



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYASYON ETKİSİNE KARŞI
SERPANTİNİT, DOLOMİT VE BARİT
KATKILI BETON KULLANILMASININ
ARAŞTIRILMASI

AYTAÇ DİNÇER

DOKTORA TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2024

**T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYASYON ETKİSİNE KARŞI
SERPANTİNİT, DOLOMİT VE BARİT
KATKILI BETON KULLANILMASININ
ARAŞTIRILMASI**

AYTAÇ DİNÇER

**DOKTORA TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

KAHRAMANMARAŞ 2024

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm

Aytaç DİNÇER



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

**RADYASYON ETKİSİNE KARŞI SERPANTİNİT, DOLOMIT VE BARİT
KATKILI BETON KULLANILMASININ ARAŞTIRILMASI
(DOKTORA TEZİ)**

AYTAÇ DİNÇER

ÖZET

Radyasyon kaynakları var olduğu sürece insanlar radyasyondan etkilenmektedirler. İnsanlar zararlı boyuttaki birçok radyasyon olayına maruz kalmış ve kalmaya devam etmektedir. Radyasyonun zararlı etkisi onlarca yıl sürmektedir. Nükleer santral ve silahlar dışında tıp dahil teknolojinin birçok alanında nükleer güçten yararlanılmaktadır. Bu durum ise insanoğlunun radyasyonun zararlı etkisine karşı önlem almasını gerektirmektedir. Bu çalışmada radyasyon kaynaklarının yaydığı zararlı etkilerin yapı elemanları vasıtasıyla absorbe edilerek en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada serpantinitit, dolomit ve barit içeren beton numunelerin zararlı radyoaktiviteyi absorbe etme özelliği araştırılmıştır. Ayrıca yine aynı katkılarla üretilen harç ve beton numunelerin bazı mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelenmiştir. Harç numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları gibi mekanik özellikleri yanında %10 Na₂SO₄ çözeltisinde 90 gün bekletilen numunelerin sülfata karşı direnci incelenmiştir. Beton numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları basınç presi, ultrasonik test ve Schmidt Çekici yöntemleriyle bulunmuştur. Ayrıca aşınma dayanımı, permeabilite ve donma-çözülme direnci ve mikroyapıları incelenmiştir. Numuneler 10x10x10 cm boyutlarına getirilmiş ve 100 Kv 2,5 mm Al'de ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada serpantinitit, dolomit ve barit katkılı beton numunelerin radyasyon zırhlama özelliğini önemli oranda arttırdığı, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinde ise belli oranlardan sonra düşüslere neden olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Serpantinit, Dolomit, Barit, Lineer soğurma katsayısı, Beton durabilitesi

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Haziran/2024

Birinci Danışman: Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ

Sayfa sayısı: 118

INVESTIGATION OF USING SERPANTINITE, DOLOMITE AND BARITE ADDED CONCRETE AGAINST RADIATION EFFECT

(Ph.D. THESIS)

AYTAÇ DİNÇER

ABSTRACT

As long as radiation sources exist, people are affected by radiation. People have been and continue to be exposed to many harmful radiation events. The harmful effects of radiation last for decades. Apart from nuclear power plants and weapons, nuclear power is used in many areas of technology, including medicine. This situation requires human beings to take precautions against the harmful effects of radiation. In this study, it is aimed to minimize the harmful effects of radiation sources by absorbing them through building elements. In this study, the ability of concrete samples containing serpentinite, dolomite and barite to absorb harmful radioactivity was investigated. Additionally, some mechanical and durability properties of mortar and concrete samples produced with the same additives were examined. In addition to the mechanical properties of the mortar samples such as 7, 28 and 90-day compressive and bending strengths, the sulphate resistance of the samples kept in 10% Na₂SO₄ solution for 90 days was examined. 7, 28, 90 day compressive strength of concrete samples were found by pressure press, ultrasonic test and Schmidt Hammer methods. In addition, abrasion resistance, permeability, freeze-thaw resistance and microstructures were examined. The samples were sized 10x10x10 cm and measured at 100 Kv 2.5 mm Al. In the study, it was determined that serpentinite, dolomite and barite added concrete samples significantly increased the radiation shielding feature, but caused decreases in strength and durability properties after certain rates.

Keywords: Serpentinite, Dolomite, Barite, Linear absorption coefficient, Concrete Durability

Kahramanmaraş Sütçü İmam University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, June/ 2024

Supervisor: Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ
Pagenumber: 118

TEŐEKKÖR

Doktora tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini benimle paylaşan, bana kıymetli zamanını ayırıp faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını sunan, güler yüzünü ve samimiyetini benden esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. Hüseyin TEMİZ'e,

Bu günlere gelmemde büyük pay sahibi olan maddi ve manevi desteklerini benden esirgemeyen değerli eşim Nezihe Mine DİNÇER ve çocuklarıma teőekkürlerimi sunarım.

Aytaç DİNÇER



İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Radyasyon ile İlgili Temel Kavramlar.....	2
1.1.1. Atomun Yapısı	2
1.1.1.1. Kozmik Radyasyon	7
1.1.1.2. İyonize (İyonlaştırıcı) Radyasyon	20
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	54
2.1. Radyasyon ile ilgili çalışmalar.....	54
2.2. Beton durabilitesi ile ilgili çalışmalar	60
3. MATERYAL ve YÖNTEM	68
3. 1. Materyal	68
3.1.1. Agrega	68
3.1.1.1. Agrega Çeşitleri ve özellikleri	69
3.1.1.2. Agregaların mekanik özellikleri	72
3.1.2. Çimento	73
3.1.2.1.Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	74
3.1.2.2.Çimentoların sınıflandırılması.....	74
3.1.3. Beton Karışım Suyu	74
3.1.4. Serpantin	75
3.1.5. Dolomit.....	77
3.1.6. Barit.....	79
3.2. Metot.....	81
3.2.1. Beton numunelerin hazırlanması.....	81
3.2.1.1. Farklı mineral katkılı beton numunelerin hazırlanması.....	81
3.2.1.2. Beton numunelerin hazırlanması	81
3.2.3. Beton numunelerin basınç dayanımı	82
3.2.5. Beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı	84
3.2.6. Beton numunelerin sülfat dayanımı	86
3.2.7. Betonun numunelerin yüzey aşınmalarının tayini.....	87
3.2.8. Beton numunelerin kılcal su geçirimsizliği	88
3.2.9. Radyasyon geçirgenliği	89
3.2.10. Schmidt Çekici ile basınç dayanımı	91
3.2.11. Beton numunelerin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanımları.....	93
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	96
4.1. X ışını Radyasyon Geçirgenlik Tayini.....	96

4.2. Basınç Dayanımı.....	98
4.3. Yüzey aşınma dayanımı.....	101
4.4. Ultrasonik yöntemle basınç dayanımının bulunması.....	102
4.5. Beton Numunelerin Sülfat Dayanımı	103
4.6. Beton Numunelerin Yüzey Aşınmasının Tayini.....	104
4.7. Schmidt Çekiçi ile Basınç Tayini	105
4.8. Beton Numunelerin Farklı Sıcaklıklarda Basınç Dayanımlarının Tayini.....	106
5. SONUÇLAR.....	108
KAYNAKLAR.....	110
ÖZGEÇMİŞ.....	118



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Atomun yapısı (URL-1)	3
Şekil 1.2. Değişik radyasyon kaynakları (URL-1)	5
Şekil 1.3. Dünyadaki radyasyon kaynakları (TAEK, 2018).....	5
Şekil 1.4. Doğal radyasyon kaynakları (TAEK, 2018).....	6
Şekil 1.5. Kozmik radyasyon kaynakları (URL-2).....	7
Şekil 1.6. Karasal radyasyon kaynakları (URL-2)	9
Şekil 1.7. İç radyasyon kaynakları (URL-2).....	9
Şekil 1.8. İnsan yapımı (yapay) radyasyon kaynakları (URL-2).....	10
Şekil 1.9. Doğal ve yapay radyasyon oranları (URL-2)	11
Şekil 1.10. Radyoaktif bozulmaların kabiliyeti (URL-2)	12
Şekil 1.11. Bazı malzemelerin Radyoaktif etkiye dirençleri (URL-2)	13
Şekil 1.12. Alfa Parçacıkları (URL-3).....	15
Şekil 1.13. Beta Parçacıkları (URL-3).....	16
Şekil 1.14. Gama ve X-Ray Işınları (URL-4).....	17
Şekil 1.15. Nötronlar (URL-4)	18
Şekil 1.16. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (URL-4)	20
Şekil 1.17. İyonize Radyasyon (URL-4)	21
Şekil 1.18. İyonlaştırıcı radyasyonların giricilik karşılaştırması (URL-4).....	21
Şekil 1.19. Radyasyondan korunma yöntemleri (URL-4).....	28
Şekil 1.20. Ters kare yasası (URL-5)	29
Şekil 1.22. Durabilite problemlerinin nedenleri	35
Şekil 1.23. Pomzanın görünüşü (Elmastaş, 2012)	40
Şekil 1.24. Türkiye'deki pomza rezerv yerleri (URL-6)	40
Şekil 1.25. Serpantinitin görünüşü (URL-7)	41
Şekil 1.26. Türkiye'deki serpantinitin rezerv yerleri (URL-6).....	42
Şekil 1.27. Dolomitin görünüşü (Yılmaz, 2022)	44
Şekil 1.28. Türkiye'deki dolomitin rezerv yerleri (URL-6)	45
Şekil 1.29. Baritin görünüşü	47
Şekil 1.30. Türkiye'deki baritin rezerv yerleri (URL-6)	47
Şekil 1.31. Betonun Gözeneğine Yerleşmiş Buz.....	50
Şekil 1.32. Geçirimlilik-hasar girişim diyagramı	53
Şekil 3.1. Serpantinit kayasının görüntüsü	76

Şekil 3.2. Serpantinit kayaçının sahadaki görünüşü	76
Şekil 3.3. Dolomitlerin görüntüsü	78
Şekil 3.4. Dolomitlerin sahadaki görüntüsü	78
Şekil 3.5. Baritlerin görüntüsü.....	80
Şekil 3.6. Baritlerin sahadaki görüntüsü.....	80
Şekil 3.7. Beton numunelerinin laboratuvarında basınç testine tabi tutulması.....	83
Şekil 3.8. Beton numunelerinin laboratuvarında ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı testi.....	85
Şekil 3.9. Boyutlandırılmış numuneler.....	90
Şekil 3.10. X ışınları ölçüm cihazı	90
Şekil 3.11 X ışını ölçülen numune.....	91
Şekil 3.12. Schmidt Çekici uygulaması.....	92
Şekil 3.13. Beton numunelerinin etüve konulması.....	93
Şekil 3.14. Beton numunelerinin etüvden çıkarılması.....	94
Şekil 3.15. etüvden çıkarılmış beton numuneleri	94
Şekil 4.1. Serpantinit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri.....	96
Şekil 4.2. Dolomit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri	96
Şekil 4.3. Barit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri	97
Şekil 4.4. Serpantinit katkılı ağır betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları.....	99
Şekil 4.5. Dolomit katkılı betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları	99
Şekil 4.6. Barit katkılı ağır betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları	100
Şekil 4.7. Numunelerin 90 günlük aşınma kayıpları	102
Şekil 4.8. 90 gün Sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin kütle kayıpları	104
Şekil 4.9 Numunelerin aşınma kayıplarının 90 günlük değerleri.....	105

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Bazı radyasyon kaynakları ve değerleri.	14
Çizelge 1.2. TS EN 206-1 'e göre beton sınıfları ve dayanımları	32
Çizelge 3.1. İri agregalar ve kum için standart değerler.....	71
Çizelge 3.2. Agrega tane sınıfına göre büyüklük dağılımı	71
Çizelge 3.3.	72
Çizelge 3.4. Tane büyüklüğü dağılımı.....	72
Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	73
Çizelge 3.6. Dolomitin Kimyasal analizi	79
Çizelge 3.7. Baritin kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	81
Çizelge 3.8. 1 m ³ Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları ve oranları.....	82
Çizelge 3.9. Beton numunelerinin basınç dayanımları.....	83
Çizelge 3.10. Beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı	86
Çizelge 3.11. %10 Na ₂ SO ₄ çözeltisinde bekletilen beton numuneleri	87
Çizelge 3.12. Betonun numunelerin yüzey aşınmalarının tayini	88
Çizelge 3.13. X ışını radyasyon geçirgenlik tayini.....	89
Çizelge 3.14. Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	92
Çizelge 3.15. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan harçların basınç dayanımları	95
Çizelge 4.1. Basınç dayanımları	103
Çizelge 4.2. Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	106
Çizelge 4.3. Farklı sıcaklıklarda elde edilen basınç dayanımları	107

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACR	: Kalker Alkali-Karbonat Reaksiyonu
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Kurumu
API	: Amerikan Petrol Enstitüsü
CH	: Karbon- Hidrojen
CaSH	: Kalsiyum Silikat Hidrat
CT	: X-Işınlarıyla Röntgen Çekimi ve Tomografi
EAF	: Ekonomik Araştırma Forumu
GBFS	: Nehir Kumu ve Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu
HPC	: Yüksek Performanslı Beton
PET	: Pozitronlar Kullanılarak Tomografi
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SPECT	: Fotonlar Kullanılarak Tomografi
TS EN	: Türk Standartları Avrupa Normları
UPV	: Ultrasonik Ses Dalga Hızı

1. GİRİŞ

Bu çalışmanın ana amacı radyasyon geçirgenliği düşük beton üretmektir. Beton sahip olduğu üstün dayanım, dayanıklılık ve ekonomik özellikleri sayesinde inşaat sektörünün en çok kullanılan yapı malzemesidir. Çimento, kum, su, farklı agrega çeşitleri, gerektiğinde mineral ve kimyasal katkıların kullanılması nedeniyle beton heterojen bir yapıya sahiptir. Kullanılan agregaların yoğunluklarına göre normal, hafif ve ağır beton olmak üzere üç sınıfa ayrılmaktadır (Ouda, 2015). Birim hacim ağırlıkları 3000-8000 kg/m³ arasında olan agregalar ile üretilen betonlar ağır beton olarak tanımlanmaktadır (Durmuş vd., 2000).

Nükleer santrallerin sayısındaki artış, savaşlarda kullanma olasılığı yüksek nükleer silahlar ve teknoloji ile birlikte radyasyon yayılımı yüksek cihazların artması radyasyon kaynaklı zararlı ışınlardan korunmak için önlemlerin alınması zorunluluğunu ortaya koymaktadır. Normal koşullarda teknoloji kullanımına bağlı radyasyon yayılımı ve nükleer saldırı, kazalar gibi etkenlere karşı da radyasyon etkisinden korunmak için inşaat sektörünün en yaygın yapı malzemesi olan betonun radyasyon etkisine karşı göstereceği performans büyük önem taşımaktadır (Yarar ve Bayülgen, 1994).

Ağır agregalar ile üretilen betonların birim ağırlıklarında meydana gelen artışların radyasyon etkisine karşı koruyucu özelliğini arttırdığı ifade edilmektedir. Alfa (α), Beta (β), Gama (γ), x ve nötron ışın ve parçacık yayımların ortaya çıkardığı zararlı etkilerinden korunmak için zırh adı verilen tabakalar oluşturulmaktadır (Çoşkun A., 2010)

Ortaya çıkan bu zararlı ışınların ağır betonlar tarafından tutulma özelliği bulunduğu belirtilmektedir. Dahiru (2008), yaptığı çalışmada barit agregalı ağır betonun radyasyon etkisine karşı kalkan görevi yaptığını belirtmiştir. Bashter ve vd., (1996) hematit, serpantin, ilmenit ve limonit agregaları ile üretilen betonların 2-10 MeV nötron ve 1.5-6 MeV gama ışınlarına karşı zırhlama özelliklerinin bulunduğu ifade edilmiştir. Demir (2010), ışın iletim yöntemi ile kolemanit, barit ve normal agrega ile üretilen betonların doğrusal ve kütle zayıflatma katsayılarında barit ve kolemanit katkılı betonların soğurucu özelliklerinin bulunduğu belirtmiştir (Dahiru, 2008; Bashter, I.I., Makarious, A.S., El-Sayed Abdo, A., 1996).

Akkurt ve diğerleri (2010) tarafından yapılan çalışmada, barit kullanılarak üretilen ağır betonların ve kurşunun (Pb, Z=82) gama ışınları üzerindeki etkileri incelenmiştir. ¹³⁷Cs ve ⁶⁰Co gibi kaynaklar ve NaI(Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak yapılan

deneylerde, betonların toplam doğrusal zayıflatma katsayıları 0,662 MeV, 1,172 MeV ve 1,332 MeV enerji seviyeleri için belirlenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, XCOM veritabanında bulunan 1 keV-100 GeV aralığındaki değerlerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışma, kurşun kadar olmasa da baritin ve barit içeren betonların gama ışınlarını etkili bir şekilde soğurabileceğini göstermektedir. Bu çalışmalar gibi literatürdeki diğer çalışmalardan da görüleceği üzere ağır betonun radyasyon etkilerine karşı daha yüksek direnç gösterdiği görülmüştür.

Kahramanmaraş bölgesi doğal taş rezervi bakımından zengin bir bölgedir. Barit, serpantinit ve dolomit vb. birçok kayaç türü bulunmaktadır. Bölgede bulunan Serpantinit, dolomit ve barit agregaları kullanılarak farklı oranlarda beton numune üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde X-ışını ile radyasyon geçirgenliği, mekanik ve bazı durabilite özellikleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kırmataş agrega ile üretilen normal beton numune (referans numune) ile serpantinit, dolomit ve barit agregaları ile üretilen beton numunelerin özellikleri karşılaştırılmış; dayanım ve radyasyon zırlama özellikleri açısından en iyi performansa sahip ağır beton belirlenmiştir.

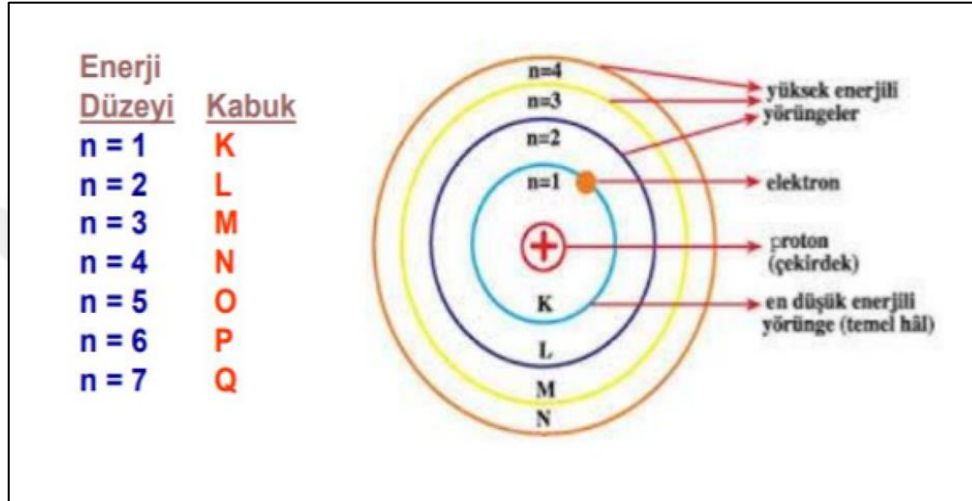
1.1. Radyasyon ile İlgili Temel Kavramlar

1.1.1. Atomun Yapısı

Bir kimyasal elementin tüm özelliklerini taşıyan en küçük parçası, atom olarak adlandırılmaktadır. Atom terimi, başlangıçta "bölünemeyen" anlamına gelmesine rağmen, modern bilimde atom, "atom altı parçacıkların birleşimi" olarak tanımlanmaktadır. Atom, temel olarak elektron, proton ve nötron olmak üzere üç bileşenden oluşur (Şekil 1.1). Atom, temel olarak elektron, proton ve nötron olmak üzere üç bileşenden oluşur. Atom çekirdeğinin etrafında, negatif yüklü bir elektron bulutu bulunur. Elektronlar, farklı enerji seviyelerinde bulunabilir ve foton salınımı veya emilimi gerçekleştirerek enerji seviyeleri arasında çeşitli geçişler yapabilmektedir.

Elektron, elementin kimyasal özelliklerini belirlemesinin yanı sıra atomun manyetik özelliklerinde belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Atom çekirdeğinde ise pozitif yüklü protonlar ve yüksüz nötronlar bulunmaktadır. Atomdaki proton sayısı kimyasal elementi olarak, nötron sayısı da bu elementin izotopu olarak tanımlanmaktadır. Her elementin en az bir radyoaktif bozunma gösteren izotopu bulunmaktadır. Atomdaki elektron sayısı proton sayısına eşittir ve bundan dolayı, atomlar elektriksel olarak

yüksüzdürler. Böylece, eğer elektron ve proton sayıları eşit değil ise bu parçacık iyon olarak adlandırılmaktadır. İyonlar ise oldukça kararsız yapıda, yüksek enerjilerinden kurtulmak için ortamdaki başka iyon ve atomlarla etkileşime girmektedirler. Herhangi bir dış etki olmadan, kendi kendine ışıma yapan atomlara radyoaktif atomlar, bu tür ışıma yapmalarına ise radyoaktivite adı verilmektedir. Radyoaktivitenin sebebi çekirdeğin kararsız oluşudur. Atom çekirdeklerinin kararlı ya da kararsız yapıda olmaları nötron ve protonların sayılarının farklılıklarıyla ilişkilidir (Ertaş, 2014).



Şekil 1.1. Atomun yapısı (URL-1)

Radyoaktivite: Fransız fizikçi Fİ. Becquerel 1896 yılında radyoaktiviteyi ilk defa keşfeden kişi olmuştur. Radyonüklidler, aşırı enerjilerini çevreye radyasyon yayarak dağıtarak radyoaktivite ya da radyoaktif bozunma sürecini gerçekleştirirler. Bir radyoizotopun aktivitesi ve bozunma oranı olarak adlandırılan bir ölçü ile tanımlanır. Bu aktivite, radyoaktif bozunma yasası kullanılarak hesaplanabilir ki bu da aşağıdaki denklem ile formüle edilmektedir.

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N$$

Formülde;

λ : Bozunma sabiti olarak tanımlanır.

N: Radyoaktif çekirdek sayısı,

Bir radyoizotopun birim kütlesi başına ölçülen aktivite, Spesifik aktivite (massic activity) olarak tanımlanır. Herhangi başka bir madde ile karışmamış saf bir radyoizotopun spesifik aktivitesi aşağıdaki bağıntı kullanılarak ölçülür.

$$\text{Spesifik aktivite} = \frac{\text{aktivite}}{\text{kütle}} = \frac{\lambda N}{NM/A_v} = \frac{\lambda A_v}{M}$$

Formülde;

A_v : Avagadro sayısı,

λ : Radyoizotopun bozunma sabiti,

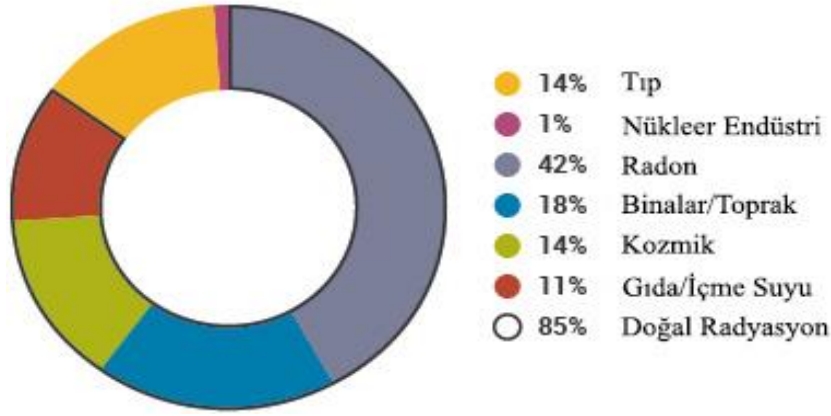
M : Numunenin moleküler ağırlığı olarak tanımlanmaktadır (Çelik, 2010).

Radyoaktif bozunma türleri:

- ✓ Alfa bozunması
- ✓ Beta bozunması
- ✓ Elektron yakalaması (K-Yakalaması)
- ✓ Nötron Yayını

Radyasyonun Kaynakları: İnsanlığın var olduğu günden beri, tüm canlılar radyasyona maruz kalmıştır ve hala maruz kalmaktadır. Bununla birlikte, çoğu insan çevremizdeki doğal ve insan kaynaklı radyasyon kaynaklarının farkında değildir. Radyoaktif bir dünyada yaşıyoruz dolayısıyla insanlar hep var ve radyasyon doğal ortamımızın bir parçasıdır. Dünyadaki materyallerden, havadaki doğal olarak oluşan radondan, dış alandan ve kendi bedenlerimizden radyasyona maruz kalıyoruz. Uzun bir süredir devam eden yoğun bilimsel çalışmadan sonra, radyasyon en iyi anlaşılan, kolayca algılanabilen, tüm çevresel ajanların kesin olarak ölçülen ve sıkı bir şekilde kontrol edilmesi gereken bir konudur. İnsan teknolojisinin sağladığı radyasyon, doğal olarak oluşan radyasyonla aynıdır. Bu radyasyonun çoğu, tıpta kullanılan X ışınlarından ve radyoaktif malzemelerden kaynaklanmaktadır. Madencilik, yanan yakıtlar ve binalar da radyasyon dozlarına katkıda bulunur. Radyasyon kaynakları her zaman etrafımızdadır. Bazıları doğal, bazıları ise insan yapımıdır. Bir kişi tarafından emilen radyasyon miktarı, doz cinsinden ölçülür. Bir doz radyasyon, vücut tarafından emilen adiasyon enerjisi miktarı kadardır ve bazı radyasyon kaynakları Şekil 1.2.'de verilmiştir.

Radyasyon Kaynakları



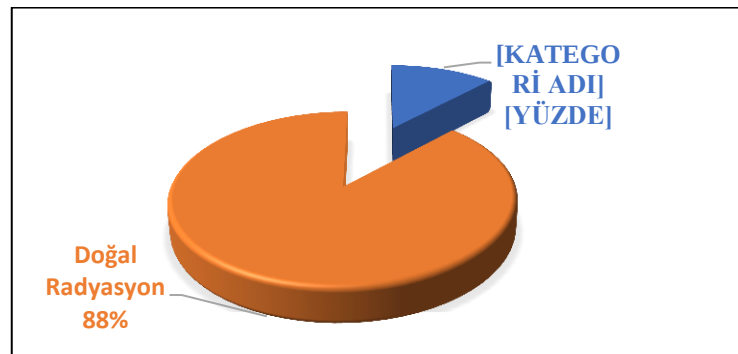
Şekil 1.2. Değişik radyasyon kaynakları (URL-1)

Tüm canlılar, sürekli olarak çevremizde var olan arka plan radyasyonu adı verilen bir radyasyon alanı içinde yaşamaktadır. Dünya genelinde, bir insana ortalama olarak yılda 2,4 mSv radyasyon etki etmektedir (UNSCEAR, 2000).

Sindirim ve solunum yolları ile vücudumuza giren su, besinler ve havadaki az miktardaki radyoaktif maddeler zamanla birçok hayati organlarda birikerek toksik hale gelmektedir. İnsan vücudu, kozmik ışınlardan ve doğal radyoaktif maddelerden kaynaklanan hem içsel hem de dışsal radyasyona doğal olarak maruz kalmaktadır. Canlıların maruz kaldığı radyasyonun kaynakları genellikle bu iki temel kaynaktan gelmektedir. Bunlar;

- ✓ Doğal radyasyon kaynaklar,
- ✓ Yapay radyasyon kaynaklarıdır.

Yapay, doğal radyasyonun kaynakları ve toplam salınan radyasyondaki payları Şekil 1.3.'deki grafikte gösterilmiştir.



Şekil 1.3. Dünyadaki radyasyon kaynakları (TAEK, 2018)

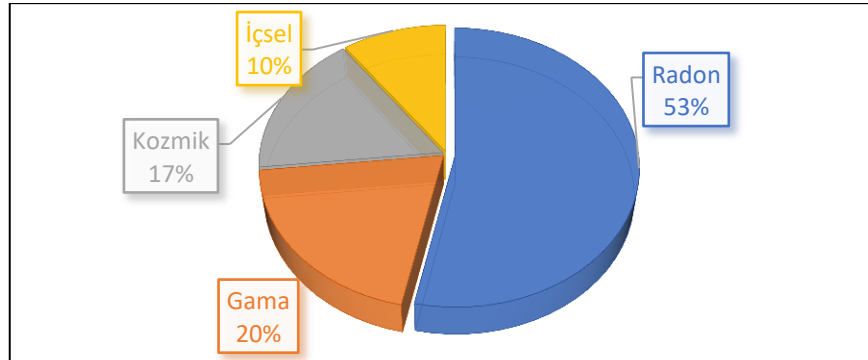
Doğal Radyasyon: Yer kürenin oluşumu ile birlikte, doğada bulunan milyarlarca yıl ömürlü radyoaktif elementler, yaşadığımız çevrede kaçınılmaz ve normal olarak kabul edilen doğal radyasyon düzeyi meydana getirmişlerdir. 20. Yüzyılda da bu doğal radyasyon ortamı, nükleer bomba denemeleri ve bazı teknolojik ürünlerin kullanımının artması ile önemli ölçüde artış göstermektedir (Kaçar, 2006).

Doğal arka plan radyasyonu, aşağıdaki üç kaynaktan gelir. Bunlar; kozmik, karasal ve iç radyasyon olarak sıralanabilmektedir.

Karasal radyasyon, doğal radyasyon kaynaklarından biridir ve Dünya'nın oluşumu sırasında veya daha sonra meteor veya göktaşları gibi elementlerin kayalara ve toprağa katılmasıyla ortaya çıkmaktadır. Bu radyasyonun temelini oluşturan radyoaktif elementler, doğadaki üç ana doğal radyoaktif seriden birine aittir: Torium (^{232}Th , $4n$), Uranyum (^{238}U , $4n+2$) ve Aktinyum (^{235}U , $4n+3$) serileri. Ayrıca, Neptünyum (^{241}Pu , $4n+1$) ile temsil edilen ve dördüncü bir seri olarak bilinen bir seri de bulunmaktadır. Ancak, bu seri günümüzde mevcut değildir çünkü ana çekirdeğin 14 yıllık yarılanma ömrü vardır. Doğal serilerdeki nüklitlerin yarılanma ömürleri, Dünya'nın yaşından daha uzun olduğu için bunlar "ezelden bugüne var olan" (primordial) nüklitler olarak adlandırılmakta, böylece seri sonundaki element kararlı olmaktadır (Temircik, 2015).

Bütün organizmalar, atmosferden ve besinlerden elde ettikleri radyoaktif çekirdekleri sürekli olarak metabolizmalarına dahil ederler. Bu radyoaktif nüklitler vücutta zamanla birikerek içsel radyasyona sebep olmaktadır. İçsel radyasyonun temelinde, seyrek olarak bulunan bir element olan ^{40}K 'nın rolü büyüktür.

Şekil 1.4.'te doğal radyasyonun kaynakları ve yüzde olarak dağılım oranları görülmektedir.



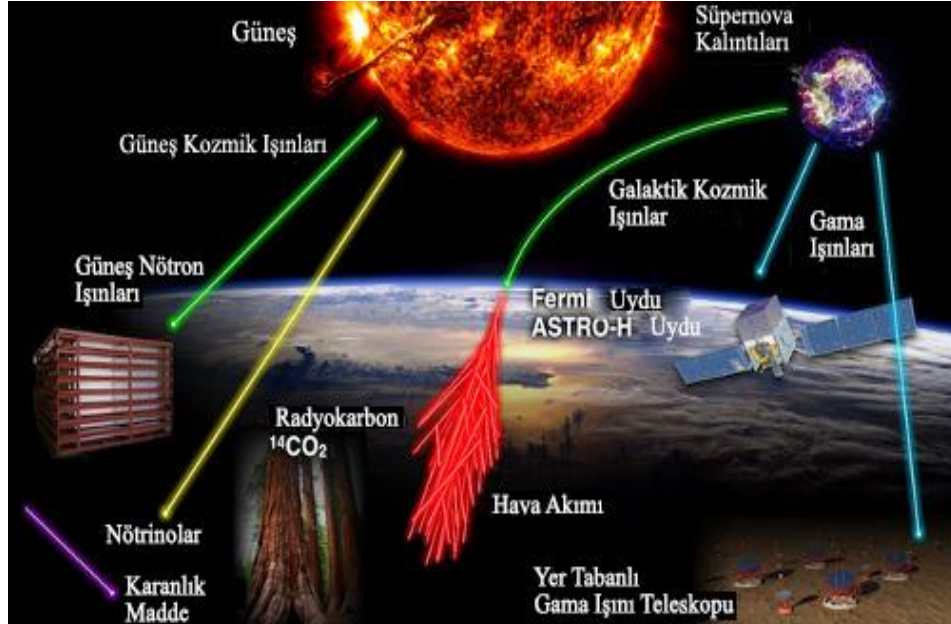
Şekil 1.4. Doğal radyasyon kaynakları (TAEK, 2018)

İnsan vücudundaki radyoaktif elementlerden, özellikle Potasyum-40 gibi radyoaktif elementlerden kaynaklanan içsel radyasyon, belli bir radyasyon dozuna maruz kalmamıza neden olmaktadır. Bu içsel radyasyona maruz kalma, genellikle yılda 0,23 mSv civarındaki seviyelerde gerçekleşmektedir (TAEK, 2018).

1.1.1.1. Kozmik Radyasyon

Kozmik radyasyon, genellikle güneş ve diğer yıldızlardan kaynaklanan yüklü iyonlardan oluşmaktadır. Bu radyasyonun kaynakları arasında helyum çekirdekleri, protonlar, elektronlar ve daha az oranda yüksek enerjili fotonlar bulunmaktadır. Kozmik radyasyonun çeşitli türleri, enerjilerine bağlı olarak atmosfer bileşenleriyle etkileşime girerek X ışını, elektron, proton, alfa tanecikleri ve nötronlar gibi ikincil radyasyonları meydana getirir. Bunun yanı sıra, atmosferdeki elementlerin mutasyonları sonucunda yeni çekirdekler oluşur ve bu çekirdekler kozmojenik nüklitler olarak adlandırılır. Önemli kozmojenik nüklitler arasında ^7Be , ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{22}Na , ^{33}P ve ^{33}S bulunmaktadır (Appleby, et 1993).

Güneş ve yıldızlar, sabit bir yağmur çiselemesi gibi, Dünya'ya sabit bir kozmik radyasyon akımı gönderir (Şekil 1.5.). Yükseklik, atmosferik koşullar ve Dünya'nın manyetik alanı arasındaki farklar, alınan kozmik radyasyonun miktarını değiştirebilir (URL-2).

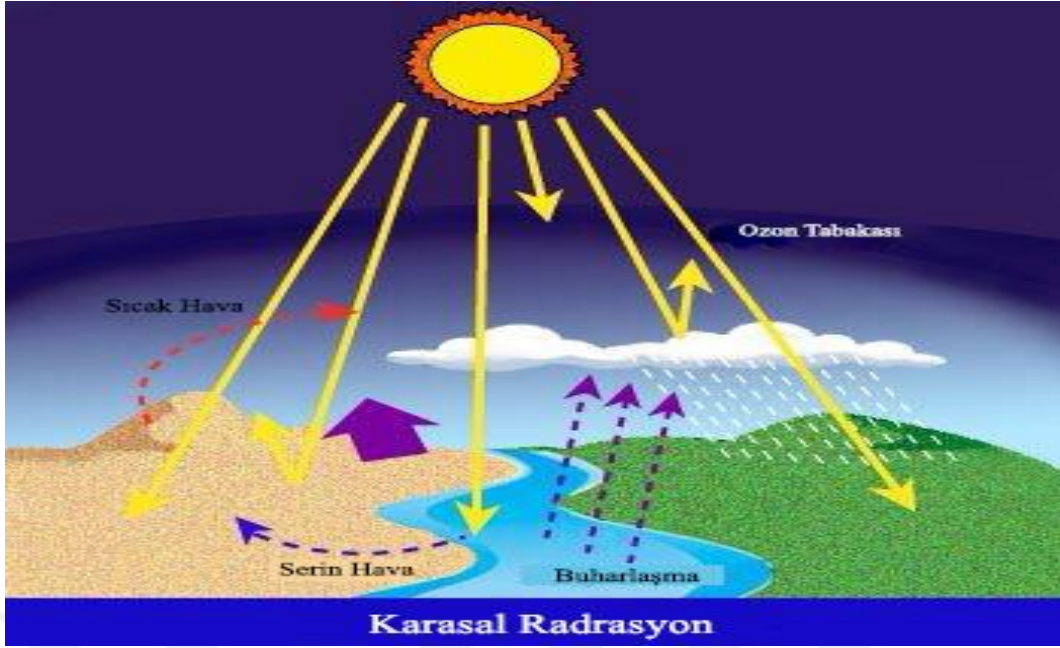


Şekil 1.5. Kozmik radyasyon kaynakları (URL-2)

Karasal Radyasyon: Dünyanın kendisi karasal radyasyon kaynağıdır. Radyoaktif maddeler toprakta ve kayada doğal olarak bulunur. İnsanlar doğal kökenli kaynaklardan aldığı karasal radyasyonunun çoğunu radondan almaktadır. Ayrıca, su içerisinde az miktarda çözünmüş uranyum ve toryum bulunurken, tüm organik maddeler ise radyoaktif karbon ve potasyum içermektedir. Bu malzemelerin bazıları yiyecek ve suyla yutulurken radon gibi gazları solunur.

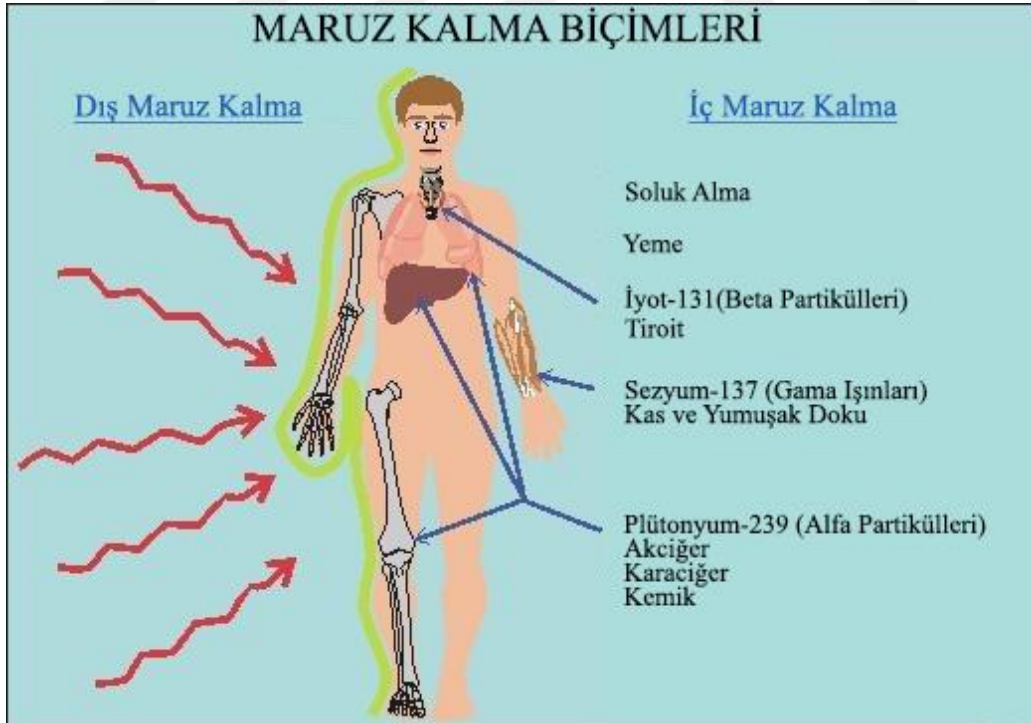
Fosil yakıtlar, doğal ve uzun ömürlü radyoaktif elementlerin bulunduğu bir kaynaktır ve bu elementler, yakıtın içinde tutulduğu sürece genellikle radyasyon tehlikesi oluşturmazlar. Fakat, fosil yakıtlar yakıldığında, içinde bulunan radyoaktif elementleri atmosfere salarlar ve sonra toprağa geri dönerek doğal radyasyon seviyesinde hafif bir artışa yol açmaktadırlar. Bu süreçte, doğada doğal olarak bulunan ömürleri kısa radyoaktif elementlerin saldığı gama ışınları ek bir etki yaparak, topraktan aldığımız radyasyon dozunu ortalama 0,46 mSv/yıl seviyesine çıkarmaktadır. Besinlerden ve soluduğumuz havadan kaynaklanan radyasyon dozu ise ortalama 0,25 mSv/yıl olarak hesaplanmaktadır. Diğer gıdalara kıyasla kabuklu yiyecekler, fazla radyoaktif madde içerir ve böylece bu ürünleri aşırı tüketen bireyler, ortalama radyasyon dozunun üzerinde bir maruziyet yaşayabilmektedir. Doğal radyasyon seviyesini artıran en önemli faktörlerden biri, yer kabuğunda yaygın olarak bulunan radyoaktif radyum elementinin bozunması sırasında salınan radon gazıdır. Bu bozunma sürecinde ortaya çıkan diğer radyoaktif maddeler toprağın derinliklerinde kalırken, radon gazı yüzeye doğru yükselmektedir. Radon gazı, yayılarak seyrelirse herhangi bir sağlık sorunu meydana getirmez, Radon gazının yoğun olarak meydana geldiği bölgelerde binalar sıkça havalandırılmalıdır. Aksi takdirde bina içerisindeki radon gazı miktarı bina dışına göre 100 kat bazen 1000 kat daha fazla olabilmektedir. Bu tür yüksek miktarda radon gazı bulunan binalarda yaşayan kişilerde akciğer problemleri görülebilmektedir. Radon gazı dışında doğal radyasyon seviyeleri genellikle sağlık üzerinde zararlı bir etkiye sahip değildir. Dünya genelinde radon gazına maruz kalma ortalaması yılda 13 mSv'dir (TAEK, 2018; Sevinç, 2011).

Karasal kaynaklardan gelen doz, dünyanın farklı bölgelerinde değişmektedir, ancak daha yüksek toprak konsantrasyonlarında uranyum ve toryum bulunan yerler genellikle daha yüksek dozlara sahiptir (Şekil 1.6.).



Şekil 1.6. Karasal radyasyon kaynakları (URL-2)

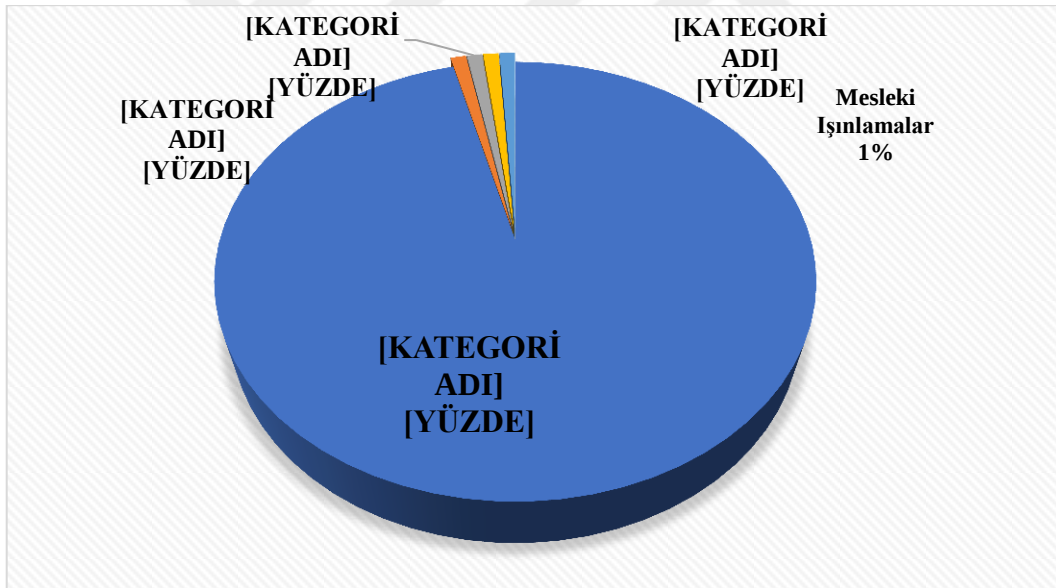
İç Radyasyon: Bütün insanlar iç radyasyona sahiptir, İnsanların vücudu doğuştan temel olarak radyoaktif potasyum-40 ve karbon-14 içerir. Dozdaki farklılık kozmik ve karasal kaynaklı radyasyonda olduğu gibi kişiden kişiye değişmez (Şekil 1.7.).



Şekil 1.7. İç radyasyon kaynakları (URL-2)

İnsan Yapımı (Yapay) Radyasyon: Günümüzde, özellikle nükleer teknolojiye ilerlemelerle birlikte, çekirdek kaynaklı veya çekirdek kaynaklı olmayan, örneğin X-ışınları gibi, radyasyonların kullanımı birçok alanda yaygınlaşmıştır. Nükleer reaktörler kullanılarak radyoizotop ve enerji üretiminde, çeşitli hastalıkların teşhislerinde ve tedavilerinde, endüstride kalite kontrol ve denetleme tespitinde, üretimi yapılan çeşitli ürünlerin içyapılarının denetiminde, gıda sahasında sterilizasyonda, kaynak kalitesinin kontrolünde ve buna benzer birçok alanda radyasyon kaynakları kullanılmaktadır. Kullanım alanlarının çeşitliliğindeki fazlalık çeşitli yapay radyoizotopların üretilmesinin ihtiyacını meydana getirmiştir. Böylece dışarıdan bir müdahaleyle, insanlar tarafından ortaya çıkarılan radyasyon türüne yapay radyasyon adı verilir.

İnsan etkisiyle oluşan radyasyonun ya da başka bir deyişle yapay radyasyonun fiziksel doğası ve etkisi doğal radyasyonunki ile aynı olduğu görülmektedir. Şekil 1.7’de etkisi altında kalınan yapay radyasyonun toplamını oluşturan temel kaynaklar ve oranları gösterilmektedir.



Şekil 1.8. İnsan yapımı (yapay) radyasyon kaynakları (URL-2)

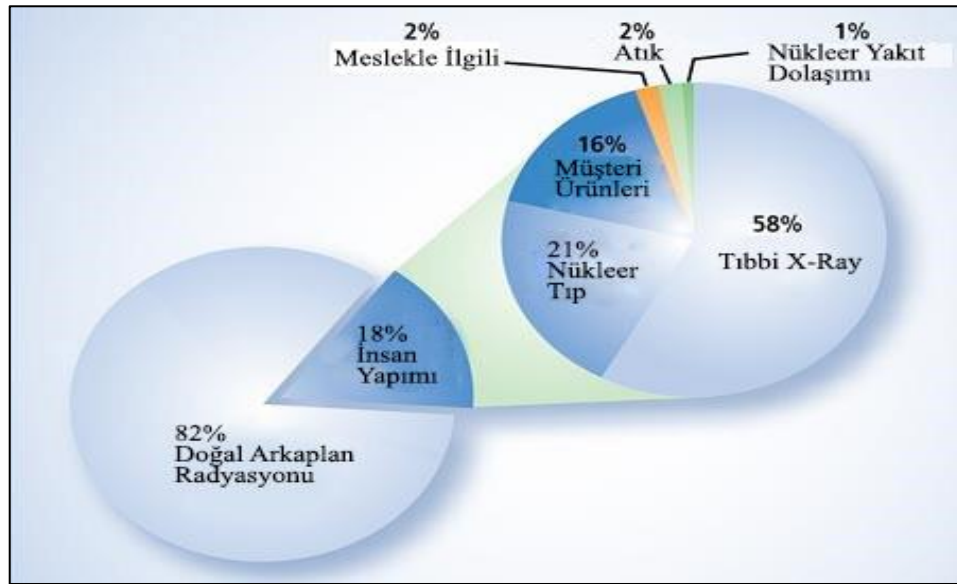
Yapay radyasyonun büyük bir kısmı Şekil 1.8’de gözlendiği gibi, tıbbi uygulamalardan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra, atmosferde ve yeraltında yapılan nükleer silah denemeleri sonucunda meydana gelen serpintiler, silah malzemelerinin üretim süreci ve Çernobil gibi reaktör kazaları da yapay radyasyon kaynakları arasında yer almaktadır. (UNSCEAR, 2000).

Maruziyet yaratan radyasyonun doğal ya da yapay kaynaktan gelmesi çekirdek kökenli bir olay olduğunu değiştirmeyecektir. Dolayısıyla, bu nükleer radyasyon olarak adlandırılan ışımlar, fiziksel bir süreç olup, radyoaktif bozunma sürecinin bir ürünü olmaktadır (Akyıldırım, 2011).

Doğal olmayan radyasyon kaynakları, doğal radyasyon kaynakları gibi belirli bir radyasyon dozuna maruz kalmaya neden olur. Ancak, bu doz miktarı, ihtiyaca bağlı olarak artabilir, ancak doğal kaynaklardan alınan doza kıyasla çok daha düşüktür. Doğal radyasyon kaynaklarının aksine, doğal olmayan kaynaklar tamamen kontrol altındadır ve bu da alınan doz miktarı açısından önemli bir avantaj sağlar.

Şekil 1.8.'de görüldüğü gibi tıp dünyasında, endüstriyel ve zirai amaçla kullanılan yapay radyoaktif maddeler ve X-ışınları, nükleer silah denemeleri sonucunda meydana gelen nükleer serpintiler çok olmasa da nükleer güç üretiminden salınan radyoaktif maddeler ve bazı tüketici ürünlerinde kullanılan radyoaktif maddeler, bilinen başlıca yapay radyasyon kaynaklarıdır (UNSCEAR, 2000).

İyonlaştırıcı radyasyon da çeşitli tıbbi, ticari ve endüstriyel faaliyetlerde üretilir. En tanınmış ve en büyüğü tıbbi röntgendir (Şekil 1.9.). Doğal radyasyon yıllık dozun yaklaşık %88'ine katkıda bulunur yapay olanlar yani insan kaynaklı olanlar ve genelde tıbbi işlemler yoluyla oluşan ise %12' dir. Doğal ve çoğu yapay ışıının etkisi farklı değildir.

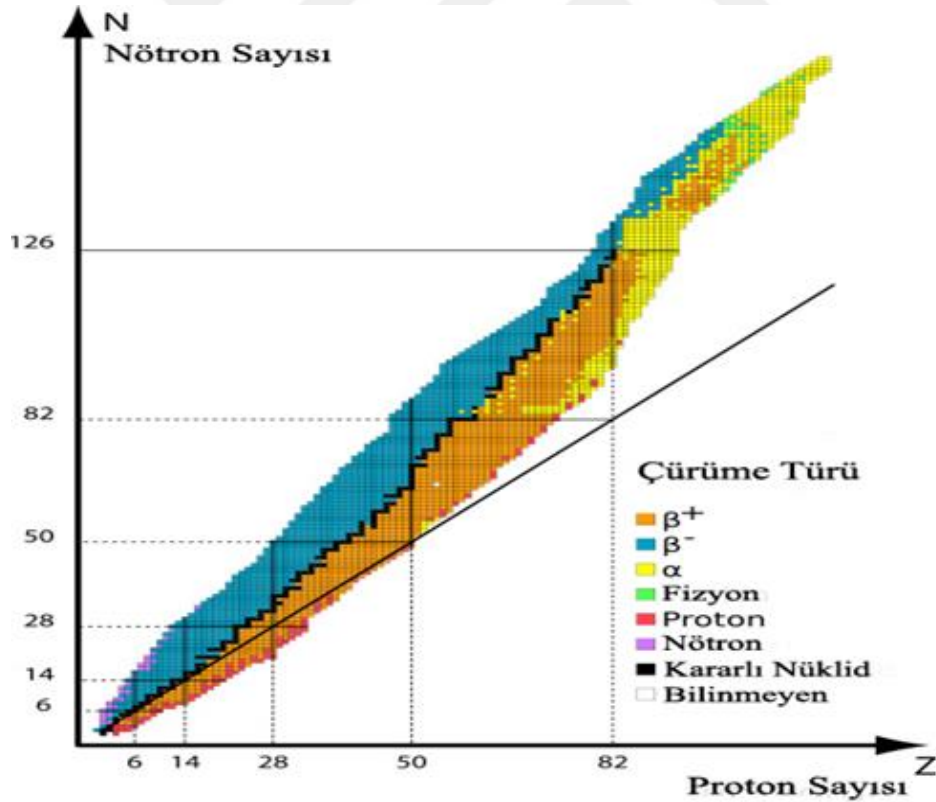


Şekil 1.9. Doğal ve yapay radyasyon oranları (URL-2)

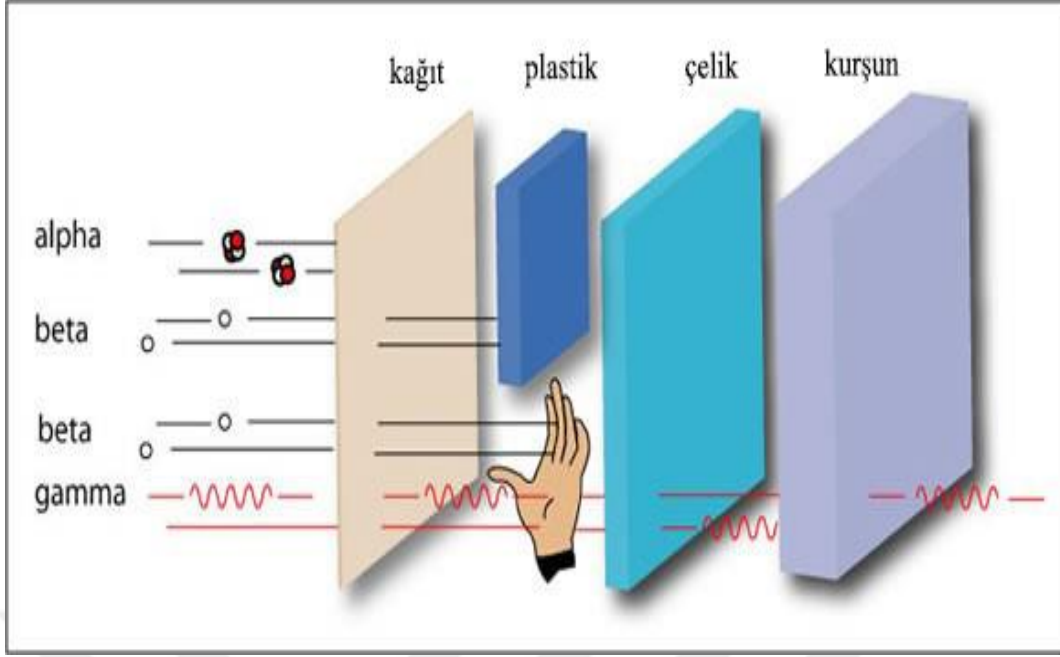
Radyasyon ve Radyoaktif Bozunma: Radyasyon uzayda yolculuk eden enerjidir. Güneş ışığı en çok tanınan radyasyon biçimlerinden biridir. Güneş, ışık, sıcaklık ve güneş ışınlarını sağlar. Yazın güneşin bu etkisine karşı güneş gözlüğü, gölge, şapka, açık renk kıyafetler ve güneş koruyucu kremler ile vücudumuzu korumaya çalışırız. Çok fazla güneş ışığı olmadan Dünya'da bir hayat olmazdı, ancak artan bir şekilde ona maruz kalmanın da iyi bir şey olmadığı zaman içinde anlaşıldı.

Güneş ışığı, çeşitli dalga boylarında radyasyondan oluşur. Uzun dalga kızılötesi ile kısa dalga boylu ultraviyole ışınları önemli tehlike oluşturur. Ultraviyole daha yüksek enerjili radyasyon türüdür. Tıpta kullanılır ve hepimiz uzaydan, havadan ve topraktan düşük dozlarda alırız. Toplu olarak bu tür radyasyona iyonlaştırıcı radyasyon diyebiliriz. Canlı ve cansız her şeye zarar verebilir. Bu nedenle yüksek seviyelerde tehlikelidir. Bu yüzden güneşin bu etkisiyle çok fazla yüz yüze gelmemek gerekir.

Şekil 1.10'da radyoaktif bozulmaların kabiliyeti, Şekil 1.11'de bazı malzemelerin radyoaktif etkiye dirençleri gösterilmiştir.



Şekil 1.10. Radyoaktif bozulmaların kabiliyeti (URL-2)



Şekil 1.11. Bazı malzemelerin Radyoaktif etkiye dirençleri (URL-2)

Canlılar, önemli miktarda iyonlaştırıcı radyasyon içeren birçok ortamda gelişmektedir. Ayrıca çoğumuz, yaşamımızı ve sağlığımızı yapay olarak üretilen bu tür radyasyona borçlu olduğumuzu kabul etmekteyiz. Tıbbi ve diş röntgenleri, görünmeyen sağlık problemlerini görmeye yardım etmektedir. Hastalıkları teşhis etmek için diğer iyonize edici radyasyon türleri kullanılır ve bazı kişilere hastalığın tedavisi için radyasyon tedavisi uygulanır. Hepimiz bu tür radyasyonun dikkatlice kullanılmasıyla mümkün kılan çok sayıda ürün ve hizmetten faydalanıyoruz.

Arka plan (görünmeyen) radyasyonu, çevremizde doğal ve kaçınılmaz olarak bulunan iyonlaştırıcı radyasyondur. Bunun seviyeleri büyük ölçüde değişebilir. Granit kayaların yoğun olduğu bölgelerde veya mineralli kumlarda yaşayan insanlar daha fazla karasal radyasyon alırken diğerlerinden daha yüksek irtifalarda yaşayan veya çalışan insanlar daha kozmik radyasyon alırlar. Sağlık için son derece tehlikeli olan radon gazı, Dünya kabuğundan sızan ve soluduğumuz havada bulur.

Radyasyon ölçümü son derece önemli bir çalışma olmuştur. Becquerel (Bq sembolü) radyoaktivite birimidir. Bir Bq, bir çekirdeğin bulunduğu bir miktar radyoaktif maddenin saniye başına bozulma aktivitesini tanımlar. Radyoaktivitenin keşfini yapan ve Nobel Ödülünü Becquerel, Pierre ve Marie Curie ile yaptığı çalışmalarından dolayı paylaştığı bu birim tanımlanmıştır. Bazı radyasyon kaynakları ve değerleri Çizelge 1.1’ de verilmektedir.

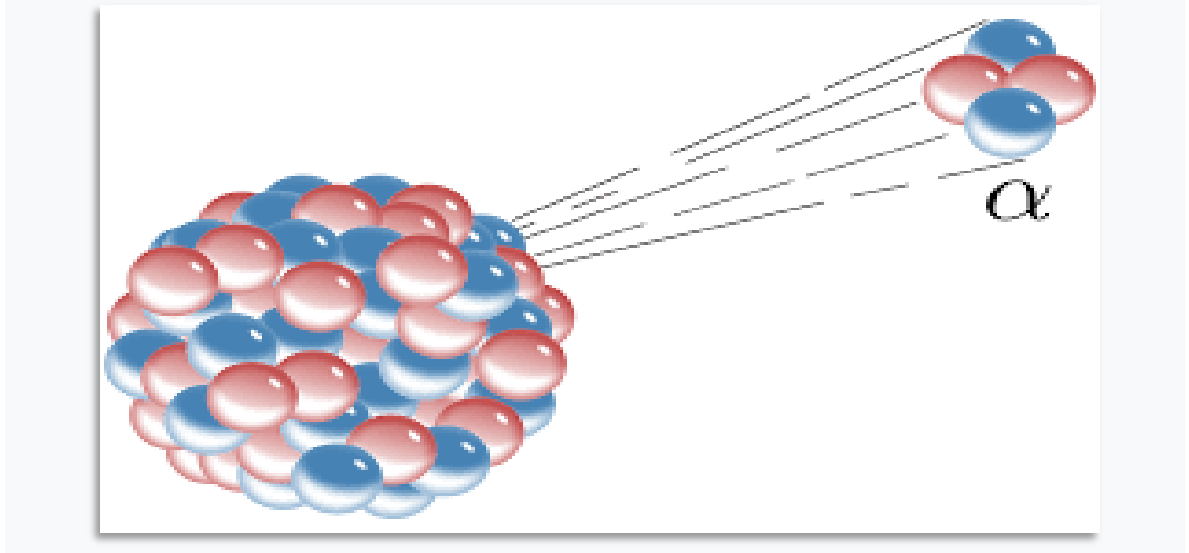
Çizelge 1.1 Bazı radyasyon kaynakları ve değerleri (Bq) veya (MBq)(Hall ve Giaccia, 2006).

Kaynak	Radyasyon miktarı
1 yetişkin insan (100 kg)	7000 Bq
1 kg kahve	1000 Bq
1 kg süperfosfatlı gübre	5000 Bq
100 metrekairelik evde (radon) hava	3000Bq
1 ev duman dedektörü	30.000Bq
Tıbbi tanı için radyoizotop	70 MBq
Tıbbi tedavi için radyoizotop kaynağı	100.000.000 MBq
1 kg 50 yıllık yüksek seviyeli nükleer atık	10.000.000 MBq
1 ışıklı EXIT işareti	1.000.000 MBq
1 kg uranyum	25 MBq
1 kg düşük seviye radyoaktif atık	1 MBq
1kg kömür külü	2000
1 kg granit	1000

Alfa Radyasyonu: Alfa parçacıkları atom çekirdeği şeklinde proton ve iki nötron olarak iki taneden oluşur (Şekil 1.4). Pozitif bir elektrik yüküne sahipler ve uranyum, radyum gibi doğal olarak oluşan ağır elementlerden ve bazı yapay elemanlardan yayılırlar. Nispeten büyük boyutlarından ötürü, alfa parçacıkları maddeyle kolayca çarpışır ve hızlı bir şekilde enerji kaybeder. Bu nedenle penetrasyon gücü çok düşüktür ve cildin ilk katmanı veya bir parşömen sayfa kâğıdı tarafından durdurulabilir. Bununla birlikte, alfa kaynakları vücuda, örneğin radyoaktif tozu solumak veya yutmak yoluyla alındığında, alfa parçacıkları vücudun hücrelerini etkileyebilir. Enerjilerini nispeten kısa bir mesafede bıraktıkları için, vücut içindeki alfa parçacıkları diğer radyasyon türlerine göre vücuda vereceği biyolojik hasar daha şiddetli olabilir.

Alfa bozunması, bir atomun çekirdeğinde gerçekleşen bir reaksiyondan kaynaklanır ve elektronların etkisinden 7300 kat daha ağır olarak belirtilebilmektedir. Doğal olarak, atom numarası 83'ten büyük olan elementlerde meydana gelirler. Alfa ışınlarının çift yüklü (++), büyük kütleli, düşük hızlı oldukları için enerjilerini kısa mesafelerde kaybederler. Havada bir alfa ışını, 1 cm boyunca 1000 iyonizasyon yapabilir ve güçlü bir alfa parçacığının havada kat ettiği mesafe yaklaşık olarak 10cm

uzunluğundadır. Ancak çok yoğun materyallerde ise bu mesafe daha kısa olabilmektedir. Alfa ışınları, bir kâğıt yaprağı tarafından durdurulabilmektedir. Bu nedenle insan derisinin dış tabakasını geçemediklerinden vücut dışında bir tehlike oluşturmazlar. Ancak, inhalasyon yoluyla vücuda alındıklarında, küçük doku bölgelerinde ciddi zararlar meydana getirebilirler (Lombardi, 2006).



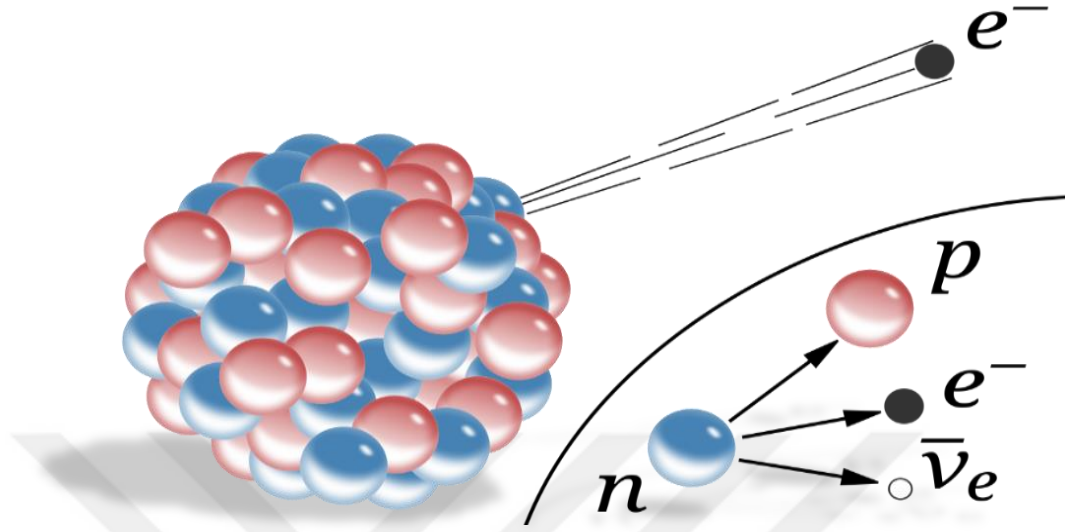
Şekil 1.12. Alfa Parçacıkları (URL-3)

Beta Radyasyonu: Beta parçacıkları, çekirdekten salınan ve elektrona benzer bir kütleye sahip olan parçacıklardır. Beta ışınları, negatron (negatif yüklü) ya da pozitron (pozitif yüklü) olabilmektedir. Bunların, daha hızlı ve tek yüklü olmaları beta parçacığının alfa ışınına göre hava ve dokuda daha yüksek oranda bulunmasına neden olur. Ortalama bir enerji seviyesindeki beta ışınının havadaki etkileşim mesafesi yaklaşık 3 metredir. Eğer beta ışını çekirdeğe yakın geçerse, çekirdeğin pozitif yüküyle etkileşime girer, ani bir hız kaybı yaşar ve bu sırada sahip olduğu kinetik enerji "bremsstrahlung radyasyonu" adı verilen X ışını olarak açığa çıkmaktadır.

Bu şekilde gelişen radyasyonlar büyük atom numaralı maddelerle etkileşimlerde daha yoğun olarak ortaya çıktığından, beta ışınlarından korunmak için düşük atom numaralı maddeler tercih edilmelidir. Beta ışınları, yeterli enerjiye sahip olduklarından hem vücut içinde hem de dışında tehlike oluşturabilirler. Özellikle cilt ve göz için vücut dışı radyasyon kaynağı olarak büyük bir risk taşımaktadır.

Beta partikülleri, atomun çekirdeği etrafında en hızlı hareket eden elektronlar olarak izlenir. Bu parçacıklarda alfa parçacıklarından çok daha küçüktür ve 1 ila 2

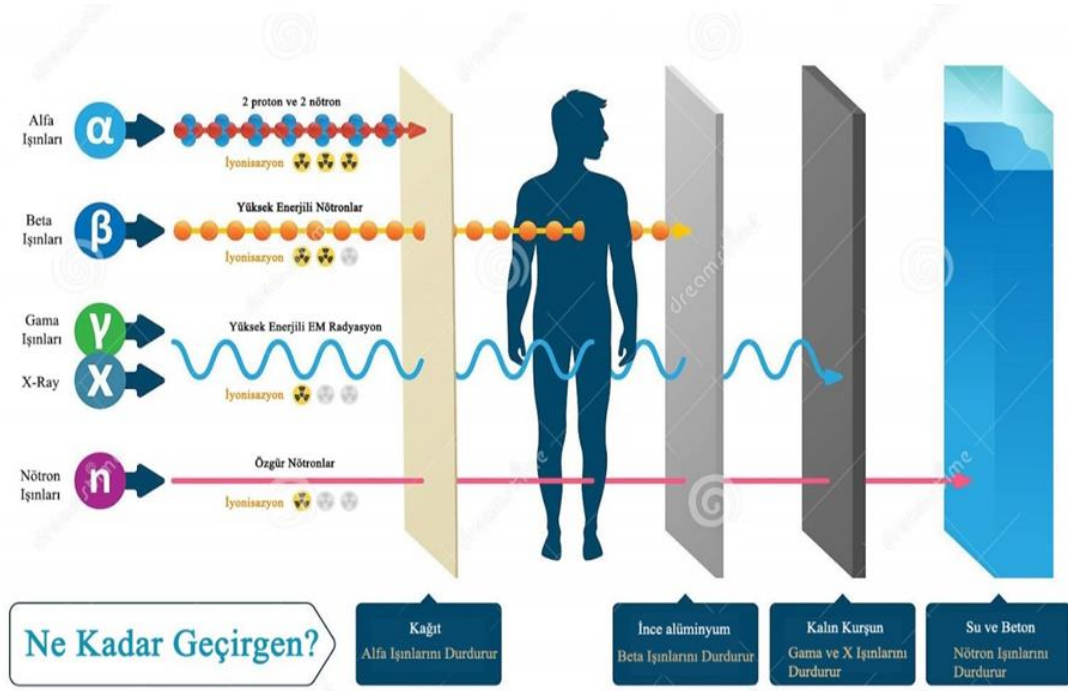
santimetreye kadar su veya insan derisine nüfuz edebilir. Birkaç milimetre kalınlığında bir alüminyum levha ile durdurulabilirler (Şekil 1.13.).



Şekil 1.13. Beta Parçacıkları (URL-3)

Gama ve X-Ray Işını: Gama ışınları, atom çekirdeğinin bozunması sırasında salınan elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanmaktadır. Bu bozunma sürecinde, atomun kütle numarası veya atom numarası değişmemektedir. Gama ışınları, ışık hızında hareket ederler ve enerjileri çok yüksek olduğundan, maddeyle etkileşime girene kadar uzun mesafeler kat etmektedir. Bu özellikleri nedeniyle, gama ışınları çok derinlemesine nüfuz edebilirler ve durdurulabilmeleri için kalın beton veya kurşun bloklar gibi yoğun malzemeler kullanmak gerekmektedir.

Gama ve X-Ray, malzemenin hareketi olmadan bir dalga içinde iletilen enerjiyi temsil eder. Bir ateşten veya güneşten gelen ısı ve ışık uzayda yolculuk eder. X-Ray ve gama ışınları, X çekirdeğinin atom çekirdeğinden gelmek yerine genellikle yapay olarak üretilir. Ancak ışığın aksine, bu ışınların nüfuz etme gücü büyüktür ve insan vücudundan geçebilir. Bu ışınlardan korumak için ağır beton veya kurşun kütle kullanılmaktadır (Şekil 1.14.).

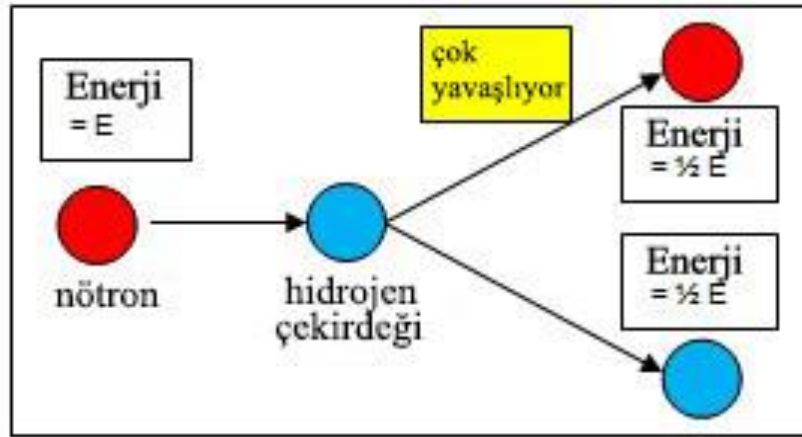


Şekil 1.14. Gama ve X-Ray Işınları (URL-4)

Elektron Yakalanması (K-Yakalanması): Elektron yakalanması, bir atomun çekirdeği tarafından yörünge elektronlarından birinin yakalanması süreci olarak tanımlanabilir. Böylece elektron, çekirdekteki bir protonla birleşerek bir nötrona ($p^+ + e^- \rightarrow n$) dönüşmektedir. Bu durum, atomdaki bir proton sayısının azalmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde β^+ bozunmasına, çekirdek tarafından yörüngedeki bir elektronun yakalanması sürecine benzetilmektedir. Elektron yakalanması, çekirdek tarafından yakalanan elektron yörüngesinde bir elektron boşluğu oluşturmasıyla karakterizedir. Bu durum, yörüngelerin birbirleri arasında elektron geçişlerini başlatır ve bunun sonucunda X-ışınları ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle, elektron yakalanması iki aşamalı bir olaydır. İlk aşamada, elektron çekirdek tarafından yakalanır ve atomu uyarılmış bir durumda bırakmaktadır. İkinci aşamada ise elektromanyetik radyasyon yayınlanır. Elektron yakalanması olayında genellikle iç tabaka, yani K tabakası elektronları yakalanır ve bu nedenle bu olay "K yakalanması" olarak adlandırılır. Bu olay, genellikle β^+ bozunmasına uğrayan atomlar için alternatif bir bozunma şeklidir ve proton sayıları fazla olan kararsız çekirdeklerin çoğu zaman bu iki bozunma yolundan birini seçme olasılıklarına sahiptir (Yülek, 1992).

Nötronlar: 1932 yılında James Chadwick tarafından keşfedilen bir olgu olan çekirdeklerin yapısında bulunan nötronlar, hafif elementlerin α -ışınları ile bombardıman edilmesi sonucunda meydana gelir. Nötron, genellikle yapay yollarla üretilen, atom çekirdeğindeki pozitif yüklü protondan biraz daha ağır olan bir parçacıktır. Kozmik ışınların bir bileşeni olarak doğada bulunmalarının yanı sıra nötronlar, elektriksel olarak yüksüz oldukları için doku ya da madde ile etkileştiklerinde beta ya da gama radyasyonlarının yayılmasına sebep olarak oldukça girici özellik göstermektedirler.

Nötronlar aynı zamanda çok nüfuz edici olan parçacıklardır. Dünyada çoğunlukla bir nükleer reaktör içindeki belirli atomların bölünmesi veya bölünmesi sonucu ortaya çıkarlar. Beton ve su, nükleer reaktörün çekirdeğinden yayılan nötron radyasyonuna karşı en yaygın kullanılan kalkanlardır. Alfa, beta, gama ve X ışınımının vücuda veya başka herhangi bir materyalin radyoaktif hale gelmesine neden olmadığını anlamak önemlidir. Bununla birlikte, doğal hallerinde bulunan çoğu malzeme ölçülebilir miktarda radyoaktivite içermektedir (Şekil 1.15.).



Şekil 1.15. Nötronlar (URL-4)

Radyasyon: Radyoaktif ışınlar, hastalıkların tanısı ve tedavisi, sanayide tahribatsız kontrol, endüstriyel radyografi uygulamaları, proses kontrolü, nem-yoğunluk ölçümleri, petrol aramaları ve nükleer güç santrallerinin kullanımıyla elektrik enerjisi üretme gibi geniş bir yelpazede kullanılmaktadır. Radyasyon uygulamaları bir dizi avantaj sunsa da aynı zamanda zararlı etkileri de içermektedir.

Röntgen'in 1895 yılında X ışınlarının keşfetmesinden hemen sonra zararlı etkileri de ortaya çıkmaya başlamıştır. X ışınlarına uzun süre maruz kalan bireylerde, çeşitli deri reaksiyonları, saç ve kıl dökülmesi gibi etkilerin yanı sıra daha ciddi sağlık sorunlarına da

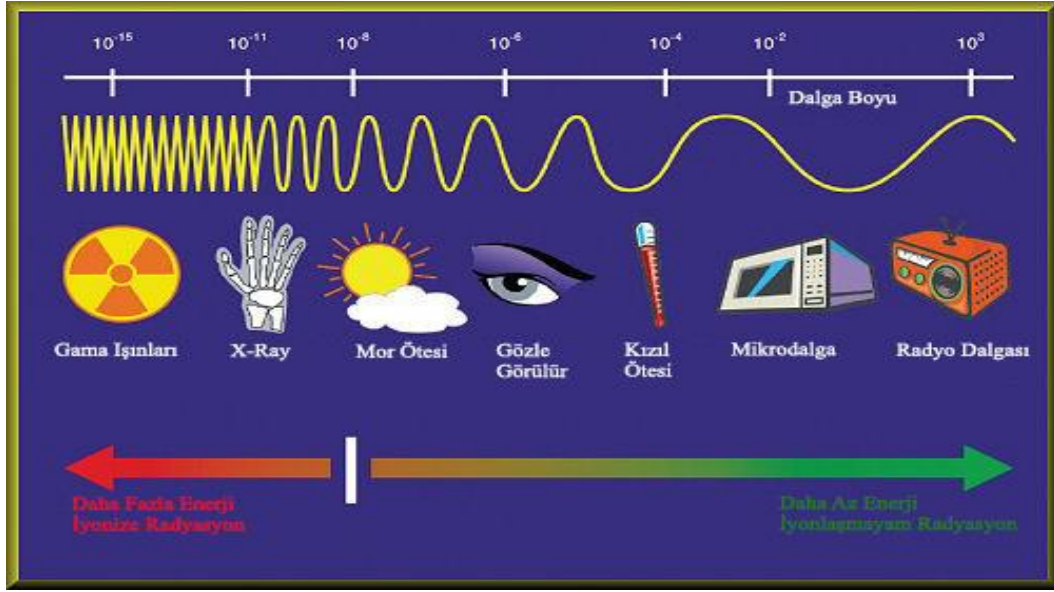
sıkça rastlanmıştır. Radyasyon, enerjinin ortamda yol aldığı bir tanım olarak ifade edilebilir. Bu bağlamda, yapay veya doğal radyoaktif çekirdeklerin kararlı bir yapıya geçmek için dışarıya saldıdığı yüksek enerjili parçacıklar ve elektromanyetik dalga biçiminde taşıdığı fazla enerji, genel olarak "radyasyon" olarak tanımlanmaktadır (Çelik, 2013).

Radyasyon soğurulması (γ ışını soğurulması): Radyasyon, elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar şeklinde yayılan enerjidir. Radyasyonun sınıflandırılması, atomlar üzerindeki etkilerine dayanır. İyonlaştırıcı radyasyon, atomlardan elektron kopararak iyonlaşmaya neden olurken, iyonlaştırıcı olmayan radyasyon bu enerjiye sahip değildir. Bu ayrım, radyasyonun biyolojik ve tıbbi etkilerini anlamak için önemlidir. Radyasyonlar, maddeki atomları iyonlaştırabilme özelliklerine göre iki genel sınıfta incelenir: iyonlaştırıcı olanlar ve iyonlaştırıcı olmayanlar.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar ile iyonlaştırıcı radyasyonların enerjisi kıyaslandığında iyonlaştırıcı radyasyonların enerjisi küçüktür. Bu tür radyasyonlar, madde içinden geçerken yüklü iyonlar oluşturmada, moleküler ve atomik düzeyde döngüsel, titreşimsel veya elektronik değeri değıştirmektedir. Canlı organizmalar üzerinde çeşitli iyonlaştırıcı olmayan radyasyonların farklı etkileri bulunmaktadır.

İyonlaştırıcı olmayan radyasyonlar, ısı enerjisi transferi yoluyla maddenin sıcaklığını artırarak termal iyonizasyona yol açabilmektedir. Örneğin, bir ateşteki alevin iyonizasyonu ve kızartma tipi yiyeceklerin pişirme işlemi sırasında besin maddesinde meydana gelen kızılötesi radyasyon, termal iyonizasyona örnek verilebilir (Şekil 1.16).

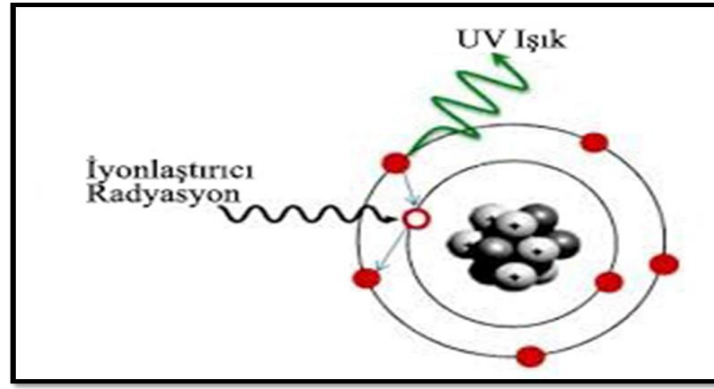


Şekil 1.16. İyonlaştırıcı olmayan radyasyon (URL-4)

Bu tür radyasyonlar maddeyle etkileşir, ancak madde atomlarının (veya moleküllerinin) iyonlaştırılacak kadar yüksek enerjiye sahip değildir. Bu nedenle elektronik yapılarında bir değişikliğe yol açmazlar. Kızılötesi ve yakın morötesi ışınlar, görünür ışık, mikrodalgalar ve radyo dalgaları kategori olarak sıralanmaktadır. Bahsedilen elektromanyetik radyasyon türleri, iyonlaşma etkisi yaratmasalar da madde atomlarını uyarabilir. Atom, yüksek enerji seviyesine çıkabilir ve daha sonra minimum seviyeye dönmek için aldığı enerjiyi geri verebilir. Bu şekilde davranan radyasyonun zırlaması daha kolaydır, çünkü düşük enerjileri nedeniyle girici olmamaktadır.

1.1.1.2. İyonize (İyonlaştırıcı) Radyasyon

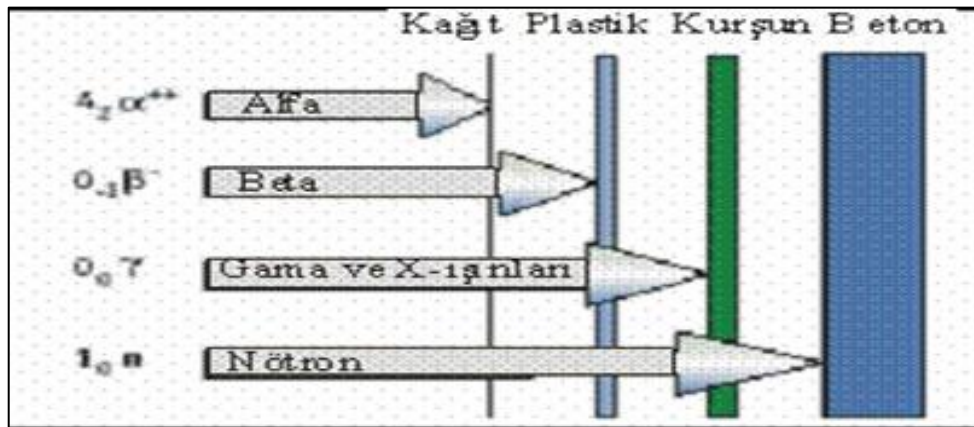
İnsani duyular radyasyonu algılayamaz veya bir malzemenin radyoaktif olup olmadığını ayırt edemez. Bununla birlikte, çeşitli cihazlar algılayabilir ve radyasyonu doğru ve güvenilir bir şekilde ölçerler. Birey tarafından alınan iyonlaştırıcı radyasyon miktarı ya da "doz" miktarı, enerji vücut dokusunda emilir ve gri renkte ifade edilir. Bir gri (Gy) bir joule kilogram kütle başına depolanır. Ancak gri olarak ifade edilen farklı radyasyon türlerine eşit maruz kalma, mutlaka eşit biyolojik etkiler üretmez. Örneğin, bir alfa radyasyon gazı, bir beta radyasyon grinden daha büyük bir etkiye sahip olacaktır. Radyasyonla ilgili olarak, radyasyon, sievert (Sv) adı verilen bir birimde etkili doz olarak ifade edilir. Radyasyonun türünden bağımsız olarak, bir sievert (Sv) radyasyon aynı biyolojik etkiyi yaratır (Şekil 1.17.).



Şekil 1.17. İyonize Radyasyon (URL-4)

X-ışınları ve uzak morötesi dışında kalan tüm elektromanyetik radyasyon, nükleer radyasyon sınıfında yer alır ve madde atomlarından (veya moleküllerinden) elektron koparacak kadar yüksek enerjilere sahiptir. Bu işlem, bir atomun net yük taşımasına ve bir elektronun atomdan koparak bir iyon çifti oluşturmasına sebep olur. İyonlaşma sırasında radyasyon, etkileştiği maddenin yapısına bağlı olarak enerji kaybeder. Atomları iyonlaştırmak için gereken minimum enerji, birkaç elektronvolt aralığında olabilir ve bu enerji miktarı, bir helyumu bir kez iyonlaştırmak için gereken 24,6 Coulomb-volt aralığında olabilir. İyonlaştırıcı radyasyonlar, zırhlaması zor ve önemli olan radyasyon türlerindendir; alfa, beta, nötron ve gama ışınları bu kategoriye dahildir (Podgorsak, 2010).

Giricilik kabiliyetleri karşılaştırıldığında, iyonlaştırıcı radyasyonların madde içerisine en tehlikeli radyasyon türlerinin gama ışınları ve nötronlar olduğu görünmektedir (Şekil 1.18.). Çünkü nötronlar yüksüzdür fakat gama ışınları ise hem yüksüz hem de kütesizlerdir.



Şekil 1.18. İyonlaştırıcı radyasyonların giricilik karşılaştırması (URL-4).

Bu bağlamda dikkat çekici olan husus, radyasyonun atomik düzeydeki etkileşmelerinin zırh maddesi ile radyasyonun türüne ve enerjisine bağlı olmasına rağmen, radyasyonun başlangıçtaki şiddetini zayıflatma amacıyla konulan engelin, radyasyonun cinsinden ve türünden bağımsız bir şekilde, aynı üstel yasaya uyarak radyasyonu başlangıçtaki şiddetinin onda birine kadar düşürmesidir.

Alfa ve beta parçacıklarından farklı olarak gama ve X ışınları, tek elementer olayda enerjilerinin büyük bir kısmını, çoğu zaman tamamını kaybedebilir, bu kayıp enerjisinin miktarı ise enerjilerine, düştüğü maddenin özelliklerine ve kalınlığına bağlıdır. Işımanın içinden geçtiği maddenin hangi atomlarının çevresinde bu kaybın olacağı tamamen rastlantısal bir durumdur. Bu nedenle, gama ışınlarının maddenin içinde soğurulmasında radyoaktif bozunma kanunlarına benzer bir kanun geçerli olmaktadır.

Radyasyona karşı korunma çalışmaları: Nükleer bilim ve teknolojinin çok çeşitli alanlarda kullanılması nedeniyle nükleer santral, nükleer araştırma reaktörü, tıp merkezleri, endüstriler, laboratuvarlar gibi ve hem radyasyon ortamında çalışanlar hem de oradan hizmet alanlar istemeden iyonlaştırıcı radyasyona maruz kalırlar. Bu nedenle, bu tür nükleer tesislerin kurulması için yeterli ve etkili koruma ön şarttır. Bunun için en azından radyasyon etkisinin Uluslararası Radyolojik Koruma Komisyonu tarafından önerilen doz sınırlarının altında tutulması gerekir. Ağır betonlar gama radyasyonunun azaltılması için en uygun malzemeler oldukları birçok araştırmacı tarafından belirlenmiştir (Sharifi vd., 2013, El-Khayatt vd., 2013, Yılmaz vd., 2011, El-Khayatt, 2010, Akkurt vd., 2010, Akkurt vd., 2012, Akkurt ve vd., 2013, Akkurt vd., 2006, Oto vd., 2013, Stankoviç vd., 2010).

Radyasyondan korunmanın bazı temel prensipler vardır. Gereken koruma tipi ve miktarı radyasyonun tipine, radyasyon kaynağının aktivitesine ve koruma malzemesinin dışında kabul edilebilir doz oranına bağlıdır. Bununla birlikte, koruyucu malzeme seçimi için maliyet ve onların ağırlıkları gibi başka faktörler de vardır. Etkili bir koruma, daha tehlikeli radyasyon yayılımı olmadan küçük bir etki ile engellenebilir ve büyük bir enerji ortamdan uzaklaştırılabilir. Ayrıca, iyi koruyucu malzeme radyasyon için yüksek emilim kesitine sahip olmalı ve aynı zamanda mekanik ve optik özellikleri üzerindeki ışınlama etkileri küçük olmalıdır (Erdem vd, 2010).

Ağır beton, yarı iletken, polimer, Lipowitz alaşımı, kolemanit gibi çok farklı malzemelerle farklı uygulama alanlarına sahip radyasyon kalkanı üzerinde çeşitli deneysel

ve teorik çalışmalar yapılmıştır (Yılmaz vd, 2011, Kharita vd, 2008, Baltas vd, 2005, Osborn vd, 2006, Stewart vd, 2007, Tajiri vd 2006, Zeitlin vd, 2006).

Koruyucu malzemelerdeki gama ve nötron radyasyonlarının emiliminin incelenmesi, radyasyon fiziği alanında önemli bir konu olmuştur. Örneğin, önceki çalışmaların çoğu foton zayıflama katsayılarıyla ilgilidir (Turkmen vd, 2008).

Radyasyon koruma malzemeleri için iki ana yöntem vardır. Birincisi, koruyucu malzemeler örneğin beton gibi duvar yüzeyine veya doğrudan içine döşenir ikincisi ise bu malzemeler radyasyon kaynağı etrafına sarılır. Genel olarak, farklı uygulamalarda radyasyon kalkanı için çeşitli malzemeler kullanılmıştır. Örneğin, nötron ve gama kalkanı için polietilen, epoksi reçine, kolemanit, kurşun ve ağır beton kullanılmıştır. Elektrot kalkanları için kurşun iken, Lipowitz alaşımı ve Cu-Ag polimeri kullanılmaktadır. Beton bazlı kompozitlere koruyucu özelliklerin kazandırılması için bor, kurşun veya bunların bileşikler kullanılmıştır (Demir ve Keles, 2006).

Bununla birlikte, bu elementleri veya bunların bileşiklerini içeren endüstriyel atıklar bu amaçla 2010 yılına kadar değerlendirilmemiştir. Radyoaktif atıkların muhafazası ve önerilen depolama ve taşıma için izolasyon için bir güvenlik stratejisi iki hedefe odaklanır: Bunlar; dahil olan paketteki radyoaktif atığın dengelenmesini sağlamak ve ulaşım veya diğer taşıma işlemleri sırasında halkın radyasyon etki dozunu sınırlandırmaktır (Erdem vd, 2010).

Gama ve X ışınlarından korumak için betonun yoğunluğu en önemli parametredir. Beton yoğunluğun artırılması bu etkilere dayanıklı beton kesitinin azaltılmasına yol açar. Hem normal hem de ağır tip betonlar nükleer santraller, araştırma reaktörleri, parçacık hızlandırıcılar ve yüksek seviye radyoaktif araştırma laboratuvarları gibi tesislerde kullanılmaktadır. Betonun radyasyona karşı koruma özelliği, onun bileşimi ve yoğunluğunu değiştirerek uyarlanabilir. Termal stresler de örneğin nükleer reaktörlerde harici ısı kaynakları tarafından veya kalkan içindeki gama ve nötron radyasyonu soğurma veya emilmesine neden olur. Böylece betonun mekanik özelliklerinin önemi kadar, servis ömrü ve radyasyona karşı koruma işlevine de hizmet eder (Mahdy vd., 2002).

Radyasyona neden olan ısı etkiler veya ısı yükler nedeniyle oluşan gerilmelerin, yapı üzerindeki mekanik veya ısı olmayan yükler nedeniyle ortaya çıkan gerilmelerden daha önemli olabileceğini belirtmiştir (Davis, 1958). Ayrıca, herhangi bir sismik etki veya uzun bir süre boyunca yüksek sıcaklığa maruz kalma durumunda da yüksek basınç

dayanımına sahip betonlar hem söz konusu etkilere hem de kayma ve eğilme dayanımlarının artması nedeniyle büyük fayda sağlar (Ziad ve Jing, 1993).

Manyetit, yüksek yoğunluklu radyasyon önleyici beton için en yaygın kullanılan yoğun agrega türlerinden biridir ve genellikle $4,4 \text{ t/m}^3$ ’lük minimum yoğunluk belirtilmektedir (Pierre-Claude, 1994). Fransa’da nükleer reaktörlerin muhafazası için kullanılacak ağır betonlarla ilgili birçok araştırma yapılmıştır (Turasse, 1958).

Araştırmalar, manyetit cevheri ile yapılan Nuclear Center’daki EL-3 reaktörü için gerekli olan 4.20 t/m^3 yoğunluğa sahip beton deneylerini içermektedir. Brezilya’daki Itabira madenlerinden, Fransa’daki Dielette madeninden ve İsveç’teki Kirunawara’dan gelen üç kaynaktan elde edilen manyetit cevheri kullanılmıştır. Yüksek demir içeriğine sahip Brezilya Itabira cevherinin, yüksek yoğunluklu (4.20 t/m^3) ve yüksek mukavemetli beton üretildiği ve bu bağlamda, Dillon manyetit betonundan daha üstün olduğu görülmüştür (Davis, 1956).

Radyokimyasal işlerde sıcak hücrelerin yapımı ile bağlantılı olarak manyetit betonunun kullanılması ayrıca araştırılmıştır. Manyetit betonunun yapısal özellikleri radyoaktivite açısından yeterlidir ve normal betondan daha ekonomik olduğu saptanmıştır. Bu betonun ayrıca normal beton kalınlığının yaklaşık %40 azaltılabildiği tespit edilmiştir (Henrie, 1955).

Yüksek mukavemet sağlayan karışım oranlarında malzemeler kullanıldığında yüksek yoğunluklu beton yapılabileceği görülmüştür. Araştırmalar manyetit agregası ve Tip I Portland çimentosu kullanılmış ve betonlar geleneksel şekilde karıştırılmıştır. Bu çalışmada yeterli işlenebilir beton manyetik kullanılarak elde edilen betonların yoğunlukları 3.64 ve 3.70 t/m^3 arasında $6 \times 12 \text{ cm}$ boyutlu silindir numunelerin 28 günlük basınç dayanımları 67.0 ile 76.8 MPa arasında elde edilmiştir (Mather, 1965).

Tüm nükleer tesislerde, nötron radyasyonundan korunmak için en sık kullanılan koruyucu malzeme betondur. Termal nötron zayıflama özelliklerini geliştirmek ve ikincil gama ışını oluşumunu baskılamak için betona bor eklemek yaygın bir uygulamadır. Saf borun zor olması nedeniyle yaygın ekstraksiyon yöntemleriyle elde edilen bor içeren minerallerin kullanımı daha ekonomik ve pratiktir (Yarar ve Bayülgen, 1994).

Gama ışınlarını ve röntgen ışıınımını engellemek için kullanılabilecek minimum beton ağırlığı 3.2 ton/m^3 ’tür (Esen ve Yılmaz, 2011). 4.5 g/cm^3 özgül ağırlığı ile barit, radyasyon emisyonunu absorbe etmek için yüksek yoğunluklu beton olarak kullanılmak

üzere çok yaygındır ve etkilidir (Akkurt vd, 2006). Ağır betonda barit miktarı ile radyasyon geçirgenliği arasında anlamlı bir ilişki olduğu belirtilmiştir. Numune kalınlığı ve barit oranı arttıkça, radyasyon geçirgenliği azalır ve belirli bir kalınlıktan sonra sıfır olmaktadır (Esen ve Yılmaz, 2011).

Soğurma katsayısının malzeme yoğunluğundan etkilendiği bilinmektedir. Betona gelince, yoğunluğu çoğunlukla agregaların yoğunluğuna bağlıdır. Bu nedenle, betondaki barit içeriği arttıkça, soğurma katsayıları da artar (Akkurt vd, 2010). Bununla birlikte, barit yapısal beton üretimi için agrega olarak kullanılmaya uygun olmayan kırılğan bir malzemedir.

Radyasyon teknolojisindeki gelişmeler endüstriyel olarak, nükleer güç istasyonları, parçacık hızlandırıcılar ve tıbbi hastaneler gibi farklı alanlarda kullanılmaya başlandı. Bu durumda radyasyondan korunma önemli hale gelmiştir. Radyasyon insan sağlığı için tehlikeli etkilere sahiptir. Bu durumda istenmeyen radyasyondan korunmak insan sağlığı için bir gerekliliktir. Radyasyondan korunma için üç yol olmasına rağmen, ekranlama radyasyonun en sık kullanılan yöntemdir. Bu konu insan sağlığı için çok önemli olduğundan, farklı malzemeler için lineer soğurma katsayısı üzerinde birçok çalışma bulunabilir. Fiber-plastik kompozitler için lineer soğurma katsayıları üzerinde deneysel ve teorik çalışmalar yapılmıştır (Sayed, 2003).

Beton, farklı kompozisyonlarda hazırlanması ucuz, üretilmesi ve kullanılması kolay olduğundan radyasyondan korunmak için tercih edilmektedir. Beton hem nötronu hem de gama ışınlarını soğurmak için kullanılabilir. Fotonların maddeyle etkileşimi, gelen foton enerjisine ve koruma malzemesinin yoğunluğuna bağlıdır (Kallan, 1989). Beton koruma özellikleri, betonun malzeme bileşenlerine bağlı olarak değişebilir. Normal betonun toplam ağırlığının yaklaşık %70 ile %80'ini agregalar oluşturur (Kharita, 2008). Ağır beton malzemeleri, yoğunluğu 2600 kg/m^3 ten büyük olanlardır. Radyasyona dayanıklı betonların mühendislik özelliklerinin iyileştirilmesi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bu amaçla yüksek fırın cürufı, silis dumanı gibi mineral katkıları kullanılması, su içeriğinin azaltılması, Portland çimentosu ile birlikte bazı polimerik bileşikler kullanılır (Kharita, 2008, Yılmaz, 2011). Daha yüksek yoğunluk elde etmek için bazı araştırmacılar, geleneksel beton dolgu maddelerinin yerine tamamen veya kısmen magnetit, hematit, barit ve kolemanit kullanmaktadır (Gencel vd, 2010, Martinez-Barrera vd, 2011).

Öte yandan, bu çalışmaların çok azı, radyasyona dayanıklı beton üretirken betonun yoğunluğunu arttırmak için betona metal partiküllerin eklenmesi üzerinedir. Çeşitli demir agrega parçacıkları ile üretilen ağır betonun dayanımı ve kırılma tokluğu üzerindeki etkisi üzerinde çalışmalar yapılmıştır (Kan, 2004). Hacımce %40 metalik agrega içeriğinin eklenmesinin basınç dayanım ve kırılma tokluğunu arttırdığı, reaktörlerin koruyucu duvarların çatlamasını önlediği gözlenmiştir. Ağırlık olarak %50 demir çelik cürufu ile üretilen betonların betonun yoğunluğunu ve radyasyona karşı dayanımı artırdığı ve aynı zamanda beton maliyetini azalttığı görülmüştür (Maslehuddin, 2013).

Nükleer santrallerdeki beton yapılar, yükler ve çevresel koşullar nedeniyle istenmeyen değişikliklere maruz kalabilir. Bu yapılar nadiren değiştirilebildiğinden, yaşlanma davranışlarını tahmin etmek ve mevcut ve gelecekteki sağlımlıklarını değerlendirmek uzun vadeli iyileştirme çalışmaları yapmak çok önemlidir. Japonya'da beklenen birkaç nükleer santralin hizmet sürelerinin 40 yıldan fazla olması bunların güçlendirilmesi gereği ortaya çıkmıştır. Araştırmacılar radyasyon alanlarına maruz kalan bu betonların bozulacağını bildirmişlerdir (Hilsdorf vd, 1978).

Radyoaktiviteye dirençli harçlar ışın tedavisi odaları, nükleer reaktörler ve benzeri binalar için çok önemlidir (Egwuonwu vd, 2012). Radyoaktivite koruması için yüksek yoğunluklu beton kullanılmaktadır. Yüksek yoğunluklu beton kullanımı beton bariyerlerin gereken kalınlığını azaltır. Bunun ile birlikte dezavantajı yüksek maliyetli olmaktır. Geçmişte bir katkı maddesi olarak kurşun radyoaktiviteden korumak için kullanılırken son yıllarda yeni mineral katkılar ve bazı nano partiküller de kullanılmıştır (Rajavikraman, 2013).

Doğal olarak ortaya çıkan radyoaktif maddeler, çevrenin her yerinde ve geçmişte insanların yerleştiği topraklarda bulunur. Radyasyonun insanlar üzerindeki tüm etkilerine “radyasyon yaralanması” denir. Bu etki tespit edilemezden ölümcül olana kadar her şiddet derecesini içerir. Ayrıca geç somatik etkiler ve genetik hasar içerir. Literatürde çevresel radyonüklidlerin erken saptanması ve toplam olumsuz etkileri bazı yazarlar tarafından araştırılmıştır (Sang vd, 2013).

Radyasyon sadece topraktan değil, aynı zamanda kullanılmış yapı malzemelerinden kaynaklandığı için, binalarda güvenli ve emilen doz oranı ölçülebilir (Somlai vd, 2008). AB, Radyasyondan Korunma ilkelerini sayı 112'de açıklamıştır. Radyasyondan korunma ve kontroller, AB içindeki genel ulusal koşullar göz önüne alınarak oluşturulan doz

kriterine dayanmıştır. Kontrollerin 0,3–1 mSv⁻¹ aralığında bir doza dayanması önerilmiştir. Bu değerleri aşan dozlar radyasyondan korunma için dikkate alınmalıdır. Bu, dışarıda alınan dozun aşırı gama dozu olarak ifade edilmiştir.

Radyasyondan Korunmanın Önemi ve Gerekliliği: İnsan yaşamındaki kaliteyi artıran birçok uygulamada radyoaktif kaynaklar kullanılmaktadır. Ancak kullanılan bu radyasyon kaynaklarının yararlarının yanı sıra birçok olumsuz etkileri de mevcuttur. Enerjisi yüksek nükleer radyasyonun canlı hücrelerindeki etkileri, onarılabilir ya da onarılamaz hasarlar şeklinde olabilir. Bahsedilen hasarlar arasında genetik hasarlar da yer alır ve bu tür hasarlar, canlı türünün geleceğini nesilden nesile aktarabilir (ICRP, 1993; DOE, 1997).

Bu sebepler ile yayılan radyasyon, kaynaklarının doz miktarının kontrol altında tutulması, özellikle insanlar dahil olmak üzere canlı organizmalara zarar vermeyecek düzeylere indirilmesi önemlidir. Tüm bu süreç genel olarak radyasyondan korunma olarak adlandırılır.

Günümüzde nükleer teknolojinin çok yaygın bir yelpazede uygulama alanına sahip hale gelmesinden dolayı, radyasyondan korunma yöntemleriyle ilgili çalışmalarda hız kazanmış durumdadır. Nükleer reaktörler, radyasyon uygulamaları arasında kullanımı en hızla artan alanlardan biridir. Bu reaktörlerde, güç üretimi için genellikle uranyum elementi kullanılır ve fisyon tepkimeleri sonucunda büyük oranda açığa nötron çıkar. Böylece bu süreçte meydana gelen radyoaktif ürünler beta, alfa ve gama radyasyonları yayarak çevreye salınır. Diğer taraftan, oluşan radyoaktif atıkların aktivitesi, kabul edilebilir seviyelere indirilene kadar titizlikle muhafaza edilmelidir. (Rockwell, 1956).

Günlük yaşamda radyasyon uygulamalarının en yaygın görüldüğü alanlardan biri de sağlık sektörüdür. Hemen hemen bütün hastanelerde, radyasyonun tanı ve tedavilerinin yapıldığı, nükleer tıp departmanları günümüzde bulunmaktadır. Bu birimlerde, floroskopi, meme kanseri taraması (mamografi), X ışınları kullanılarak röntgen çekimi ve bilgisayarlı tomografi (CT) ve kemik yoğunluğu ölçümü gibi işlemler gerçekleştirilir. Ayrıca, fotonlar kullanılarak yapılan tomografi (SPECT) ve ameliyatlarda hassas gama bıçağı kullanımı da yaygınlaşmıştır. Bunun yanı sıra, pozitronlar kullanılarak gerçekleştirilen tomografi (PET) ve nötronlar kullanılarak uygulanan bor nötron yakalama terapisi gibi ileri seviye uygulamalar da yapılmaktadır (Shultis, et al., 2002).

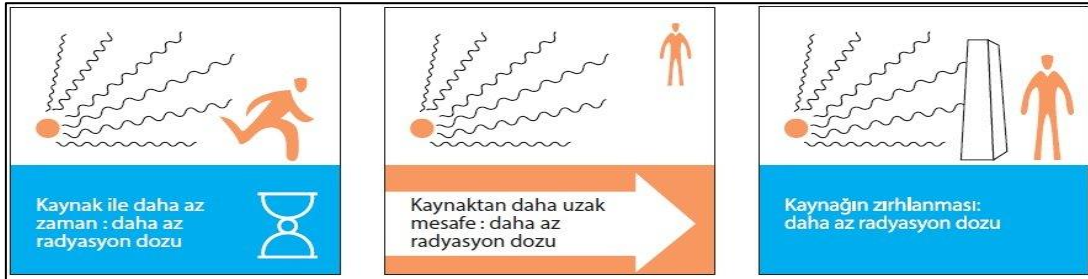
Bu kadar geniş bir alanda kullanılan radyasyonun bir takım istenmeyen olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Bu olumsuz etkiler başta insan sağlığı olmak üzere canlılar üzerindeki etkileridir. Ancak radyasyonun olumsuz etkileri sadece sağlıkla ilgili sınırlı kalmayıp, elektronik sistemlere de çok ciddi ölçüde olumsuz etki yapmaktadır. Radyasyonun bu olumsuz etkilerinden korunmak için çeşitli önlemler alınmalıdır. Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama gibi üç temel kuralı vardır (Tataroğlu, 2006; Ashok, 1978).

Radyasyondan Korunma Yöntemleri: Yüksek iyonize radyasyon seviyelerine maruz kalmak risk taşıdığı için, bundan tamamen kaçınmaya çalışmalı mıyız? İstesek bile, bu maalesef imkânsızdır. Radyasyon her zaman çevrede ve bedenlerimizde vardır. Ancak, gereksiz olanı özellikle önemli düzeyde insan yapımı radyasyona maruz kalmadan asgariye indirebilir ve minimize edilebilir. Radyasyon çok kolay tespit edilebilir. Çok az miktarda doğal ve insan kaynaklı radyasyon bile yetenekli basit ve hassas aletler sayesinde tespit edilebilir. İnsanların korunmasının dört yolu vardır.

Dış kaynaklı radyasyon, nükleer patlamalar veya radyasyon serpintisi gibi yollarla yayılabilir. Bu tür radyasyona karşı alınabilecek önlemler şunlardır:

- ✓ Kaynakla kişi arasındaki uzaklık arttırılması
- ✓ Radyasyon kaynağı yakınında geçirilen zamanın azaltılması
- ✓ Kaynakla kişi arasına bir kalkan konulması şeklinde verilebilir (Murray, 2000; Kıpçak, 2009).

Radyasyonun zararlı etkilerinden korunmanın 3 etkili yolu vardır. Bunlar; zaman, uzaklık (mesafe), zırhlama kuralı olarak sıralanmaktadır (Şekil 1.19). Bunlar aşağıda açıklanmıştır. Şüphesiz ki bu kuralların aynı anda işletilmesi en iyi korunma yöntemidir.



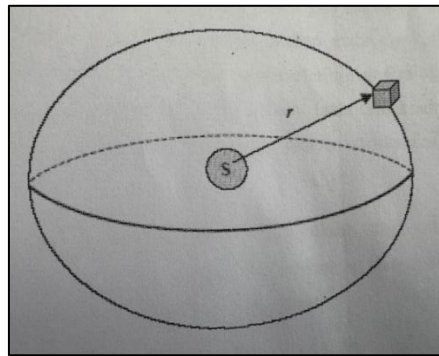
Şekil 1.19. Radyasyondan korunma yöntemleri (URL-4)

Zaman kuralı : Bir radyasyon radyasyon kaynağının yanında geçirilecek süre, kaynağından alınacak radyasyon dozu miktarı ile doğru orantılı olarak arttığından kaynak yanında ve yakınında mümkün olabildiğince kısa süre kalınmaya özen gösterilmelidir. Çalışmaları sırasında radyasyona maruz kalan insanlar için doz azaltılır ve hastalık riski esas olarak maruz kalma süresini sınırlandırarak ortadan kaldırılır. Radyoaktif kaynağın ya da cihazın yanında ne kadar az zaman geçirilirse, alınan radyasyon dozu da o kadar az olacaktır ve radyasyon üreten ortamda çalıştın kişinin, işlemlere başlamadan önce iyi bir iş planı yapmalı ve radyasyon bölgesinde mümkün olan en kısa zamanda işlemleri bitirmelidir (Algüneş, 2002).

Bellirli bir süre içerisinde, radyoaktif bir kaynaktan olumsuz etkilenilecek doz miktarı, aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\text{Doz (Doz Şiddeti) x (Zaman)} \quad (1,1)$$

Uzaklık (Mesafe) kuralı: Radyasyon türleri analiz edildiğinde, alfa ve beta gibi yüklü radyasyonların havadaki ortalama serbest yol mesafeleri oldukça kısadır. Ancak, nötron ve gama radyasyonları daha uzun mesafeler kat edebildikleri görülmektedir. Radyasyon kaynağından uzaktaki bir noktaya alfa ve beta radyasyonu ulaşamamasına rağmen nötron ve gama radyasyonları ulaşabilir. Öte yandan kaynaktan ne kadar uzak mesafeye gidilirse nötron ve gama radyasyonlarının etkisi o kadar azalacaktır. Bu nedenlerle, bir radyasyon kaynağının zararlarından korunmanın etkili yöntemlerinden biri, kaynağa mümkün olduğunca uzak durmak olduğu anlaşılmaktadır (Demir, 2009). Radyasyona maruz kalma miktarı, mesafe ile ters kare yasasına göre azalmaktadır (Eaves, 1964).



Şekil 1.20. Ters kare yasası (URL-5)

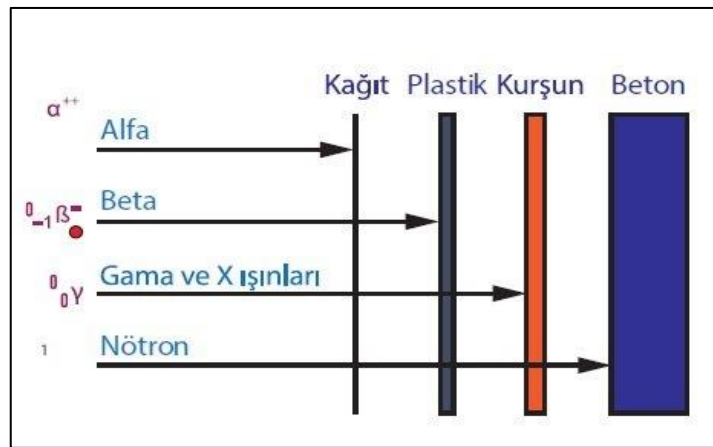
Bu durum ateşten gelen ısıнын etkisine benzer. Yani ateşe yaklaştıkça etkisi de artar. Benzer şekilde radyasyonun yoğunluğu kaynağından uzaklaştıkça azalır.

Zırhlama kuralı : Genellikle kurşun, beton veya su bariyerleri; gama ışınları gibi nüfuz edici radyasyon etkisine karşı güvenlik sağlar. Yüksek oranda radyoaktif malzemeler bu nedenle sık sık su altında veya kalın ve ağır betondan yapılmış veya kurşunla kaplı odalarda uzaktan kumandayla kullanılır. Radyoaktif maddeler kapalı ve çevreden uzak tutulur. Örneğin tıbbi kullanım amaçlı radyoaktif izotoplar, kapalı taşıma tesislerinde verilirken nükleer reaktörler içinde bulunan radyoaktif maddeleri tutan çoklu bariyerli kapalı sistemler içinde saklanır. Odalar düşük hava basıncına sahiptir, böylece herhangi bir sızıntı olduğunda bu sızıntı odadan dışarı odaya değil aksine oda içinde tutulur.

Dış radyasyon kaynaklarından korunmanın en etkili yöntemi, zırhlama işlemidir. Zırhlama, dış radyasyon kaynağıyla bu kaynaktan kaynaklanan radyasyona maruz kalma ihtimalindeki kişiler arasında tuğla, kurşun, duvar veya beton gibi malzemelerin kullanılarak yerleştirilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Zırhlama malzemeleri olarak adlandırılan bu malzemeler, radyasyon dozunu azaltma özelliğine sahiptirler. Zırhlama malzemelerinin yoğunluğu arttıkça, X ve gama ışınlarını zırhlayabilme kapasitesi de artmaktadır. Zırhlama işlemi genellikle iki şekilde gerçekleştirilir: cihazın bulunduğu ortamın zırhlanması veya cihazın kendisinin zırhlanmasıdır.

Zırhlama işlemi, yüksek koruyuculuk sağlayan materyaller olan beton, çelik ve kurşun gibi malzemeler kullanılarak gerçekleştirilebilir (Tüysüz, et al., 2004). Alfa, beta, nötron ve gama ışınlarının farklı penetrasyon kabiliyetleri, Şekil 1.21'de açıkça görülmektedir.



Şekil 1.21. Farklı radyasyon türleri için uygun zırhlama malzemeleri (URL-5)

Betonların Sınıflandırılması: Sınıflandırma yapılırken betonlar, birim ağırlıklarına göre normal, hafif ve ağır beton olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Normal betonlar, yaklaşık 2400 kg/m ağırlığında olan betonlardır. Taşıyıcı amaçlarla en çok kullanılan beton, normal betonlardır. Hafif betonlar, birim ağırlıkları 2000 kg/m³ 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı olarak ya da dayanım-ağırlık oranının yüksek olması istenen yerlerde kullanılırlar. Radyasyon kalkanı olarak kullanılacak betonlarda bazı özel agregalar kullanılarak ağırlık artırılır. Birim ağırlığı 2600 kg/m³ 'den yüksek olan bu betonlar ağır beton olarak tanımlanır.

Farklı ülkelerde, betonlar basınç dayanımına göre üç ana gruba ayrılarak farklı sınıflandırmalar yapılmaktadır (Özkul et al., 2004). Bunlar;

- ✓ Düşük dayanımlı betonlar basınç dayanımları 20 MPa'nın altında olan,
- ✓ Normal dayanımlı betonlar basınç dayanımları 20-40 MPa olan,
- ✓ Yüksek dayanımlı betonlar basınç dayanımları 40 MPa'dan fazla olanlardır.

Betonun Dayanımı: Betonun dayanımı, malzemenin en fazla gerilimi taşıyabilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Beton dayanımı dediğimizde ise genellikle basınç dayanımı kastedilir. Basınç dayanımı, betonun kırılmadan direnebileceği seviye olarak tanımlanmaktadır (TS EN 206-1'e göre). Bu direnç kapasitesi genellikle standart küp örnekleri (15 veya 20 cm boyutlarında) veya standart silindir örnekleri (15x30 cm) kullanılarak belirlenir. Beton dayanımları, TS EN 206-1 kriterlerine göre Çizelge 1.2'de yer alan verilere göre belirlenir.

Beton dayanımının çeşitli türleri araştırılırken, basınç dayanımı en çok incelenen ve kullanılan bir dayanım türüdür. Bu durumun birkaç nedeni bulunmaktadır. Öncelikle, hemen hemen tüm yapı tasarımlarında, betonun eğilme, çekme, yorulma gibi farklı yüklerden etkilenmeyeceği varsayılmaktadır. Bu sebeple, genellikle betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri olduğu varsayılarak hesaplamalar yapılmaktadır.

Çizelge 1.2. TS EN 206-1 'e göre beton sınıfları ve dayanımları (TS, 2002)

Basınç Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı $f_{ek,sil}$ (MPa)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı $f_{ek,küp}$ (MPa)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Basınç dayanımı, betonun diğer özellikleri hakkında nitel bilgiler sunmaktadır. Örneğin, yüksek basınç dayanımı, betondaki su geçirgenliğinin düşük olduğunu ve dayanıklılığın arttığını göstermektedir. Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında bir tür ilişki bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiğinde, diğer dayanım türlerinin büyüklüğü hakkında bir fikir edinilebilmektedir (TS EN 206-1).

Durabilite : Durabilite bir malzemenin dayanıklılığı anlamında çevresel koşullar altında verilen hizmet ömrü ile ilgilidir. Çimento hamurunun yapısı alkali bir yapıya sahip olduğundan asitli sularda bozulmaya eğilimlidir. Bu koşullar altında, su geçirmezlik olarak da adlandırılan geçirimsizlik dayanıklılığın belirlenmesinde birincil faktördür (Mehta, 2001).

Agregaların beton içinde geçirimsiz olduğu kabul edildiğinden betonda çimento pastasının geçirimsiz olması beklenir. Bundan dolayı ise agrega ile çimento pastası arasındaki ara yüzeyin güçlendirilmesi ve geçirimsizliği sağlanmalıdır. Geçirgenlik, bir sıvının bir katı içinden akabileceği kolaylık olarak tanımlanır. Katı yapısındaki gözeneklerin büyüklüğünün ve sürekliliğinin geçirgenliğini belirler. Çimento pastasının dayanım ve geçirgenliği, her ikisinin de kılcal gözeneklilik veya katı/boşluk oranı ile yakından ilgilidir. Ara yüzeyin yapısında taze sıkıştırılmış betonda, büyük agrega parçacıklarının etrafından su filmleri etkilidir. Yüksek su/çimento oranı nedeniyle, kaba agrega çevresindeki ürünler nispeten daha büyük kristallerden oluşur ve bu nedenle

çimento hamuru veya harç matrisinde olduğundan daha fazla daha gözenekli bir çerçeve oluşturur. Böylece hidrasyonun ilerlemesiyle, zayıf kristalli C-S-H ve ikinci nesil daha küçük ettringit kristalleri ve kalsiyum hidroksit, büyük ettringit ve kalsiyum hidroksit kristallerinin yarattığı çerçeve arasında kalan boş alanı doldurmaya başlar. Bu, yoğunluğun ve dolayısıyla geçiş bölgesinin kuvvetinin artırılmasına yardımcı olur.

Çimento pastasında olduğu gibi, hidrasyon ürünleri ile agrega taneciği arasındaki yapışmanın nedeni Van der Waals'ın çekim gücüdür; bu nedenle, geçiş bölgesinin herhangi bir noktadaki gücü mevcut boşlukların hacmine ve boyutuna bağlı kalmaktadır. Düşük su/çimento oranlı beton için bile, erken yaşlarda geçiş bölgesindeki boşlukların hacmi ve büyüklüğü toplu harca göre daha büyük olacaktır. Bununla birlikte, yaş arttıkça, geçiş bölgesinin gücü eşit veya dökme harcın dayanımından daha büyük olur. Bu ise ara yüzey bölgesinin boşluğunda çimento hamuru bileşenleri ile agrega arasında yavaş gelişen kimyasal reaksiyonlarla meydana gelen yeni ürünlerin kristalleşmesinin bir sonucu olabilir. Silisli agregalar, kalsiyum silikat hidratlar veya kireçtaşı durumunda karbonatüminat hidratların oluşumu gibi etkileşimler güçlendiricidir, çünkü geçiş bölgesindeki kalsiyum hidroksit konsantrasyonunu da azaltma eğilimindedirler. Büyük kalsiyum hidroksit kristalleri, yalnızca düşük yüzey alanı ile buna bağlı zayıf van der Waals çekim kuvvetleri olması ile değil, aynı zamanda, yönlendirilmiş yapıları nedeniyle tercih edilen bölünme yerleri olarak hizmet ettikleri için, daha az yapışma kapasitesine sahiptir.

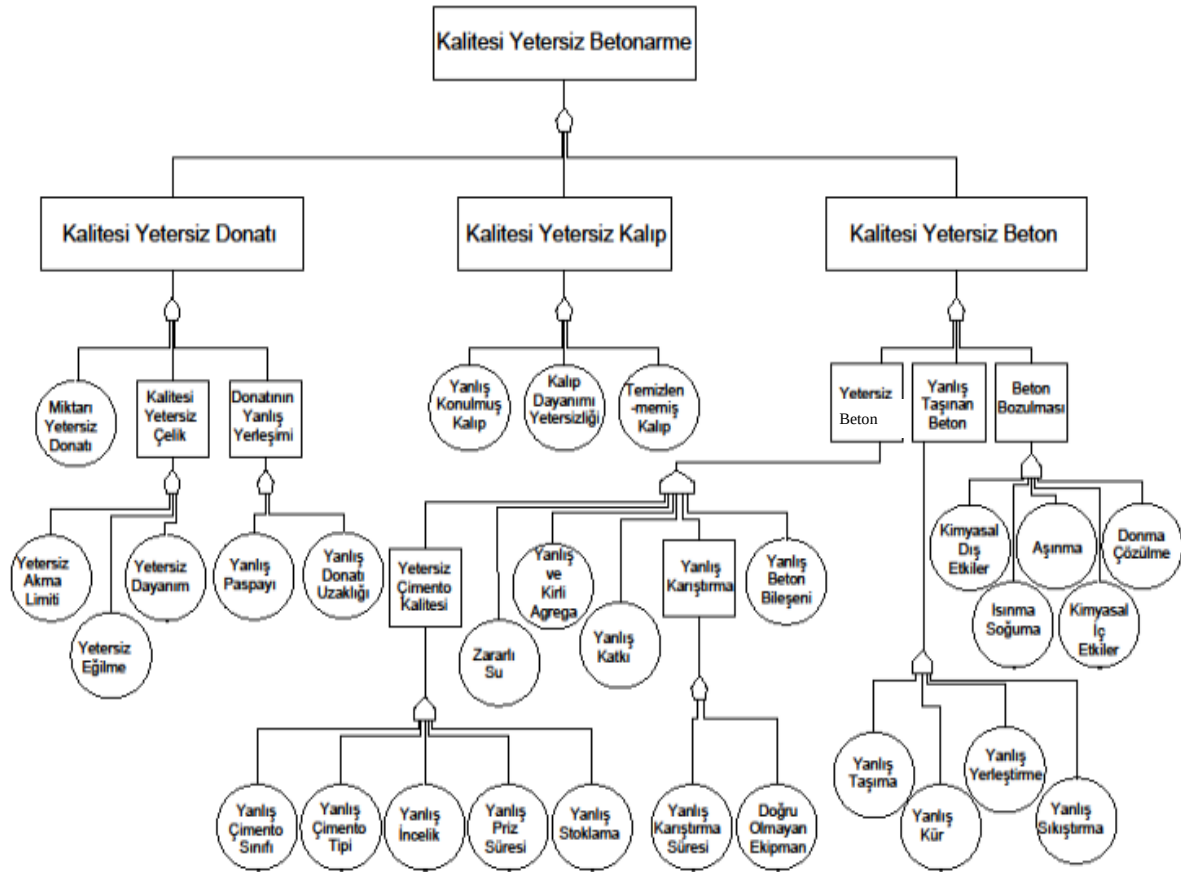
Büyük hacimli kılcal boşluk hacimlerine ve yönlendirilmiş kalsiyum hidroksit kristallerine ek olarak, betondaki geçiş bölgesinin zayıf kuvvetinden sorumlu ana faktör, mikro çatlaklardır. Mikro çatlakların miktarı toplam boyut ve sınıflandırma, çimento içeriği, su/çimento oranı, taze betonun konsolidasyon derecesi, kür koşulları, çevresel nem ve betonun termal tarihi gibi çok sayıda parametreye bağlıdır. Örneğin, granülometrisi kötü agrega içeren bir beton karışımı, sıkıştırma işleminde ayrılmaya daha çok yatkındır. Bu durum kaba agregaların çevresinde, özellikle partikülün altındaki kalın su filmleri oluşturabilir. Koşulların aynı olduğu durumda toplam boyut ne kadar büyükse, su filmi de o kadar kalın olmaktadır. Yine aynı koşullarda oluşturulan geçiş bölgesi, çimento pastası ve agrega arasındaki diferansiyel hareketlerin neden olduğu çekme gerilmelerinin etkisine maruz kaldığında çatlamaya açık olacağı açıktır. Bu tür diferansiyel hareketler genellikle ya kururken ya da betonun soğumasında ortaya çıkar.

Açıkçası, kısa süreli darbe yükleri, kuruma büzülmesi ve yüksek stres seviyelerinde sürekli yükler, mikro çatlakların boyutunu ve sayısını artırma etkisine sahip olacaktır. Ara

yüzey bölgesi, genellikle betondaki dayanımı sınırlayıcı en zayıf halka veya faz olarak kabul edilir. Bunun nedeni, ara yüzeyin varlığı, betonun, iki ana bileşenin herhangi birinin gücünden çok daha düşük bir gerilme seviyesinde başarısız olmasıdır. Ara yüzeydeki çatlakların sayısını azaltmak gerekir. Bu ise betonun bileşenlerinin, tek eksenli bir sıkıştırma testinde kırılmaya kadar genellikle elastik kalması olayını açıklarken, betonun kendisi de elastik olmayan bir davranış sergiler. Geçiş bölgesinin özellikleri betonun dayanıklılığını da etkiler. Öngerilmeli ve güçlendirilmiş beton elemanlar çoğunun dayanım kaybı çeliğin korozyonundan kaynaklanmaktadır.

Çeliğin korozyon oranı betonun geçirgenliğinden büyük ölçüde etkilenir. Ara yüzey geçiş bölgesinde mikro ve çatlaklar ile kaba agreganın betonda var olması, çimento pastası ve harçtan daha geçirgen olmasının birincil nedenidir. Çeliğin betonda korozyona uğraması için ortamda hava ve su geçirgenliğinin bulunması gerekir. Su/çimento oranının betonun geçirgenliği ve dayanımı üzerine etkisi, su/çimento oranı ile çimento pastasının gözenekleri arasındaki ilişkiye bağlanır. Genel olarak, diğer her şey aynı kalsa bile büyük agrega ve ara yüzeyde yüksek su/çimento oranı sonuçta üretilen beton daha zayıf ve daha geçirgen olacaktır. Korozyon, 1999 Marmara Depremi sonrasında hasar gören betonarme yapıların elemanlarında sıkça görülmüştür.

Betonarme yapılar zaman içinde değişik nedenlerle hasar görebilirler. Betonun içindeki çelik donatının korozyonu sonucu betonda çatlak ve bozulmalar oluşabilir (Taşdemir vd, 2004). Soğuk iklimlerde ise donma-çözülme etkisi altında benzer bozulmalar oluşabilir. Bunların dışında, başka dürabilite problemleri sebebi ile betonda sorunlar ortaya çıkabilir (Şekil 1.22.).



Şekil 1.22. Durabilite problemlerinin nedenleri (Küçük, 2000)

Betonarme yapıların tasarımında, dayanım yerine daha çok dayanıklılığa odaklanan bir yaklaşım günümüzde artık daha fazla önem kazanmaktadır. Özellikle, donatı korozyonu nedeniyle oluşan çatlaklar betonarme yapıların dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyerek performansını azaltmaktadır. Betonarme yapıların malzeme bileşenleri, montaj ve işçilik kalitesi önemli ölçüde dayanıklılığı etkiler. Rutubet, iyonlar ve sıcaklık gibi faktörler, korozyon, fiziksel ve kimyasal aşınma süreçlerine yol açar. Ayrıca, taşıyıcı sistem modelleri boyut ve dayanım değişiklikleriyle çatlamalara neden olabilir. Betonun su/çimento oranı ve çimento içeriği gibi kısıtlamalar, betonun dayanımı ve dayanıklılığı üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Dolayısıyla, genel olarak betonun çevresel etkilere, yani dayanıklılığa göre tasarımı bu iki parametreye odaklanarak yapılır. Su/çimento oranının maksimum değeri ve minimum çimento miktarı gibi sınırlamaların ne ölçüde uygulanabileceği, betonun bileşenlerine ve standartlara uygunluğuna doğrudan bağlıdır.

Deprem bölgelerindeki yapıların betonlarında granülometriye ve beton kalitesine özen gösterilmediği, yeterli pas payının oluşturulmadığı, böylece betonun betonarme

çeliğini koruyamadığı yaygın bir şekilde gözlenmiştir. Betonarme içindeki çeliği koruyan betondur. Beton hem basınç gerilmelerini karşılar hem de demirin korozyona uğramasını önleyecek kalitede olması beklenir. Beton kalitesiz, boşluklu ve geçirimli olursa donatıyı koruyamaz. Bu, betonarmenin kusuru değildir. Dürabilitedeki düşük performans bağlı olarak yapının servis ömrü zamanla azalması anlamına gelir. Böylece, betonda donatı korozyonuna bağlı çatlama ile sismik yükler arasında sıkı bir ilişki görülmüştür. Beton; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan bir malzemedir. Dolayısıyla en zayıf halkanın ara yüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki esas gelişmeler çimento hamuru ile agrega arasındaki ara yüzeylerin güçlendirilmesi ile sağlanabilir.

Betonun geçirimliliği ile betonun durabilitesi arasında çok yakın bir ilişki vardır. Geçirimsiz ve boşluksuz bir beton üretimi ile donatı korozyonuna, asit, sülfat, don ve alkali reaktivitesine karşı önlem alınmış olunur. Betonarme yapıdaki dürabilitenin artırılması, çevresel etkilerin uygun seçimi, uygun tasarım ve detaylandırma hem beton hem de betonlama işlerinin yönetimi için uygun şartname, şartnameye uygun taze beton sevkiyatı ve yerinde iyi işçilik, özellikle pas payının yeterli olmasına bağlıdır.

Betonda durabiliteyi artırmak için son yıllarda mineral katkıların kullanılması yaygınlaşmıştır (Chan ve Wu, 2000, Toutanji vd 2004). Bu malzemelerin betonun dayanıklılığı nasıl iyileştirilebileceğinin belirlenmesi önemlidir. Konuyla ilgili araştırmalar yıllardır devam etmektedir. Son zamanlarda, çevre bilincindeki artıştan dolayı mineral katkıların kullanımı çarpıcı biçimde artmıştır. Bazı modern çimentolarla üretilen betonların ilk günlerdeki mukavemetleri daha yüksek olabilir ama Ca(OH)_2 oluşumundan dolayı betonun dayanıklılığı ve maliyeti olumsuz yönde etkileyebilir.

CEM II/B-M'de mineral karışım yerine kireçtaşı, kalsit tozları ve uçucu külün çeşitli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen yeni bir bağlayıcı malzeme kullanılmıştır. Numunelerin mekanik ve fiziksel özellikleri test edilmiş, standart kireçtaşı ve kalsit tozu miktarıyla örneklerinin piriz sürelerinde ve hacim genişlemesinde standarda uygun bir artışın gözlemlendiğini göstermiştir. Uçucu kül içeren numunelerin basınç dayanımı, 28 gün sonra önemli bir artış göstermiş, kireçtaşı ve kalsit tozu katkılı numunelerin kimyasal çözeltilerde bekletildikten sonraki basınç dayanımı azalmış ve ağırlık kaybı artmıştır (Temiz ve Kantarcı, 2014).

Betonda çimento miktarını azaltmak ve beton durabilitesini artırmak için kullanılan birçok mineral katkı maddesi diğer endüstrilerin yan ürünleri olduğundan beton maliyetini azaltmaktadır. Silis dumanı, uçucu kül ve öğütülmüş granül yüksek fırın cürufu gibi mineral katkılar, betonun özelliklerini geliştirme yeteneklerini anlamak için incelenmelidir. Bu malzemelerin her biri farklı özelliklere sahiptir ve betondaki su ile farklı şekilde reaksiyona girerler.

Durabiliteyi artırıcı mineral katkılar

Yapay mineral katkılar: Silis dumanı, inceliği 200 ile 300 kg/m³'e arasında ve 2.20 g/cm³ özgül ağırlığa sahiptir. İlk olarak 1970'lerde Norveç'te Fiskaa Smelter yapımı için kullanılan betona katkı maddesi olarak kullanılmıştır (Sabir,1995). Silis dumanının eklenmesi, geçirgenliğini azaltırken betonun erken dayanımını artırır (Duval ve Kadri, 1998). Silis dumanı hem dolgu maddesi ve hem de puzzolan olarak ikili bir rol oynar. Küçük tanecik boyutundan ötürü, çimento parçacıkları arasındaki boşluklara girerek boşluksuz bir yapının meydana gelmesine katkı yapar. C-S-H oluşumuna katkıda bulunur. Potansiyel olarak silis dumanı yüksek reaktivitesinden dolayı, çok küçük taneciklerdeki Portland çimentosunun hidrasyonu sırasında üretilen kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer. İnceliği sayesinde hem kusmayı azaltabilir ve hem de boşlukları doldurur. Bununla birlikte, silis dumanının özellikleri, karışımdan plastikleştiriciler ile birlikte kullanılabilir. Silis dumanının dayanımı katkılı betonların donma-çözülme döngüsü ne karşı direnci hala belirsizdir.

Uçucu külün betonda kullanımı ile ilgili olarak %40 veya daha azının kullanılması gerektiği belirlenmiştir. Ayrıca, erken dayanım önemli bir faktör değilse, uçucu kül %60 kadar yüksek kullanılabilir (Naik and Ramme, 1989). Uçucu kül katkılı betonlar silis dumanından farklı olarak, aynı dayanım için daha uzun süre gerektirir. 91 günde uçucu kül içeren karışımların mukavemetinin katkı içermeyen örneklerden daha yüksek bulunmuştur (Langely vd, 1989). Silis dumanına kıyasla, aşırı miktarda yüksek oranda su azaltıcı ajan kullanan uçucu kül karışımları, farklı malzemelerin ayrışmasına neden olduğundan daha düşük mukavemet ile sonuçlanabilir. Uçucu kül içeren betonun gözeneklerinde azalma ara yüzey ile çimento matrisi ve agrega arasındaki geçiş bölgelerinin güçlenmesine katkı sağlar. CH ve uçucu külün tepkimesi CSH jeli oluşturur ve bu da basınç dayanımını artırır. İlk günlerde uçucu külün betondaki hidrasyon reaksiyon hızı biraz düşüktür. 28 günde, uçucu kül reaksiyon hızının derecesi %10'dan biraz fazladır (Lam vd, 2000, Chen vd,

2000, Fu vd, 2000; Poon vd 2000). Ayrıca, sadece %20 uçucu kül 90 gün sonra reaksiyona girer (Gopalan, 1993).

Yüksek fırın cürufu hem demir hem de demir dışı metal endüstrilerinden kaynaklanan atık bir üründür. Yüksek cüruf çimentoları erken yaşlarda dayanımları düşüktür. Bunun nedeni cürufun yavaş hidrasyon reaksiyonudur. Uçucu külün aksine, cürufun reaktivitesi daha çok sıcaklığa bağlı (Miura ve Iwaki, 2000; Sivasundaram, ve Malhotra, 1992). İki işlem, ilk hidrasyon döneminde cürufun reaksiyon oranını yönetir. Bunlardan ilki çekirdeklenme ve hidrasyon fazlarının gelişme hızıdır. Bu süreçten daha sonra CSH jelleri oluşur. İkincisi, faz sınırı etkileşimleri veya eski bileşikler ile yeni oluşan bileşikler arasında gerçekleşen etkileşimlerdir. Ayrıca, ilk hidrasyon oranının, ilk kireç muhtevasına bağlı olduğu da tespit edilmiştir. Hidrasyonun ilk günlerinde yüksek kireçli cüruf karışımlarında oluşan serbest kireç içeriklerinde keskin düşüşler gözlenebilir (Mostafa, 2001).

Bu bileşikler veya hidratlar Portland çimentosu ürünlerinden daha fazla jel yapılarına sahiptir. Bu hidratlar, çimento pastasının yoğunluğuna katkıda bulunur. Ayrıca cürufun Portland çimentosu mevcudiyetinde hidrasyonu, hidroksit anyonlarının camsı cüruf yapılarının bozulma ve çözünmesine büyük ölçüde bağlıdır. Bu iyon salımı çimento hidrasyonu sırasında gerçekleşir. ASTM C989, cürufu malzemelerin çimento üretiminde kullanılması için cüruf aktivite endeksinin temel bir kriter olarak kullanılmasını önermektedir (Miura and Iwaki, 2000, ACI Committee, Douglass vd, 1992). Araştırmalar, %65 kadar yüksek cüruf içeriğine sahip çimento ve magnezyum çözeltisinde bekletilen harçlarının 28 günlük hidrasyondan sonra, en düşük toplam bozulma oranını ve en iyi dayanıklılığını sağladığını göstermektedir (Tumidajski and Chan, 1996).

Çevresel kısıtlamalar ile kendisine uygulanan yıkıcı kuvvetlere dayanma kabiliyetine sahip ve aşırı bakım gerektirmeden hizmet verebilen beton dayanıklı olarak adlandırılır. Donma-çözülme ve ıslanma-kuruma gibi döngüler betonun nispeten kısa bir sürede bozulmasına neden olabilir. Bu nedenle, beton dayanıklılığı doğrudan bozulma durumu ile ilişkilidir. Betonda bulunan ve donma koşullarına maruz kalan su, zamanla genişlemeye maruz kalır. Bu öncelikle betondaki suyun %9 oranında genişlemesinden kaynaklanır (Neville, 1987).

Beton yapısındaki nem ve suyun donması ile çimento pastasında ve agregada ozmotik ve hidrolik basınçlar üretir. Bu basınç arttıkça betonda mikro çatlaklar oluşmaya

başlar ve sonuçta beton kırılır. Kırılma, basınç çimento pastasının veya agreganın gerilme mukavemetini aştığı zaman meydana gelir. Donma ve çözölmeye karşı direnç geçirgenlik, doygunluk derecesi, dondurulabilir su miktarı ve donma hızı gibi birçok faktöre bağıdır. Donma-çözölme karşı dayanımı, yüksek kaliteli agrega seçimi, düşük su/çimento oranı, doğru miktarda çimento içeriğı ve uygun sertleşme koşulları ile artırılabilir. Islanma-kuruma döngüsü betonun bozulmasına neden olabilir. Bu öncelikle tuzluluk oranı yüksek olan sularda oluşur. Zamanla, tuz, betonda doğal olarak oluşan boşluklar yoluyla karışma girer. Tuz daha sonra betondaki var olan bağların kopması ile çatlakların olmasına ve sonunda bozulmasına neden olur. Bu aynı zamanda, beton içerisindeki çeliğin korozyona uğramasına yol açar.

Beton yapılar için en önemli tasarım parametresi basınç dayanımıdır. Bu kritik parametre tasarım süreci ve bir projenin maliyetini etkileyebilir. Bazı mineral katkıların kullanımı sayesinde, betonun maliyeti azaltılabilir. Bu katkılar ayrıca harç veya betonun özelliklerini de iyileştirir. Bunlar bazı durumlarda, bir erken dayanım artış belirginleşirken, diğerlerinde geç dayanımda önemli bir artış sağlarlar. Ayrıca, çevresel açıdan bakıldığında, bu malzemelerin kullanımı çok önemlidir. Çünkü beton içerisindeki çimento miktarının azalması sağladığından önemli miktarda çevresel kirliliğın azalmasına katkı sağlar.

Metakaolin son yıllarda son derece aktif ve etkili bir puzolan olarak betonda çimento ile yer değiştirilebilen bir malzeme olarak kullanılmaktadır (Kim vd, 2007). Yüksek puzolanik özelliklere sahip ve ultra ince bir malzeme olan Metakaolin, kaolen 700-800 sıcaklık aralığında ısıtıldıktan sonra dehidroksilasyonu ile üretilir (Coleman vd, 1997, Wild vd, 1996, Bai vd 1999).

Silis dumanı ve metakaolin değişimlerinin kullanılarak beton numunelerin mekanik özelliklerini ve dayanıklılığını değerlendirmek ve karşılaştırmak için sıkıştırma, çekme gibi mekanik testler ve eğilme dayanımı testleri, hızlı klorür geçirgenliği testi, asit çözeltisine direnç, donma-çözölme ve hızlandırılmış karbonasyon testler yapılmıştır. Bu konuda uygulanan testler metakaolinin, maliyeti engelleyici silika dumanının yerine geçecek bir potansiyele sahip olduğu görölmüştür (Kim vd, 2007).

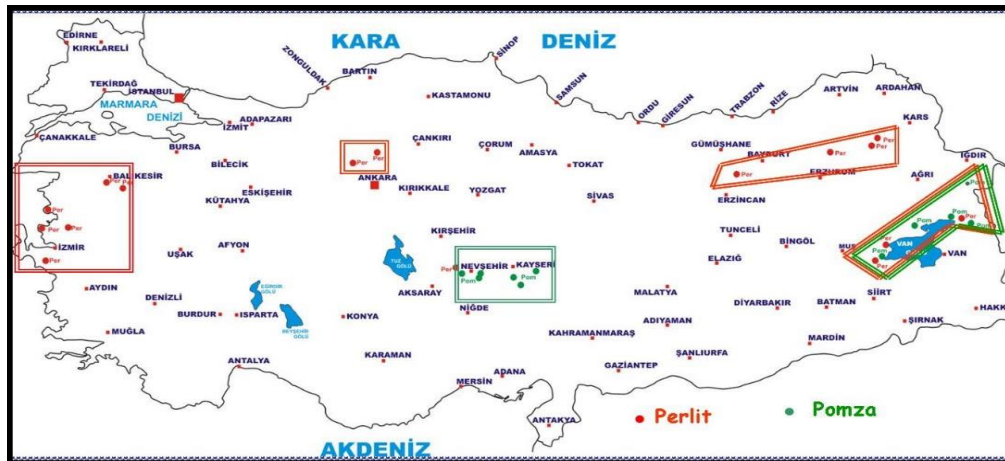
Doğal mineral katkılar : Pomza, volkanik faaliyetler sonucunda oluşmuş bir kaya türüdür. Bu kaya, boşluklu ve süngerimsi bir yapıya sahiptir ve fiziksel ile kimyasal etkilere karşı dayanıklıdır. Gözenekli yapısıyla dikkat çeker ve %50'ye kadar nem içerebilir, bu da özgül ağırlığının 0.5 g/cm³'e kadar düşmesine neden olabilir. Toz haline

getirildiğinde sert bir malzeme oluşturur. Ayrıca, ısı ve ses yalıtkanlığı özelliklerine sahiptir, uygun basınç dayanımı ve elastisite modülüne de sahiptir. Pomza, asit veya bazik bileşimler içerebilir; asidik pomza kullanılan en yaygın türdür (Aksogan vd., 2006, Binici vd., 2009).

Son yıllarda pomza çimento üretim prosesinde öğütme aşamasında katılmaktadır. Pomza pişirilmediğinden çok önemli miktarda enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Pomza katkılı çimento harçlarını basınç dayanımı, sülfat direnci, partikül büyüklüğü dağılımı ve çimentoların hidrasyon ısısında iyileşme gösterdiğinden ve Türkiye bazaltik pomza rezervi açısından zengin olduğundan çimento üretimi için uygun bir malzeme olarak belirlenmiştir (Binici vd., 2007, Erdogdu vd., 1999, Kelling vd., 2000). Pomza kayaç olarak görünüşü Şekil 1.23'te, Türkiye'deki rezerv yerleri Şekil 1.24'te verilmiştir.



Şekil 1.23. Pomzanın görünüşü (Elmastaş, 2012)



Şekil 1.24. Türkiye'deki pomza rezerv yerleri (URL-6)

Serpantinitit, yoğun kırılğan deformasyon ve çeşitli ikincil dokusal özellikler nedeniyle esas olarak bir kataklastik doku gösteren kayalardır. Yüksek oranda Fe, Mg, piroksen, olivin gibi mafik mineraller içeren kayaç ve silikat mineralleri bazalt, gabro, peridotit gibi ultramafik kayaçlar, %45'ten az silisyum içeren kayaçlar ise ultrabazik kayaç olarak tanımlanır (Özdeniz vd, 2017).

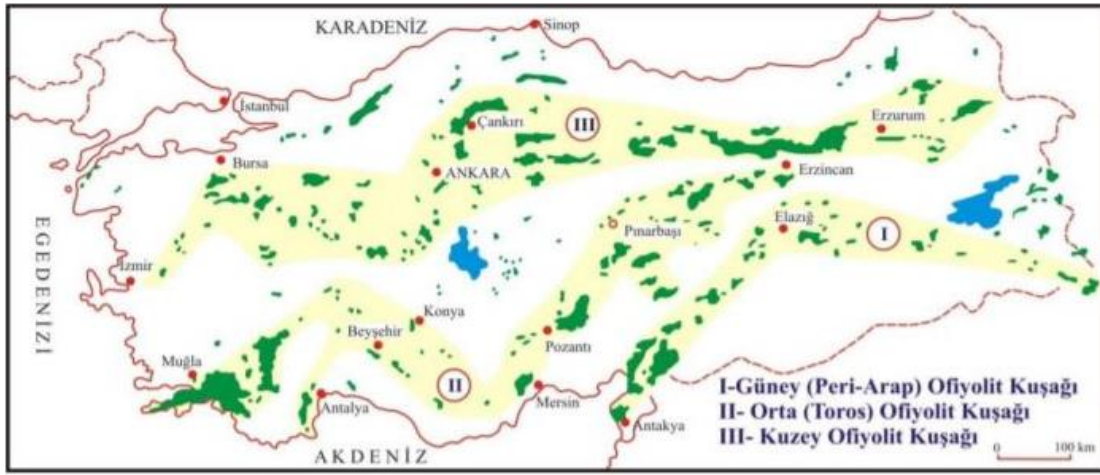
Ana üst katman materyali olan olivin ile suyun reaksiyona girmesi ile serpantinit oluşumu serpantinitizasyon olarak bilinir. Serpantinit içerikli, serpantinitit adını almış kayaçlar (Şekil 1.25) alpin tipi serpantinititler, esas kabuk tabakasından gelişen okyanus dibi serpantinititleri gibi çeşitlere ayrılmaktadır. Serpantinit içeren topraklar, ultramafik kayaların aşınması ile oluşmaktadır (Şekil 1.25). Serpentinus adını ise pürüzsüz ve zeytin-yeşili renkte, alacalı, pullu olması nedeniyle latince yılan anlamından gelmiştir. Serpantinit kayalar faylar ve makaslama zonlarında genellikle büyük masifler ve kemerler halinde yayılmaktadır. Serpantinitit gibi serpantin içeren kayalar kültürel ve tarihsel bakımdan önemli materyallerdir. Serpantinititler kolaylıkla işlenebilir ve bu nedenle tarihsel süreçte birçok kültür tarafından alet ve mücevher yapımında, törensel oymalarda, dekorasyonda, toplumların kültürlerini yansıtan tılsımların yapımında, yılan ısırıklarından korunmada kullanılmıştır (Rajakaruna vd., 2014). Serpantinitler, kıtaların kayması ve okyanus yayılımında önemli yer tutarak, nükleasyonda rol almakta ve depremlerde artış etkisi yaratmaktadır (Hirth ve Guillot ark., 2013).



Şekil 1.25. Serpantinititin görünüşü (URL-7)

Kimyasal yapısı $(Mg_3Si_2O_5)(OH)_4$ şeklinde olan serpantinitler, aynı kimyasal birleşimde olan, ancak farklı kristal yapısında üç polimorf gösterirler. Bunlar, kriotil, lizartit ve antigorittirler. Renksiz, beyaz, gri, bazen yeşilin tonları ile sarı ve gül renginde olabilir, yarı saydamdırlar. Sertlikleri 3-5, yoğunlukları 2,5-2,6 'dır. En çok rastlanan serpantin minerali krizotildir. Krizotil lifler, lizartir çok ince levhalar, antigorit ise levhalar halinde bulunur.

Ultramafik kayalar yurdumuzun birçok yerinde yamalı bir dağılışı göstermektedir (Şekil 1.26). Kütahya ve Balıkesir çevrelerinde, Antalya ve Muğla civarında, Hatay ve Adana civarında Amanos Dağları'nda, Doğu Toroslarda Mersin'in kuzeyi ve kuzeydoğusunda, Niğde ve Adana arasında Aladağ masifi içinde, Adana'dan-Erzincan'a kadar yüzlerce kilometrelik hat boyunca uzanır. Ayrıca Ankara ve Çanakkale çevrelerinde de lokal olarak rastlanmaktadır. Serpantinitlerin yayıldığı alanlar Türkiye'de endemizm bakımından oldukça önem taşımaktadır. Ayrıca serpantinitler maden cevheri bakımından da zengindir (Hoşgören, 2000).



Şekil 1.26. Türkiye'deki serpantinitin rezerv yerleri (URL-6)

Serpantinitler, olivin grubu minerallerle rombik proksenlerin ayrışma ürünü olarak meydana gelen minerallerdir. Havada ısıtılırsa 600 °C 'de serpantinitlerden olivin meydana gelir.

Isı daha fazla arttırılırsa durumunda 700 °C 'de yapısındaki suyu kaybeder. Serpantinit minerali genellikle, dunit, peridotit ve proksenit gibi ultrabazik kayaların redrograd hidrotermal alterasyonu veya daha önceden oluşmuş serpantinitlerin prograd metamorfizmasıyla oluşur (Karabay, 2006). Serpantinit; Asbest tekstil sanayinde, filtrede, yangın önlemede, özel boya yapımında, otolarda fren debriyaj aksamında kullanılır. Paketleme ve mühürlemede, kâğıt kaplamada, döşemede, çimentoda kullanılır. Yarı saydam olan serpantinitler, süs eşyası yapımında kullanılır (Kurt, 2010).

ABD'deki ilk tam ölçekli Enrico Fermi atom santralinin Radyasyona karşı korumak amacıyla serpantinit betonu kullanılmıştır (Kansouh, 2012). Yine ABD'deki Hanford'daki nükleer güç reaktörü için radyasyondan korumak amacıyla üretilecek beton yapılarının inşası ile ilgili olarak kapsamlı araştırmalar da yapılmıştır (Davis, 1972). Serpantinit betonu geniş bir şekilde araştırılmıştır. Serpantinitli betonun, suyu yüksek sıcaklıklarda

tutma kapasitesi nedeniyle radyasyon koruma için uygun olduğu düşünülmüştür. Serpantinit betonu Japonya'da da araştırılmıştır (Ohgishi vd. 1972). Bununla birlikte, serpantinit betonunun iyi fiziksel ve mekanik özelliklere sahip olduğu ve nükleer reaktörler için radyasyon kalkını yapımı için uygun olduğu sonucuna varılmıştır.

Bu araştırmada, mikro ve nano- WO_3 ve Bi_2O_3 karışımı hematit-serpantinit betonunun radyasyon soğurma katsayıları, 0.142-1.33 MeV Foton enerji aralığında ve genel amaçlı Monte Carlo kodu kullanılarak incelenmiştir. Nano-boyutta serpantinit (Bi_2O_3) içeren betonların, koruma özelliklerini nano- WO_3 'ten önemli ölçüde arttırdığı sonucuna varılmıştır (Tekin vd. 2019).

Dolomite terimi 18. yüzyılda ve bu mineral hakkında çalışmalar yapmış olan Fransız Mühendis D. Dolomieu'nun anısına verilmiştir. Dolomit; kireçtaşı (CaCO_3), Ca ile beraber Mg'un yer alması ile oluşan bir mineraldir. Özgül ağırlığı Mg oranına bağlı olarak 2,71 ile 2,87 ton/m³, sertliği ise 3,5-4 arasındadır. Bu kayaçların oluşumu dolomitlerin doğrudan kimyasal bir çökeltme ile değil kireçtaşlarının magnezyum bakımından zengin suların etkisi altında olduğu bilinmektedir. Aşırı buharlaşmanın olduğu denizden bir yükselti ile ayrılmış yarı kapalı ortamlarda suyun magnezyum bakımından giderek zenginleşmesi, tabana çökmüş kalsitten ibaret çamurun bu yoğun çözeltilerle etkileşmeye girerek dolomitleşmesi mümkün olabilir.

Dolomit agrega ile yapılan beton dolomitlerin ıslak ortamdaki olası reaktivitesi sonucu sürekli genişleme riski altında olabilir. Bu olay, seçilen beton yapı hasarlarını gözlemleyerek ve bazı laboratuvar testleriyle doğrulanmıştır (Dębska, 2015). Dedolomitleşme süreçleri dolomit ve dolomitik kireçtaşı agregaları ile ilişkilidir. Dedolomitleşmenin mekanizması ve reaksiyonları bilinmekte ve geniş bir şekilde tanımlanmaktadır. Dedolomitlenme reaksiyonunun bir sonucu olarak, dolomit Ca, Mg (CO_3)₂ kalsite (CaCO_3) veya manyezite (MgCO_3) dönüşebilir. Agregada kalsifikasyonu, gözeneklerde serbestçe akan yüksek $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ oranlarına sahip çözeltilerle temas halinde olması beklenebilir. Magnezyum iyonları yönünden zengin olan magnezyum çözeltileri ile yer değiştirmesi beklenir.

Suyla reaksiyona giren çimentoda ilk çözünen madde Ca(OH)_2 dir. Bunun belirli konsantrasyonda bulunması silikat ve aluminat jellerinin oluşmasına neden olur. Agregada tanelerinin yüzeylerine çökelerek bağlantıyı oluşturan da hegzagonal kireç kristalleridir. Agreganın kireçle aynı kimyasal yapıda olması bu kristal oluşumunun sürekliliği

bakımından büyük katkısı vardır. Yani, CaCO_3 kökenli agregalar (kireçtaşı, dolomit, mermer) en yüksek “epitaksik bağ” oluşturan agregalardır (Akman, 1984).

Alkali-agrega reaksiyonlarına yatkın beton için üç olası etki bilinmektedir (Katayama, 2004).

Bunlar;

1. Dolomitlerin alkali-karbonat reaksiyonundan (ACR) sonra ve dedolomitleşmeyle sonuçlanan dolomitik kireçtaşlarının varlığının sonucunda zararlı ACR'nin, kriptokristalin kuvars varlığı veya kil içeriğinin bir sonucu olması muhtemeldir. Bu reaksiyon genişleyen çatlaklar nedeniyle betonun aşamalı olarak bozulmasına neden olur.

2. Dolomit esaslı olmayan kalkerlerin alkali-karbonat reaksiyonundan (ACR) sonra ortaya çıkan ürünler,

3. Çeşitli karbonat kayaçlarının alkali-silika reaksiyonundan (ASR) sonra

Çeşitli karbonat agregalarda betona zarar verilmesine ilişkin araştırmalarda, sülfat iyonları kalsit ile birlikte bulunmuştur. Bazı sülfat iyonları, çevre, çimento matrisi ve karbonatlı agregalar arasındaki spesifik kimyasal reaksiyonların sonucunda oluşan ürünler bilinmektedir (Katayama, 2004). Brucite veya ettringite gibi yeni gelişen mineralleri agregalar tanelerinin dışında birikebilir ve bir kısmı ardından ara yüzeyin özelliklerini değiştirdikten sonra karbonatlı agregalar ile yapılan betonun özelliklerini etkiler (Stukovnik, 2015).

Dolomitin kayaç olarak görünüşü Şekil 1.27’de Türkiye’deki rezerv yerleri de Şekil 1.28’de verilmiştir.



Şekil 1.27. Dolomitin görünüşü (Yılmaz, 2022)



Şekil 1.28. Türkiye'deki dolomit rezerv yerleri (URL-6)

Dolomit, Dünya genelinde ve özellikle Türkiye'de geniş bir dağılıma sahiptir ve genellikle rezervler açısından sorun yaşanmaz. Dünya genelinde yaklaşık 120 milyon ton civarında olan dolomit üretiminin büyük bir kısmı ABD'de gerçekleştirilir. ABD'nin yanı sıra, İngiltere, Avusturya, Belçika, Japonya, Polonya, İspanya, Kanada, Brezilya, Almanya ve Avustralya gibi ülkeler de yılda 1 milyon tonun üzerinde dolomit üreten ülkeler arasındadır. Dünya çapında, farklı bölgeler arasında dolomit ticareti yapılmaktadır. Başlıca dolomit ihracatçıları arasında Belçika, Güney Kore, Kanada, Tayland ve Tayvan yer alırken, bu ülkelerin 3 milyon tonun üzerindeki ihracatın büyük kısmını gerçekleştirdiği bilinmektedir. Benzer şekilde, dünya genelinde yaklaşık 2 milyon ton civarında olan dolomit ithalatının büyük bir kısmı Japonya tarafından gerçekleştirilmektedir. Japonya'yı ise Fransa, İngiltere ve İspanya gibi ülkeler takip etmektedir (Deniz, vd., 2020).

Dolomit, kireçtaşlarındaki kalsiyumun kısmen magnezyum ile yer değiştirmesi sonucu oluşur. Bu nedenle, bu iki kaya türü genellikle bir arada bulunur ve birinden diğerine kolaylıkla geçiş gösterebilir. Nitelikli bir dolomitte, magnezyum oksit miktarı genellikle %20 civarındadır. Türkiye'de bulunan dolomitler genellikle sanayi için uygun niteliktedir ve demir içerikleri genellikle düşüktür. Dolomit açısından en zengin bölgeler genellikle Marmara, Ege, Akdeniz ve Karadeniz bölgeleridir. Ülkemizdeki en verimli dolomit madeni İçel'de bulunmaktadır. Ayrıca, Hatay, Malatya, Muğla ve Kırklareli gibi illerde de önemli dolomit yatakları bulunmaktadır. Ancak, Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri dolomit açısından daha az zengindir ve bu bölgelerde yeterli ön araştırma yapılmamıştır (Dal, 2005).

MgO'nun çimentodaki içeriği, genleşme özelliğinden dolayı ağırlıkça %5'ten daha az olması gerekir. Türkiye dolomit rezervleri bakımından zengindir ve dolomit ülkenin birçok bölgesinde bolca bulunur. Portland Çimento (CEM I 42.5R), %40'a kadar dolomit ve %20'ye kadar yüksek fırın cürufu ile değiştirilmiş, pastaların hidrasyon ısısı, priz süreleri, genleşme oranları ve harçların mikro yapıları ile basınç dayanımı ve uzunluk değişimi belirlenmiştir. Yüksek fırın ile dolomitin genleşme miktarının dengelenebileceği görülmüştür (Temiz vd., 2015).

Dolomit, endüstride fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak geniş bir kullanım alanına sahiptir. Isıl işlem görmüş dolomit, refrakter sanayinde tuğla ve harç üretiminde tercih edilirken, ham dolomit çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Bunlar arasında, yol inşaatlarında mıcır ve beton dolgu maddesi olarak, ziraatte gübre yapımında dolgu maddesi ve toprak ıslahında, cam ve soda sanayinde MgO kaynağı olarak, boya sanayinde dolgu maddesi olarak, seramik sanayinde seramik bünye ve sırlarında, kimya sanayinde beyazlatıcı ve ferrosilikon üretiminde, suyun filtrasyonunda, deniz suyundan MgO üretimi sırasında katkı maddesi olarak, ve demir-çelik sanayinde demir cevherinin sinterleştirilmesinde, çelik üretiminde cüruf yapıcı ve refrakter tuğlaları koruyucu olarak kullanılması yer almaktadır (Kurt, 2010).

Baritin kimyasal formülü $BaSO_4$ 'tür ve özgül ağırlığı $4,5 \text{ gr/cm}^3$ 'tür, bu da onu ağır bir agrega yapar. Barit, mohs sertliği 2,5–3,5 arasında değişen bir mineraldir ve kristal yapısı ortorombiktir. Renksiz olabileceği gibi beyaz, sarı veya gri de olabilir. Barit, temiz, yumuşak, doğal olarak tepkisiz ve maliyet açısından uygun bir mineraldir. Türkiye, dünya barit rezervlerinin %2,1'ine sahiptir ve bu rezervler genellikle dövülmüş, ufalanmış veya ham, yüksek kaliteli barit içerir. Barit yatakları genellikle Konya, Kahramanmaraş, Muş, Antalya ve Kütahya gibi bölgelerde bulunmaktadır. Türkiye, dünya barit üretiminde 120 bin tonla %1,7'lik bir paya sahip olarak sekizinci sırada yer almaktadır (Binici vd., 2010, DPT, 1995).

Barit minerali, ağır beton üretmek için agrega olarak kullanılır. Betonda agrega olarak baritin kullanılmasının amacı genel olarak gama ışınları gibi radyasyonların etkisini en aza indirmektir (Yıldız, 2017). Bu mineralin küçük miktarlarda beton üretiminde agrega olarak kullanılması ile geleneksel betona göre kıyasla radyasyon etkilerine karşı daha dirençlidir (Bashter, 1997, Akkurt ve vd., 2006). Bazı araştırma sonuçları, barit mineralinin betonda kullanılması durumunda geleneksel betonun bazı mekanik özelliklerini geliştiremediğini göstermiştir (Sakr ve El-Hakim, 2005, Kilincarslan vd,

2006). Barit minerali diğer agrega türlerine kıyasla aşınmaya karşı daha hassastır. Ayrıca, radyasyondan korunma amacıyla büyük miktarda barit mineralinin kullanılması nedeniyle, kaba agrega boyutunda barit bulmak zordur (Saidani vd, 2015).

Barit, çeşitli renklerde olabilir; renksiz, beyaz, sarı veya gri tonlarında görülebilir. Temiz, doğal olarak tepkisiz ve maliyet açısından uygun olan bir mineraldir. Baritin kullanım alanları genellikle sondaj, dolgu ve kimya sektörlerinde toplanır. Dünya pazarında, bu kullanım alanlarının tüketim oranları şu şekildedir: %90 sondaj, %7 kimya ve %3 dolgu sektörü. Sondaj sektöründe kullanılan barit, sondaj çamuru katkı maddesi olarak üretilirken TS 919 ve uluslararası API 13A standardına uygun olması gerekmektedir. Baritin kayaç olarak görünüşü Şekil 1.29’da ve Türkiye’deki rezerv yerleri Şekil 1.30’da verilmiştir.



Şekil 1.29. Baritin görünüşü



Şekil 1.30. Türkiye’deki baritin rezerv yerleri (URL-6)

Dünya barit üretiminde en önde gelen ülkeler sırasıyla Çin, Hindistan ve ABD'dir. 2004 yılında dünya barit üretimi toplamda 7,24 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. Türkiye ise aynı yıl dünya barit üretiminde 120 bin ton ile %1,7'lik bir payla sekizinci sırada yer almıştır.

Sondaj sektörü, genellikle öğütülmüş baritin en yoğun şekilde kullanıldığı alandır ve dünya barit tüketiminin yaklaşık %90'ı bu sektörde gerçekleşir. Baritin yüksek yoğunluğu, düşük aşındırıcı özellikleri, stabil yapısı yüksek basınç ve sıcaklıklara karşı direnci, manyetik olmaması ve çeşitli kaynaklardan kolaylıkla ve uygun maliyetle elde edilebilmesi gibi nedenlerle sondaj sektöründe yaygın olarak tercih edilir. Barit, baryum sülfat ($BaSO_4$) içeren beyaz veya renksiz bir mineraldir. Farklı baryum bileşikleri genellikle cam endüstrisinde kullanılır; özellikle preslenmiş camlarda, baryum oksit kurşun oksitten daha parlaklık sağlar. Boya endüstrisinde, yağlı boyalarda inceltici olarak veya badana tipi boyalarda beyazlatıcı pigment olarak kullanılır. Litofon adı verilen bir madde, siyah kül ile çinko sülfatın karıştırılmasıyla elde edilir. Öğütülmüş baritin sentetik kauçukla karıştırılması ve asfalt ilavesiyle, havaalanı pistleri ve yüksek standartlı yol kaplamaları yapılır. Baryumun X-ışınlarına karşı yüksek bir zırhlama özelliği olduğundan, röntgen çekimlerinde ve nötronları engelleme özelliği nedeniyle atom reaktörlerinde kullanılır. Barit, lastik endüstrisinde dolgu malzemesi olarak ve seramik endüstrisinde seramik cilası olarak da kullanılır. Ayrıca, kimya endüstrisinde de önemli bir kullanım alanına sahiptir.

Farklı türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve fiziksel faktörle karşılaşmaktadır. Betonun içerisine sızan su, oksijen, karbondioksit, klor ve sülfat gibi maddeler, beton içerisinde farklı türde kimyasal olayların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Isınlma-kuruma, ısınma-soğuma, donma-çözülme ve aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına ve aşınmasına yol açabilecek fiziksel olaylardır.

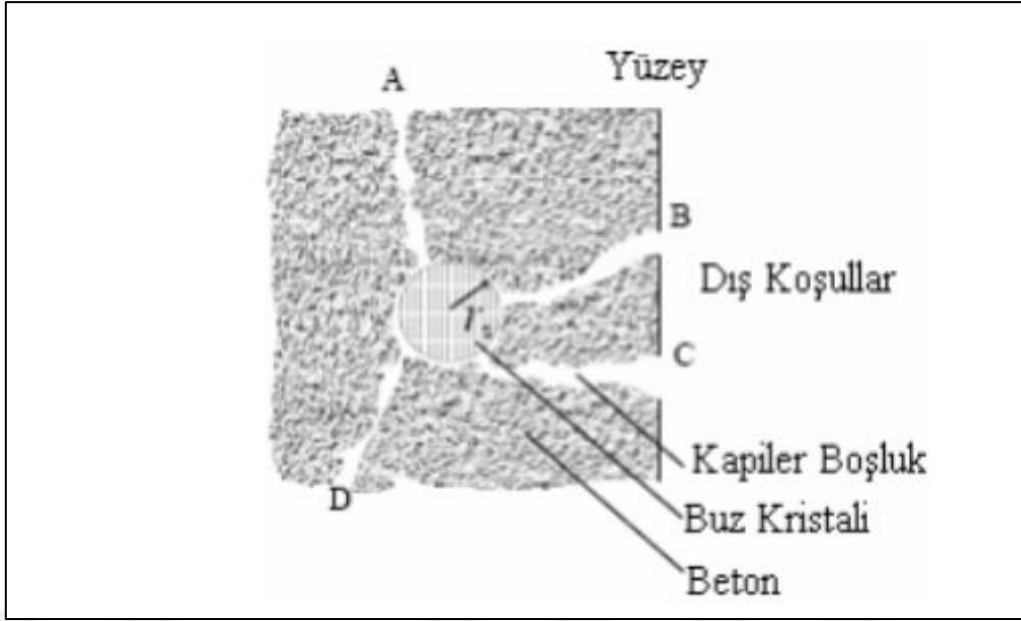
Kullanılan beton içerisinde meydana gelen kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki betonarme donatıları paslanabilmekte, beton aşınabilmekte ve beton içerisinde istenmeyen çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun bozulmasına, işlev göremez duruma gelmesine neden olmaktadır. Mühendislikte, tasarlanmış bir yapıdaki betonun, hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olması istenmemektedir. Bununla birlikte, betonun hizmet verdiği süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında

yeterli direnci gösterebilmesi, yani yeterince dayanıklı olması, en az betonun dayanımı kadar, halta çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir. Betonlar için durabilite veya kalıcılık dayanıklılığı, olarak ta adlandırılan dayanıklılık, hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan ve betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Binaların uzun ömürlü olması, sadece doğru taşıyıcı sistem seçimine ve projelendirilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, binaların mantıklı bir zaman diliminde "kalıcı" olarak nitelendirilecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve yaşlanma süreci en az bakım gerektirecek şekilde yavaşlatılmalıdır. Bu durum, beton, betonarme veya öngerilmeli yapıların bozulmasına neden olan etkenlerin bilinmesi ve bu etkenlere karşı gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Sadece malzeme kalitesini artırmak, çevrenin yapının üzerindeki olumsuz etkilerini gidermek bazen mümkün olmayabilir. Yapının kalıcılığı, malzemenin yanı sıra mimari yapısal düzenlemeler, detaylar, işçilik kalitesi, denetim ve bakım süreçlerine de bağlıdır (Öner, et al., 2003).

Beton durabilitesine donma-çözünme etkisi : Yapılarda veya başka amaçla kullanılan tüm cisimler boşluklu bir yapıya sahiptirler. Cisimlerin gözeneklerinde bulunan suyun, sıcaklığının sıfırın altına düşmesi sonucunda donması, malzemenin dayanımının azalmasına ve bazen de parçalanmasına yol açmaktadır. Cisimler üzerinde oluşan bu etki, suyun donması sonucunda hacminin yaklaşık %9 oranında artmasından kaynaklanmaktadır (Postacıoğlu,1987; Neville et al., 1987).

Beton içinde bulunan suların tamamı, açık havadaki su gibi 0°C sıcaklıkta donma eğiliminde değildir. Betondaki sular, içerdikleri çeşitli tuzların etkisiyle, genellikle 0°C'nin biraz altındaki sıcaklıklarda donma eğilimindedir. Ayrıca, suyun bulunduğu boşluğun çapı, donma sıcaklığını etkileyen önemli bir faktördür. Büyük kapiler boşluklardaki su genellikle 0°C veya biraz daha düşük sıcaklıklarda donarken, çok küçük kapiler boşluklardaki su -15°C veya -20°C gibi daha düşük sıcaklıklarda donma eğilimindedir. Jel boşlukları çok küçük olduğundan, bu boşluklardaki sular -78°C gibi çok daha düşük sıcaklıklarda donabilir. Sonuç olarak, beton içindeki suların donma noktasını belirleyen tek bir değer olmadığını söylemek mümkündür (Temircik, 2015).



Şekil 1.31. Betonun Gözeneğine Yerleşmiş Buz (Powers, et al., 1953)

Betonun sıcaklığı azaldıkça, içerisindeki su yavaşça donmaya başlar. Kapiler boşluklar, tamamen veya %91'den fazla suyla dolu olduğunda, donma süreci başlar ve su, hala donmamış olan boşluklardaki suyun üzerinde hidrolik basınç oluşturur. Bu durumda donma olayı aniden gerçekleşmez; donmamış su, boşluklardan dışarı itilmeye çalışılır. Bu dışarı çıkmaya zorlanan su, çimento hamurunun etrafındaki boşlukların çatlamasına neden olacak büyük gerilmelere yol açar. Betondaki sıcaklık arttıkça, beton içinde oluşmuş olan gerilmeler çözülür, ancak ilerleyen zamanlarda tekrar soğuma durumunda aynı olaylar meydana gelir. Kapiler boşluklardaki suyun hidrolik basınca katkıda bulunan iki önemli olay vardır: Jel boşluklarındaki su ile buz arasındaki termodinamik dengesizlik, jel suyunun bir miktarının kapiler boşluklara yönlendirilerek donmasına ve bu nedenle hidrolik basıncın artmasına neden olur. Ayrıca, şekil 1.31.'de gibi kapiler boşluklardan çıkan saf suyun ardından kalan su içindeki tuz ve diğer maddelerin konsantrasyonu artar, bu da osmotik basıncın yükselmesine neden olur.

Buzlanma ve çözülme, genellikle fiziksel etkilerle birlikte olan bir durumdur. Özellikle park alanları, hava alanları, kaldırımlar ve yollar gibi yerlerde kullanılan betonlar, sık sık donma ve çözülme devrelerine maruz kaldıklarında hızla zarar görebilirler. Bu tekrarlayan olaylar, betondaki iç gerilmelerin bir sonucu olarak yüzeydeki agregaların gevşemesine ve kopmasına, içerisinde çatlakların oluşmasına neden olur. Şiddetli koşullarda, en dayanıklı betonlar bile bir veya iki yıl içinde büyük hasarlara yol açabilirler (Erdoğan, 2003).

Beton durabilitesine aşınma etkisi: Hava meydanlarında, yollarda ve genel olarak döşeme kaplamalarında kullanılan betonlar, önemli ölçüde aşınma etkisine maruz kalmaktadır. Bu tür yapıların betonları, yüksek aşınma koşullarında yeterli aşınma direncine sahip olmadığında, aşınma sonucunda beton tabakasının kalınlığı azalabilir, bu da yapı elemanının işlevsiz hale gelmesine neden olabilir. Betonların ve diğer taş yapı malzemelerinin aşınma deneyi, TS 213-2 EN 13748-2 standartlarında belirtilen Böhme Diski adlı bir cihaz aracılığıyla gerçekleştirilir. Ayrıca, hareket halindeki suların neden olduğu aşınma da önemli bir faktördür. Su borularında, tünellerde, barajlarda ve dolu savaklarda görülen bu tür erozyon, suların hızla hareket etmesiyle betonun sürekli çarpma etkilerine maruz kalmasına neden olur. Bu etkiler, betonun ciddi korozyona uğramasına ve hızla aşınmasına yol açar (Postacıoğlu, 1987).

Aşınmaya dirençli bir beton elde etmek için, bazı mineral katkıların beton karışımına eklenmesi gereklidir. Bu hedefe ulaşmak için metal agregalar ve çelik tozunun kullanılması olumlu sonuçlar doğurabilir. Bunun yanı sıra, özel fırınlarda silis ve karbonun birleştirilmesiyle elde edilen Karberundum'un harç ve beton karışımına katılmasıyla, pratikte aşınmaya karşı dayanıklı betonlar üretilebilmektedir (Postacıoğlu, 1987).

Beton durabilitesine geçirimsizlik etkisi: Beton kullanımında ya da beton dayanımıyla ilgili problemler genellikle betonun içsel özelliklerine, özellikle de geçirgenliğine ve kimyasal bileşimine bağlıdır (Roper et al., 1992).

Eğer beton geçirimsiz ise, su ve zararlı sıvılar gibi unsurlar beton içine nüfuz edemez. Dolayısıyla, geçirimsiz veya çok düşük geçirgenliğe sahip betonlarda don olayları veya betona zarar veren kimyasal reaksiyonlar genellikle meydana gelmez. Betonun içerisine zararlı sıvıların sızması veya emilmesi sonucu oluşan kimyasal reaksiyonlar, özellikle beton dayanıklılığında geçirgenliğin önemini vurgular. Boşluklu bir beton yapısı, sertleşmiş betonun içine dışarıdan giren suyun iç bölgelere ulaşarak betonun hasar görmesine yol açabilir. Bu nedenle, su veya diğer sıvıları içeren betonların, özellikle depo ve baraj gibi yapıların inşasında kullanılan betonların, mümkün olduğunca geçirimsiz olmaları önemlidir (Erdoğan, 2003).

Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas eden sıvılar ve gazlar, betonun içine akarak çeşitli nedenlerle iç bölgelere ulaşabilir. Beton içindeki sıvı akışları, hava veya su basıncındaki farklılıklar, nem farklılıkları ve osmoz olayından kaynaklanabilir. Geçirgen betonlara sızan sular ve içerdikleri yabancı maddeler, betonda kimyasal ve fiziksel

değişikliklere neden olabilir. Çimento hidratasyonu sonucu oluşan ve sertleşmiş çimento hamurunun yapısında bulunan kalsiyum hidroksit, dışarıdan giren suların etkisiyle çözünerek yüzeye çıkabilir. Bu durumda, betondaki boşluk miktarı artar ve yüzeyde kalsiyum karbonat ve tuz birikintileri oluşabilir. Beton içine sızan sülfatlar ve asitler, genleşme yaratan ürünlerin oluşmasına neden olabilir. Beton içine giren su, oksijen ve klor, beton içindeki demir donatının korozyonuna yol açabilir. Korozyon sonucunda demir donatının kesitleri küçülür ve beton içinde genleşme oluşabilir. Kapiler boşlukları suyla dolu betonlarda, boşluklardaki suyun donması büyük genleşmelere neden olabilir (Erdoğan, 2003).

Betonun geçirimsiz ve boşluksuz olması, dayanıklılık açısından kritiktir. Betonun geçirgenlik katsayısı, beton numunelerine uygulanan geçirimsizlik deneyi ile hesaplanabilir. Geçirgenlik katsayısı hesaplaması için aşağıdaki denklemler kullanılabilir (T S-3455).

$$K_{60} = \frac{V_s \times L}{t_s \times P \times A} = \pi r^2$$

$$K_{60} = \frac{100 \times K_y}{F_y}$$

K_{60} = 60 günlük betonun geçirgenlik katsayısı (cm/sn)

V_s = t_s saat aralıklarla ölçülen toplam su miktarları farkı, $V_2 - V_1$ (cm³)

A = Su basıncının uygulandığı deney numunesi yüzeyinin alanı (cm²)

P = Uygulanan su basıncı (cm su sütunu)

K_y = t günlük betonun geçirimlilik katsayısı (cm/sn)

L = Numune yüksekliği (cm)

t_s = V_1 ve V_2 toplam su miktarları ölçümleri esnasında geçen zaman (sn)

F_y = 60 günden farklı yaşlarda yapılan geçirimlilik deneyi sonuçlarından K geçirgenlik katsayısını hesaplamak için kullanılan yaşa bağlı çevirme katsayısı,

Hasar mekanizması, betonun mikro yapısına bağlıdır ve betonun geçirimlilik özellikleri, direkt olarak mikroyapıyla ilişkilidir. Bu nedenle, betonun dayanıklılığının değerlendirilmesi, ölçülen geçirimlilik özelliklerine dayalı olarak gerçekleştirilmelidir. Doğal ve yapay puzolanlar, betonun kimyasal dayanıklılığını artırmada önemli rol oynarlar. Puzolanlı çimentolar, Portland çimentolarına göre daha düşük geçirimliliğe sahip beton elde etmeyi mümkün kılar ve daha yoğun bir kalsiyum silikat hidrat

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Radyasyon ile ilgili çalışmalar

Üretilen betonların radyasyon önleyici özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, yüksek fırın Son yıllarda yaşam, çalışma ve ortak alanlarda bulunan insanların radyasyonuna maruz kalma riskini önlemek için verilen maksimum dozdan daha düşük olması gerekir. Radyasyonun zararlı etkisi radyasyon enerjisi ve türüne bağlıdır. Diğer yandan radyasyondan korunmak için ağır beton veya kurşun seçimi genellikle radyasyon enerjisine ve malzemesinin maliyetine bağlıdır. Genellikle uygulamada farklı kayaçlar kullanılarak üretilen betonlarla hem radyasyonun zararı azaltılmakta hem de kurşuna göre daha az maliyetle çözüm üretilmektedir.

Özellikle nükleer reaktör gibi yapılarda yüksek yoğunluklu beton kullanılması geleneksel betondan daha verimlidir. Geleneksel beton yoğunluğu, yaklaşık 2.3 g/cm^3 'tür; beton üretiminde barit agregaları, demir cevheri atığı, manyetit veya kurşun eklenerek yoğunluk artırılabilir. Barit betonun uygulamalarında ABD'de ilk kez 1950'de nükleer reaktör koruması incelenmiştir. Bu çalışmada 3.6 g/cm^3 yoğunluğa sahip barit taşı kullanılarak 3.49 g/cm^3 yoğunluğa sahip bir barit betonu yapılmıştır.

Quapp W.J. vd. (2000) bu çalışmada tükenmiş uranyum betonu, nükleer koruyucu olarak geliştirilmiştir. Bunun için Uranyum oksit bazlı agrega ve yüksek seviye atıklar için malzeme ile geleneksel beton malzemeleri kullanılmıştır. Tükenen uranyum agreganın, 8.8 g/cm^3 'e kadar yoğunluğa sahiptir. Tükenmiş uranyum betonu, sıvı fazlı sinterlenmiş bir seramiktir sıvı fazı oluşturan ve yaklaşık %93 uranyum oksit ile diğer silis taşıyıcı malzemedir. Tükenmiş uranyum betonun yoğunluğu 5.6 ila 6.4 g/cm^3 ile değişmektedir. Bu koruyucu malzeme tek bir matristeki hem yüksek Z hem de düşük Z elementlerine sahiptir. Sonuç olarak, bu betonlar gama ve nötron radyasyonunun soğurması için çok etkilidir.

El-Sayed A.A. vd. (2002), barit içeren betonların radyasyon soğurma özelliklerinin araştırılması adlı çalışmalarında, en ağır betonlardan olan barit betonunun gama ışınlarının soğurulmasında en iyi malzeme olduğu ifade edilmiştir. Zira çalışmada, Reaktörlerin yaydığı gama ışınlarından korunmak için kullanılan barit betonlarının, işlenebilir ve maksimum yoğunlukta olması ile yeterli fiziksel, kimyasal, termal ve yapısal özelliklerle sahip olmasıdır.

Ramasamy V. vd. (2002), biyotit granitlerin gama ışını spektroskopik analizi adlı çalışmada, Rajapalayam'ın çeşitli rakımlarında toplanan biyotit örneklerinin gama ışını soğurma özellikleri spektrometrik tekniği kullanarak araştırılmıştır. Doğal olarak oluşan radyoaktif elementlerin aktiviteleri ^{232}Th , ^{238}U ve ^{40}K belirlenmiş ve bir çevre kullanarak yerinde ölçümlerle radyasyon dozimetre ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal korelasyon katsayısı elde edilmiştir. Th'un U'ya oranı, kabuk kayası için literatürde verilen değerle yakın bir uyum sergilediği görülmüştür.

Mahdy M. vd. (2002), süper akışkanlaştırıcı ile düşük su/çimento oranlarında ve silis dumanı katılarak yüksek mukavemetli beton elde edilmiştir. Bu çalışmada, 41 deneme karışımından, 100 mm'nin üzerinde bir çökme ve 180 günlük 140 MPa dayanım elde edilmiştir. Sonuçta yüksek basınç dayanımı ve radyasyon soğurma potansiyele sağlayan betonlarda mineral katkı maddesi olarak silis dumanı ile hem kaba hem de ince manyetit etkili olmuştur.

Bouzarjomehri vd. (2006) yaptıkları çalışmada, farklı barit beton karışımlarının Radyoterapi odalarının radyasyona karşı korunmasında etkinliği araştırılmıştır. Bu şekilde, maksimum radyasyona geçirimsiz duvar kalınlığının minimuma indirilmesi için barit tanecik büyüklüğü ve miktarı belirlenmiştir. Beton yoğunluğunu arttırmak için, farklı su / çimento oranlarıyla karıştırılan farklı boyutlardaki barit agregasının değişimleri incelenmiştir. Beton basınç dayanımı testi için 15 x 15 x 15 cm kübik beton örnekler üretilmiştir. Radyasyon testi için dikdörtgen barit 10 × 10 cm ve 5 ila 40 cm boyutlu beton bloklar kullanılmıştır. Radyasyon testi için, beton numunelere ^{60}Co (Phoenix Theratron) gamma ışını gönderilmiştir. Beton numunelerden geçen ve tutulan ışınlar ölçülmüştür. En iyi karışımların su ve çimento oranı 0.45 ve çimento miktarı 350 kg/m^3 ile ince agrega karışımlardan elde edilmiştir. Dünyanın birçok yerinde barit madenleri mevcuttur ve bulgulara göre en uygun karışım koşuluyla radyoterapi odalarının korunmasında barit beton kullanılması tavsiye edilmiştir.

Akkurt vd. (2010), kimyasal korozyon ortamının barit katkılı betonun Gama ışını soğurma özelliklerine etkisi adlı çalışmada, gama ışınlarının soğurma katsayısına kimyasal ortamdaki değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, barit betonunun lineer soğurma katsayısı, kimyasal ortama altı ay bekletildikten 662, 1773 ve 1332 keV'de ölçülmüştür. Lineer soğurma katsayısı, bir NaI (TI) detektörü içeren gama spektrometresi kullanılarak ölçülmüştür. Bu ölçümden kimyasal ortamın barit betonun lineer soğurma katsayısı azalttığı ve barit oranının betonun özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür.

Binici vd. (2012) yaptıkları çalışmada, sunta üretiminde pamuk atığı, uçucu kül ve epoksi reçinenin kullanımı incelenmiştir. Isı iletkenlikleri, ses yalıtımı ve farklı kalınlıktaki suntaların eğilme dayanımı test edilmiştir. Barit içeren numunelerin radyoaktif özellikleri de incelenmiştir. Tüm testler Türk Standartlarına göre yapılmıştır. Pamuk atığı ve uçucu kül kullanımının suntaların mühendislik özellikleri üzerinde olumlu etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, barit içeren numunelerde radyoaktif geçirgenlik düşük ölçülmüştür.

Kansouh, W. A., vd. (2012), yaptıkları çalışmada dolomit ve ilmenit betonlarının radyasyon önleyici özellikleri araştırılmıştır. Çalışma, nükleer reaktörler, yüksek enerji hızlandırıcılar ve diğer nükleer tesisler için hafif ve ağır betonların radyasyon hafifletme özelliklerinin incelenmesi ile ilgilidir. Yerel agregalardan yapılan yoğunluğu 2.5 g/cm³ olan dolomit ve yoğunluğu 3.69 g/cm³ olan ilmenit beton üretiminde radyasyona karşı koruyucu olarak üretilmiş ve ölçümler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, farklı beton kalınlıkları ve zayıflama ilişkileri için nötron ve gama ışını spektrumları şeklinde sunulmuştur. Hesaplanan ve türetilen sonuçlar arasında bir karşılaştırma yapılmış ve söz konusu malzemelerin bu amaçla kullanılabileceği görülmüştür.

Mohammed B. J. vd. (2013) bu çalışmada, yüksek performanslı betonların (HPC) radyasyondan korunma özelliklerinin deneysel olarak incelenmesi, farklı değişkenlerin etkisi altında araştırılmıştır. HPC'ler, elde etmek için üç düşük su-çimento oranına sahip farklı normal ve ağır agregalardan üretilerek farklı basınç dayanımları elde edilmiştir. Lineer radyasyon soğurma katsayılar, NaI (TI) sintilasyon detektörü kullanılarak 137C'lik radyoaktif 0.663 MeV γ -ışınları enerjisinde ölçülmüştür. Ağır HPC'lerin basınç dayanımının γ -ışınlarının tutulmasında önemli rol oynamıştır. Basınç dayanımı ile γ ışınlarının tutulması arasında doğrusal bir ilişki görülmüştür. Düşük dayanımlı betonların radyasyon tutuculukları görülmemiştir. Çalışmada ayrıca beton yoğunluğunun radyasyon tutmada önemli bir etken olduğu belirlenmiştir.

Azeez A.B. vd. (2014) yaptıkları çalışmada, farklı atık malzemeler kullanılarak cürufu, demir cevheri vb atıklar kullanılarak radyasyon önleyici veya soğurma kapasiteleri bakımından değerlendirilmiştir. Soğurma ölçümleri, NaI (TI) detektörünün gama spektrometresi kullanılarak yapıldı. Demir cevherleri ve yüksek fırın çelik cürufu içeren betonlardan daha düşük değerler ölçülmüştür. Radyo aktiviteye karşı en iyi koruyucu etkiyi demir cevheri içeren betonlar sağlamıştır.

Binici vd., (2014) çalışmalarında, tüm inşaat malzemeleri az ya da çok doğal radyoaktivite içerdiği ifade edilmiştir. Kolemanit, bazaltik, pomza ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu ve barit katılan harçların mekanik ve radyolojik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, katkı maddesi olarak yüksek fırın cürufu kullanılan harçların daha sonraki yaşlarda harçların basınç ve eğilme dayanımlarının önemli ölçüde arttığını göstermektedir. Ancak, pomza ve barit katkılı örneklerin katkı oranı arttıkça basınç dayanımı Referans numunelerin daha düşük elde edilmiştir. Kolemanit oranının artmasıyla birlikte numunelerin lineer soğurma katsayısı artmıştır. Genel olarak kolemanit ve yüksek fırın cürufu harçlar, düşük radyoaktif geçirgenliğe sahip olduğu görülmüştür. Daha önceki çalışmalardan baritin radyasyon geçirgenliğini engellediği bilinse de bu çalışmada ayrıca hem pomza hem de yüksek fırın cürufunun da benzer etkiye sahip olduğu test edilmiştir. Bu örnekler radyoaktif etkiye maruz kalan yerler için tercih edilmelidir. %5 pomza katkı maddesi içeren numunelerin doğrusal emme katsayıları, barit katkı maddesi içeren numunelere çok yakındır. Bu nedenle, pomza radyasyonun etkili olduğu bölgelerde kullanılabilir. Medikal binaların ve nükleer reaktörlerin duvar ve kaplamalarında rahatlıkla kullanılabilir.

Ermış vd., (2015), yaptıkları çalışmada teorik bir yöntemle bazı metallerin gama ışını soğurma seviyeleri belirlenmiştir. Bu amaçla, FLUKA Monte Carlo (MC) ve XCOM programları kullanılmış ve bulunan değerler literatürde verilenlerle karşılaştırıldığında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. FLUKA MC programı, XCOM olduğu gibi malzemelerin gama ışını kütle zayıflatma bileşenlerinin hesaplanmasında başarılı olmuştur. Temel sonuçlar, hesaplamadaki gama fotonlarının sayısından etkilendiği ve yüksek bir foton sayısı önerilmiştir.

Saddeek Y.B. vd. (2015), Çimento fırınında toz-bizmut borat camlarının gama ışınlarının soğurulmasına etkisi adlı çalışmalarında, Kompozisyonların yapısal ve rijitlik değişikliklerine bağlı olarak, radyasyon soğurma düzeyleri de farklı olmuştur. Ayrıca örneklerin yoğunluğu arttıkça ultrasonik ses geçiş hızları da düşmüştür.

Binici vd., (2015), bu çalışmada tüm canlıların ve cansız nesnelerin, yani insanların, hayvanların, bitki, hava, su ve toprağın hem radyasyon yaydığı hem de doğal ve yapay radyasyona maruz kaldıkları ifade edilmiştir. Çalışmada binaların radyasyon etkilerine karşı korunması için endüstriyel yumurta kabuğu atıklarının kullanılmasının uygulanabilirliği değerlendirilmiştir. Bu amaçla, çimento, Rilem kumu ve yumurta kabuğu katkılı harçların radyasyon emici özelliği çalışılmıştır. Bu araştırma sırasında, harçların 90

günlük sülfat direnci ve 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımı incelenmiştir. Sonuçlar, bir katkı maddesi olarak yumurta kabuğunun, her yaş için farklı katkı kabukları yüzdeleri oranlarına sahip tüm örnekler için harçların basınç ve eğilme dayanımlarını azalttığını göstermiştir. Ancak önerilen karışım, Türk standartlarının minimum basınç dayanımı gereksinimlerini karşılamıştır. Yumurta kabuğu oranı arttıkça örneklerde doğrusal soğurma katsayısı artmıştır, yani yumurta kabuklu harçlar, radyoaktif geçirgenliğin düşüklüğü düşüktür. Bu nedenle, yumurta kabukları, radyasyonun etkili olduğu bölgelerde kullanılabilir. Bu tür beton duvarlarda radyasyon kalkanı olarak kolayca kullanılabileceği rapor edilmiştir.

Ouda (2015), Ağır yoğunluklu betonun Radyasyondan korunma amaçlı γ -ışını soğurması ve fiziksel- mekanik özelliklerin değerlendirilmesi adlı çalışmada yerel agregaları kullanarak yüksek fiziko-mekanik özelliklere sahip özel beton geliştirerek gama ışınlarının korumasını iyileştirilmesi araştırılmıştır. Çeşitli beton karışımları ağırlıkça %20, 40, 60, 80 ve %100 oranlarında normal ince agregaya yerine geçecek ağır ince agregaya kullanılarak kullanılmıştır. Aynı şekilde diğer beton karışımları, kaba agregaya %50 ve ince agregaya %60 ağır agregalarla değiştirilerek kullanılmıştır. Yaş betonların yoğunluk ve sertleşmiş betonların basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi özellikler incelenmiştir. Beton karışımları 137C radyoaktif madde içeren radyasyon kaynağına maruz kaldıktan sonra üzerinde 0.662 MeV foton enerjisine sahip gama ışını soğurma kapasitesi ölçülmüştür. Sonuçlardan normal agregaya yerine %60'a varan ağır agregaya ile yer değiştirilerek üretilen betonların yoğunluğun ve sertleştirilmiş karışımların lineer soğurma katsayısına ek olarak basınç dayanımı değişim oranı artmıştır. Oranın %60'tan daha fazla artmasıyla, yoğunluk artmış ancak basınç ve çekme dayanımı azaltılmıştır.

Gallala (2016), ince agregaya yerine ince maden atıkları kullanılarak üretilen harçların mekanik ve radyasyondan koruyucu özelliklerinin araştırılması adlı çalışmada ince agregaya katkı maddesi olarak %30 oranında barit-fluorspar madeni atıklarıyla üretilen çimento harcının mekanik ve radyasyon koruyucu özellikleri üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Çimento harçlarının yoğunluk, basınç ve çekme dayanımı ve gama ışını soğurma kapasitesi açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, %25 barit-fluorspar içeren harçların 50 MPa'yı geçen basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Sonuçlar, barit-fluorspar kullanılmasının soğurma katsayısını yaklaşık olarak %20 arttırdığını göstermiştir. Bu bulgular radyasyon zırhını iyileştirmenin yanı sıra harç ve beton maliyetlerini azaltmak için maden atığının uygun bir şekilde ikame olarak kullanılabileceğini göstermiştir.

Delnavaz vd. (2017), yapılan çalışmada, demir oksit ve barit agregaları ile üretilen ağır betonların gama radyasyon iletiminde etkili parametreler olarak araştırılması yapılmıştır. Yani çalışmada demir oksit ve barit agregaları içeren ağır betonların gama radyasyon iletim oranı araştırılmıştır. Bu amaçla, çok değişik oranlarda agregalar ile yine farklı boyut ve türlerde ve çeşitli kübik ve silindirik örnekleri yapılmıştır. Örneklerin basınç dayanımı ve sezyum-137 kaynağı kullanılarak gama ışıınımı testleri yapılmıştır. Sonuçlar, ağır agrega kullanılan betonun radyasyon soğurma katsayılarını arttırdığı görülmüştür. Demir oksit agregaları betonun yoğunluğunu artırdığından radyasyon soğurma potansiyelleri de artmıştır. Barit agregaları içeren betonlarda radyasyon soğurma katsayısı, demir oksit içeren betonlardan daha yüksektir.

Rajeswari ve Mariyappan (2017), radyasyona dayanıklı beton üretiminde yüksek fırın cürufu kullanılması adlı çalışmada, elde edilen beton kompozitler yoğunluk, basınç dayanımı ve γ ışınlarının soğurma kapasiteleri belirlenmiştir. Örneklerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, çekme dayanımı ve radyasyon soğurma kapasitesi bulunarak geleneksel betonla karşılaştırılmıştır. %50 GGBS içeren betonların radyasyon soğurma katsayıları, geleneksel betonun soğurma katsayısından %58 daha yüksek bulunmuştur.

Mirmazhari vd. (2017), yaptıkları çalışmada üretilen tüm karışımların radyasyon iletimini belirlemek için doğru ölçümler yapılmıştır. NaI (Tl) sintilasyon detektörü kullanılarak ^{137}Cs radyoaktif izotopların γ -ışınları enerjisinde 70 ve 570 keV kullanılmıştır. Hematit agregaları ile üretilen ağır betonların yoğunluk, basınç dayanımı, çekme ve eğilme dayanımı, eğilme ve geçirgenlik gibi mekanik özellikleri araştırılmıştır. Ayrıca hematit ile lineer zayıflama katsayısının (μ , cm^{-1}) arttığı tespit edildi. Ayrıca radyolojik koruma için hematit agrega içeren betonların kullanılmasının uygun olduğu tespit edilmiştir.

Zaim ve Hatipoğlu, (2018), Kırklareli mermerinin gama radyasyonu zayıflatma katsayılarının deneysel olarak incelenmesi adlı çalışmada, Kırklareli mermeri ve sıkıştırılmış kireçtaşının γ -ışını soğurma kapasiteleri incelenmiştir. Kireçtaşı numunesi Kırklareli mermeri ile karşılaştırıldığında, gama ışıınımını soğurma potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Son olarak, artan gama enerjisi ile lineer zayıflama katsayılarının azaldığı görülmüştür.

Yorgun N.Y vd. (2018), bu çalışmada kütle soğurma katsayısı, barit, limonit, serpantin katkılı ve katlanmamış lityum borat camlarının elektron yoğunluğu değerleri

81, 121, 244 sayılı dar ışın iletim yöntemi kullanılarak ve Hp-Ge detektörü ile 276, 344, 383, 444 ve 778 keV gama enerjileri yapılan deneysel çalışmadan elde edilmiştir. Atom numarası yüksek olan uyarıcı elemanın sistemin gama ışınlarını koruma özelliklerini geliştirdiği sonucuna varılmıştır. İncelenen örnekler arasında, barit katkılı lityum borat camları, en yüksek kütle soğurma değerine sahiptir, bu da barit katkılı örneklerin radyasyon uygulaması için uygun olduğu ifade edilmiştir.

Budi vd. (2019), gama ışını radyasyonuna maruz kalan barit betonunun soğurma katsayısı adlı çalışmada, barit, baryum sülfattan ($BaSO_4$) oluşan, metalik olmayan bir mineraldir ve yaklaşık 4.5 kadar özgül ağırlığı olduğu ve gama ışınlarına karşı koruyucu olarak yüksek yoğunluklu beton için kullanılabileceği ifade edilmiştir. Çalışmada gama ışını radyasyonunu bloke etmek için beton agregası olarak barit kullanımını sunmuştur. C25 ve C35 sınıfı beton üretilmiştir. Baritin numunelerin radyasyon soğurma katsayısına etkisi, kaba agregası barit ile ve hem kaba hem de ince agregaların barit ile değiştirilmesiyle incelenmiştir. Sonuçlar, betonun gama ışınına maruz kalan barit agregaları kullanarak koruma kabiliyetinin, kaba agregası olarak normal olan ve barit kullanan betondan daha iyi olduğunu göstermektedir. Beton C25'in agregası olarak barit ve ince agregası olarak barit ile soğurma katsayısı sırasıyla 0.294 cm^{-1} ve 0.230 cm^{-1} 'dir; Beton C35'in agregat halinde barit ve kaba agregası olarak barit içeren soğurma katsayısı sırasıyla 0.304 cm^{-1} ve 0.271 cm^{-1} 'dir; Normal beton C25 ve C35 zayıflama katsayısı sırasıyla 0.205 cm^{-1} ve 0.225 cm^{-1} bulunmuştur.

Çelen vd. (2019), bor ve barit atıklarının radyasyona karşı değerlendirilmesi adlı çalışmada, Türkiye'nin dünyanın en büyük bor rezervine sahi olduğu ve kolemanitin bu minerallerden birisi olduğu ifade edilmiştir. Kolemanitten borik asit üretimi sırasında büyük miktarda atık üretilir. Çalışmada, bor atıklarının ve baritlerin radyasyon önleyici malzemeler olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. En iyi soğurma katsayıları sırasıyla 662, 1173 ve 1332 keV foton enerjilerinde 0.225678, 0.148848 ve 0.142652 cm^{-1} 'dir.

2.2. Beton durabilitesi ile ilgili çalışmalar

Mehta P.K. ve Manmohan D. (2006, Portland çimento betonunun dayanıklılığı, ayrışma etkisine, kimyasal saldırıya, aşınmaya veya amaçlanan hizmet ortamına maruz kaldığında orijinal şekli ve kalitesini koruyarak herhangi bir bozulma sürecine karşı koyma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Malzemeler başlangıçta bozulmaya başlayınca dayanıklılık problemleri genellikle ortaya çıkar. Maddi bozulmaların acil bir güvenlik

sorunu olmamasına rağmen, giderek yapılar için potansiyel bir tehlike yaratan yapısal hasara yol açacaktır.

Yüksel vd. (2007), öğütülmemiş yüksek fırın cürufu ve taban külünü ince agregası olarak içeren betonun dayanıklılığı adlı çalışmalarında, betonun dayanıklılık özelliklerini değerlendirmek için dayanıklılık testleri yapılmış ve sonuçlar referans beton ile karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Boyutları 3-7 mm olan ince agregadan %10, %20, %30, %40 ve %50 olarak beş seri örnek üretilmiştir. Bu yan ürünler betonda öğütülmemiş haliyle kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, GBFS ve BA, ince agregası olarak kullanılması durumunda betonun bazı dayanıklılık özelliklerini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Yüksek sıcaklığa ve yüzey aşınmasına karşı yeterli direnç gösterdiği gözlemlenmiştir. Kılcallık, kurutma-ıslatma ve donma-çözülme çözülme direncinin betona kabul edilebilir bir dereceye kadar yeterli direnç göstermiştir. Yan ürünlerin özellikleri ve değişim oranları, yeterlilik seviyesini belirlemiştir. SEM görüntülerinin karşılaştırılması ve test sonuçları bu malzemelerin kimyasal ve fiziksel özelliklerinin beton durabilitesini etkileyen ana faktörler olduğunu göstermiştir. Bu atıkların dayanıklı beton üretmeninde ince agregası olarak kullanılmasının mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Saran (2007), su kürü uygulanan numunelerin hava kürü numunelerine göre daha olumlu sonuçlar verdiği bir yüksek lisans çalışmasında, yeterli su bulunduğu ortamda, cüruf oranının belirli bir noktaya kadar artmasıyla birlikte betonun kılcal su emme ve hızlı klorür geçirimsiliğinde düşüş gözlemlenmiştir. Hava kürlerinde ise yeterli su bulunmamasına rağmen cüruf miktarının belirli bir noktaya kadar artması, betonun elektriksel direncini olumlu yönde etkilemiştir. Ancak, basınç dayanımları cüruf oranının artmasıyla azalmıştır. Yapılan korozyon ölçümlerinde, cüruf oranının artması su kürü uygulanan betonlarda büyük ölçüde direnç artışlarına neden olmuştur. Genel olarak, cüruf oranındaki artışın betonun durabilite özelliklerinde iyileşmelere yol açtığı belirlenmiştir.

Topçu ve Demir (2007), bu çalışma, agregası olarak atık araba lastik kullanılan harç ve betonun donma-çözülme, deniz suyu ve yüksek sıcaklık etkisi gibi dayanıklılıklarının belirlenmesini amaçlamıştır. Kum yerine hacimce %10, 20, 30 ve %40 araba lastiği agregası ile üretilen numuneler üzerindeki deniz suyunun etkisi araştırılmıştır. Sonuç olarak, çevre koşullarının sert olmadığı bölgelerde, %10'luk atık araba lastikleri ile üretilen beton kullanımının ekonomik olduğu görülmüştür. Durabilite özelliklerinin iyileştirmesinin yanında atılan lastiklerin geri dönüşümü için uygun olduğu tespit edilmiştir.

Apaydın (2007), bu çalışma, taze ve sertleşmiş beton özelliklerine beş farklı kökenli agregâ ile kırma kum kullanımının etkisini incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu bağlamda, betonlarda Çorlu- Karatepe'den gelen bazalt, Cendere'den gelen kumtaşı, Marmara Adası'ndan gelen dolomit, İstanbul- Çatalca'dan gelen beyaz kalker ve İstanbul- Cebeci'den gelen mavi kalker agregalarının kırma tasları ile doğal kum kullanılmıştır. Taze beton deneyleri çerçevesinde çökme, birim ağırlık ve hava miktarı ölçümleri yapılmış; sertleşmiş beton özellikleri ise 7. ve 28. günlerde basınç dayanımı, ultrases ve elastisite modülü deneyleriyle değerlendirilmiştir. Üretilen betonlarda agregâ kökeninin mekanik özelliklere olan etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir. Kırma kumun etkileri ise her bir agregâ kökeni için yalnızca kum, yalnızca kırma kum ve belirli oranlarda kum-kırma kum karışımı kullanılarak üretilen betonlarda araştırılmıştır. Farklı agregalar ile üretilen betonlardan elde edilen sonuçlara göre, bazalt agregası kullanılarak üretilen betonlar en yüksek birim ağırlık ve basınç dayanımına sahipken, bazalt ve dolomit agregaları ile üretilen betonların ultrases hızları, kalker ve kumtaşı agregaları ile üretilenlere göre daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca, basınç dayanımı arttıkça elastisite modülünün de arttığı; aynı agregâ grubu içinde benzer basınç dayanımlarına sahip betonların elastisite modüllerinin de birbirine yakın olduğu gözlemlenmiştir.

Ghrici vd. (2007), kireçtaşı tozu ve doğal puzolanların Portland çimentosunun kısmen değiştirilmesinin CO₂ emisyonunu azaltarak çevresel ve ekonomik faydaları iyi bilinmektedir. Bununla birlikte, her iki ek malzemenin de bazı eksiklikleri vardır. Portland çimentosuna kalker tozu ilavesi, erken yaşlarda hidrasyonun artışıyla yüksek erken mukavemete neden olurken iler ki günlerde dayanımda düşüş olabilir. Öte yandan, doğal puzolanların hidrasyon süreci yavaş gerçekleşse bile orta ve sonraki yaşlarda mukavemeti yüksek olur. Bu nedenle daha iyi performansa sahip üçlü harmanlanmış çimento, Portland çimentosu ve kalker tozu ile doğal puzolan üretilir. Bu çalışmada Portland çimentosunun %20'ye kadar kalker tozu ve %30 doğal puzolanlarla değiştirildiği harç prizmaları üretilmiş ve bunların 2, 7, 28 ve 90. günlük eğilme ve basınç dayanımı açısından test edilmiştir. Bazı örnekler sülfat ve asit çözeltileri altında bırakılmış ve klorür iyonları geçirgenliği açısından test edilmiştir. Sonuçlar, üçlü karışım çimentosunun örneklerin erken ve sonraki yaşlardaki basınç ve eğilme dayanımlarını iyileştirdiğini göstermektedir. Bu örneklerin sülfat ve asit etkisine daha dayanıklı olduğu ve klorür iyonlarının penetrasyon dirençleri artırmıştır.

Doğan (2008), bu araştırma, Tekirdağ çevresinde faaliyet gösteren hazır beton santrallerinin kullandığı beş farklı agrega ocağından elde edilen agrega numuneleri üzerinde gerçekleştirilen agrega yeterlilik deneylerini içermektedir. Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu agregalar kullanılarak çeşitli betonlar üretilmiştir. Beton üretiminde su/çimento oranı sabit tutulmuş (0.60), 300, 400 ve 500 çimento dozajlarında elde edilen betonların basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan agrega ve beton deney sonuçlarına göre, özellikle Karatepe Bazalt agregası ile üretilen betonların üstün performans sergilediği gözlemlenmiştir. Ancak, Kapaklı Dolomit agregası, Beşiktepe Bazalt agregası, Saray ve Kılıç Kalker agregası ile üretilen betonların dayanım değerlerinin standartlara uygun olduğu belirtilmiş; fakat yüksek dayanımlı beton üretiminde bu malzemelerin yanında katkı maddelerinin kullanılmasının gerekliliği rapor edilmiştir.

Binici vd., (2008) geri dönüşüm agregaları olarak mermer ve granit ile üretilen betonların durabilite özellikleri araştırılmıştır. Kaba agrega olarak granit ve mermerden yapılan betonun dayanıklılığı araştırılmıştır. Nehir kumu ve öğütülmüş yüksek fırın cürufu (GBFS) ince agregalar olarak kullanılmıştır. Sonuçlar, geleneksel beton ile karşılaştırılmıştır. Çökme, hava içeriği, çökme kaybı ve taze betonun priz süresi belirlenmiştir. Ayrıca, basınç dayanımı, eğilme ve ayrılma-çekme dayanımları, Young esneklik modülü, aşınma direnci, klorür penetrasyonu ve sülfat direnci de belirlenmiştir. Kontrol harçlarında kaba agregalar olarak kireçtaşı esaslı kırma taş ile hazırlanmıştır. Kaba ve ince agregaların betonun dayanımı üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Mermer ve yüksek fırın cürufu ile yapılan betonun dayanıklılığı kontrol betonundan daha üstün bulunmuştur. Mermer, granit ve yüksek fırın cürufu içeren numunelerde katkı maddeleri ile çimento arasında çok daha iyi bir bağ belirlenmiştir. Ayrıca, mermer, granit ve GBFS katkılı betonların daha boşluksuz bir matris sağladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, bu atık ürünlerin durabilitesi yüksek beton üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Pellegrino ve Gaddo (2009) bu çalışma, yüksek fırın cürufunun betonda ince agrega olarak büyük ölçüde ikame etme fırsatını araştırmayı amaçlamamıştır. İnce agrega olarak yüksek fırın cürufu kullanılarak üretilen betonların basınç ve eğilme dayanımı, elastik modül ve hızlandırılmış yaşlanma, donma ve çözülme, ıslanma ve kuruma gibi dayanıklılık deneysel olarak incelenmiştir. EAF cürufu ile agrega olarak yapılan betonların birçok özelliği genellikle geleneksel betona göre daha iyi bulunmuştur. Bu çeşit betonlara az miktarda hava sürükleyici madde katılması ile donma ve çözülme döngüsüne karşı çok

daha dayanıklı olabileceği ve bunun yanında diğer test sonuçlarının gelenekleş betonlardan daha iyi olduğu görülmüştür.

Chao-Lung, vd. (2011), bu çalışma, Güney Vietnam'da yaygın olarak bulunan pirinç kabuğu peletlerini yakarılan külünün çimentoya katılmasının etkileri araştırılmıştır. Pozolanik reaktiviteyi arttırmak için, pirinç kabuğu 1 saat boyunca öğütülmüş, öğütülmüş ve öğütülmemiş küllerin dayanım aktivite endeks ASTM C311'e göre belirlenmiştir. Betonun basınç dayanımı dahil elektriksel direnç ve ultrasonik ses geçiş hızı gibi özellikleri incelenmiştir. Sonuçlar, öğütülmemiş pirinç kabuğu külünün pozolanik bir malzeme olduğu ve çimentoda katkı olarak kullanılabileceği görülmüştür. Öğütülmemiş pirinç kabuğu külünün tanecik boyutu küçüldükçe, harcın basınç dayanımını artırdığı belirlenmiştir. Çalışmada 47-66 MPa aralığında silindirik betonun basınç dayanımı elde edilmiştir. Sonuçlar ayrıca, betonun dayanım ve dayanıklılık özelliklerini olumsuz yönde etkilemeden, pirinç kabuğu külünün %20'ye kadarının avantajlı bir şekilde çimento ile karıştırılabileceğini göstermektedir.

Baradan ve Aydın (2013), betonun dayanıklılığına yönelik araştırmalarda, beton basınç dayanımındaki artışın, betonun sadece dayanımını değil, aynı zamanda bir dizi diğer özelliğini olumlu bir şekilde etkilediği vurgulanmıştır. Ancak, yeterli dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme elemanın dahi tasarım aşamasında göz ardı edilen etkiler nedeniyle kısa sürede bozulabileceği veya önemli bakım masraflarına yol açabileceği belirtilmiştir. Betonun bozulmasına neden olan temel faktörlerin fiziksel, kimyasal, biyolojik ve mekanik kökenli olabileceği ve bu faktörlerin birbirleriyle etkileşime girerek olumsuz bir etki yarattığı belirlenmiştir. Tüm dayanıklılık sorunlarında belirleyici olan faktörün su, su içinde taşınan zararlı maddeler ve gazların beton yapısına sızması olduğu genel olarak kabul edilmektedir. Bu durumda en uygun çözüm, ilk ve en önemli önlem olarak kaliteli, su geçirmez beton üretmeyi içerir. Bu da düşük Su/Çimento oranlarıyla çalışmak, betonun işlenebilirliğini artırmak için su miktarını değil, akışkanlaştırıcı ve benzeri kimyasal katkı maddeleri kullanarak artırmak, pozolanlarla (uçucu kül, silika tozu, yüksek fırın cürufu vb.) beton içindeki kireci azaltmak, uygun granülometriye sahip agrega kullanmak, betonu iyi sıkıştırmak, düzenli bakım yapmak ve çatlamayı önlemektir.

Arslan (2014), bu araştırma, sülfat etkisine maruz kalan harçlardaki potansiyel hasarları ve iç yapı oluşumlarını incelemeyi amaçlamaktadır. Yüksek fırın cürufu, mikro silika, uçucu kül ve nano silika mineral katkıların, sülfat etkisine maruz kalan harçların dayanıklılık özellikleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 36 aylık bir süre boyunca yapılan

etki testlerinin ardından, tüm numunelerde ultrases geçiş hızı, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, mineral katkıların sülfat etkisine karşı, kullanım oranlarına bağlı olarak, mekanik ve fiziksel özellikler açısından önemli iyileştirici etkiler gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Du (2014), bu çalışma %0.3 ile %0.9 oranlarında nano-silika içeren betonun dayanıklılık özelliklerini araştırmıştır. Nano-silika içeren dolgu maddesi etkisi ve puzolanik reaksiyon nedeniyle, daha fazla homojen ve daha az gözenekli, özellikle de ara yüzey geçiş bölgesinde geçirgenliğin azalmasına neden olmuştur. Dayanıklılık özellikleri üzerinde yapılan testler, nano-silisin yararlı etkilerini doğrulamıştır. Çimento içindeki kanallar kısmen doldurulmuş ve bloke edildiğinden zararlı maddelerin matrise girişi engellenmiştir.

Rukavina vd. (2014) bu çalışmada, dolomit dolgu ve uçucu kül ile metakaolin ise puzolanik malzeme olarak çimento ile yer değiştirilerek üretilen betonların durabilite özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar uçucu kül içeren karışımların işlenebilirlik özelliklerinin daha iyi performans sergilediğini, diğer yandan metakaolin katkılı örneklerin mekanik özelliklerinin daha iyi olduğu görülmüştür. Uçucu külün yavaş puzolanik aktivitesi nedeniyle ilk günlerdeki dayanım gelişimi düşük olsa da ileriki yaşlarda dayanımı çok daha yüksek bulunmuştur.

Elçi vd. (2014), bu çalışmada, Karaburun Yarımadası Mezozoik yaşlı kireçtaşlarının kimyasal özellikleri ve beton agregası olarak kullanılabilirlikleri araştırılmıştır. Sonuçlara Mezozoik yaşlı Karaburun kireçtaşlarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini etkileyen en önemli özelliğin, kireçtaşının saflığını bozan ve betonda alkali silika reaksiyonuna da neden olabilen silis miktarıdır. Diğer yandan kil minerali içerikli agregaların, betonun dayanım ve dayanıklılığını değerini düşürdüğü gözlenmiştir.

Tang vd. (2015), betonun dayanıklılığı son birkaç on yılda önemli bir araştırma konusudur ve hala önemli bir konu olarak araştırılmaktadır. Bu çalışmada, betonun dayanıklılığı konusundaki son araştırma faaliyetlerini gözden geçirmekte ve tartışmaktadır:

1-Alkali agrega reaksiyonu, sülfat saldırısı, çelik korozyonu gibi ana dayanıklılık problemleri ve donma-çözülme;

2-Denizaltı ortamındaki beton dayanıklılığı;

3-Mekanik yük ve çevresel faktörlerin betonun dayanımı üzerindeki etkileri.

Ayrıca, yapı tasarımında dayanıklılık faktörü de kısaca gözden geçirilmiştir. Pozzolanik madde tipi ve miktarının beton dayanıklılık performansını artırdığı ve beton maliyetini düşürmesi konusunda genel fikir birliği vardır.

Binici vd. (2015), demir tozu içeren harçlar ve betonların dayanım ve dayanıklılığına dair bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Kumun yerine farklı yüzdelerde demir tozu kullanılarak harç ve beton örnekleri oluşturulmuştur. Harç numunelerinin basınç ve eğilme dayanımı ile çeşitli mekanik özellikleri, sülfat ve tuza karşı dayanıklılıkları belirlenmiştir. Ayrıca, ultrasonik ses iletimi, aşınma direnci ve kılcal su emme değerleri de incelenmiştir. Demir tozu katkılı harç ve beton örneklerinin basınç, eğilme, aşınma ve sülfat etkilerine karşı dayanıklılıkları kontrol örneğine göre önemli ölçüde yüksek bulunmuştur. Özellikle %20 demir tozu katkılı beton numunesinin basınç dayanımının %50 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Tuncay vd. (2015), bu çalışmada Antalya-Karaöz civarındaki dolomitik kireçtaşlarının mineralojik-petrografik özellikleri, jeokimyasal ve agrega özelliklerinin belirlenmiştir. Bunların TSE standartlarına göre agrega yeterlilikleri araştırılmıştır. Dolomitik kireçtaşlarının agrega olarak granülometri, tane yoğunluğu ve Los Angeles aşınma oranı gibi özellikleri belirlenmiştir. Boyutlandırılmış dolomitik kireçtaşı agregası kullanılarak C30/37 sınıfına göre hazırlanan beton numunelerine yoğunluk, çökme ve basınç dayanımı testleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçların TSE standartlarına göre değerlendirildiğinde, bu dolomitik kireçtaşlarının betonda agrega olarak kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Aulia (2017), yaptıkları çalışmada farklı kayalardan elde edilen agregalarla üretilen tonların mekanik özellikleri araştırılmıştır. Çalışma sonuçlarına göre; Agreganın çekme gerilme kuvvetinin, yüksek performanslı betonun sünekliğini arttırmada önemli olmadığı görülmüştür. Bazalt esaslı betonların basınç dayanımı yüksek iken bu betonların süneklik değerleri en kötü bulunmuştur. Kuvarsit ve gabro katkılı beton numunelerin elastisite modülü düşük iken hem basınç dayanımı hem de oldukça iyi bir süneklik gösterdiği görülmüştür. Diğer yandan serpantinitle içeren betonlar oldukça düşük bir basınç dayanımı ve yüksek bir elastikiyet modülü ve daha iyi süneklik göstermiştir.

Tekin vd. (2017), deneysel çalışmalarda çimento dozajı ve işlenebilirlik sabit tutulmuş, çökme birimi, hacim ağırlığı ve ilk 2 saat içinde oluşan taze beton sıcaklıkları ölçülmüştür. Bayburt İli sınırları içinde bulunan kireçtaşı, doğal dere agregası, serpantinitle

ve Bayburt taşı kullanılarak betonlar üretilmiştir. Sertleşmiş betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı temel alınarak gerilme ve deformasyon bilgileri elde edilmiş, ayrıca su emme oranları ölçülmüştür. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı sonuçları; kireçtaşı, doğal dere ve serpantin agregası için sırasıyla 40, 35 ve 55 MPa olarak belirlenmiştir.

Bozkurt ve Karaca (2019), tez çalışmasında, atık taşlardan elde edilen tozların çimento teknolojisinde katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği incelenmiş ve bu bağlamda dayanım ile durabilite özellikleri belirlenmiştir. Bitlis Ahlat bölgesine özgü pomza taşı tozu ile Bitlis-Güroymak ve Bitlis-Ahlat yörelerine ait ignimbirit tozları, hazırlanan harç numunelerine %0, %10, %20 ve %40 oranlarında çimentoya ağırlıkça katkı olarak eklenmiştir. Sonrasında bu numuneler, 7, 28 ve 90 gün standart su kürü uygulandıktan sonra basınç ve eğilme mukavemeti ile ultrasonik ses geçirgenlik deneylerine tabi tutulmuştur. Yüksek sıcaklık ve donma-çözünme deneyleri sayesinde betonların durabilite özellikleri değerlendirilmiştir. Bazı numunelere 200, 400, 600 ve 800 °C'de ayrı ayrı yüksek sıcaklık deneyi, diğer numunelere ise 90 çevrim donma-çözünme deneyi uygulanarak elde edilen veriler, basınç ve eğilme mukavemeti ile ultrasonik ses geçirgenlik değerleri açısından kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları, özellikle atık pomza taşı tozunun diğerlerinden daha üstün bir puzolanik etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Kullanılan atık malzemelerin çimento yerine ikame edilmesinin, çimento tasarrufu ve çevre kirliliğinin azaltılmasının yanı sıra daha iyi dayanım ve durabilite özelliklerini beraberinde getirebileceği belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3. 1. Materyal

Bu çalışmada bölgede bulunan serpantin, dolomit ve barit agregaları kullanılarak farklı oranlarda beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kırmataş agregası ile üretilen normal beton, ile serpantin, dolomit ve barit agregaları ile üretilen beton özellikleri karşılaştırılmış, dayanım ve radyasyon zırhlama özellikleri açısından en iyi performansla sahip ağır beton belirlenmiştir. Üretilen numuneler üzerinde X-ışını ile radyasyon geçirgenliği incelenmiş ve üretilen beton numunelerin mekanik ve bazı durabilite özellikleri araştırılmıştır. Radyasyonun malzeme geçirgenliği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çeşitli yapı malzemeleri kullanılmıştır. Bununla beraber bu çalışmada numunelerin basınç dayanımı, Sülfat dayanımı, Ultrasonik hız testi, Schmidt Çekici ile basınç dayanımı, aşınma dayanımı, kılcal su geçirgenliği, donma-çözülme etkisi gibi mekanik ve fiziksel özellikler incelenmiştir.

3.1.1. Agregası

Bu çalışmanın analizlerinde, Kahramanmaraş İli, Türkoğlu İlçesi, Yenipınar Mahallesi'nde bulunan, agregası ocağından temin edilen, elenmiş 0-4 mm arası kırma kumu, 4/11.2 kırma taş, 11.2/22.4 mm kırma taş, 20/40 mm kırma taş çakıl kullanılmıştır. Beton karışımlarında kullanılan agregalar, maksimum 32 mm çapında olup yıkanmış ve etüvde kurutulmuştur. Agregaların su emme kapasitesi ve özgül ağırlığı, TS 3526 standardına göre belirlenmiştir. Bu değerlendirmeler, iri çakıl için Arşimet terazisi ve kum için piknometre yöntemi kullanılarak rastgele alınan numuneler üzerinde test edilmiştir. Su emme oranı ve özgül ağırlık deney bulguları her grup agregaları için belirlenmiştir.

S 706 ve EN 126 20 standartlarında, beton agregalarının özgül ağırlığı için belirli bir limit değeri bulunmamaktadır. Ancak betonun özgül ağırlığı 2,55 kg/dm³'ten büyük olan agregaların seçilmesinin olumlu sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir. Agregası, beton karışımının büyük bir kısmını oluşturan malzemedir ve doğal veya yapay, yoğun mineral malzemelerin çeşitli büyüklüklerdeki kırılmış veya kırılmamış tanelerinin birleşimini ifade eder. Tane boyutlarına göre, 4 mm'den küçük olanlara ince agregası veya kum, 4 mm'den büyük olanlara ise iri agregası veya çakıl adı verilir (Küçük, 2000).

Beton agregası, inorganik malzemelerin taneli halde bulunduğu ve beton veya harç yapımında kullanılan malzemelerdir. En yaygın kullanılan agregası türleri kum, çakıl ve

kırma taştır. Beton agregalarını ağırlıklarına göre tanımlayan Türk standartlarında belirtilmiş sınır değerler olmamakla birlikte, literatürde beton agregalarının özgül ağırlıklarına göre şu şekilde tanımlandığı bilinmektedir.

- ✓ Hafif agregalar; özgül ağırlıkları 2,4'ten daha küçük,
- ✓ Normal ağırlıklı agregalar; özgül ağırlıkları 2,4- 2,8 arasında,
- ✓ Ağır agregalar; özgül ağırlıkları 2,8'den daha büyük olan agregalardır.

Beton üretiminde kullanılan agregaların tipik özgül ağırlıkları genellikle 2,35 ile 2,70 arasında değişmektedir. Normal ağırlıklı agregalardan bahsedilirken, genellikle "agrega" terimi kullanılmaktadır. Betonun toplam hacminin %70 ila %75'i agregalar tarafından oluşturulur (Erdoğan, 2003).

3.1.1.1. Agrega Çeşitleri ve özellikleri

Agrega (Kum-Çakıl): Doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığındır.

Aşağıda agrega çeşitleri ve özellikleri hakkında temel tanımlar verilmektedir (Çağlayan, cl al., 1999).

Doğal agrega: Doğal taş agrega; teraslardan, nehirlerden, denizlerden; göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregalardır.

Yapay Agrega: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya yapay kum da denir.)

İri Agrega: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır.

Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kırma Taş; Kırılmış tanelerden meydana gelen iri agregadır.

Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregalardır.

Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Çakılın kırılması ile elde edilir.

Karışık Agrega: İnce ve İri agrega karışımıdır.

Doğal Karışık Agregâ (Tuvenan Agregâ): Agregâ ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregâdır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregâlara da doğal karışık agregâ denir.

Hazır Karışık Agregâ: İnce ve iri agregânın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregâların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde, birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregâdır.

Agregânın beton yapımında hem teknik hem de ekonomik açıdan büyük bir önemi vardır. Agregâ maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, betonda kullanılan bu malzeme ekonomik açıdan avantajlıdır. Ayrıca, agregâ betonda ucuz bir dolgu malzemesi olarak kabul edilir. Betonda agregâ kullanımı, betonun hacim değişikliğini önlemede veya azaltmada, çevre etkilerine karşı betonun dayanıklılığını artırmada ve kendi dayanım gücü sayesinde betonda gerekli dayanımı sağlamada önemli bir rol oynar (Sevinç, 2011).

Agregâ, genellikle kaba ve ince olmak üzere iki kısma ayrılır. Şantiyelerde kaba agregâ genellikle "mıcır" veya "çakıl" olarak adlandırılırken, ince agregâ "kum" olarak bilinir. Bu iki bileşen arasındaki ayrım genellikle tane büyüklüğüne göre yapılır ve 4 mm boyutu genellikle belirleyici kriter olarak kullanılır. 4 mm'den büyük taneler kaba agregâ olarak adlandırılırken, 4 mm'den küçük olanlar ise ince agregâ olarak anılır (Cilason, 1992).

Agregâlar, kullanıldıkları yer ve amaca bağlı olarak TS 706 EN 12620 standardının granülometrik analizi, aşınma direnci, tane şekli, dona dayanıklılık, tane dayanımı ve zararlı maddeler bakımından belirlediği gereklilikleri karşılamalıdır. Agregâlar ve kum için belirlenen standart değerler Çizelge 3.1'de bulunmaktadır.

Çizelge 3.1. İri agregalar ve kum için standart değerler

Standartlar	İri Agregalar	Kum
Özgül ağırlık (TS EN 1097-6)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Su Emme Miktarı (TS EN 1097-6)	Maksimum %2	Maksimum %2
Gevşek Birim Ağırlık (TS 3529)	Min 1350 kg/m ³	Min 1350 kg/m ³
Biçimsiz Tane Miktarı (TS EN 933-4)	Max. % 40'ı aşmamalı	-
Organik Madde (TS EN 1744-1)	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan örneğin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.	Sodyum hidroksit çözeltisinde 24 saat tutulan örneğin rengi standart referans çözeltisi renginde veya daha açık renkte olmalıdır.
Çamurlu Madde Miktarı (TS 3527)	63 m'den daha ince kil, silt veya taşunun gibi malzemelerin miktarı, yıkama deneyine göre % 1,5 değerini aşmamalıdır.	Çökeltme deneyi sonunda çamurlu madde miktarı hacimce % 5'ten küçük olmalıdır.
Dona Dayanıklılık (TS EN 1367 -1)	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %1,5 olmalıdır.	Standart Na ₂ SO ₄ çözeltisi ile yapılan dona dayanıklılık deneyinde ağırlık kaybı en çok %1,5 olmalıdır.
Alkaliye Dayanıklılık (TS 2517)	-	Çimento eşdeğer alkali oksit değeri % 0,6'dan büyükse kumda, alkaliye duyarlı taneler ağırlıkça % 0,5'ten az olmalıdır.
Aşınma Miktarı (TS EN 1097-2)	Bilyalı tamburda yapılan aşınma deneyi sonunda tayin edilen malzeme kaybı 500 devir sonunda en çok % 45 olmalıdır	-

Deney çalışmalarında kullanılan agregaların granülometrisi, Çizelge 3.2'de detaylı olarak sunulmuştur.

TS-3529 standartlarına uygun olarak, ince ve iri agregalar üzerinde gevşek, sıkışık birim ağırlık ve kompaktlık deneyleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 3.2). Elde edilen sonuçlar, ince ve iri agregaların gevşek, sıkışık ve kompaktlık deneyleri için standartlara uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 3.2. Agregalar tane sınıfına göre büyüklük dağılımı (Gradasyon)

Agrega tane sınıfı	Elekten geçen kütlece yüzde					
	2D	1.4D	D	d	d/2	Kategori
0-4	100	100	97.36	-	-	G _A 90
4-11.2	100	100	90.87	4.33	0.87	G _C 90/10
11.2-22.4	100	100	94.47	4.53	-	G _C 90/10
20-40	100	100	95.57	2.87	-	G _C 90/10

Çizelge 3.3. Tane yoğunluğu, su emme oranı ve gevşek yığın yoğunluğu

Agrega tane sınıfı	Tane yoğunluğu (Mg/m ³)	Su emme oranı (%)	Gevşek yığın yoğunluğu (Mg/m ³)
0-4	Pa=2.75 Prd=2.61 Pssd=2.66	2.04	1.694
4-11.2	Pa=2.72 Prd=2.65 Pssd=2.68	0.86	1.437
11.2-22.4	Pa=2.73 Prd=2.68 Pssd=2.70	0.70	1.376
20-40	Pa=2.73 Prd=2.69 Pssd=2.71	0.55	1.338

Çizelge 3.4. Tane büyüklüğü dağılımı (Gradasyon)

Elek açıklığı	Elekten geçen kütlece yüzde
5.6	100
4	97.36
2	70.64
1	48.32
0.50	32.64
0.25	24.88
0.125	19.44
0.063	9.28

3.1.1.2. Agregaların mekanik özellikleri

Agregaların mekanik özellikleri şu başlıklar altında incelenir:

Mekanik Dayanımı: Agregatanelerinin belirli bir mekanik dayanıma sahip olması önemlidir, özellikle yol ve havaalanı betonları gibi yerlerde dış çevre koşullarına karşı dayanıklılık aranır. Bu betonlar aşınma, çarpma, donma ve çözülme gibi etkilerle karşılaşabilir. Mekanik dayanıklılık genellikle doğal kum ve çakıl gibi doğal olarak oluşmuş veya kırılarak elde edilen agregaların, doğada süzülme olayları ile gelişir.

Çarpma Dayanımı: Agregaların çarpmaya karşı dayanıklılıkları, silindir içine konulan agreganın belirli bir yükseklikten belirli sayıda düşürülerek malzemenin çarpma

etkisi altında tutulmasıyla değerlendirilir. Daha sonra malzeme elenir ve elekten geçen miktar, agregaların çarpmaya dayanıklılığı hakkında bilgi sağlar.

Beton Agregası İstenen Nitelikler: Beton agregası olarak kullanılacak yapı malzemelerinde aranan nitelikler şunlardır (Topçu, 2006):

- ✓ Yeterli basınç dayanımı,
- ✓ İslanma ve klor iyonları taşımama,
- ✓ Donma çözülme etkisiyle özelliğini kaybetmeme,
- ✓ Atmosfer etkisiyle yapraklanıp dağılmama,
- ✓ Alkali reaktifliği gibi çimento ile kimyasal etkileşim reaksiyonuna girmeme.

Bu nitelikler, betonun dayanıklılığını ve uzun ömürlülüğünü sağlamak adına önemli kriterlerdir.

3.1.2. Çimento

Deneysel araştırmalarda, Çimsa Çimento Sanayi A.Ş. tarafından Mersin'deki çimento fabrikasında üretilen CEM I 42,5R Portland Çimento kullanılmıştır. Kullanılan bu Portland çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.5'te detaylı bir şekilde sunulmuştur. Portland çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel analizler, Mersin Çimsa çimento tesislerinde gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.5. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal analiz sonuçları		Fiziksel ve mekanik özellikler	
Oksitler	(%)	Özgül ağırlık (g /cm3)	Özgül yüzey (cm ² /g)
SiO ₂	19.59		
Al ₂ O ₃	5.33		
Fe ₂ O ₃	3.11	İncelik	
CaO	62.89	200 mikron elek üzerinde kalan %	90 mikron elek üzerinde kalan %
MgO	0.85		
K ₂ O		Priz süresi (dakika)	
Na ₂ O		Başlama	Bitiş
SO ₃	2.48	200	240
Cl	0.09	Hacim genleşmesi (mm)	1.3
Çözünmeyen kalıntı	0.4	Dayanımlar (MPa)	
Yanma Kaybı	2.4	2 gün	2 gün
Toplam		28.1	28.1

Çimento, su ile karıştığında sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil, ve gerektiğinde demir cevheri ve/veya kum eklenerek öğütölüp toz haline getirilir. Bu karışım, 1400-1500°C sıcaklığındaki döner fırınlarda işlenir. Ortaya çıkan ürüne "klinker" denir. Portland çimentosu klinkeri (TS EN 107-1), belirli bir miktarda alçı taşı ile birlikte öğütölerek hidrolik bağlayıcılar elde edilir. CEM I, CEM II, CEM III, CEM IV ve CEM V gibi sınıflandırmalar mevcuttur. CEM ibaresi, çimentonun tipini belirtir ve 32.5, 42.5 ve 52.5 gibi rakamlar, 28 günde elde edilen minimum mukavemet değerini gösterir.

3.1.2.1.Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri

Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri, standartlar aracılığıyla belirlenmiş sınırlamalara tabidir. Bu sınırları karşılamayan çimentolar, beton üretiminde kullanılamaz. Ayrıca, hangi tür yapıda hangi tip çimentonun kullanılacağına karar vermek için çimentonun kimyasal özelliklerinin yanı sıra fiziksel ve mekanik özelliklerinin de bilinmesi gereklidir. Bu nedenle, çimentoların özelliklerinin belirlenmesi, beton teknolojisi açısından son derece kritiktir. Çimentoların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini, TS EN 196'ye uygun bir şekilde gerçekleştirilir (Özkul vd., 2004).

3.1.2.2.Çimentoların sınıflandırılması

Çimento uygunluk değerlendirmesi ve çeşitleri, TS EN 196 standardı tarafından standartları sağlanmıştır. Çimentolar, TS EN 197-1'de "CEM çimentosu" olarak adlandırılır. TS EN 197-1 standardı yürürlüğe girdikten sonra, Özel amaçlı üç çimento standardı dışındaki tüm standartlar geçerliliğini yitirmiştir. Çimento sınıfları şunlardır:

- ✓ CEM I - Portland Çimentosu
- ✓ CEM II - Portland Kompoze Çimentosu
- ✓ CEM III - Portland Yüksek Fırın Cürufllu Çimento
- ✓ CEM IV - Pozolanik Çimento
- ✓ CEM V - Kompoze Çimento

3.1.3. Beton Karışım Suyu

Beton karışımındaki suyun genellikle "içilebilir" nitelikte olması aranır. Ancak, içme suyu standartlarına uymayan bazı sular kullanılarak dahi yüksek kaliteli beton üretmek mümkündür. Uygun olmayan bir suyun karışımında kullanılması betonun kalitesini olumsuz yönde etkileyebilir. Betonda zamanla gelişen dayanım genellikle en önemli endişe

kaynağı olsa da, karışım suyundaki safsızlıklar aynı zamanda priz süresini, rötreyi ve dayanıklılığı da olumsuz etkileyebilir. Ayrıca, betonun çiçeklenmeye neden olabilir. Bu nedenle, karışım suyu olarak kullanılan suların içinde fazla miktarda askıda katı madde, erimiş madde, erimiş tuzlar veya diğer katkıları ve organik madde bulunmamalıdır.

Çimentonun hidrasyonu için gerekli olan su miktarı genellikle çimento ağırlığının yaklaşık %25'i kadardır. Ancak, betonda kullanılan karışım suyu miktarı genellikle bu oranın üzerindedir. Betonda kullanılan su miktarı, işlenebilirliği sağlamak için gereken en düşük miktar olmalıdır. Aksi takdirde, betonun dayanımı ve dayanıklılık özellikleri olumsuz etkilenebilir (Özkul vd., 2004).

Beton üretiminde kullanılan karıştırma suyunun, aşağıda verilen işlevleri sıralanmaktadır.

- ✓ Betonun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasına yardım eder
- ✓ Kum ve iri agrega tanelerini ıslatır.
- ✓ Bağlayıcı maddenin hidrasyonunu sağlar (Postacıoğlu, 1986).

3.1.4. Serpantinit

Çalışmada kullanılan serpantinit numunesi, Kahramanmaraş İli, Andırın Yolu, Torlar Mahallesi'nden temin edilmiştir. Kimyasal yapısı $(Mg_3Si_2O_5)(OH)_4$ şeklinde olan serpantinitler, aynı kimyasal birleşimde olan, ancak farklı kristal yapısında üç polimorf gösterirler. Bunlar, kriytil, lizartit ve antigorittirler. Renksiz, beyaz, gri, bazen yeşilin tonları ile sarı ve gül renginde olabilir ya da yarı saydamdırlar. Sertlikleri 3-5, yoğunlukları 2,5-2,6'dır. En çok rastlanan serpantinit minerali krizotildir. Krizotil lifler, lizartit çok ince levhalar, antigorit ise levhalar halinde bulunur. Çalışmada kullanılan serpantinitin görüntüsü Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Serpantinit kayaçının görüntüsü



Şekil 3.2. Serpantinit kayaçının sahadaki görünüşü

Serpantinitler, olivin grubu minerallerle rombik proksenilerin ayrışma ürünü olarak meydana gelen minerallerdir. Havada ısıtılırsa 600 °C'de serpantinitlerden olivin meydana gelir. Isı daha fazla arttırılırsa durumunda 700 °C'de yapısındaki suyu kaybeder. Serpantinit minerali genellikle, dunit, peridotit ve proksenit gibi ultrabazik kayaçların redrograd hidrotermal alterasyonu veya daha önceden oluşmuş serpantinitlerin prograd metamorfizmasıyla oluşur (Karabay, 2006).

Serpantinit; asbest tekstil sanayinde, filtrede, yangın önlemede, özel boya yapımında, otolarda fren debriyaj aksamında kullanılır. Paketleme ve mühürlemede, kâğıt kaplamada, döşemede, çimentoda kullanılır. Yarı saydam olan serpantinitler, süs eşyası yapımında kullanılır (Kurt, 2010).

Peridorit ailesini oluşturan kayaçlar, Dünit, Harzburjit, Verlit ve Piroksenolitler bir tür dönüşüm geçirerek, bazı yönlerden birincil özelliklerini kaybederler.

Meydana gelen bu dönüşüm mineralojik yönden Olivin kristallerinin bir grup serpantinit minerallerine Krizotil, Antigorit ve Lizardit'e Proksen kristallerinin de Bastit'e dönüşmesi şeklinde kendini gösterir.

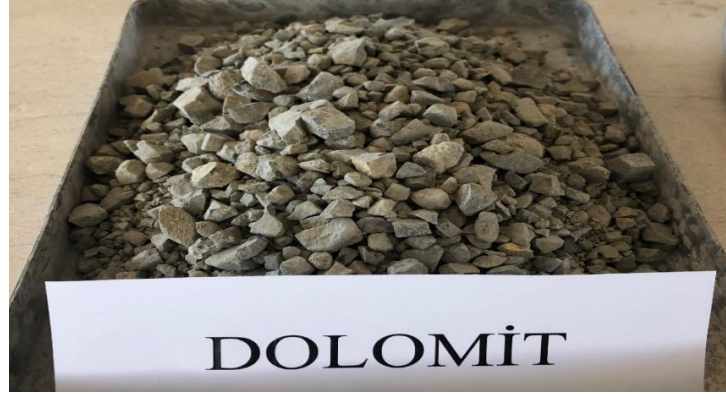
Oluşan bu dönüşümle birlikte kayaç birincil dokularını kaybederek "Elek Dokusu" yerini alır. Bu dönüşüm saha üzerinde herhangi bir masifte, kayacın esas görünümü masif iken bu defa kayma yüzeyleri içeren, bazen yarıdaşma gösteren açık ve koyu yeşil renkli görünüm meydana getirir. Bir tek masif içinde serpantinitleşme veya dönüşüm her adımda değişik oranlarda yani %0-%100 oranında, esas anlamda serpantinite dönüşür. Ara geçişlerde ise az veya çok serpantinitleşmiş Harzburjit veya Dünit şeklinde oluşumlar ortaya çıkar,

Kayaçlarda meydana gelen bu olay esnasında, kimyasal elemanı içerikliliği yönünden de değişimler söz konusudur. Bazı elementler bu olayla kayaçtan uzaklaşır, yerine farklı element getirimleri oluşur (Aksay, 2005).

3.1.5. Dolomit

Kahramanmaraş İlinin Hartlap bölgesindeki Şekil 3.3 da görünen sahadan temin edilen dolomit, deneysel çalışmalarda kullanılmıştır. Bu dolomit, beton numunelerinde eleme işleminden geçirilerek agrega olarak kullanılmış, aynı zamanda harç numunelerinde ise öğütülerek çimento yerine farklı oranlarda katı malzeme olarak eklenmiştir.

Dolomitin görüntüsü Şekil 3.2.'de, kimyasal ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.6.'da detaylı bir şekilde sunulmuştur.



Şekil 3.3. Dolomitlerin görüntüsü



Şekil 3.4. Dolomitlerin sahadaki görüntüsü

Kireçtaşı (CaCO_3), içerisinde Ca ve Mg'nin bulunduğu bir mineraldir. Özgül ağırlığı, Mg oranına bağlı olarak $2,71$ ile $2,87 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişir, sertliği ise $3,5$ ile 4 arasındadır. Bu kayalar, dolomitlerin kimyasal bir çökme ile değil, kireçtaşlarının magnezyum bakımından zengin suların etkisi altında oluştuğu bilinmektedir (Smith, 2001).

Dolomitin betonda kullanımı ile ilgili dolomit, serpantinit, magnezit gibi geniş malzeme karışımının kullanıldığı beton numunelerinde, CaO'nun hidratasyonu nedeniyle erken yaşlarda rötre olayının nadiren meydana geleceği öngörülür. MgO esaslı geniş malzemenin CaO ve MgO'nun su ile reaksiyonu sonucunda Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2

oluşturduğu, gençleşmeye neden olarak erken ve geç yaşlardaki rötreyi dengelediği bilinmektedir. Rötreye, dayanımın ve dayanıklılığın azalmasına yol açmaktadır.

Genleşmelerin temel nedeni, malzeme içeriğindeki CaO ve MgO'nun hidratasyonundan kaynaklanır ve MgO'nun yavaş hidratasyonu sonucunda geç dönem genleşmeleri ortaya çıkar. Dolayısıyla, dolomit, serpantin ve magnezit gibi mineral katkıların baraj betonlarında kullanılması, rötreye deformasyonlarını azaltabilir, ancak MgO içeriğinin kontrol altında tutulması önemlidir (Gao et al., 2007).

Betonda dolamitin kullanımı ile ilgili dolomit, serpantin, magnezit gibi genleşen malzeme karışımının kullanıldığı beton numunelerinde, CaO'nun hidratasyonu yüzünden erken yaşlarda rötreye olayının nadiren cereyan edeceği öngörülür. MgO esaslı genleşen malzemedeki CaO ve MgO'nun suyla olan reaksiyonu sonucunda Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 oluşmakta, gençleşmeye sebebiyet vererek erken ve geç yaşlardaki rötreyi karşılamaktadır. Rötreye ise, dayanım ve durabilitenin azalmasına sebep olmaktadır.

Çizelge 3.6. Dolomitin Kimyasal analizi

Bileşenler (%)	Dolomit
SiO_2	1,76
Al_2O_3	0,82
Fe_2O_3	0,46
CaO	30,8
MgO	20,34
Kızdırma Kaybı	45,2
Ölçülmeyen Değer	0,62

Öğütme işlemi, Kipaş Holding, KÇS Çimento Tesisi laboratuvarlarında 1150-1200'de ısıtıldıktan sonra 3500 blaine (cm^2/gr) inceliğinde yapılmıştır. Dolomitin kimyasal analizi ise yine KÇS Çimento tesisinin laboratuvarlarında yapılmıştır (Çizelge 3.6)

3.1.6. Barit

Çalışmada kullanılan barit numunesi, Şekil 3.5. da görünen Kahramanmaraş İli, Türkoğlu İlçesi, Şekeroba Mahallesi'nde bulunan Barit Maden Türk A.Ş. işletme sahasından temin edilmiştir. Şekil 3.3.'deki gibi görüntüye sahip baritin, kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.7'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Baritlerin görüntüsü



Şekil 3.6. Baritlerin sahadaki görüntüsü

Barit endüstrisi, ABD’nde 19. yüzyılda doğmuş ve ilk barit üretimi 1845 yılında boya endüstrisi için gerçekleştirilmiştir. Özellikle 1908’de sondaj çamurunda kullanılması ile beraber üretim ve tüketimde önemli artışlar yaşanmıştır. Türkiye’de barit madenciliği ise 1964 yılından sonra önemli bir gelişme göstermiştir. Baritin kimyasal formülü $BaSO_4$ ’tür ve özgül ağırlığı 4,5 gr/cm³’tür; ayrıca, mohs sertliği 2,5 ile 3,5 arasında değişir ve kristal yapısı ortorombiktir. Barit, genellikle renksiz veya beyaz olup bazen sarı ve gri tonlarda da olabilir. Doğal olarak temiz, yumuşak, tepkisiz ve maliyet açısından uygun bir

mineraltir. Baritin kullanım alanları genellikle sondaj, kimya ve dolgu gibi üç ana grupta toplanır. Dünya pazarında ise tüketimi sırasıyla %90 sondaj, %70 kimya ve %30 dolgu sektörlerinde gerçekleşmektedir. Özellikle sondaj sektöründe, barit, sondaj çamuru katkı maddesi olarak TS 919 ve uluslararası API 13A standartlarına uygun şekilde üretilmek durumundadır (Baran, 2010).

Çizelge 3.7. Baritin kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Analiz Sonuçları					
Oksitler (%)	BaSO ₄	SrSO ₄	Fe ₂ O ₃	CaO	SiO ₂
Sonuçlar	88-85	3-5	1.5-3	0.5-2	3-5
Fiziksel ve Mekanik Özellikler					
Özellikler	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Sertlik (HB)	Ph	75 mikrondan daha büyük kalıntı (%)	Ortalama tane büyüklüğü (mm)
Sonuçlar	4.2	3.5	6-7	Mak 5	10-24

3.2. Metot

3.2.1. Beton numunelerin hazırlanması

3.2.1.1. Farklı mineral katkılı beton numunelerin hazırlanması

TS 802'ye uygun olarak yapılan beton karışımında iri agrega yerine kütlece %10, 20, 30, 50 ve 100 oranlarında serpantin (S), dolomit (D) ve barit (B) ikame edilerek karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan 16 çeşit örneğin örneklerin karışım hesabı yapılmıştır.

Numunelerin adları, karışım oranları ve kullanılan malzemeler, Çizelge 3.8'de detaylı olarak sunulmuştur. Agregalar ve çimento, hazırlanan karışımın ağırlığına göre hassas bir şekilde tartılarak karıştırılmıştır. Ayrıca, 1 m³ farklı mineral katkılı beton karışımı için malzeme oranları ve numunelerin adları da Çizelge 3.9'da verilmiştir. Hazırlanan karışım, ağırlık ölçümleri dikkate alınarak titizlikle hazırlanmıştır.

3.2.1.2. Beton numunelerin hazırlanması

TS 802 standardına uygun olarak hazırlanan beton karışımında, ince agreganın yerine %10, 20, 30, 50 ve 100 oranlarında barit (B), dolomit (D) ve serpantin (S)

kullanılarak 16 farklı örnek oluşturulmuştur. Bu örneklerin karışım oranları ve içerdikleri malzemeler Çizelge 3.9'da detaylı bir şekilde sunulmuştur. Agregatlar ve çimento, belirlenen karışım ağırlıklarına göre hassas bir şekilde tartılarak karıştırılmıştır.

Çizelge 3.8. 1 m³ Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları ve oranları

Numune adı	Malzemeler (kg/m ³)							S/Ç (%)
	Çimento	Kum	İri agrega	Su	Barit	Dolomit	Serpantinit	
R	420	1020	850	210				0,47
B10	420	930	740	210	220			0,47
B20	420	830	630	210	523			0,47
B30	420	730	520	210	845			0,47
B50	420	630	410	210	1167			0,47
B100	420	0	0	210	2760			0,47
D10	420	930	740	210		133		0,47
D20	420	830	630	210		350		0,47
D30	420	730	520	210		563		0,47
D50	420	630	410	210		777		0,47
D100	420	0	0	210		1840		0,47
S10	420	930	740	210			125	0,47
S20	420	830	630	210			323	0,47
S30	420	730	520	210			522	0,47
S50	420	630	410	210			722	0,47
S100	420	0	0	210			1709	0,47

Betonda kullanılan numunelerin hazırlanması, TS EN 12390-2 standardında belirtilen kurallara göre yapılmıştır. Bu standart, beton karışımlarından alınan deney örneklerinin betonun tüm özelliklerini doğru bir şekilde temsil etmesini sağlamaktadır.

3.2.3. Beton numunelerin basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı, 10 cm boyutlarındaki standart küp numuneler kullanılarak belirlendi. Numunelerin hazırlanması aşamasında, taze betonlar kalıplara dökülmeden önce kalıpların iç yüzeyleri hafifçe yağlanmış beton küp kalıplarla dolduruldu ve vibratör yardımıyla sıkıştırıldı. Ardından, numunelerin üst yüzeyleri master kullanılarak düzeltildi ve nemli bezle örtülerek betonla teması kesildi. Hazırlanan numuneler, hava cereyanından uzak bir ortamda 24 saat bekletildikten sonra 23 2oC sıcaklıkta bulunan kür tanklarında deney süresince saklanmıştır.

Beton numunelerin basınç dayanımları, TS EN 12390-3 standardına uygun olarak belirlendi. Her numune grubu için, musluk suyunda bekletilen numunelerin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını ölçmek için her yaş grubundan üçer adet numune üretildi. Çalışma sonucunda elde edilen beton numunelerin basınç dayanımları, Çizelge 3.10'da sunulmuştur.



Şekil 3.7. Beton numunelerinin laboratuvarda basınç testine tabi tutulması

Çizelge 3.9. Beton numunelerinin basınç dayanımları

Basınç Dayanımları			
	7g	28g	90g
R	26,01	32,13	36,98
B10	26,55	33,15	37,55
B20	27,64	34,02	38,96
B30	28,22	35,11	39,74
B50	29,11	36,19	40,03
B100	34,25	41,43	46,75
R	26,01	32,13	36,98
D10	26,2	32,45	37,54
D20	21,47	23,14	25,18
D30	20,14	22,33	23,1
D50	19,18	21,11	22,08
D100	18,2	19,22	20,01
R	26,01	32,13	36,98
S10	26,14	32,25	37,43
S20	21,3	23,01	27,95
S30	19,78	21,96	23,01
S50	19,13	20,85	21,96
S100	18,07	19,13	19,9

3.2.5. Beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı

Ultrasonik hızı ölçüm yöntemi, beton elemanlara gönderilen vibrasyonel enerjinin hızını, ölçmekten oluşan bir tekniktir. Pulser, rezonans frekansını titreştirmek için kısa aralıklı yüksek voltajlı sinyaller göndermektedir. Gönderilen elektriksel uyarım başladığında ise elektronik saat devreye girmektedir. Verici, viskoz sıvı başlıkları aracılığıyla betonun içine vibrasyonları ileterek ilerlemektedir. Vibrasyonel dalga, eleman içinde ilerleyip, beton yüzeyinin diğer ucundaki alıcıya ulaşmaktadır. Dalga, alıcı kafa tarafından algılandığında, elektronik saat durmakta ve ulaşma süresi belirlenmektedir. Alıcı ve verici arasındaki doğrudan mesafe, ulaşma süresine bölündüğünde beton içindeki ultrasen hızı elde edilmektedir.

Beton içinden geçen ses üstü dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir bağlantı bulunmasa da, ses üstü dalganın hızı ile beton yoğunluğu arasında belirli bir ilişki vardır. Beton yoğunluğu azaldıkça, yani içinde daha fazla boşluk bulunan bir betonda, ses üstü dalganın bir yüzeyden diğerine ulaşabilme süresi artar. Başka bir deyişle, beton içindeki boşluk miktarı arttıkça, ses üstü dalganın hızı azalır. Betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki olduğu gibi, yoğunluğu yüksek olan betonların genellikle yüksek basınç dayanımları vardır. Su/çimento oranı yüksek olan betonlar, daha fazla kapiler boşluk içerdikleri için yoğunluğu ve basınç dayanımları genellikle düşüktür.

Beton bloğun, bir yüzeyinden içeriye gönderilen ultrasenin, bloktaki diğer bir yüzeye ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga Denklem (3.1) kullanılarak hesaplandı:

$$\text{Burada; } V = P \text{ dalga hızı (m/s),} \quad (3.1)$$

$$V = (S / t) \times 106 \quad (3.1)$$

S= Beton bloğun ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),

t = P dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden, alındığı yüzeye kadar geçen zamandır (mikrosaniye)

Beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ve basınç dayanımları ASTM C597'e göre belirlenmiştir. Üretilen numuneler aşağıdaki şekillerde gösterildiği gibi Ultrasonik ses geçişi deneyine tabi tutulmuşlardır.

Deneye başlamadan önce aparatı ile öncelikle aletin kalibrasyonu yapıldı. Kalibrasyon fabrika değeri 24,5 olan silindirik aparattan ölçüm yapıldı ve alet farklı değer verirse bu 24,5 değerine ayarlandı. Daha sonra deney aletinin beton yüzeylerine tam oturması ve arada boşluk kalmaması için gres yağı ile deney aletinin uçları yağlandı. Dijital ekrandan en küçük sayısal değer yakalanıncaya kadar kutuplar karşılıklı birbirlerine tutuldu. Dijital ekranda yakalanan en küçük ve değişmeyen değer bizim numuneden geçen ses dalgasının süresidir. Daha sonra bu değer numunenin kalınlığına bölünerek ses geçiş hızı bulundu.



Şekil 3.8. Beton numunelerinin laboratuvarında ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı testi

Araştırmada kullanılan beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ve basınç dayanımı Çizelge 3.11’te verilmiştir.

Çizelge 3.10. Beton numunelerin ultrasonik hız ölçümü ile basınç dayanımı

UPV Km/s Deneyi	
Numune Birimi	
R	3.6
B10	3.5
B20	3.6
B30	3.8
B50	4.0
B100	4.5
D10	3.4
D20	3.3
D30	3.2
D50	3.0
D100	2.8
S10	3.3
S20	3.2
S30	3.1
S50	2.9
S100	2.7

3.2.6. Beton numunelerin sülfat dayanımı

Araştırma kapsamında, kütle bakımından yerine konan katkılarla üretilen 10x10x10 cm boyutlarındaki küp numuneler, maksimum çapı 16 mm olan agregalar kullanılarak hazırlandı ve sülfat ortamında bekletildikten sonra basınç dayanımları değerlendirilmiştir.

Üretilen numuneler, 28 günlük kür sürecini tamamladıktan sonra 105°C'deki etüvde 24 saat boyunca kurutulmuştur. Değişmez ağırlığa ulaşıldığında etüvden çıkarılan numuneler, oda sıcaklığına kadar bekletildi. Daha sonra, numuneler hassas terazi kullanılarak titizlikle tartıldı. Numuneler, %10'luk MgSO₄ çözeltisi içinde 90 gün boyunca bekletildikten sonra çıkarıldı.

Söz konusu sülfat çözeltisinden çıkarılan numuneler, 105 °C'deki etüvde 24 saat boyunca kurutuldu. Değişmez ağırlığa ulaşıldığında etüvden çıkarılan numuneler, oda sıcaklığına kadar bekletilmiştir. Numuneler, hassas terazi kullanılarak tartılarak sülfat sonrası ağırlıkları ölçüldü. Son olarak, numunelerin basınç dayanımları belirlenmiştir. %10 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen beton numuneleri değerleri Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. %10 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletilen beton numuneleri

Sülfat deneyi	
Numune birimi	90g
R	1,26
B10	1,15
B20	1,11
B30	1,09
B50	1,05
B100	0,98
D10	1,25
D20	1,27
D30	1,28
D50	1,30
D100	1,33
S10	1,26
S20	1,28
S30	1,29
S50	1,31
S100	1,35

3.2.7. Betonun numunelerin yüzey aşınmalarının tayini

Yüzey aşınmasını değerlendirmek amacıyla 10x10x10 cm boyutlarında küp örnekler üretildi. Bu örnekler, 28 gün boyunca olgunlaştıktan sonra kesilerek 71x71x71 mm boyutlarında yeni örnekler elde edildi. Yeni örneklerin boyut kontrolü yapıldıktan sonra eğrilik ve paralellik kontrolleri gerçekleştirildi. Daha sonra, örnekler etüvde kurutuldu ve aşındırılacak yüzeyler belirlendi. Yüzeyler, 1’den 4’e kadar olan numaralarla etiketlendi ve mikrometre kullanılarak ölçümleri gerçekleştirildi. Aşındırılacak yüzey, aşağı yönde olacak şekilde yüzeysel aşındırma cihazına yerleştirildi. Örneğin merkezi ile döner diskin merkezi 22 cm olarak ayarlandı. Baskı pistonu, yüksekliği yükleme kolu yatay olacak şekilde düzenlendi. Yükleme kolu, 6 kg yük ile yüklenerak cihaz sayacı sıfırlandı ve sürtünme yüzeyine 20g standart zımpara tozu homojen bir şekilde yayılarak cihaz çalıştırıldı. Döner diskin 22 devri 1 periyot olarak kabul edildi ve 16 periyotluk aşındırma uygulandı. İlk periyotluk işlem tamamlandıktan sonra yüzey temizlendi. Daha sonra tekrar 20 g standart zımpara tozu yüzeye homojen olarak yayıldı ve bu işlem işaretlenen 4 yüzeye tek tek uygulandı. Bu süreç sonunda her bir örneğe toplamda 352 devir aşındırma uygulanmış oldu. İşlem tamamlandıktan sonra her bir noktadan ayrı ayrı 0.01 duyarlıktaki mikrometre ile ölçümleri yapıldı ve kalınlıktaki azalma kullanılarak aşınma kaybı aşağıdaki formül ile hesaplandı (DIN 52108, 2002).

Hacimsel kayıp aşağıdaki ifade ile bulunmuştur (Denklem 3.2).

$$(3.2) R_m V \quad (3.2)$$

= Hacimsel kayıp, V,

= Örnek birim hacim ağırlığı, R,

= 16 periyot sonundaki ağırlık kaybı (g), m,

Çizelge 3.12. Betonun numunelerin yüzey aşınmalarının tayini

Aşınma Deneyi	
Numune Birimi	28g
R	7,8
B10	7,6
B20	7,4
B30	7,3
B50	7,1
B100	6,1
D10	7,7
D20	7,8
D30	7,9
D50	8,1
D100	8,3
S10	7,8
S20	7,9
S30	8,0
S50	8,3
S100	8,5

3.2.8. Beton numunelerin kılcal su geçirimsizliği

TS 802'ye uygun olarak hazırlanan karışım ve TS EN 12390-2 yöntemlerine göre üretilen beton numuneleri, 28 gün boyunca kür edildikten sonra, 105 °C'de değişmez ağırlığa ulaşincaya kadar kurutularak içerdikleri nem tamamen giderilmiştir. Ardından, numuneler oda sıcaklığında soğumaya bırakıldı. Numunelerin yan yüzeyleri, sınırlı bir alandan su emmesini sağlamak amacıyla su geçirmez bir malzeme ile kaplanmıştır. Numune, tahta takozlar üzerine yerleştirildi ve su seviyesi numune tabanından 5 mm yukarıda olacak şekilde ayarlanmıştır. Deney süresince su seviyesi sürekli takip edilerek değişmemesi sağlanmıştır. Numuneler, belirli zaman aralıklarında (0, 5, 120, 10, 20, 30, 60, 180, 360 ve 1440. dakikalarda), tartılarak 24 saat boyunca deney yapılmıştır. Kullanılan numuneler, belirlenen sürelerin sonunda çıkarıldı ve nemli yüzeyleri bir bezle

hafifçe silindikten sonra 0,01 hassasiyetli terazide tartılmıştır. Numunelerin kapiler su emme katsayıları, $QA = k\sqrt{t}$ denklemi kullanılarak hesaplandı. Bu denklemde "Q" absorbe olan su miktarını (cm³), "A" suyla temas eden yüzeyin alanını (cm²), "k" kapiler su emme katsayısını (cm/s^{1/2}) ve "t" zamanı (s) temsil etmektedir.

3.2.9. Radyasyon geçirgenliği

X ışınları 10^{-8} – 10^{-13} m aralığındaki dalga boylarına sahip, elektromanyetik dalgalar olarak tanımlanabilir. Serpantinit, dolomit ve barit katkılı numuneler test metodu olarak TS EN 61331-1:2014 standardında tanımlanan dar ışınlama geometrisi kullanılarak X ışınlarına maruz bırakılarak soğurma etkileri araştırılmıştır.

Çalışmada yapılan analizler, Türkiye Enerji, Nükleer ve Maden Araştırma Kurumu, Nükleer Enerji Araştırma Enstitüsü ikincil standart dozimetri laboratuvarı tarafından yapılan testler ve ölçümler sonucunda raporlanmıştır. Sonuçlar Çizelge 3.13’ de verilmiştir.

Çizelge 3.13. X ışını radyasyon geçirgenlik tayini

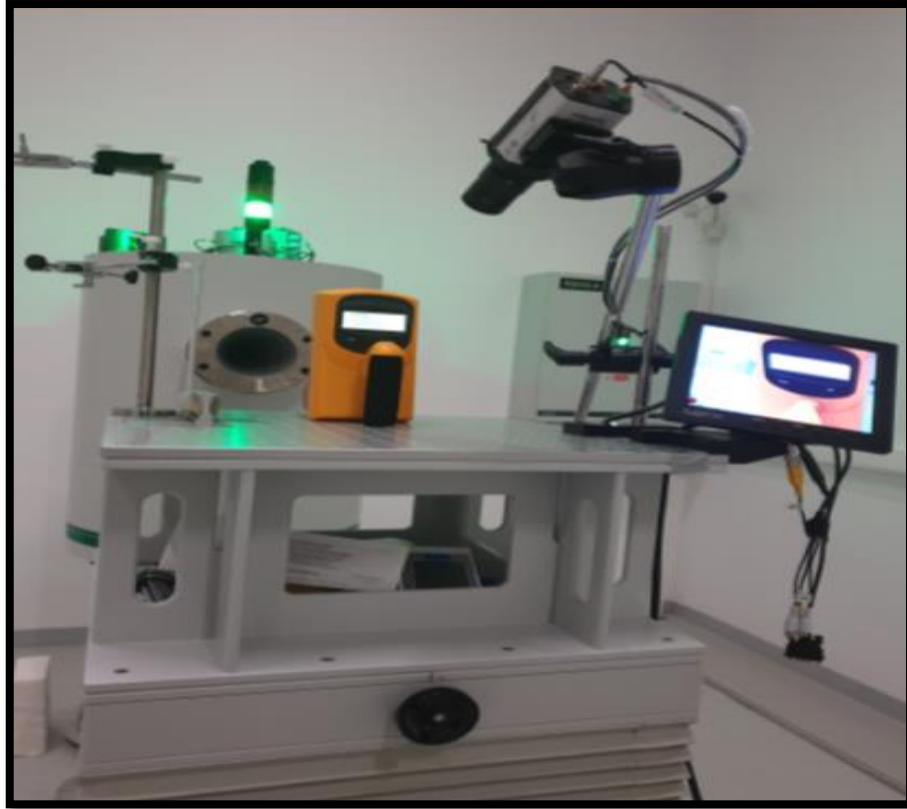
X ışını	
R	59,15
B10	87,73
B20	88,12
B30	91,54
B50	94,16
B100	99,18
R	59,15
D10	86,43
D20	86,85
D30	87,37
D50	87,92
D100	89,46
R	59,15
S10	88,19
S20	88,63
S30	89,38
S50	90,25
S100	91,43

Numuneler 10x10x1 cm boyutlarına getirilmiş ve 100 Kv 2,5 mm Al’de ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.4).

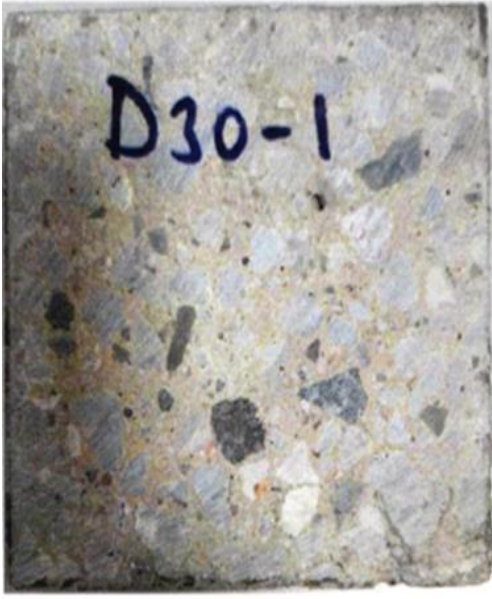


Şekil 3.9. Boyutlandırılmış numuneler

Numunelerin 10x10x1 cm boyutlarına getirilmiş durumları Şekil 3.9’te verilmiştir (Çolakoğlu, K. 1996).



Şekil 3.10. X ışınları ölçüm cihazı



a) Ön Yüz



b) Arka Yüz

Şekil 3.11 X ışını ölçülen numune

3.2.10. Schmidt Çekici ile basınç dayanımı

Schmidt çekici, betonun basınç dayanımını yaklaşık olarak bulmada kullanılan tahribatsız bir yöntemdir. Bu yöntem malzemelerin yüzey sertliğinden yola çıkarak, basınç dayanımlarının bulunması esasına göre çalışmaktadır. Betonun basınç dayanımı ve Schmidt çekicinin içerisindeki yayın geri sıçraması değerleri arasında bir korelasyon bulunmaktadır. Bu korelasyonlarda, Schmidt çekicinin, beton elemana vuruş yönü de önemli olmaktadır. Schmidt çekici, gövde, zımba, yay, çekiç ve mandal olmak üzere toplam 5 kısımdan oluşmaktadır. Schmidt çekici, test edilecek beton eleman üzerine bastırılmakta ve zımbanın en dip kısmında, yayın sıkışmasından dolayı zımba kuvvetle beton eleman üzerine çarpmaktadır. Bu çarpma neticesinde, ekrandaki gösterge geri sıçramakta ve kadran üzerinden vuruş değeri okunmaktadır. Schmidt çekicinin kullanma prensipleri ASTM C805’de detaylı olarak verilmektedir.

Deney öncesi hafifçe basınç uygulayarak beton çekicinin darbe çubuğu serbest bırakılır. Beton çekici test yüzeyine dik bir şekilde yerleştirilir. Şekil 3.7’deki gibi darbe tetikleninceye kadar çekiç ile test yüzeyine yavaşça bastırılır. Tetiklenmeden sonra alt tarafta bulunan düğmeye basarak darbe çubuğu kilitlenir. Cihaz üzerindeki göstergeden geri tepme sayısı (R) okunur. Her test yüzeyi için en az 10 ayrı noktada vuruş yapılır (Deneylerimizde 16 farklı noktadan vuruş yapıp ortalama değeri Çizelge 3.15’te verilmiştir). Bulunan R değeri dönüşüm eğrisinde yerine konularak R değerine karşılık

gelen beton basınç dayanımı bulunur. Elde edilen dayanım, beton yüzey sertliğine bağlı olarak yaklaşık beton basınç dayanımı elde edilir.



Şekil 3.12. Schmidt Çekici uygulaması

Çizelge 3.14. Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

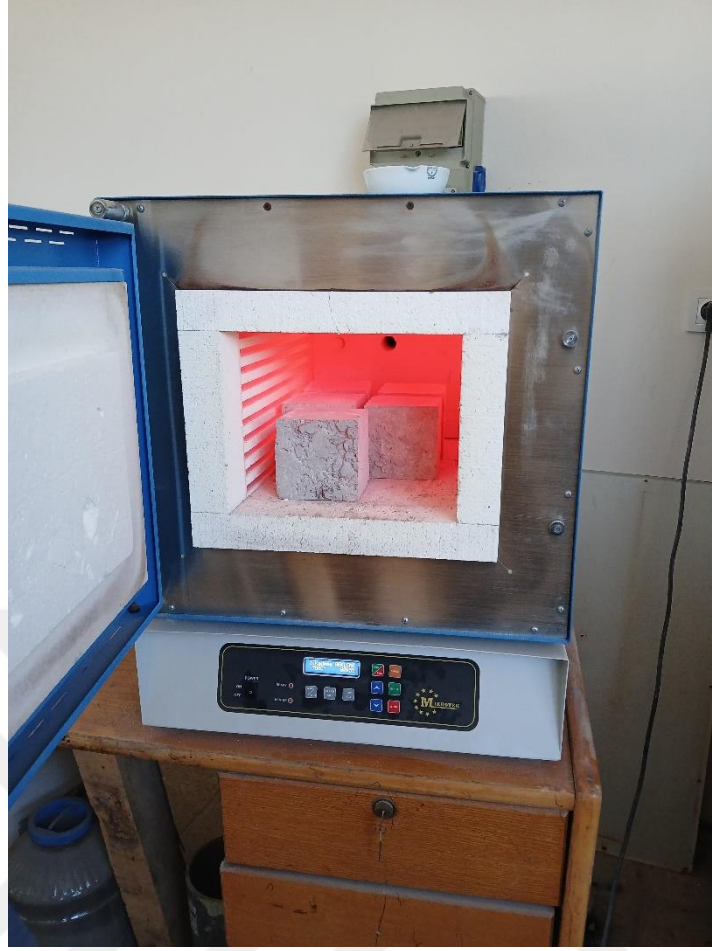
Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	
Numune Adı	
R	34,37
B10	35,44
B20	35,32
B30	37,15
B50	38,24
B100	42,53
D10	34,41
D20	34,39
D30	24,30
D50	23,89
D100	23,14
S10	35,58
S20	33,58
S30	34,50
S50	24,63
S100	21,73

3.2.11. Beton numunelerin farklı sıcaklıklardaki basınç dayanımları

Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış harçların basınç dayanımları aşağıdaki tablo 3.3’de verilmiştir. Isıl işlem sonrası dayanım değişimini daha iyi gözleyebilmek için numunelerin ısıtıldıktan sonraki dayanımları, ısıtılmadan önceki (20°C) dayanımlarının yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Genel olarak sıcaklık yükseldikçe basınç dayanımlarında belli oranlarda düşüşler tespit edilmiştir.



Şekil 3.13. Beton numunelerinin etüve konulması



Şekil 3.14. Beton numunelerinin etüvden çıkarılması



Şekil 3.15. etüvden çıkarılmış beton numuneleri

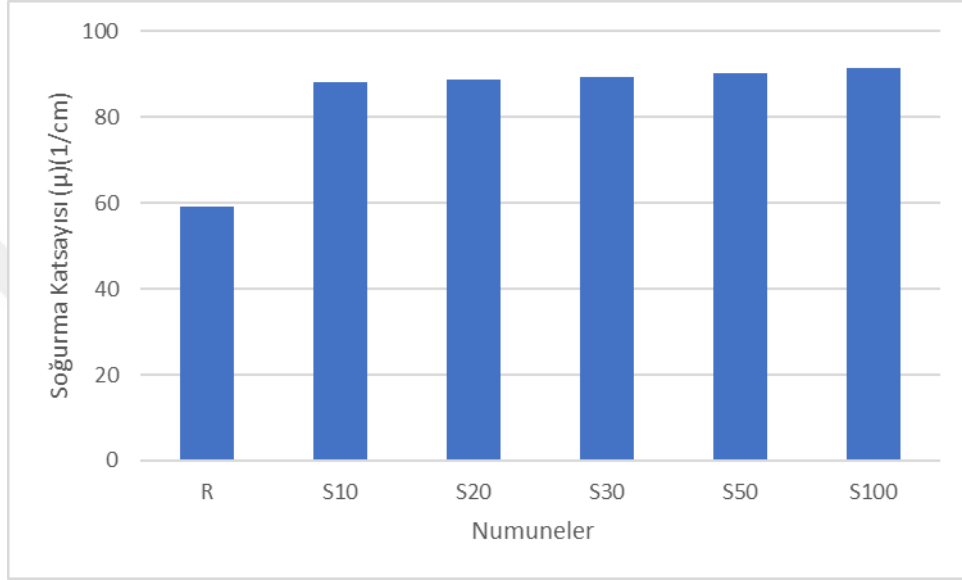
Çizelge 3.15. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan harçların basınç dayanımları

Basınç dayanımları (Mpa)					
SIRA NO:	Numune adı	200 °C	400 °C	600 °C	800 °C
1	R	30,37	39,66	27,46	28,03
2	B10	19,46	30,07	25,76	15,96
3	B20	36,8	24,6	26,99	17,98
4	B30	27,69	31,62	27,76	21,1
5	B50	19,2	22,06	13,44	10,38
6	B100	22,89	26,43	16,18	6,8
7	D10	28,34	34,22	25,72	19,36
8	D20	21,62	26,45	21,21	15,24
9	D30	22,77	34,31	28	19,26
10	D50	31,97	36,8	34,57	13,05
11	D100	21,85	31,72	30	20,14
12	S10	39,34	35,36	27,68	26,52
13	S20	26,26	32,79	31,93	20,92
14	S30	29,89	34,22	32,42	25,26
15	S50	26.333	31,02	19,54	20,88
16	S100	29,84	27,62	27,46	15,88

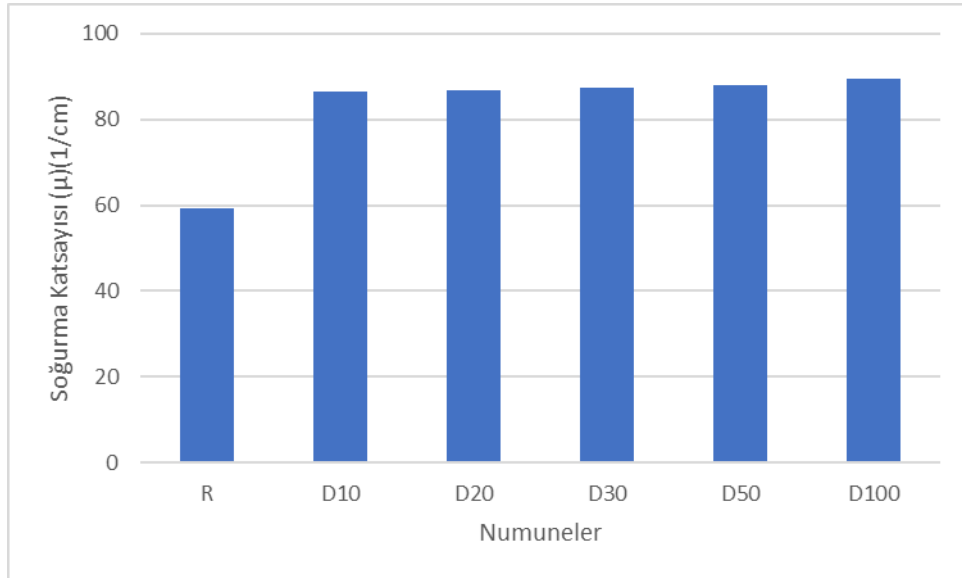
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. X ışını Radyasyon Geçirgenlik Tayini

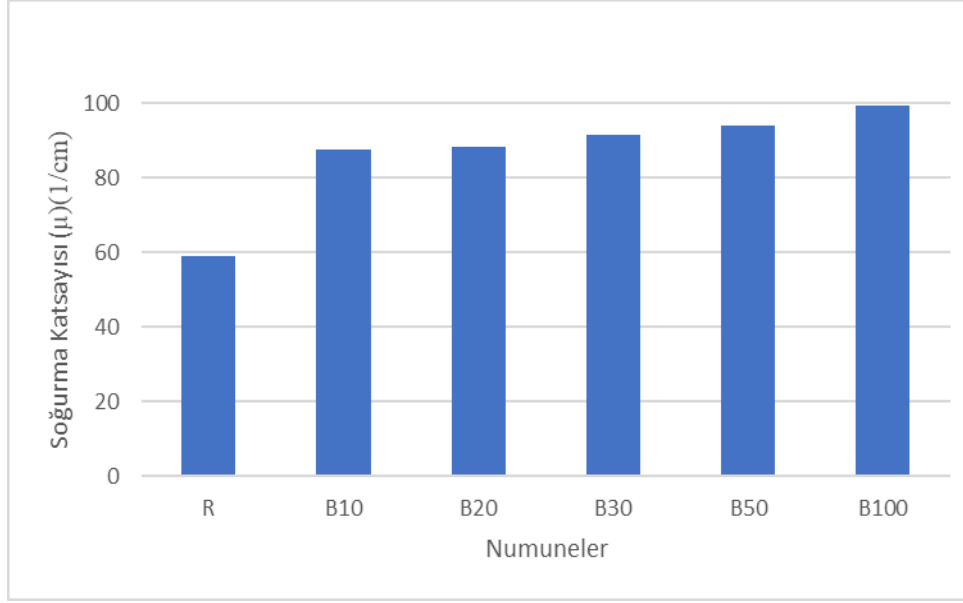
X ışını radyasyon geçirgenlik testi 10x10x1 cm boyutlarındaki numuneler üzerinde 100 Kv enerji kullanılarak gerçekleştirilmiştir. X ışınları soğurma katsayıları Şekil 4.1, 4.2, 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.1. Serpantinit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri



Şekil 4.2. Dolomit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri



Şekil 4.3. Barit katkılı ağır betonların soğurma katsayısı değerleri

Serpantin, dolomit ve barit agregalarıyla üretilen betonların soğurma özelliklerine etkisi dar ışınlama (X ışını) teorisi ile 100 Kv enerji kullanılarak araştırılmıştır. Şekil 4.1-4.3'te verilen soğurma katsayısı verileri incelendiğinde kullanılan malzemelerin radyasyon ışınlarını zayıflatma katkısı görülmüştür. Soğurma katsayısının yüksek olması kullanılan malzemelerin radyasyonu tuttuğu ve malzemelerin radyasyon geçirimsizliği değerinin düşürerek radyasyona karşı kalkan görevi üstlendiğini göstermektedir.

Şekil 4.1'teki soğurma katsayıları incelendiğinde serpantin katkılı numunelerin referans betona göre daha yüksek soğurma katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Serpantin katkılı S10 %49,09- S20 %49,83- S30 %51,10- S50 %52,57- S100 %54,57 oranlarında referans numunesine göre soğurma katsayılarında artışlara neden olmuştur.

Ayrıca serpantin katkısı arttıkça radyasyon soğurma katsayısının arttığı dolayısı ile radyasyon geçirimsizliğini düşürerek zırhlama özelliği yüksek bir malzeme olduğu belirlenmiştir. Serpantin katkılı betonlarda en yüksek radyasyona direncine S100 katkılı numune ile ulaşılmıştır. Bu sonuçlar ile serpantin radyasyona karşı zırhlama özelliğinin olduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgular literatür tarafından da desteklenmektedir (Baster I.I., 1997).

Şekil 4.2'deki referans ve dolomit katkılı numunelere ait soğurma katsayıları incelendiğinde, referans numuneye göre dolomit katkılı olanlar daha yüksek soğurma katsayılarına sahiptir. Dolomit katkılı D10 %46,12 - D20 %46,83- D30 %47,70- D50 %48,63- D100 %51,24 oranlarında referans numunesine göre soğurma katsayılarının

artmasına yol açmıştır. En yüksek soğurma katsayısını gösteren numune ise D100 katkıli numune olmuştur (Kavaz E., 2019; Baster I.I., 1997).

Şekil 4.3'teki değerler incelendiğinde ise barit agregası ikameli betonların soğurma katsayılarının referans betona oranla yüksek olduğu görülmektedir. Barit katkısı sayesinde, B10 %48,31- B20 %48,97- B30 %54,75- B50 %59,18- B100 %67,67 referans numunesine göre soğurma katsayılarında artışlara neden olmuştur. En yüksek soğurma katsayısına sahip numunenin B100 katkıli numunedir. Barit katkı oranı arttıkça soğurma katsayısı ve radyasyon direncine karşı koruma özelliği artmaktadır (Kılınçarslan vd., 2007).

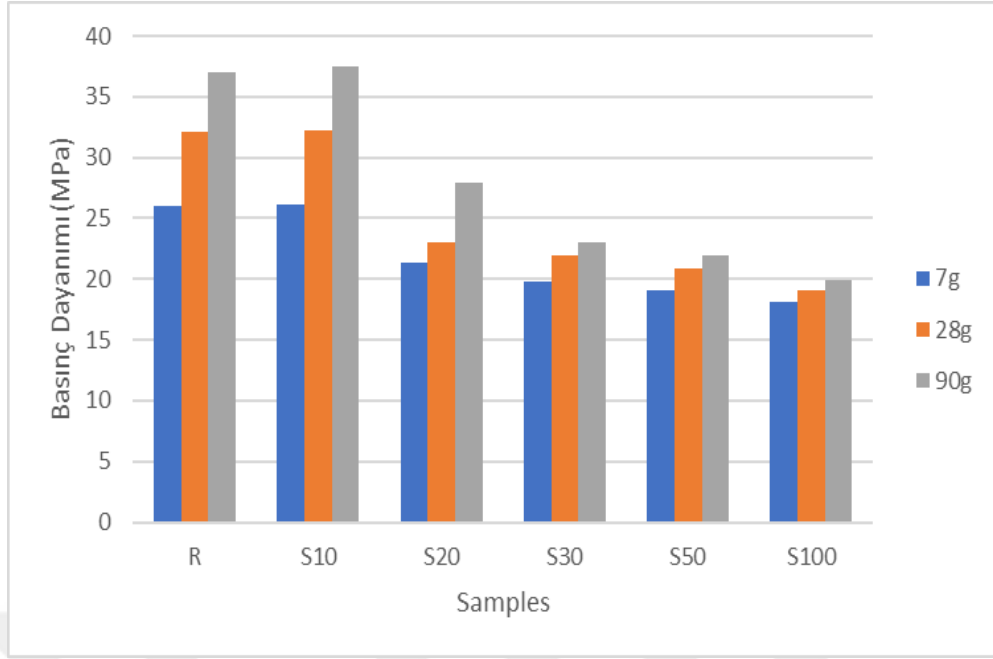
Serpantinit, dolomit ve barit katkıli numuneler ile üretilen betonlar arasında en yüksek soğurma katsayısına barit katkıli numunelerden elde edildiği görülmektedir. Bu durumu baritin yoğunluğuna ve kimyasal analizdeki bileşenler ile açıklamak mümkündür (Ünal, 2016).

Serpantinit katkıli betonların radyasyonun zararlı ışınlarına karşı göstermiş olduğu soğurma katsayısını serpantinit agregalarıyla üretilen betonun içerisinde kristallenmiş halde bulunun suyun 500°C'ye kadar muhafaza etmesi ile zırhlama özelliğini gösterdiği belirtilmiştir (Baster, 1997).

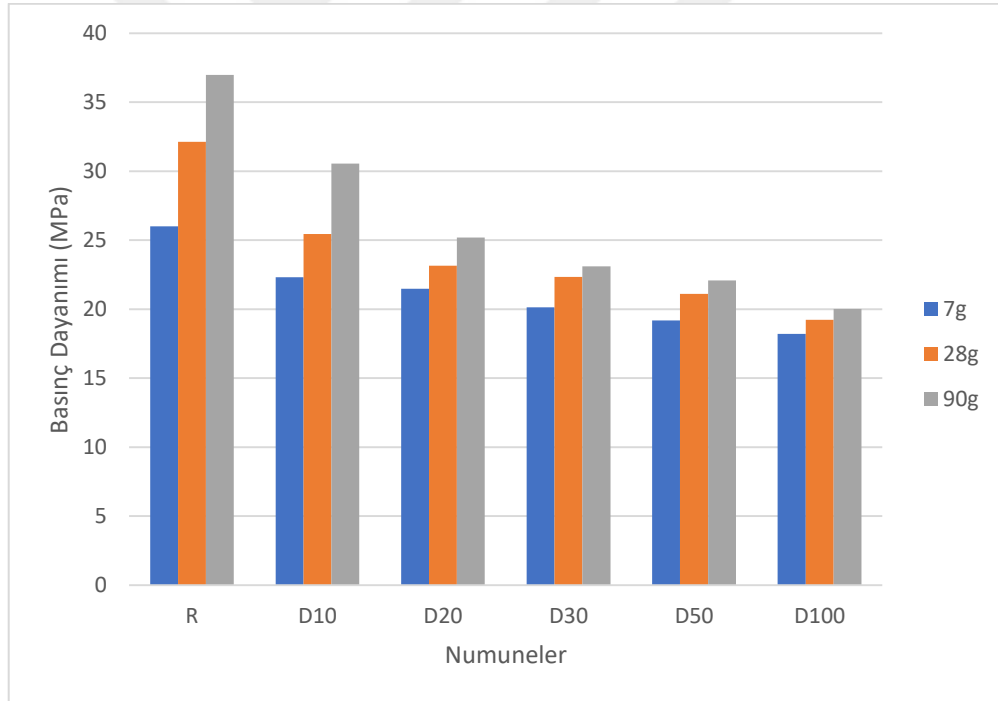
Beton numunelerinin üretilmesinde kullanılan agregaların yoğunlukları ile alakalı olarak ağır betonların birim hacim ağırlıklarının artması radyasyon zararlarına karşı koruyucu etkisi olduğu ifade edilmektedir. Serpantinit, dolomit ve barit ağır beton olarak adlandırılmaktadır. Ağır betonların radyasyon zararlarına karşı etkili olmasında H ve O nötron ışınlarının soğurulmasında ağır agregalarda ise α , β , γ , x ışınlarının soğurulması ile koruyucu tabaka oluşturmaya katkıda bulundukları belirtilmiştir (Coşkun, 2010).

4.2. Basınç Dayanımı

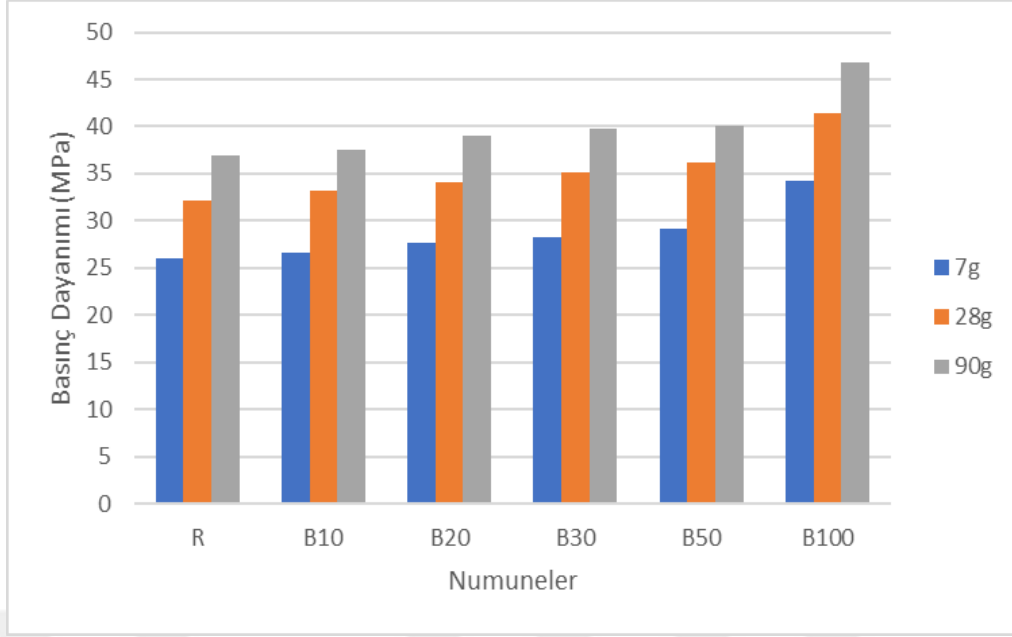
Serpantinit, dolomit ve barit agregalarıyla üretilen ağır betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.4. Serpantinit katkılı ağır betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları



Şekil 4.5. Dolomit katkılı betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları



Şekil 4.6. Barit katkılı ağır betonların 7-28-90 günlük basınç dayanımları

Serpantin, dolomit ve barit katkılı 10x10x10 cm boyutlarındaki beton numunelerin dayanım değerleri katkı sınıflarına göre incelenmiştir. Şekil 4.4’de Referans ve serpantin katkılı betonların 7-28-90 günlük basınç dayanım değerleri verilmiştir. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri en yüksek numune Referans grubu numunelerden elde edilmiştir. 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde $S_{10}=19,03$ MPa, S_{20} 14,11 – S_{30} 11,08 – S_{50} 7,69 – S_{100} 5,43 MPa değerleri elde edilmiştir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde S_{10} 22,16 - S_{20} 17,03 – S_{30} 12,96 – S_{50} 8,85 – S_{100} 6,13 MPa değerleri elde edilmiştir. 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde S_{10} 24,13- S_{20} 19,01 – S_{30} 14,1– S_{50} 10,96– S_{100} 8,91 MPa değerleri elde edilmiştir. Serpantin katkılı numunelerin katkı oranı arttıkça basınç dayanımları düşmüştür.

Serpantin katkılı numunelerde dayanım kayıplarının nedeni olarak MgO oranının yüksek olması düşünülmektedir. Çünkü bu oranın yüksek olması genleşmelerin artmasına ve böylece dayanım değerlerinde kayıpların meydana gelmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda standartlara uygun Slump değerlerinin elde edilebilmesi için S/Ç oranındaki su artışından kaynaklı porozite oluşumunun meydana gelmesi ile agrega-çimento ara yüzey kısmının zayıflaması basınç dayanımlarının düşmesinin nedenleri olarak ifade edilmektedir (Tekin İ. vd., 2017).

Şekil 4.5’te Referans ve dolomit katkılı betonların 7-28-90 günlük basınç dayanım değerleri verilmiştir. Verilen değerler incelendiğinde 7-28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri en yüksek numune Referans grubu numunelerden elde edilmiştir. Şekil 4.5’e göre

7 günlük basınç dayanım değerleri D10 22,31- D20 21,47 – D30 20,14 – D50 19,18 – D100 18,2 MPa olarak sıralanır. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde D10 25,45 - D20 23,14 – D30 22,33 – D50 21,11 – D100 19,22 MPa değerleri elde edilmiştir. 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde D10 30,54 - D20 25,18 – D30 23,11 – D50 22,08 – D100 20,01 MPa değerleri elde edilmiştir.

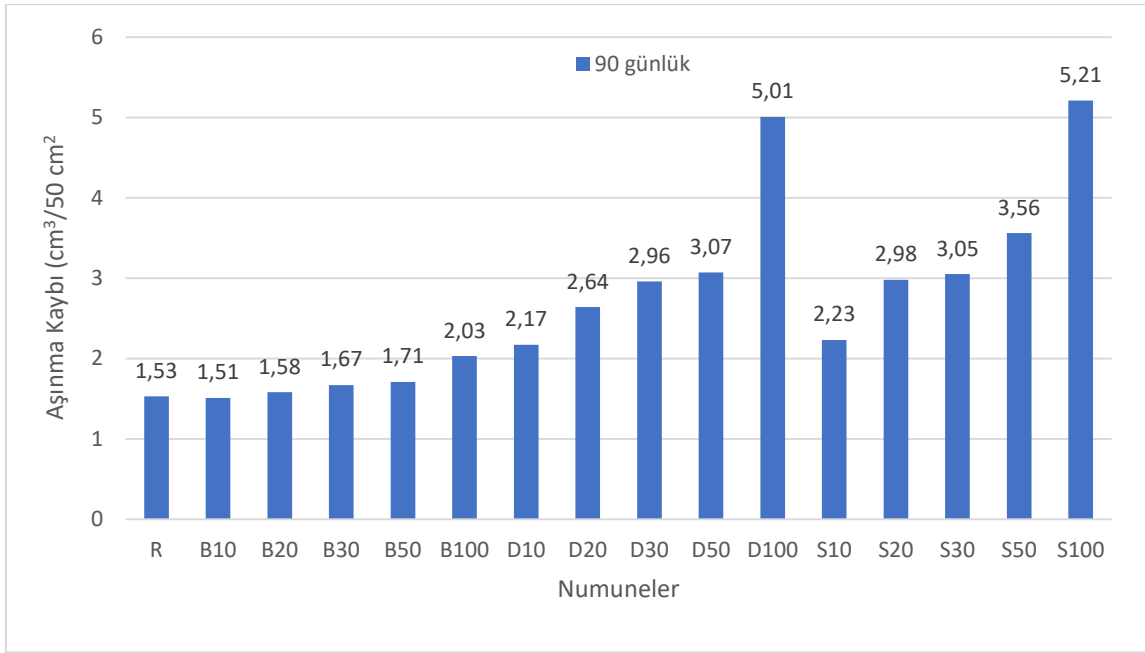
Yukarıdaki değerler incelendiğinde dolomit katkılı tüm karışımlar referans beton numunesine düşük değerler vermektedir. Bunun nedeni olarak dolomitin kimyasal içeriğindeki CaO ve MgO'nun su ile reaksiyonu sonucu Ca(OH)_2 ve Mg(OH)_2 meydana gelmesi ile genleşmelerin oluşması olarak ifade edilmektedir. Elde edilen sonuçlar literatürdeki çalışmalar ile de desteklenmektedir (İnceer, 2012; IS., 1992).

Şekil 4.6'da Referans ve barit katkılı betonların 7-28-90 günlük basınç dayanım değerleri verilmiştir. Verilen değerler incelendiğinde 7-28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri en yüksek numune Referans grubu numunelerden elde edilmiştir. 7 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde B10 25,55 – B20 25,13 – B30 24,11 – B50 22,11 – B100 22,01 MPa değerleri elde edilmiştir. 28 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde B10 32,01 – B20 31,26 – B30 31,11 – B50 30,74 MPa – B100 29,41 MPa değerleri elde edilmiştir. 90 günlük basınç dayanım değerleri incelendiğinde B10 36,92 - B20 35,96 – B30 34,74 – B50 33,03 – B100 32,75 MPa değerleri elde edilmiştir.

Barit katkı oranı arttıkça basınç dayanımlarının çok az miktarda düşüş göstermesinin sebebi olarak barit katkılı numunelerin S/Ç oranına bağlı olarak baritin beton içerisinde homojen bir şekilde karıştırılamamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumda barit katkılı çalışmalarda katkı malzemesi önceliği olarak hava sürükleyici katkı malzemesinin kullanılmasının önemi vurgulanmaktadır. Bu ifade literatür tarafından da desteklenmektedir (Yalçın, Ö.Ü., 2018).

4.3. Yüzey aşınma dayanımı

Serpantin, dolomit ve barit katkılı beton numunelerin yüzey aşınma değerleri incelenmiş ve ağırlık kayıpları Şekil 4.7'de verilmiştir.



Şekil 4.7. Numunelerin 90 günlük aşınma kayıpları

Numunelerin aşınma dayanım kayıpları incelendiğinde, barit katkı oranı arttıkça aşınma kayıplarının arttığı gözlemlenmektedir. Serpantinit katkılı numunelerde aşınma kayıpları en fazla meydana geldiği numune grubu olarak ifade edilmektedir. Numunelerin aşınma kayıpları ile basınç dayanımları arasında doğrudan bir ilişki olduğu ifade edilmekte ve bu yorumun Şekil 4.4, 4.5 ve 4.6’da elde edilen basınç dayanım değerleri ile desteklendiği belirtilmektedir.

4.4. Ultrasonik yöntemle basınç dayanımının bulunması

Serpantinit, dolomit ve barit katkılı numunelerin UPV ile basınç dayanım değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1’deki veriler incelendiğinde 90 gün sonundaki numunelerin basınç dayanımları 8,90-36,98 MPa arasında değiştiği gözlemlenmektedir. Basınç dayanım değerlerine karşılık olarak UPV değerleri 2,11-4,24 km/s arasında değerler ölçülmüştür. Literatürdeki değerlendirmelere göre UPV değerlerine göre kullanılan katkı Serpantinit “orta”, Dolomit “iyi” ve Barit “iyi” beton sınıfına girmektedir (IS., 1992).

Beton numunelerin ultrasonik ses geçirgenliği verileri hakkında tahribatsız yöntemlerle güvenilir fikir verebilirler. Özellikle dalga hızları ve basınç dayanımları hakkında ilişki olduğu bilimsel çalışmalarla desteklenmektedir (Uyanık O., 1999; Uyanık O., 2009).

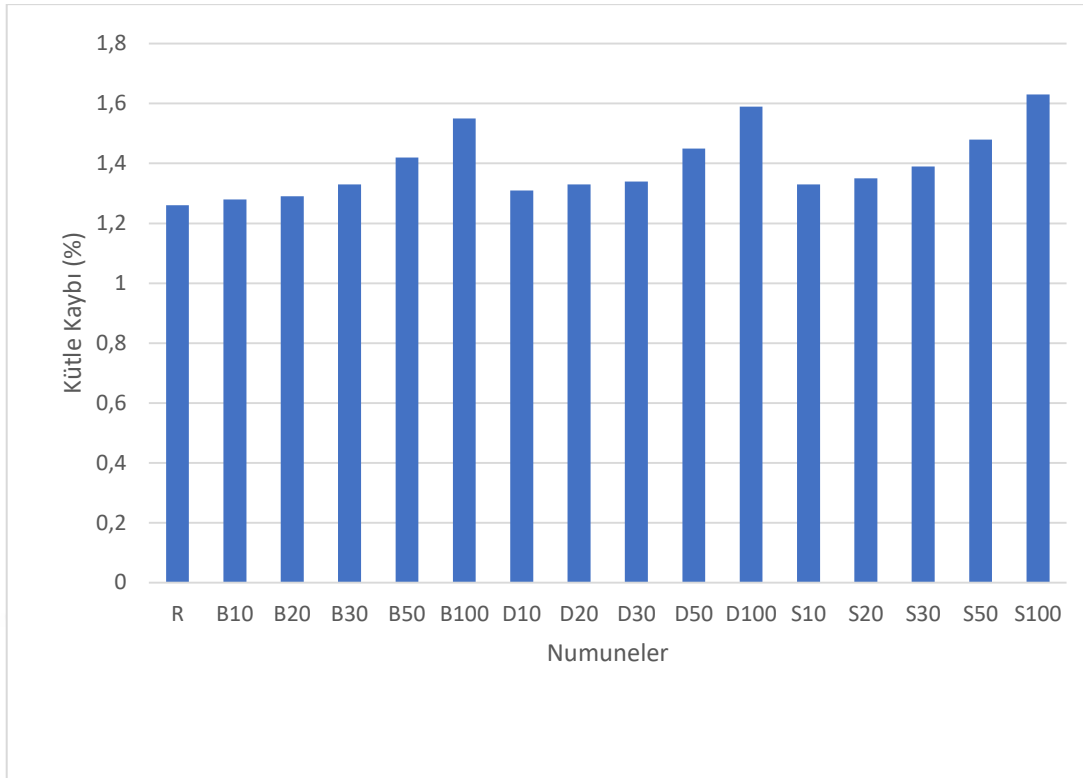
Çizelge 4.1. Basınç dayanımları

Numune	Basınç Dayanımı (MPa)	Ultrasonik ses UPV (km/s)
R	36,98	4,24
B10	37,55	4,21
B20	38,96	4,12
B30	39,74	4,01
B50	40,03	3,95
B100	46,75	4,09
D10	37,54	3,89
D20	25,18	3,24
D30	23,10	3,02
D50	22,08	2,96
D100	20,01	2,81
S10	37,43	3,14
S20	27,95	2,76
S30	23,01	2,55
S50	21,96	2,32
S100	19,9	2,11

4.5. Beton Numunelerin Sülfat Dayanımı

Beton numunelerin 90 gün süreyle %10 Na₂SO₄ çözeltisinde bekletildikten sonraki kütle kayıpları Şekil 12’de verilmiştir. 90 gün sülfat çözeltisine maruz bırakılan numunelerde serpantin, dolomit ve barit katkılı numuneler referans numunesine göre daha fazla oranda aşınma kaybına uğramışlardır.

Katkı olarak kullanılan minerallerin geçirimsizlik oranlarının fazla olması nedeni ile kütle kaybı oranlarının fazla olduğu ifade edilmektedir. Yapılan yorum literatürdeki çalışmalar ile desteklenmektedir (Binici vd., 2011).



Şekil 4.8. 90 gün Sülfat çözeltisinde bekletilen numunelerin kütle kayıpları

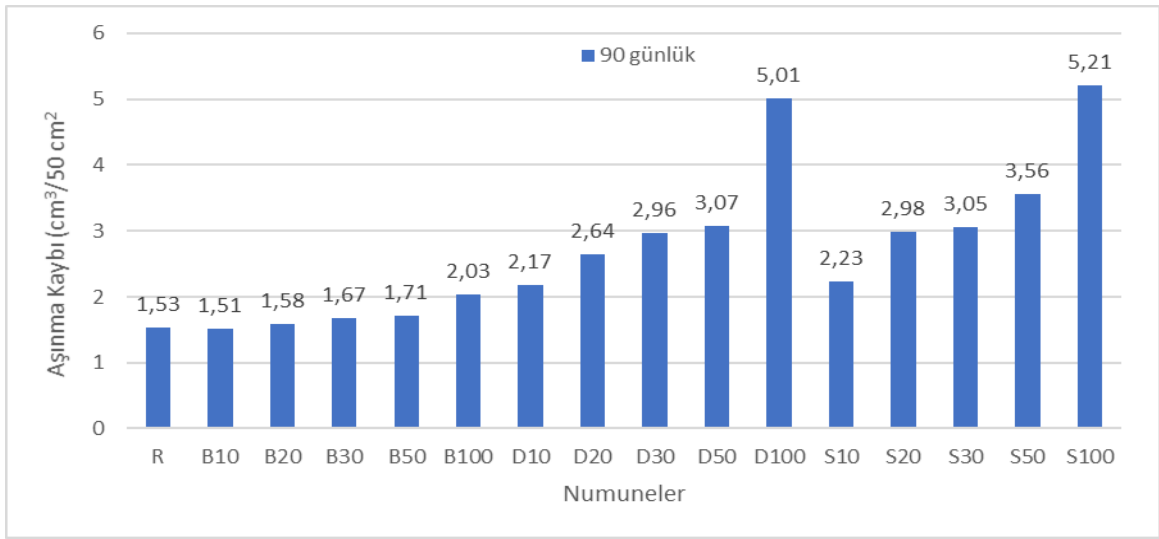
Barit katkılı tüm numunelerin kütle kayıpları referans numunesinden B10 %9,56- B20 %13,51- B30 %15,59- B50 %20,01- B100 %28,57 oranlarında daha düşük değerler vermiştir. Dolomit katkılı tüm numunelerin kütle kayıpları referans numunesinden D10 %0,79- D20 %0,81- D30 %1,56- D50 %3,07- D100 %5,26 oranlarında daha yüksek kütle kayıplarına ulaşmıştır. Serpantinit katkılı tüm numunelerin kütle kayıpları referans numunesinden S10 %0,80- S20 %1,57- S30 %2,32- S50 %3,81- S100 %6,66 oranlarında daha yüksek kütle kayıpları değerleri vermiştir.

4.6. Beton Numunelerin Yüzey Aşınmasının Tayini

Bu çalışmada betonun aşınma direncinin belirlenmesinde Böhme aşınma deneyi (TS 2824, EN 1338, DIN 52108) kullanılmıştır. Çalışmada üretilen betonların yüzey aşınma değerlerinin belirlenebilmesi için numune boyutları 71x71x71 mm boyutlarına getirilerek aşınma deneyine tabi tutulmuştur. Serpantinit, dolomit ve barit katkılı beton numunelerin yüzey aşınma değerleri incelenmiş ve ağırlık kayıpları verilen cihazda ölçülmüştür.

Numunelerin yüzey aşınma dirençleri incelendiğinde tüm katkılı numunelerde katkı oranı arttıkça aşınma miktarı artmıştır. Endüyük aşınma oranı B10 numunesinde elde

edilmiştir. B10'un aşınma değeri ($1.51 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$) R numunesinin aşınma değerine ($1.53 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$) yakındır. Barit katkı oranı arttıkça aşınma kayıplarının arttığı gözlemlenmektedir. En yüksek aşınma miktarları sırasıyla B100 ($2.03 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$), ve D100 ($5.01 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$) ve S100 ($5.21 \text{ cm}^3/50 \text{ cm}^2$) numunelerindedir. Katkılı numuneler arasında serpanitit katkılı numunelerin aşınma dayanımları daha yüksektir. Tüm numunelerde bulunan aşınma değerleri TS EN 1338'de öngörülen değerlerin çok altındadır. Numunelerin aşınma kayıpları ile basınç dayanımları arasında doğrudan bir ilişki olduğu ifade edilmekte ve bu yorumun Şekil 4.9'da elde edilen basınç dayanım değerleri ile desteklendiği belirtilmektedir.



Şekil 4.9 Numunelerin aşınma kayıplarının 90 günlük değerleri

4.7. Schmidt Çekiçi ile Basınç Tayini

Çalışmada, beton Schmidt çekici kullanarak beton numunelerinin basınç dayanımlarının elde edilmesinde kullanılmak üzere sonuçlar değerlendirilmiş değerlerin basınç dayanım değerleri ile doğru orantılı ve yakın değerler çıktığı görülmüştür ancak serpanitit katkılı numunelerde değerlerin düşük olduğu görülmüştür. Çizelge 4.2'de Schmidt çekici ile basınç dayanımı deneyi sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2. Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Schmidt Çekici ile Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	
Numune Adı	
R	34,37
B10	35,44
B20	35,32
B30	37,15
B50	38,24
B100	42,53
D10	34,41
D20	34,39
D30	24,30
D50	23,89
D100	23,14
S10	35,58
S20	33,58
S30	34,50
S50	24,63
S100	21,73

4.8. Beton Numunelerin Farklı Sıcaklıklarda Basınç Dayanımlarının Tayini

Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış harçların basınç dayanımları aşağıdaki tablo 3.3’de verilmiştir. Isıl işlem sonrası dayanım değişimini daha iyi gözleyebilmek için numunelerin ısıtıldıktan sonraki dayanımları, ısıtılmadan önceki (20°C) dayanımlarının yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Genel olarak sıcaklık yükseldikçe basınç dayanımlarında belli oranlarda düşüşler tespit edilmiştir.

Çizelge 4.3. Farklı sıcaklıklarda elde edilen basınç dayanımları

SIRA NO:	NUMUNE ADI	200 DERECE	400 DERECE	600 DERECE	800 DERECE
1	R	30,37	39,66	27,46	28,03
2	B10	19,46	30,07	25,76	15,96
3	B20	36,8	24,6	26,99	17,98
4	B30	27,69	31,62	27,76	21,1
5	B50	19,2	22,06	13,44	10,38
6	B100	22,89	26,43	16,18	6,8
7	D10	28,34	34,22	25,72	19,36
8	D20	21,62	26,45	21,21	15,24
9	D30	22,77	34,31	28	19,26
10	D50	31,97	36,8	34,57	13,05
11	D100	21,85	31,72	30	20,14
12	S10	39,34	35,36	27,68	26,52
13	S20	26,26	32,79	31,93	20,92
14	S30	29,89	34,22	32,42	25,26
15	S50	26,333	31,02	19,54	20,88
16	S100	29,84	27,62	27,46	15,88

5. SONUÇLAR

Kahramanmaraş doğal kayaç rezervi bakımından Türkiye'nin zengin bir bölgesidir. Barit, serpantinit ve dolomit vb. kayaçlar ile uçucu kül yeterli miktarda bulunmaktadır. Bölgede bulunan Serpantinit, dolomit ve Barit agregaları kullanılarak farklı oranlarda beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde X-ışını ile radyasyon geçirgenliği incelenmiş ve üretilen beton numunelerin mekanik ve bazı durabilite özellikleri araştırılmıştır. Elde edilen deneysel veriler üzerinde yapılan bilimsel değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

1. Beton numunelerin X ışını soğurma katsayıları incelendiğinde $B_{100} = 99,18$ (μ)(1/cm) ile en yüksek soğurma katsayısına sahip iken $S_{100} = 91,43$ (μ)(1/cm) ve $D_{100} = 89,46$ (μ)(1/cm) soğurma katsayılarına sahiptirler. Referans numune ise $59,15$ (μ)(1/cm) soğurma katsayısına sahiptir. Serpantinit, dolomit ve barit katkılı numunelerin radyasyon kaynaklı ışınların soğurulmasında referans betona göre çok önemli katkı sağladığı ifade edilebilir. Yüksek katkı oranlarında basınç dayanımının düşmesi dikkate alınarak %30 katkı oranı gibi bir değer esas alınarak üretilen yapı elemanının radyo aktif ışınların zararlı etkisinden canlıları büyük oranda koruması sağlanabilir.
2. Numunelerin karışımına giren serpantinit, dolomit ve barit katkı oranlarına bağlı olarak basınç dayanımlarında düşüslere neden olmuşlardır. Bu nedenle bu maddelerin katkı oranlarını sınırlamakta yarar vardır. X ışını soğurma işlevinde olduğu gibi yine %30 gibi bir oran esas alınabilir.
3. Örneklerin mekanik aşınma dirençleri üç katkı maddesinin oranı arttıkça düşmüştür. Barit katkılı numunelerin aşınma direnci serpantinit ve dolomit katkılı olanlardan daha yüksektir. Adı geçen maddelerle üretilecek betonun kullanım yerine bağlı olarak katkı oranı seçilmesinde yarar vardır.
4. Referans ile barit, serpantinit ve dolomit katkılı numunelerin 90 gün %10 Na_2SO_4 çözeltisine maruz bırakılması sonucu saptanan kütle kayıpları içinde en az kaybın referans numunesinde meydana geldiği görülmüştür. Durabilite amacıyla yapılan bilimsel çalışmalar için 90 gün araştırma süresi çok kısa bir süredir. Bu çalışmada incelenen numunelerde kullanılan malzemelerle üretilcek betonların sülfat etkisine karşı en az standartlarda öngörülen süre kadar test edildikten sonra kullanımına karar verilmelidir.

5. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılmış harçların basınç dayanımları Isıl işlem sonrası dayanım değişimini daha iyi gözleyebilmek için numunelerin ısıtıldıktan sonraki dayanımları, ısıtılmadan önceki (20°C) dayanımlarının yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Genel olarak sıcaklık yükseldikçe basınç dayanımlarında belli oranlarda düşüşler tespit edilmiştir. Ancak 400°C de ısıtılan numuneler de basınç dayanımlarında artışlar gözlenmiştir ve barit katkılı numunelerde düşüşler daha az izlenmiştir.



KAYNAKLAR

- Abdo, A. E. S., El-Sarraf, M. A., & Gaber, F. A. (2003). Utilization of ilmenite/epoxy composite for neutrons and gamma rays attenuation. *Annals of Nuclear Energy*, 30(2), 175-187.
- Akkurt, I., Altindag, R., Basyigit, C., & Kilincarslan, S. (2010). The effect of barite rate on the physical and mechanical properties of concretes under F–T cycle. *Materials & Design*, 29(9), 1793-1795.
- Akkurt, I., Kilincarslan, S., & Basyigit, C. (2004). The photon attenuation coefficients of barite, marble and limra. *Annals of Nuclear Energy*, 31(5), 577-582.
- Akkurt, I., Mavi, B., Akkurt, A., Basyigit, C., Kilincarslan, S., & Yalim, H. A. (2005). Study on Z dependence of partial and total mass attenuation coefficients. *Journal of quantitative spectroscopy and radiative transfer*, 94(3-4), 379-385.
- Akyıldırım, H. (2011). *Ağır betonların nükleer radyasyon zırhlama özelliklerinin araştırılması* (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Appleby, L. J., & Luttrell, S. P. (1993). Case-studies of significant radioactive releases. *Radioecology after Chernobyl*. John Wiley & Sons LTD, Chichester.
- Aykamiş, A. Ş. (2008). Türkiyede yapı malzemesi olarak kullanılan bazı doğal taşlardaki radyoaktivite seviyelerinin belirlenerek, kimyasal ve mineralojik bileşim ilişkilerinin araştırılması. (Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi)
- Azeez, A. B., Mohammed, K. S., Abdullah, M. M. A. B., Zulkepli, N. N., Sandu, A. V., Hussin, K., & Rahmat, A. (2014). Design of flexible green anti-radiation shielding material against gamma-ray. *Mater. Plast*, 51(3), 300-308.
- Baran, H. A. (2010). Toprakkale (Muş) Barit Cevherleşmesinin Jeolojik ve Petrografik Özellikleri. *Nature Sciences*, 5(3), 189-203.
- Bashter, I.I., Makarious, A.S., El-Sayed Abdo, A., (1996). Investigation of Hematite Serpentine and Ilmenite-Limonite Concretes for Reactor Radiation Shielding. *Annals of Nuclear Energy*, 23(1) : 65-71.
- Baster, I.I. (1997). Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concretes. *Annals of nuclear Energy*, 24(17):1389-1401.

- Binici, H., Sevinç, A.H., Durgun M.Y., (2011). Pomza, Barit, Kolemanit ve Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Harçların Dayanımı ve Sülfat Direnci *Electronic Journal of ConstructionTechnologies* Vol: 7, No: 1 (39-51)
- Binici, H., Aksogan, O., Bakkak, D., Kaplan, H., & Isik, B. (2009). Sound insulation of fibre reinforced mud brick walls. *Construction and Building Materials*, 23(2), 1035-1041.
- Binici, H., Aksogan, O., Bodur, MN, Akça, E. ve Kapur, S. (2007). Duvar malzemesi olarak lif takviyeli kerpiçlerin ısı yalıtımı ve mekanik özellikleri. *İnşaat ve Yapı malzemeleri* , 21 (4), 901-906.
- Binici, H., Aksogan, O., Sevinc, A. H., & Cinpolat, E. (2015). Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with cement, sand and egg shells. *Construction and Building Materials*, 93, 1145-1150.
- Binici, H., Aksogan, O., Sevinc, A. H., & Kucukonder, A. (2014). Mechanical and radioactivity shielding performances of mortars made with colemanite, barite, ground basaltic pumice and ground blast furnace slag. *Construction and Building Materials*, 50, 177-183.
- Binici, H., Gemci, R., Küçükönder, A., & SOLAK, H. H. (2012). Pamuk Atığı, Uçucu Kül ve Barit İle Üretilen Sunta Panellerin Isı, Ses ve Radyasyon Geçirgenliği Özellikleri. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8(1), 16-25.
- Binici, H., Şah, T., Aksogan, O. ve Kaplan, H. (2008). Geri dönüşüm agregası olarak granit ve mermerden yapılan betonun dayanıklılığı. *Malzeme işleme teknolojisi dergisi* , 208 (1-3), 299-308.
- Bouzarjomehri, F., Bayat, T., Dashti, R., Gheysari, J., & Abdoli, N. (2006). 60Co Y-ray attenuation coefficient of barite concrete.
- Budi, E.H.,Derynck, R. (2019). TGF- β ailesi sinyallemesinin özgüllüğü, çok yönlülüğü ve kontrolü. *Bilim sinyali* , 12 (570), eaav5183.
- Çelen, Y. Y., Evcin, A., Akkurt, I., Bezir, N. Ç., Günoğlu, K., & Kutu, N. (2019). Evaluation of boron waste and barite against radiation. *International journal of environmental science and technology*, 16, 5267-5274.

- Çelik, N. (2010). Doğu Karadeniz Bölgesinde Radyoizotopunun Aktivite Seviyesinin, Ekolojik Yarı Ömrünün ve Toprağa Difüzyonunun [Kitap]. (Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi)
- Çelik, S. (2013). Ankara Üniversitesi nükleer bilimler enstitüsü radyasyondan korunma programı ve radyasyondan korunma optimizasyonu (Master's thesis, Nükleer Bilimler Enstitüsü).
- Çoşkun, A., (2010). Ağır betonlarda barit agregasının kullanımı ve beton özelliklerinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Dahiru, D. (2008). Investigation of the compressive strength of heavy concrete made with locally sourced barite aggregates. *J. Appl. Sci*, 3, 447-455.
- Dal, M. (2005). Edirne’de “Dolomitik Yapı Kayaçlarının Tahrip Şekilleri ve Restorasyon Yöntemleri”.
- Davis, H. S. (1967). *Aggregates For Radiation Shielding Concrete*. General Electric Co., Richland, Wash.
- Delnavaz, A., Salavatiha, A., & Kalhor, A. (2017). Effective parameters in gamma radiation transmission rate from heavy concrete with iron oxide and barite aggregates. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(9), 04017140.
- Demir, F., (2010). Determination of Mass Attenuation Coefficients of Some Boron Ores at 59,54 keV by Using Scintillation Detector. *Applied Radiation And Isotopes*, 68: 175-179.
- Deniz, H, vd., (2020). Göksun, Afşin ve Ekinözü (Kahramanmaraş) bölgesinde yüzeylenen metamorfik masiflerin mineralojik karakteristikleri MTA Dergisi 162: 105-146
- Doğan, B. (2008). Yapı Malzemelerinin Gama Radyasyonu Karşısındaki Davranışının İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü, Nükleer Araştırmalar Anabilim Dalı, İstanbul, 54.
- Döyen, A., & Aksoy, E. (2013). Isparta ve Gelincik Pomza Yataklarının Jeolojisi ve Beton Yapımına Uygunluğunun Araştırılması. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 28(1), 25-34.

- DPT, (1995). Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Endüstriyel Hammadeler Alt Komisyonu, Seramik-Refrakter-Cam Hammadeleri Çalışma Grubu Raporu
- DPT, (2001). Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu
- Durmuş, A. vd., (2000). Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, Hazır Beton Sektörü Yayın Organı, sayı 39.
- Elmastaş, N. (2012). Türkiye Ekonomisi İçin Önemi Giderek Artan Bir Maden: Pomza (Sünger Taşı). *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 5 (23).
- El-Sayed, A. A., & Abdou, M. A. H. (2002). Response of Khaya transplants to some soil media and biofertilization treatments.
- Ermış, E., Teo, M., Dyker, K. E., Fosker, C., Sen, M., & Prestwich, R. J. (2015). Definitive hypofractionated radiotherapy for early glottic carcinoma: experience of 55Gy in 20 fractions. *Radiation Oncology*, 10, 1-9.
- Ertaş, H. (2014). Kurşun madeni atıklarının radyasyon zırhlama etkilerinin araştırılması (Master's thesis, Gümüşhane Üniversitesi).
- Gallala, W., Saïdi, M., el Hajii, S., Zayani, K., Gaied, M. E., & Montacer, M. (2016). Characterization and valorization of Tozeur-Nefta phosphate ore deposit (Southwestern Tunisia). *Procedia Engineering*, 138, 8-18.
- Hall, E. J., & Giaccia, A. J. (2006). Radiobiology for the Radiologist (Vol. 6, p. 597).
- İnceer, M. (2012). Kahramanmaraş- Hartlap Dolomiti Katkili Çimentoların Dayanım ve Genleşme Özelliklerinin Araştırılması [Kitap].[s.I.](Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi).
- Kaçar, A. (2006). Yapılarda radyasyon kalkanı olarak kullanılan barit agregalı ağır beton elemanların zırh kalınlık hesaplarının belirlenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi).
- Kan, Y. C., Pei, K. C., & Chang, C. L. (2004). Strength and fracture toughness of heavy concrete with various iron aggregate inclusions. *Nuclear engineering and Design*, 228(1-3), 119-127.

- Kansouh, W. A. (2012). Radiation distribution through serpentine concrete using local materials and its application as a reactor biological shield. *Annals of Nuclear Energy*, 47, 258-263.
- Karabay, D. (2006). Değişik oranlarda pomza, talk ve serpantin ilavelerinin fayans masse üzerine etkileri. Y. Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye.
- Kavaz, E. (2019). An experimental study on gamma ray shielding features of lithium borate glasses doped with dolomite, hematite and goethite minerals. *Radiation Physics and Chemistry*, 160, 112-123.
- Kharita, M. H., Takeyeddin, M., Alnassar, M., & Yousef, S. (2008). Development of special radiation shielding concretes using natural local materials and evaluation of their shielding characteristics. *Progress in Nuclear energy*, 50(1), 33-36.
- Kilinçarslan, Ş., Başığit, C., & Akkurt, İ. (2007). Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22(2).
- Kurt, C. H. (2010). Dolomit cevherinin kalsinasyon karakteristiklerinin belirlenmesi. *Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences*.
- Küçük, B. (2000). BETONUN DAYANIM VE DURABİLİTESİNİ SAĞLAYAN PARAMETRELER. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(1), 79-85.
- Lombardi, MH, Sutton, L. ve Cato III, A. (2006). *Nükleer tıpta radyasyon güvenliği*. CRC'ye basın.
- Mahdy, M., Speare, P. R. S., & Abdel-Reheem, A. H. (2002, June). Shielding properties of heavyweight, high strength concrete. In *2nd Material Specialty Conference of the Canadian Society for Civil Engineering* (pp. 5-8). Montréal, Québec, Canada: Canadian Society for Civil Engineering (CSCE).
- Makarios, A. et al., (1996). On the utilization of heavy concrete for radiatiöfi shielding [Dergi], [9,1.]: Arın. of Nuc. Em.23. 5. 193206.
- Mehta, P. K., & Manmohan, D. (2006). Sustainable high-performance concrete structures. *Concrete international*, 28(7), 37-42.

- Mirmazhari, S. S., Entezari, A., & Emami Azadi, M. R. (2017). Determination of Mechanical Characteristics and Radiation Attenuation Coefficients of Heavyweight and Normal-Weight Concretes Containing Hematite for 70 KeV and 570 KeV γ -Rays. *International Journal of Civil Engineering, Construction and Estate Management*, 5(2), 13-23.
- Mohammed, B. J., Abbosh, A. M., Mustafa, S., & Ireland, D. (2013). Microwave system for head imaging. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 63(1), 117-123.
- Ouda, A. S. (2015). Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding. *Progress in Nuclear Energy*, 79, 48-55.
- Quapp, W. J., Miller, W., Taylor, J., Hundley, C., & Levoy, N. (2000). DUCRETE™: A Cost Effective Radiation Shielding Material. *Spectrum*, 2000, 24-28.
- Rajeswari, P., & Mariyappan, M. EXPERIMENTAL STUDY ON RADIATION SHIELDING CAPACITY CONCRETE USING GGBS WITH LATHE METAL WASTE.
- Ramasamy, V., Dheenathayalu, M., Meenakshisundaram, V., & Ponnusamy, V. (2002). Gamma-ray spectroscopic analysis of biotite granites. *Current Science*, 1124-1128.
- Saddeek, Y. B., Mohamed, G. Y., Hassan, H. S., & Mostafa, A. M. A. (2015). Effect of gamma irradiation on the FTIR of cement kiln dust-bismuth borate glasses. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 419, 110-117.
- Sevinç, A. H. (2011). *Barit, bazaltik pomza, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların ve betonların mühendislik özellikleri* (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi, Kahramanmaraş).
- Smith, F.W., (2001). *Malzeme Bilimi ve Mühendisliği* [Kitap]. [5,1.]: Literatür Yayıncılık
- Tekin, İ., Kotan, T., Yurdakul, M., & Erdal, O. N. E. R. (2017). Bayburt bölgesinde bulunan farklı agrega tipleri ile üretilen geleneksel betonların mekanik mukavemetleri üzerine bir çalışma. *Politeknik Dergisi*, 20(3), 513-518.

- Temircik, Ş., (2015). Yapı malzemelerinin Radyasyon Geçirgenliği ve Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi
- Temiz, H., & Akçakale, A. H. (2014). Hafif agregalı betonun mühendislik özelliklerinin araştırılması. *Karadokuz Fen ve Mühendislik Dergisi*, 4(2), 7-20.
- Temiz, H., Kose, M. M., & Genc, H. M. (2015). Mechanical Behavior of White Concrete. *TEM J*, 2(1), 73-79.
- UNSCEAR, (2000). Sources and effects of ionizing radiation, ANNEX, 8., volume-1 [Rapor]
- URL-1 www.nrc.gov/about-nrc/radiation/around-us/sources/nat-bg-sources.html-july.15.2019
- URL-2-www.taek.gov.tr/tr/bilgikosesi/radyasyominsanvecevre/dogal-radyasyon-kaynaklari.html
- URL-3 - <http://tr.wikipedia.org/wiki/Atom>.
- URL-4- <http://www.aoldershanesi.com/atom-modelleri-veatomun-yapisi.html>.
- URL-5-http://tr.wikipedia.org/wiki/Y%C4%B1an_ta96C5%9F%C4%B1.Erişimtarihi: 27.09. 2016.
- URL-6 - www.mta.gov.tr. Erişim tarihi: 20.07.2016
- URL-7- www.serpantinitci.com.
- Uyanık, O. (1999). Kayaçlarda sismik hızlar ve kayma direncinin incelenmesi, 52. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 63-70.
- Uyanık, O., & Çekmen, V. (2012). Zeminlerin Basınç ve Kesme Mukavemetlerinin Sismik Hızlardan Tahmini. *İstanbul Yerbilimleri Dergisi*, 22(2), 95-104.
- Ünal, O., İcağa, Y., & Coşkun, A. (2016). Barit Agregalı Betonların Radyasyon Soğurma Özelliklerinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(1), 125-131.
- Yarar, Y., & Bayülken, A. (1994). Investigation of neutron shielding efficiency and radioactivity of concrete shields containing colemanite. *Journal of nuclear materials*, 212, 1720-1723.

- Yılmaz, T., & Erçikdi, B. (2022). Kalsitik ve dolomitik kireçtaşlarının çimentolu macun dolgunun çevresel davranışına etkisi. *Scientific Mining Journal*, 61(1), 31-40.
- Yorgun, N., Kavaz, E., Oto, B., & Akdemir, F. (2018). Evaluation of gamma-ray attenuation properties of lithium borate glasses doped with barite, limonite and serpentine. *Radiochimica Acta*, 106(10), 865-872.
- Yüksel, İ., Özkan, Ö., & Bilir, T. (2007). Production Of Paving Block And Kerb Incorporating Blastfurnace Slag.
- Yülek, G., (1992). *Radyasyon fiziği (iyonlayıcı ve iyonlayıcı olmayan) ve radyasyondan korunma*. SEK Yayınları.
- Zaim, N., & Hatıpoğlu, D. (2018). Experimental investigation of gamma radiation attenuation coefficients for kırklareli marble. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22(1), 141-147.