değer (0 MPa) %90 KA+%10 UK karışımında, en yüksek değer (16,36 MPa) ise %90 KA+%10 UK karışımında bulunmuştur (Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2.** AK+KA karışımından elde edilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük ED ve BD test sonuçları

| KA % | KAK'lı üretilen numuneler (MPa) |       | UK'lı üretilen numuneler (MPa) |       |
|------|---------------------------------|-------|--------------------------------|-------|
|      | ED                              | BD    | ED                             | BD    |
| 10   | 0                               | 0     | 0                              | 0     |
| 20   | 0,12                            | 0,15  | 0                              | 0,56  |
| 30   | 0,91                            | 1,39  | 0                              | 1,29  |
| 40   | 2,57                            | 3,28  | 0                              | 2,53  |
| 50   | 2,52                            | 5,66  | 0,98                           | 4,56  |
| 60   | 3,91                            | 7,20  | 3,57                           | 6,03  |
| 70   | 4,63                            | 7,80  | 3,90                           | 8,35  |
| 80   | 4,92                            | 8,6   | 4,78                           | 14,2  |
| 90   | 5,26                            | 11,22 | 6,79                           | 16,36 |
| 100  | 8,16                            | 21,18 | -                              | -     |

Kireçli kombinasyonlarda; KAK kullanılan karışımlarda, 7 ve 28 günlük BD sonucu sırasıyla %90 Kireç+%10 UK karışım oranındaki numuneler için (0-0,64 MPa) olarak bulunmuştur. Numunelerin çabuk dağılması sebebiyle en düşük ve yüksek değer kıyaslaması yapılamamıştır. ED açısından KAK'lı kombinasyonlarda ölçüm sonucu alınamamıştır. UK kullanılan karışımlarda en düşük BD sonucu (1,04-0,87 MPa) %50 UK+%50 Kireç karışımından, en yüksek BD sonucu (1,61-1,82 MPa) ise %90 kireç+%10 UK karışımından bulunmuştur.

ED sonuçlarında ise en düşük (0-0,49 MPa) değer %10+%90 UK karışımında, en yüksek değer (1,24-0,86 MPa ise %90 kireç+%10 UK karışımında tespit edilmiştir (Çizelge 4.3.)

**Çizelge 4.3.** AK+kireç karışımından elde edilen yapı panellerinin 7 ve 28 günlük ED ve BD sonuçları

| Kireç<br>% | KAK'lı üretilen numuneler (MPa) |    |    |      | UK'lı üretilen numuneler (MPa) |      |      |      |
|------------|---------------------------------|----|----|------|--------------------------------|------|------|------|
|            | ED                              | BD | ED | BD   | ED                             | BD   | ED   | BD   |
| 10         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0    | 0,49 | 1,38 |
| 20         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0    | 0,48 | 1    |
| 30         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0    | 0,49 | 0,41 |
| 40         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0    | 0,38 | 0,72 |
| 50         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 1,04 | 0,42 | 0,87 |
| 60         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0,97 | 0,44 | 0,9  |
| 70         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 1,11 | 0,41 | 1,6  |
| 80         | 0                               | 0  | 0  | 0    | 0                              | 0,94 | 0,29 | 1,62 |
| 90         | 0                               | 0  | 0  | 0,64 | 1,24                           | 1,61 | 0,86 | 1,82 |

AK'ların çimentolu karışımlarında gerçekleştirilen Su Emme deneyinde; KAK'lı karışımlarda su emme yüzdesi en yüksek olan karışım (%48,5) %10 çimento+%90 KAK, UK'lı karışımlarda su emme yüzdesi en yüksek olan karışım (%39,32) %10 çimento+%90 UK karışımı olup %100'lük çimento karışımında ise su emme yüzdesi (%26,1) olarak tespit edilmiştir (Çizelge 4.4).

Porozite deneyinde;

KAK'lı karışımlarda porozite değeri en yüksek olan karışım (49,6) %10 çimento+%90 KAK, UK'lı karışımlarda porozite değeri en yüksek olan karışımlar (43,91-42,3) %10Çimento+%90UK ve %90çimento+%10UK karışımından, (37,39)'luk porozite değeri ise %100'lük çimento karışımından elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

BHA deneyinde;

KAK'lı karışımlarda BHA değeri en yüksek olan karışım (1,94 g/cm) %80 çimento+%90 KAK ve %90 çimento+%10 KAK, UK'lı karışımlarda BHA değeri en

yüksek olan karışım (1,95 g/cm<sup>3</sup>) ile %80 çimento+%20 UK karışımından, BHA değeri (2,03 g/cm<sup>3</sup>) ise %100'lük çimento karışımından elde edilmiştir (Çizelge 4.4).

**Çizelge 4.4.** AK+çimento karışımından elde edilen yapı panelleri üzerinde gerçekleştirilen deneylerin (su emme, porozite, BHA) sonuçları

| <b>Karışım Oranları (%)</b> | <b>Numune türü</b> | <b>Su Emme (%)</b> | <b>Porozite %</b> | <b>BHA (g/cm<sup>3</sup>)</b> |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-------------------------------|
|                             |                    | <b>Çimento</b>     | <b>Çimento</b>    | <b>Çimento</b>                |
| <b>10</b>                   | KAK                | 48,5               | 49,6              | 1,08                          |
| <b>20</b>                   | KAK                | 46,5               | 45,1              | 1,25                          |
| <b>30</b>                   | KAK                | 42,3               | 41,7              | 1,34                          |
| <b>40</b>                   | KAK                | 44,5               | 45,2              | 1,44                          |
| <b>50</b>                   | KAK                | 46,8               | 48,1              | 1,61                          |
| <b>60</b>                   | KAK                | 42,2               | 44,2              | 1,65                          |
| <b>70</b>                   | KAK                | 43,7               | 45,8              | 1,86                          |
| <b>80</b>                   | KAK                | 40,1               | 45,3              | 1,94                          |
| <b>90</b>                   | KAK                | 38,5               | 43,5              | 1,94                          |
| <b>10</b>                   | UK                 | 39,32              | 37,39             | 1,60                          |
| <b>20</b>                   | UK                 | 36,36              | 43,91             | 1,72                          |
| <b>30</b>                   | UK                 | 38,91              | 38,97             | 1,79                          |
| <b>40</b>                   | UK                 | 34,87              | 40,88             | 1,85                          |
| <b>50</b>                   | UK                 | 37,18              | 36,19             | 1,85                          |
| <b>60</b>                   | UK                 | 32,09              | 36,63             | 1,89                          |
| <b>70</b>                   | UK                 | 31,63              | 34,43             | 1,91                          |
| <b>80</b>                   | UK                 | 30,4               | 33,31             | 1,95                          |
| <b>90</b>                   | UK                 | 28,51              | 42,3              | 1,94                          |
| <b>100</b>                  | Çimento            | 26,1               | 37,39             | 2,03                          |

AK'ların KA ile yapılan karışımları üzerinde gerçekleştirilen su emme deneyinde; KAK'lı karışımlarda su emme yüzdesi en yüksek (%46,21) olan karışım %70 KA+%30 KAK, UK'lı karışımlarda su emme yüzdesi en yüksek (%45,8) olan karışım %30 KA+%70 UK karışımı olup %100'lük KA karışımında ise su emme yüzdesi %26,181'dir (Çizelge 4.5).

Bu karışımlarda porozite deneyi, 3.2.11 bölümünde belirtilen nedenlerden dolayı yapılmadığından, Çizelge 4.5’de sunulmamıştır. BHA deneyinde; KAK’lı karışımlarda BHA değeri en yüksek (1,20 g/cm<sup>3</sup>) olan karışım %90 KA+%10 KAK ve %50 KA+%50 KAK karışımlarından, UK’lı karışımlarda BHA değeri en yüksek (1,21 g/cm<sup>3</sup>) olan karışım ile %90 KA+%10 UK karışımı %100’lük KA karışımında ise BHA değeri 1,23’dir (Çizelge 4.5).

**Çizelge 4.5.** AK+KA karışımı ile elde edilen ürünler üzerinde gerçekleştirilen deneylerin (su emme, BHA) sonuçları

| Karışım Oranları (%) | Numune | Su Emme (%) | BHA  |
|----------------------|--------|-------------|------|
| 10                   | KAK    | 30,52       | 0,87 |
| 20                   | KAK    | 31,33       | 0,98 |
| 30                   | KAK    | 32,43       | 1,03 |
| 40                   | KAK    | 34,01       | 1,04 |
| 50                   | KAK    | 35,06       | 1,20 |
| 60                   | KAK    | 42,11       | 1,15 |
| 70                   | KAK    | 46,21       | 1,15 |
| 80                   | KAK    | 35,71       | 1,17 |
| 90                   | KAK    | 39,63       | 1,20 |
| 10                   | UK     | 31,36       | 1,05 |
| 20                   | UK     | 36,96       | 1,00 |
| 30                   | UK     | 45,08       | 0,95 |
| 40                   | UK     | 38,4        | 0,97 |
| 50                   | UK     | 32,68       | 1,00 |
| 60                   | UK     | 25,96       | 1,00 |
| 70                   | UK     | 26,81       | 1,01 |
| 80                   | UK     | 25,91       | 1,17 |
| 90                   | UK     | 24,19       | 1,21 |
| 100                  | KA     | 26,81       | 1,23 |

AK ve kireç karışımlarından elde edilen yapı panellerinde porozite ve su emme deneyleri, bu tezin 3.2.10 ve 3.2.11 bölümlerinde belirtilen nedenden dolayı yapılmadığından, Çizelge 4.6’da sunulmamıştır.

BHA deneyinde; KAK'lı karışımlarda BHA'da en yüksek değeri (0,99 g/cm<sup>3</sup>) %30 Kireç+%70 KAK ve %70 Kireç+%30 KAK karışımından, UK'lı karışımlarda BHA en yüksek değeri (1,28 g/cm<sup>3</sup>) %90 kireç+%10 UK ve %80 kireç+%20 UK karışımından elde edilmiş olup %100'lük kireç karışımında ise BHA değeri 1,21'dir (Çizelge 4.6).

**Çizelge 4.6.** AK+kireç karışımı ile elde edilen ürünleri üzerinde gerçekleştirilen BHA deney sonuçları

| Karışım Oranları (%) | Numune | BHA  |
|----------------------|--------|------|
| 10                   | KAK    | 0,97 |
| 20                   | KAK    | 0,98 |
| 30                   | KAK    | 0,99 |
| 40                   | KAK    | 0,97 |
| 50                   | KAK    | 0,96 |
| 60                   | KAK    | 0,94 |
| 70                   | KAK    | 0,99 |
| 80                   | KAK    | 0,94 |
| 90                   | KAK    | 0,91 |
| 10                   | UK     | 1,08 |
| 20                   | UK     | 1,16 |
| 30                   | UK     | 1,17 |
| 40                   | UK     | 1,19 |
| 50                   | UK     | 1,20 |
| 60                   | UK     | 1,21 |
| 70                   | UK     | 1,23 |
| 80                   | UK     | 1,28 |
| 90                   | UK     | 1,28 |
| 100                  | Kireç  | 1,21 |

AK'ların çimento, KA ve kireç karışımları ile kombinasyonlarından üretilen yapı paneli örnekleri üzerinde yapılan fiziksel-mekanik deneylerin sonuncusu olan radyasyon sönümlleme, her karışımdan basınç dayanım testleri yüksek olan ve %100 çimento, kireç ve KA'lı numuneler üzerinde uygulanmıştır. Deneyde numune yok iken yapılan ölçümün sonucu 1354 sayımdır. En yüksek radyasyon sönümlleme %13,07 ile %10 KAK+%90 çimento karışımından, en düşük sönümlleme ise %9,01 ile %100 KA'da ölçülmüştür (Çizelge 4.7).

**Çizelge 4.7.** Radyasyon sönümlemesi yapılan numunelerin deney sonuçları

| Numune durumu           | Numune yok iken ölçülen radyasyon değeri | %10 Bor KAK+%90 Kireç | %10 İskele UK+%90 Kireç | %10 Bor KAK+%90 KA | %10 İskele UK+%90 KA | %10 Bor KAK+%90 Çimento | %100 KA    | %100 Çimento | %100 Kireç |
|-------------------------|------------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------|------------|--------------|------------|
| Sayım miktarı           | 1354 sayım                               | 1207 sayım            | 1219 sayım              | 1197 sayım         | 1230 sayım           | 1177 sayım              | 1232 sayım | 1225 sayım   | 1210 sayım |
| Radyasyon sönümleme (%) |                                          | %10,85                | %9,9                    | %11,59             | %9,15                | %13,07                  | %9,01      | %9,52        | %10,63     |

## BÖLÜM V

### SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında, KAK ve kireç kullanılarak hazırlanan karışımlarda kireç oranı düştükçe üretilen yapı panelinin BD değerlerinde düşmeler olmuştur. Kireçli numunelerin karışımlarının hazırlanmasından sonra kalıplara sıkıştırılmak için döküldüğünde içlerinde bulunan suyu bıraktığı gözlemlenmiştir. Bu durum, kireçli yapı paneli numunelerinin içerisindeki gözenekli yapıyı ve çatlakları arttırmış ve radyasyon sönümlemesine olumsuz yönde etkide bulunmuştur.

Damar Tekin, (2014)'in yapı paneli üretmek için uçucu küllü kombinasyonlarda yaptığı çalışmanın sonucuna göre UK miktarındaki artış, numunelerde basınç ve eğilme dayanımlarında uzun vadede artışa sebep olurken bu çalışmadaki UK ve çimentolu karışımlarda üretilen yapı paneli numunelerinde UK miktarı azalıp çimento arttıkça, üretilen yapı paneli numunelerinin ED ve BD değerlerinde olumlu etki yaratmıştır.

UK kullanılan çimentolu karışımlarda BHA değerinin yükseldiği, fakat su emme ve porozite değerinde azalma olduğu belirlenmiştir. KAK kullanılan çimentolu karışımlarda ise BHA değeri düşerken su emme ve porozite değeri artış göstermiştir. KAK'ın hacimce yüksek fakat ağırlık olarak az olması karışımlarda fazla KAK kullanımına yol açmış ve yine bu durum ED ve BD değerleri ile paralellik göstermiştir.

UK'nın kireçli karışımında 7. günde ve 28. günde ED ve BD değerleri ölçülebilirken KAK dolgulu kireçli karışımlarda ölçüm sonucu alınamamıştır. BHA değerinin KAK dolgulu numunelerde düşük, su emme ve porozite değerinin ise yüksek olmasının bu duruma neden olduğu düşünülmektedir. KAK ve kirecin kullanıldığı karışımlarda kalıplarda boşluklu ve çatlaklı yapıların bulunması, kirecin sürekli su ihtiyacı içerisinde olması ve sürekli nemli halde kalması ED ve BD değerlerine olumsuz yönde etki yapmıştır.

AK'ların KA'lı karışımlarında kül miktarı arttıkça BD değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir. Bu durumdan yola çıkılarak KA'nın AK'lara yüksek oranda bağlanamadığı kanısına varılmıştır.

%100'lük KA karışımının ED ve BD sonuçları AK'lı karışımlardan daha yüksek çıkmıştır. Kirecin ve KA'nın AK ile kullanımının ED ve BD değeri yüksek yapı malzemesi üretmeye elverişli olmadığı gözlemlenmiştir.

Tezde üretilen yapı panellerinin radyasyon sönümleme durumları incelendiğinde %100 çimento kullanılarak hazırlanan numunenin radyasyon sönümlemesi %9,52'dir. Bu numune piyasadaki normal yapı malzemesini temsil etmektedir ve referans olarak alınabilir. Çalışmada en yüksek sönümleme değeri %10 KAK+%90 çimentolu karışımla %13,07 olarak elde edilmiştir. %10 KAK ilavesi normal yapı malzemesine göre radyasyon sönümlemesini %3,55 arttırmıştır.

%100 KA kullanılarak hazırlanan numunenin radyasyon sönümlemesi referans değere (%9,52) yakın olarak %9,01 bulunmuştur. En yüksek ikinci sönümleme değeri %11,59 olarak %10 KAK+%90 KA karışımında bulunmuştur. KA'lı yapı panellerinde de %10 KAK ilavesi normal yapı malzemesine göre radyasyon sönümlemesini arttırmıştır (%2,07).

UK'lı yapı panellerinde %10 UK+%90 KA karışımlı numunelerde radyasyon sönümlemesi %9,15 bulunmuş olup, referans değere yakındır. Bu değer %100 KA kullanılarak hazırlanan numunenin radyasyon sönümleme yüzdesine (%9,01) çok yakındır. %10 UK+%90 Kireç karışımında radyasyon sönümlemesi (%9,9) ise %100 kireçle kullanılarak hazırlanan numunenin radyasyon sönümlemesine (%10,63) göre daha düşük bulunmuştur. Bu sonuçlardan yapı paneli üretiminde UK katkısının radyasyon sönümlemesini fazla etkilemediği kanaati doğmuştur.

%100'lük karışımlar içerisinde en yüksek sönümleme %10,63 ile kireç numunesinden elde edilmiştir. Kireç kullanılarak hazırlanan en yüksek radyasyon sönümleme oranının %10 KAK+%90 Kireç karışımında %10,85 olduğu görülmektedir. Kireç kullanılarak üretilen yapı panellerinde de %10 KAK ilavesi referansa göre radyasyon sönümlemesini çok az arttırmıştır (%1,33).

Çimento, KA ve kireç kullanılarak üretilen yapı paneli numunelerinin %10 KAK içerdiği koşullarda en yüksek radyasyon sönümleme özelliğine sahip olmalarının nedeni, KAK'nın yapı paneline verdiği gözenekli yapı olduğu düşünülmektedir.

KA ve çimentonun ayrı ayrı kullanıldığı %100'lük numunelerde radyasyon sönümlemesi düşük iken KAK ile olan karışımlarında bu yüzdenin artması KA ve çimentonun radyasyonu sönümlemek için kullanılabilecek yapı malzemeleri arasında iyi bir seçenek olabileceği, kirecin ise %100 kullanıldığında yüksek sönümleme oranına sahip olmasına rağmen AK karışımında radyasyon tutma özelliğinde kayıplar olduğu düşünülmektedir. %10 KAK katkılı yapı panelleri, %10 UK katkılı olanlara göre daha yüksek radyasyon sönümlemektedirler. Bu duruma Bor KAK'ın İsken UK'ya göre sahip olduğu iri yapısı, içerisinde yanmamış kömür parçacıkları bulundurmasının neden olduğu düşünülmektedir.

Bu yüksek lisans tezinde -kireç ve alçının çabuk donan yapısından dolayı AK'lar ile birlikte yapı paneli oluşturması bir sorun teşkil ettiğinden- süre, kıvam, kombinasyon gibi birçok etmen göz önünde tutularak çok sayıda deneme yapılmıştır. Ayrıca farklı testler yapabilmek için 3 gruptan iki ayrı sefer aynı özellikte yapı paneli üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapı malzemelerinde istenen en temel özellik, yüksek BD değerine sahip olmasıdır. O nedenle tez kurgusu sırasında gruplarda BD'si en yüksek olan malzemeler baz alınmış ve onların radyasyon sönümleme test sonuçları verilmiştir. Bu tezdeki yapı paneli üretim kombinasyonları ve radyasyon sönümleme durumu belirlemeye dair çalışmalar, literatürdeki araştırmalardan farklıdır. Çalışmada kömür kullanan termik santral ve fabrikaların atıkları yeniden kullanım (reuse) prensibi ile inşaat sektörüne yönelik yapı paneline dönüştürüldüğü için, temiz üretim anlayışının son zamanlarda artan bir gelişim gösteren araçlarından birisi olan endüstriyel simbiyoz yaklaşımına yönelik bir tezdur. AK'lar hammadde haline getirilerek üretilen yapı panellerinde atık içermeyen yapı malzemelerine yakın ve daha yüksek radyasyon sönümleme değerleri ölçülmüştür. Bu yönüyle yapı panellerinin atık katkılı üretilmesinin insan sağlığına yönelik radyasyondan korunmaya olumlu katkı yapacağı düşünülmektedir. Ayrıca üretilen BD'si oldukça yüksek ve BHA'sı düşük yapı panelleri hafif yapı malzemesinde yüksek mukavemet sunma gibi önemli bir özellik de taşımaktadır; seri olarak üretilmesi durumunda katı atık sorununun çözümüne, ekonomiye ve insan sağlığına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

## KAYNAKLAR

Akkurt, I., Mavi, B., Akkurt, A., Başığit, C., Kılıçaslan, Ş., and Yalım, H.A., “Study on Z dependence of partial and total mass attenuation coefficients, *Journal of Quantative Spectroscopy and Radiative Transfer* 94, 3-4, s. 379-385, 2005.

Akman., M.S., “Yapı malzemelerinin tarihsel gelişimi”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, s. 426, 2003.

Alexis M., Troschnetz, R., and James M., H., “Sustainable recycling of municipal solid waste in developing countries”, *Waste Management* 29, s. 2, 2009.

Alkaya, D., Erken, A., Alyanak, T., ve İnancı, G., “Uçucu küllerin toprak sanayinde kullanılabilirliği”, *D.P.Ü. Fen Bilimleri Dergisi* 1, s. 167-178, 1999.

Amrani, D., and Tahtat, M., ‘Natural radioactivity in Algerian building materials’ *Applied Radiation and Isotopes* 54, s. 687-689, 2001.

Arıöz, Ö., Özsoy, A., and Yılmaz, G., ‘Concrete with recycled aggregate’, *Key Engineering Materials*, Eskişehir, 264-268, s. 2145-2148, 2004.

Aslan, A., Termik santral ve biyokütle atıkları ile tras katkılarının çimentonun mekanik dayanımı ve hidrasyon özelliklerine etkilerinin araştırılması, Doktora Tezi, *K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, s. 3-5, 1998.

Atış C.D., Gorur, E.B., Karahan, O., Bilim, C., İlkentapar, S., and Luga, E., ‘Very high strength (120 MPa) class F fly ash geopolymers activated at different NaOH amount, heat curing temperature and heat curing duration’, *Construction and Building Materials* 96, s. 673-678, 2015.

Atış, C.,D., Tartıcı, H., Sevim. U.K., Özcan, F., Akçaözoğlu, K., ve Yüzgeç, C., ‘Afşin-Elbistan uçucu külünün beton katkısı olarak kullanılabilirliği’, **5. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi**, İstanbul, s. 161-168, 2002.

Ay, N., ve Esmeliler, S., ‘Uçucu küllerin sofa yapımında kullanılması’, **IV. Seramik Kongresi, Türk Seramik Yayınları**, Eskişehir, 20, s. 131-135, 1998.

Ayman Güler, B., ‘Çöp Hizmetleri Yönetimi’, **Türkiye ve Orta Doğu Amme İdaresi Enstitüsü Yayını Yerel Yönetimler Araştırma ve Eğitim Merkezi**, Ankara, 302, 11, s.2, 2001.

Baba. A., ‘Türkiye’de termik santral atıklarının çevre jeolojisi’, **1. Batı Anadolu Hammadde Kaynakları Sempozyumu**, İzmir, s. 130-135, 1999.

Bahranowski, K., ‘Mobility of some chemical elements of fly ash in water suspension’, **2nd International Symposium on Environmental Engineering, Brunei University, U.K.**, s. 71-87, 1998.

Basheer, P., A., M. and Bai, Y., ‘Influence of furnace bottom ash on properties of concrete proceedings ‘ **Institution of Civil Engineers Structures and Buildings**, 156 (1), s. 85-92, 2003.

Başığit C, ve Kaçar A., ‘‘Bazı yapı malzemelerinin radyasyon tutuculuk özellikleri’’, **Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi**, Isparta, 2, s. 307-310, 2006.

Badran, M. F., ve El Haggag, S., M., ‘‘Optimization of municipal solid waste management in port said – Egypt’’, **Waste Management**, 26, s. 5, 2006.

Baradan, B., ‘Malzeme bilgisi’, **D.E.Ü., Mühendislik Fakültesi Yayınları**, İzmir, s. 307, 2003.

Bayat, O., ve Toraman, O.Y., Physical and chemical properties of some Turkish fly ashes’, **Yer Bilimleri**, 26, s. 187-194, 1995.

Bentli, İ., Uyanık, A.O., Demir, U., Şahbaz, O., ve Çelik, M.S. ‘Seyitömer termik santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı’, **Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi-TUMAKS**, Ankara, s. 975-395-416-6, 2001.

Casares, M.L., Ulierte, N., Mataran, A, Ramos, A., and Zamorano, M., “Solid industrial wastes and their management in Asegra (Granada, Spain)”, **Waste Management** 25, s. 10, 2005.

Charewicz, W. A., Zebrowski, A., Walkowiak, W., and Borek, B., ‘A modified method for the determination of radioactive isotopes in building raw and construction materials with multichannel gamma spectrometry’, **Nukleonika**, Poland, 45(4), s. 243–247, 2000.

Consoli, N.C., Rocha, C.G., and Saldanha, R.B. ‘Coal fly ash–carbide lime bricks: An environment friendly building product’, **Construction and Building Materials** 69, s. 301-309, 2014.

Coşkun, A., Ağır betonlarda barit agregasının kullanımı ve beton özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, **A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, s. 2-7, 2010.

Croft, S., and Hutchinson, I.G., ‘The measurement of U, Th and K concentrations in building material’, **Applied Radiation and Isotopes** 51, s. 483-492, 1999.

Cultrone, G., and Sebastián, E., ‘Fly ash addition in clayey materials to improve the quality of solid bricks’, **Construction and Building Materials** 23, s. 1178-1184, 2009.

Cumpston, B., Shadman. F, and Rısbud. S., ‘Utilization of coal ash minerals for technological ceramics’, **JMaterials Sei.** 27, s. 1781-1784, 1992.

Çakır, M., Uçucu kül ile zemin stabilizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, **T.W İnşaat Mühendisliği**, İstanbul, s. 5-9, 1999.

Çoban, M., Akça, B., ve Erzeneoğlu, S.Z., ‘Türkiye’de kullanılan çeşitli inşaat malzemelerinin geçirme katsayılarının ölçülmesi’, *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, Gümüşhane, 7-2, s. 191-198, 2004.

Çokça, E., “Atık maddeler ve yan ürünlerinin yol dolgularında kullanılması”, *İbid*, s. 105-116, 1995.

Damar Tekin, S., Uçucu kül kireç bağlayıcısının alçı ile aktivasyonu, Yüksek Lisans Tezi, *D.E.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir, s. 1-3, 2014.

Damla, N., Cevik, U., Kobya, A.I., Celik, A. Celik, I., and Yıldırım, N., ‘Assessment of natural radioactivity and mass attenuation coefficients of brick and roofing tile used in Turkey *Radiation Measurements* 46, s. 701-708, 2011.

Demir İ., ‘Uçucu külün hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması’, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 1, s. 21-24, 2005.

Devlet Planlama Teskilatı (DPK), Sekizinci Bes Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, *Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Yapı Malzemeleri, Çalışma Grubu Raporu 1-2615-626*, Ankara, s. 1-17, 2001.

Doğru. B., ‘Türkiye’de tehlikeli atıkların yönetimi ve yasal düzenlemeler’, *Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tehlikeli Atık Yönetimi Eğitimi, Atık Yönetimi Dairesi Başkanlığı*, Ankara, 2012.

Dönmez, S., ‘Radyasyon tespiti ve ölçümü’, *Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Tıp Fakültesi, Nükleer Tıp Anabilim Dalı*, İstanbul, 2017.

Durmuş, A., ve Gürsoy, Y., “Doğu karadeniz bölgesi doğal agregalarından biriyle üretilen ağır betonun başlıca özellikleri”, *Hazır Beton Yayın Organı, Hazır Beton Dergisi*, s. 38-39-40, 2000.

Demir, F., Bor ve barit agregalı ağır betonların nötron parçacıkları, X- ve - ışınları için radyasyon soğurganlıklarının Belirlenmesi, Doktora tezi, (yayınlanmış), **Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Erzurum, s. 6-8, 2009.

Ege Mimarlık, <http://www.egegrupdekorasyon.com.tr/hizmet-15-alcipan-nedir-----uygulama-alanlari---bolme--duvar---asma--tavan---giydirmeduvar-uygulamaları.html>, 27 Ağustos 2018.

Eriç, M., Yapı Malzemeleri, **Kazmaz Matbaası**, İstanbul, 2, 1978.

Ergüt, Ş. , Günay, V. , Sevinç. V. ve Özkan. O. T., ‘Bentonit katkılı termik santral atık uçucu küllerinin sinterleşme karakteri’, **2.Uluslararası Seramik Kongresi**, Eskişehir, 2, s. 319-326, 1994.

Eskici, B., Akyol, A.A., ve Kadioğlu, Y.K., ‘Erzurum Yakutiye Medresesi yapı malzemeleri, bozulmalar ve koruma problemleri’, **A.Ü. Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi**, Ankara, 461, s. 165-188, 2006.

Güler, G., Güler, E., İpekoğlu Ü., ve Mordoğan H., ‘Uçucu küllerin özellikleri ve kullanım alanları’, **Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı**, İzmir, 2005.

Gökhan, G., Hafif yapı blokları üretiminde uçucu külün kireç ve çimento ile birlikte kullanılmasının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, s. 7-8, 2006.

Günoğlu, K., Türkiye’deki bazı doğal taşların radyoaktivite tayini ve radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması, Doktora Tezi, **S.D.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü**, Isparta, s. 11-12, 2012.

Gürsoy, Y., Doğu Karadeniz Bölgesi doğal agregalarından biriyle üretilen ağır betonun geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, **K. T. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Trabzon, s. 1-3, 1997.

Gürdal, E., Kuzey ve Orta Anadolu alçıları üzerine bir araştırma, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi*, İstanbul, s. 44-48, 1976.

Herhández, O.F., Bollatti, M.R., Rio, M., and Landa, B.P., “Development of cork-gypsum composites for building applications”, *Construction and Building Materials* 13, s. 179-186 1999.

Hewamanna, R., Sumithrarachchi, C.S., Mahawatte, P., Nanayakkara, H.L.C., and Ratnayake, H.C., ‘Natural radioactivity and gamma dose from Sri Lankan clay bricks used in building construction’, *Applied Radiation and Isotopes* 54, s. 365-369, 2001.

Higgy, R.H., El-Tahawy, M.S., Abdel-Fattah, A.T., and Al-Akabawy, U.A., ‘Radionuclide content of building materials and associated gamma dose rates in Egyptian dwellings’, *Journal of Environmental Radioactivity* 50, s. 253-261, 2000.

Huang, W., and Lowell, W., “Bottom ash as embankment material”, *Geotechnics of Waste Fills, Theory and Practice ASTM STP 1070*, s. 75-85, 1990.

Ikedo, K. and Tomisaka, T. ‘Physical properties of FGL’, *Proceedings of Silicer* 90, Nürnberg, s. 84-91, 1990.

International Atomic Energy Agency, "Radiation safety", *IAEA Division of Public Information 96-00725 IAEA/PI/A47E*, 1996.

Kaçar, A., Yapılarda radyasyon kalkını olarak kullanılan barit agregalı ağır beton elemanların zırh kalınlık hesaplarının belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *S.D.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, s. 22-23, 2006.

Kahya, S., Yüksek aktiviteli bir nokta gama kaynağının zırhlama problemleri, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, s. 15-18, 1985.

Kaplan, I., “Nuclear physics, *Second Edition Addison –Wesley Publishing Company*, London, 1964.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., ve Akkurt, İ., ‘Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlama amacıyla kullanımının araştırılması’, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi** 2, s. 393-399, 2007.

Kılınçarslan, Ş., Barit agregalı ağır betonların radyasyon zırhlanmasındaki özellikleri ve optimal karışımlarının araştırılması, Doktora Tezi, **S.D.Ü., Fen Bil. Ens.**, Isparta, s. 10-18, 2004.

Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Molla, T., ve Sancar, S., ‘ Radyoaktif ışınlardan korunaklı ekolojik yapılar’, **Politeknik Dergisi** 14, 2, s. 93-99, 2011.

Kızgut, S. Çuhadaroğlu, D., ve Çolak, K. ‘Çatalağzı termik santrali uçucu küllerinden tuğla üretim olanaklarının araştırılması’, **Türkiye 17. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi**, Eskişehir, s. 975-395-416-6, 2001.

Koçak, H., Ş., Kütahya Emet Borik asit işletmesi bor atıklarının alçı levha üretiminde kullanılması, Yüksek Lisans Tezi, **G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Mühendisliği A.B.D.**, Ankara, s. 25-29, 2010.

Kökipek, B., Suni alçının çimento üretiminde kullanılabilirliği, Yüksek Lisans Tezi, **Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, s. 30-32, 2010.

Krstić, D., Nikezić, D., Stevanović, N., and Vučić, D., ‘Radioactivity of some domestic and imported building materials from South Eastern Europe’, **Radiation Measurements**, 42(10), s. 1731-1736, 2007.

Kula, I., Olgun, A., Erdoğan, Y., and Sevinç, V., ‘Effects of colemanite waste, cool bottom ash and fly ash on the properties of cement’, **Cement and Concrete Research**, 31 (3), s. 491-492, 2001.

Kumar, S. A perspective study fly ash-limegypsum bricks and hollow blocks for low cost housing development, Doctoral Thesis, **Department of Civil Engineering, Harcourt Butter Technological Institute**, Kanpur, India, s. 25-27, 2002.

Kumar,V., Ramachandran, T.V., and Prasad, R., ‘Natural radioactivity of Indian building materials and by-products’, ***Applied Radiation and Isotopes*** 51, s. 93-96. 1999.

Kurama, H., ‘Tunçbilek termik santralı uçucu külünden metallerin lıç edilebiliriliği ve Ni kazanımı’ sinterleşme karakteri’, ***2.Uluslararası Seramik Kongresi***, Eskişehir, 2, s. 319-326, 1994.

Lav, H. and Lav, A. , ‘Microstructural development of stabilized fly pavementcase material’, ***Journal of Materials Engineering***, s. 157–163, 2000.

Mehta, P.K., ‘Reducing the environmental impact of concrete’, ***Concrete International***, 23 (10), s. 61-65, 2001.

Naganathan, S., Mohamed, A.Y.O., and Mustapha, K.N. ‘Performance of bricks made using fly ash and bottom ash’, ***Construction and Building Materials*** 96, s. 576-580, 2015.

Oto, B., Barit, manyetit, bazı bor mineralleri ve atıklarını içeren beton numunelerinin gama radyasyon soğurganlıkları ve nötron tutma kapasitelerinin araştırılması, Doktora Tezi , ***Y.Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü***, Van, s. 1-2, 2012.

Öncel, D., Kireç ve kireçtaşı üretimi, Kimyasal Teknolojiler Projeler, Lisans Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi, Kimya Metalurji Fakóltesi, Kimya Mühendisliği Bölümü***, İstanbul, s. 1-5, 2005.

Özdemir, O., and elik, M. S., ‘Characterization and recovery of lıgnıtıc fly ash byproducts from the Tunçbilek Power station’, ***Canadian Me I Quarterly*** 41, 2, s. 143-150, 2002.

Özkul, H. ve Koral, S. ‘Endüstriyel atıklardan desülfojips ve uçucu külün bağlayıcı malzeme olarak kullanılabilirliğinin araştırılması’, ***Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu***, Eskişehir, 3, s. 197-208, 1997.

Öztürk, A.Ç., ‘Tuğla üretiminde termik santral atığı puzolonik uçucu küllerin değerlendirilmesi’, *I. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi Bildirisi*, İstanbul, 2, s. 143-150, 2002.

Petropoulos, N.P., Anagnostakis, M.J., and Simopoulos, S.E., ‘Photon attenuation, natural radioactivity content and radon exhalation rate of building materials’, *Journal of Environmental Radioactivity*, 61, s. 257–269, 2002.

Righi, S., and Bruzzi, L., ‘Natural radioactivity and radon exhalation in building materials used in Italian dwellings’, *Journal of Environmental Radioactivity*, 88, s. 158-170, 2006.

Shakhreet, B.Z., Chong, C.S., Bandyopadhyay, T., Bradley, D.A., Tajuddin, A.A., and Shukri, A., ‘Measurement of photon mass–energy absorption coefficients of paraffin wax and gypsum at 662 keV’, *Radiation Physics and Chemistry* 68, s. 757–764, 2003.

Shekdar, A.V., ‘Sürdürülebilir katı atık yönetimi: Asya ülkeleri için entegre bir yaklaşım’, *Atık Yönetimi* 29, 4, s. 1438-1448, 2009.

TAEK, Nükleer Enerji, *Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi Bilgi-Haberler*, İstanbul, s. 57, 1999.

Topçu, I.B., and Canbaz, M., ‘Properties of concrete containing waste glass’, *Cement and Concrete Research*, 34 (2), s. 267-274, 2004.

TS-24, Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1994.

TS-2969, Radyoaktivite maddelerin ambalajları radyoaktif madde ve radyasyon kaçağı için deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1978.

TS EN-520A1, Alçı levhalar, tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 2010.

TS-EN12859, Alçı bloklar, tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2011.

TS-EN 13279-1, Yapı ve sıva alçıları, Bölüm 1: Tarifler ve gerekler, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2011.

TS-EN 13279-2, Yapı alçıları ve sıva alçıları - Bölüm 2: Deney yöntemleri, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2014.

TS-EN 13950, Alçı levhalar - Isı/ses yalıtımlı kompozit levhalar - Tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2014.

TS-14190 Alçı levhalar – Tekrar işleme tabi tutularak elde edilen – Tarifler, gerekler ve deney yöntemleri, ***Türk Standartları Enstitüsü***, Ankara, 2014.

Turhan, Ş., ‘Assessment of the natural radioactivity and radiological hazards in Turkish cement and its raw materials’, ***Journal of Environmental Radioactivity*** 99(2), s. 404-414, 2008.

Türker, P., Erdogan, B., Katnas, F. ve Yeginobalı, A. ‘Türkiye’de uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri’, ***Türkiye Çimento Üreticileri***, 2014.  
<http://www.ekatalog.co/yayinlar/tcmb/ekatalog/06/files/publication.pdf>.

URL 1, “[http://www.alcider.org.tr/alci\\_tasarrufudur.php](http://www.alcider.org.tr/alci_tasarrufudur.php)”, 27 Ağustos 2018.

URL 2, “<http://www.duvarpanel.com/tr/alc-panel-duvar.html>”, Ağustos 2018.

UNEP, Global Environmental Outlook (GEO) 3 Data Portal, United Nations Environment Programme, <http://geodata.grid.unep.ch/>, 2005.

Ünal, O., İçağa, Y., ve Coşkun, A., ‘Barit agregalı betonların radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması’, ***Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi***, Afyon, s.125-131, 2016.

Wel, L., Naik, T.R., and Golden, D.M., “Construction materials made with coal combustion by-products”, **Cement Concrete and Aggregates**, USA, 16(1), s. 36-42, 1994.

Yıldırım, B. ve Alatas, T., ‘Afsin-Elbisan termik santrali uçucu külünün yol stabilizasyonunda kireç ile birlikte kullanımı’, **Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu**, Eskişehir, 21-35, 1997.

Yılmaz, A., ve Bozkurt, Y., ‘Türkiye’de kentsel katı atık yönetimi uygulamaları ve Kütahya Katı Atık Birliği (KÜKAB) örneği’, **S.D.Ü., İ.İ.B.F Dergisi**, Isparta, 15, 1, s. 11-28, 2010.

Yüksel İ., Özkan Ö. ve Bilir T., ‘Yüksek fırın cürufu ikameli parke ve bordür üretimi’, **P.Ü. Mühendislik Bilimleri Dergisi**, Denizli, 13-2, s. 289-296, 2007.

Yüksel, İ., Özkan, Ö., and Bilir, T. ‘Use of Granulated Blast Furnace Slag in Concrete as Fine Aggregate’, **ACI Materials Journal**, 103 (3), s. 203-208, 2006.

Zaidi, J. H., Arif, M., Ahmad, S., Fatima, I., and Qureshi, I. H., ‘Determination of natural radioactivity in building materials used in the Rawalpindi/Islamabad area by  $\gamma$ -ray spectrometry and instrumental neutron activation analysis’, **Applied Radiation and Isotopes**, 51(5), s. 559-564, 1999.

## ÖZ GEÇMİŞ

Gamze Yıldırım 01.06.1993 tarihinde Ceyhan’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ceyhan’da tamamladı. 2011 yılında girdiği Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılında Avrupa Gönüllük Projesi ile Bulgaristan’da 3 ay eğitmen olarak görev aldı. 2016 yılında Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2017 yılında Niğtaş A.Ş.’de Çevre Mühendisi olarak 1 yıl 5 ay çalıştı. 2018 yılında iş değişikliği yaptı. Halen Arifoğlu Tekstil Ticaret’de Çevre Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.