

**T.C.
KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BIRAKILAN POLİPROPİLEN LİFLİ AĞIR
BETONLARIN GAMA İŞİNİ VE NÖTRON SOĞURMA PERFORMANSLARI**

MERVE GÜMÜŞ

MAYIS 2019

İnşaat Anabilim Dalında Merve GÜMÜŞ tarafından hazırlanan YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BIRAKILAN POLİPROPİLEN LİFLİ AĞIR BETONLARIN GAMA IŞINI VE NÖTRON SOĞURMA PERFORMANSLARI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Anabilim Dalı Başkanı

Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Danışman

Prof. Dr. İlhami DEMİR

Jüri Üyeleri

Başkan (Danışman) : Prof. Dr. İlhami DEMİR _____

Üye : Dr. Öğr. Üyesi H. Süleyman GÖKÇE _____

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat GÖKÇE _____

31/05/2019

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Prof. Dr. Recep ÇALIN

AILEME...



ÖZET

YÜKSEK SICAKLIĞA MARUZ BIRAKILAN POLİPROPİLEN LİFLİ AĞIR BETONLARIN GAMA IŞINI VE NÖTRON SOĞURMA PERFORMANSLARI

GÜMÜŞ, Merve

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. İlhami DEMİR

Mayıs 2019, 102 sayfa

Bu çalışmada günümüzde önemi giderek artan ağır betonların yüksek sıcaklık etkisindeki; basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kütle kaybı ve radyasyon geçirgenlik özellikleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında kalker kırmataş, barit ve siderit olmak üzere 3 tip agrega kullanılarak üretilen polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık etkisindeki özellikleri incelenirken; kalker kırmataş agregalı beton numuneler, referans numune olarak kullanılmıştır. Üretilen 10×10×10 cm boyutlu küp ve 30×30×3.5 cm boyutlu plaka numuneler; 20°C, 300°C, 600°C, 900°C, 1300°C olmak üzere 5 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmıştır. 10×10×10 cm boyutlu numunelere basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı testleri uygulanırken 30×30×3.5 cm boyutlu numunelerden alınan 4×3×1.5 cm boyutlu örnekler gama ışını lineer azaltma katsayısı testi, 4×3.5×3 cm boyutlu örnekler nötron soğurma katsayısı testi uygulanmıştır.

Yüksek sıcaklık öncesinde ve sonrasında uygulanan testlerde en iyi sonuçlar; basınç dayanımı için 20°C'deki siderit agregalı numunelerde 64,1 MPa olarak tespit edilmiştir. Ultrases geçiş hızı için en iyi sonuçlar 20°C 'deki siderit agregalı numunelerde 4,715 km/s olarak tespit edilirken, kütle için en iyi sonuçlar ise 20°C 'deki barit agregalı numunelerde 3.14 kg olarak tespit edilmiştir. Gama ışını lineer azaltma katsayısı testi için barit agregalı numunelerde, nötron soğurma katsayısı testi

için ise siderit agregalı numunelerde radyasyon geçirimsizliğinin en az olduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak yüksek sıcaklığın betonu her anlamda olumsuz etkilediği, özellikle 600°C sonrasında beton numunelerin çok tahrip olduğu bunun da beton numunelerin basınç dayanımı, radyasyon geçirgenliği, kütle kaybı, ultrases geçiş hızı gibi özellikleri olumsuz yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kalker Kırmataş Agregası, Barit Agregası, Siderit Agregası, Polipropilen Lifli Ağır Beton, Yüksek Sıcaklık, Gama Işını ve Nötron Soğurma Özellikleri, Basınç Dayanımı

ABSTRACT

GAMMA RAY AND NEUTRON ATTENUATION PERFORMANCES OF POLYPROPYLENE FİBER- REİNFORCED HEAVYWEİGHT CONCRETES EXPOSED TO HİHG TEMPERATURE

GÜMÜŞ, Merve

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering, MSc Thesis

Supervisor: Prof. Dr. İlhami DEMİR

May 2019, 102 pages

In this study was examined the ultrasound transition speed, mass loss and radiation permeability characteristics in high temperature of the heavy concrete which is getting increasingly important nowadays. In the scope of this study, while the properties of polypropylene fiber concrete produced by using 3 types of aggregates such as limestone, crushed stone, barite and siderite were being investigated, Concrete samples with limestone crushed aggregate were selected as reference samples. 10x10x10 cm sized cube samples produced and 30x30x3.5 cm sized plate samples are exposed to 5 different temperatures: 20°C, 300°C, 600°C, 900°C, 1300°C, respectively. While compressive strength and ultrasound transition speed tests applied to 10x10x10 cm sized samples, gamma ray linear reduction coefficient test applied to 4x3x1.5 cm sized samples taken 30x30x3.5 cm sized samples and lastly neutron absorption test applied to 4x3.5x3cm sized samples.

Best result obtained from the tests performed for compressive strength before and after high temperature is determined 64,1MPa for samples with siderite aggregate at 20 ° C. While the best results for ultrasound transition speed test determined as 4,715 km/s for samples with siderite aggregate in 20°C, the best result for mass is determined as 3,14

kg for samples with barite aggregate. Also, it is determined that radiation permeability is minimum in samples with barite aggregate for gamma ray linear reduction coefficient test, and is minimum in samples with siderite aggregate for neutron absorption coefficient test. As a result, it is concluded that high temperature adversely affects the concrete in every way, especially in temperatures more than 600°C and it is determined that concrete samples suffer damages which effects concrete's compressive strength, mass and ultrasound transition speed properties negatively at these temperatures.

Keywords: Limestone Crushed Aggregate, Barite Aggregate, Siderite Aggregate, Polypropylene Fiber Heavyweight Concrete, High Temperature, Gamma Ray and Neutron Attenuation Properties, Compressive Strength

TEŞEKKÜR

Tezimin hazırlanması esnasında hiçbir yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, bilimsel deney imkanlarını sonuna kadar bizlerin hizmetine veren tez yöneticisi hocam Sayın Prof. Dr. İlhami DEMİR'e, yardım ve katkılarından dolayı Araştırma Görevlisi Dr. Özer SEVİM'e, eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini esirgemeyen ve bana her konuda destek olan anneme, babama, kardeşlerime, beton üretiminde yardımcı olan Sigma Beton Laboratuvarı'na, radyasyon soğurma testlerini yaptırdığım Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'na teşekkür ederim. Ayrıca TÜBİTAK 1002 projesi kapsamında 117M880 numaralı "Farklı Tip Ağır Agregalarla Üretilen Polipropilen Lifli Ağır Betona Yüksek Sıcaklık Etkisi" isimli projemize desteklerinden dolayı TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1.GİRİŞ	1
1.1. Genel Bilgiler.....	2
1.1.1. Beton ve Yüksek Sıcaklık	2
1.1.2. Radyasyon	7
1.1.2.1. Radyoaktif Işıma Türleri	8
1.1.2.2. Radyolojik Olaylar ve Kazalar	10
1.1.3. Ağır Beton ve Radyasyon Etkileri	13
1.1.4. Radyasyondan Korunma	16
1.1.4.1. Zaman Kuralı.....	17
1.1.4.2. Mesafe Kuralı.....	17
1.1.4.3. Zırhlama	18
1.1.4.4. Nükleer Santral Kazaları Sonucu Etrafa Yayılan Radyasyondan Korunma.....	18
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	19
2.LİTERATÜR TARAMASI	21
3. MATERYAL VE METOT	46
3.1. Materyal	46
3.1.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	46
3.2. Metot.....	57
3.2.1. Agregada Deneylerinde Kullanılan Yöntemler.....	58
3.2.2. Beton Karışımının Hazırlanması	59
3.2.3. Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi ve Kür Uygulanması	60
3.2.4. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları.....	61

3.2.5. Soğutma Uygulamaları.....	62
3.2.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri ve Gözlemler	63
3.2.6.1. Ultrases Geçiş Hızı Tayini	63
3.2.6.2. Basınç Dayanımı Deneyi.....	64
3.2.6.3. Kütle Kaybı	64
3.2.6.4. Radyasyon Deneyleri	64
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....	67
4.1. Taze Beton Deneylerine Ait Bulgular.....	67
4.2. Sertleşmiş Beton Deneylerine Ait Bulgular.....	67
4.2.1. Ultrases Geçiş Hızı Testi.....	69
4.2.2. Basınç Dayanımı	72
4.2.3. Kütle Kaybı	75
4.2.4. Radyasyon Soğurma Tayini	78
4.2.4.1. Gama Işını Lineer Azaltma Katsayısının Tayini.....	78
4.2.4.2. Yarı Değer Kalınlıkları.....	81
4.2.4.3. Nötron Soğurma Katsayısının Tayini.....	84
4.3. Numunelerde Renk Değişimi.....	87
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
KAYNAKLAR	91

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Barit agregasının kimyasal yapısına ait veriler	48
3.2. Siderit agregasının kimyasal yapısına ait veriler	48
3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri	50
3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri	50
3.5. Çimentonun basınç dayanımı özellikleri.....	51
3.6. Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkının özellikleri	51
3.7. Polipropilen lif özellikleri	53
3.8. Karışım suyunun özellikleri	54
3.9. Tane yoğunluğu ve su emme.....	58
3.10. Agregaların metilen mavisi deneyi sonuçları.....	59
3.11. Beton karışımlarına giren malzemeler	60
3.12. Yüksek sıcaklık uygulamasının planı	61
4.1. Taze beton deneyleri sonuçları	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Betonda sıcaklığa bağlı dayanım kaybı ve renk değişimi.....	5
1.2. Beton bünyesinde bulunan yüksek basınçlı su buharı nedeniyle betonda meydana gelen dökülmeler.....	6
1.3. Elektromanyetik spektrum	8
1.4. Farklı maddeler tarafından tutulan radyoaktif ışın türleri	10
1.5. Uluslararası nükleer ve radyolojik olay ölçeği.....	11
1.6. Çernobil nükleer kazasının etkilediği bölgeler	11
1.7. Nükleer enerji santrali	15
1.8. Dış radyasyondan korunmanın kuralları	17
3.1. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu kalker kırmataş agregalar	46
3.2. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu barit agregalar	47
3.3. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu siderit agregalar.....	47
3.4. Karışımlarda kullanılan agregalara ait elek analizi grafiği	49
3.5. Karışımında kullanılan polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı	52
3.6. Karışımında kullanılan polipropilen lif.....	53
3.7. Laboratuvar tipi beton mikseri	55
3.8. Beton numune üretiminde kullanılan kalıplar.....	55
3.9. 1300°C kapasiteli yüksek sıcaklık fırını	56
3.10. Çalışmada kullanılan beton presisi	57
3.11. Çalışmada kullanılan numuneleri ve fırını koruyan kafesler	61
3.12. Numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması	62
4.1. 900°C ve 1300°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler.....	68
4.2. Üretilen numunelerin ultrases geçiş hızlarının karşılaştırması	69
4.3. Beton numunelere ait göreceli ultrases geçiş hızı değerleri.....	70
4.4. Numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırması	72
4.5. Beton numunelere ait göreceli basınç dayanımı değerleri	74
4.6. Beton numunelere ait kütleler	75
4.7. Beton numunelere ait göreceli kütle kayıpları ve hacim kayıpları	76
4.8. Beton numunelere ait gama ışını lineer azaltma katsayıları.....	78

4.9. Beton numunelere ait göreceli gama ışını lineer azaltma katsayısı değerleri	80
4.10. Lineer azaltma katsayısının beton yoğunluğuna göre değişimi	81
4.11. Beton numunelere ait yarı değer kalınlıkları ($x_{1/2}$).....	82
4.12. Beton numunelere ait göreceli yarı değer kalınlıkları.....	83
4.13. Beton numunelere ait nötron soğurma katsayısı	84
4.14. Beton numunelere ait göreceli nötron soğurma katsayısı	86
4.15. Yüksek sıcaklık uygulaması sonrası numunelerdeki renk değişimi	87

SİMGELER DİZİNİ

α : Alfa Parçacıkları

β : Beta Parçacıkları

γ : Gama Işınları

n: Nötronlar

X: Röntgen Işınları

μ : Lineer azaltma katsayısı

ΣT : Ortalama Makroskopik Tesir Kesiti

KISALTMALAR DİZİNİ

CSH: Kalsiyum Silikat Hidrat

NB: Kalker Kırmataş Agregası Kullanılarak Üretilen Polipropilen Lifli Normal Beton

BB: Barit Agregası Kullanılarak Üretilen Polipropilen Lifli Ağır Beton

SB: Siderit Agregası Kullanılarak Üretilen Polipropilen Lifli Ağır Beton

Cs-137: Sezyum 137 radyasyon kaynağı

Co-60: Kobalt 60 radyasyon kaynağı

1.GİRİŞ

İnsanlar var oldukları müddetçe barınma ihtiyaçlarını karşılamak için farklı yapım teknikleri ve farklı malzemeler kullanarak konutlar inşa etmişlerdir. Tüketimin artması, insana dayalı iş gücünün yetersiz kalması, kentleşme kültürünün ortaya çıkmasıyla birlikte sanayileşme adımları atılmaya başlamıştır. Sanayileşmenin başlaması; toplumları endüstriyel üretime yöneltmiş, bu olgu da insanları endüstri yapılarının inşa edilmesi gerekliliği ile karşı karşıya bırakmıştır. Toplumlarda endüstriyellemenin artmasıyla birlikte; enerjiye olan ihtiyaç kat ve kat artmıştır. Günümüzde hem sanayi yapılarının hem de enerji üretimi için kullanılan nükleer santrallerin inşası neredeyse zorunlu hale gelmiştir. Fakat yapı sektörünün vazgeçilmezi olan beton; bir takım dış etkilere karşı yeterli dayanıklılığı gösterememektedir. Bu dış etkilere biri de yüksek sıcaklık etmenidir.

Yapılaşmanın bu denli arttığı günümüz dünyasında, endüstriyel yapıların en çok karşı karşıya kaldığı tehlike; yangındır. Yangın yapılarında her an karşılaşılabilecek olan yüksek sıcaklık etmenlerinden biridir. Yapılar maruz kaldığı yangın sebebiyle yüksek sıcaklıklar altında hasar alır. Hem endüstri yapılarında (fabrika, yüksek sıcaklıklı baca, nükleer santral) hem de konutlarda ortaya çıkabilecek olan bu etki; yapıların büyük ölçüde zarar görmesine, can ve mal kaybı yaşanmasına neden olmaktadır. Yapılar sadece yangın durumunda değil, daha birçok durumda da yüksek sıcaklığa maruz kalabilmektedir. Bu durumlara verilebilecek en önemli örneklerden biri de; nükleer santrallerde yaşanan kazalar sonucu yapıların yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıdır.

Nükleer santrallerin yüksek sıcaklıklara maruz kalmasıyla birlikte yapıda gelişen hasarlar sonucunda çevreye radyoaktif madde sızması durumu ile karşı karşıya kalınabilmektedir. Bundan dolayı nükleer santral gibi yapılarda betonun yüksek sıcaklıklara ne derece dayanabileceğinin ve radyasyon geçirgenliğinin bilinmesi önemlidir. Dünya'nın birçok ülkesinde yapılmış olan bu yapılarda karşılaşılabilecek en büyük problem; yüksek sıcaklık nedeniyle oluşacak hasara karşı alınacak önlem için kesin bir çözüm ortaya konulamamış olmasıdır. Yaşanan nükleer kazalara bakıldığında nükleer enerji santrallerinin yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmasıyla

büyük bir tehdit unsuru oluşturduğu görülmüştür. Ülkemizde de halen inşası devam eden nükleer santrallerin bulunması; bu konuyu araştırılmaya değer kılmıştır. Çalışma polipropilen lifli ağır betonların yüksek sıcaklıktaki davranış modelini açıklamayı hedeflemektedir. Böylece yapılar da kullanılan betonlarda yüksek sıcaklık etkisi ve bu etki ile meydana gelebilecek durumlar incelenmiş olacaktır.

1.1. Genel Bilgiler

1.1.1. Beton ve Yüksek Sıcaklık

Beton; inşaat endüstrisinde en çok kullanılan yapı malzemesi olma özelliğini halen sürdürmektedir. Bunun en önemli nedenleri arasında bileşenlerinin;

- Kolay ve ucuz temini,
- Üretiminin kolay olması,
- Bakım onarım maliyetlerinin diğer malzemelere oranla ucuz olması,
- İstenilen formlarda üretilebilir olması,
- Beton için zararlı olabilecek ortamlarda yüksek performans gösterilebilmesi sayılabilmektedir [1].

Bir yapının uzun süre kalıcı olması yapının bakımına ve başlangıçtaki kalitesine bağlıdır. Betonarme yapıların çeşitli nedenlerle bozulmalara uğraması işlevselliğini kaybetmeleriyle birlikte bir takım problemleri de beraberinde getirmektedir [2]. Yükler altında istenen dayanımı sağlayabilen bir betonarme eleman bile tasarım aşamasında dikkate alınmayan bir takım etkilere maruz kaldığında kısa süreler içerisinde kullanılmaz hale gelebilir veya büyük bakım-onarım masrafları gerektirebilir. Yapının bozulmasına neden olan olaylar fiziksel kimyasal ve mekanik kaynaklı olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlara darbe, aşınma, erozyon ve oyulma örnek gösterilebilir. Kimyasal yolla oluşan hasarlar yapıya dışardan sızan maddelerden kaynaklanmakla birlikte betonun kendi bünyesindeki bileşenlerinden de kaynaklanabilmektedir. Bunlara alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi, asit etkisi, tuzların etkisi, karbonatlaşma ve korozyon örnek verilebilir. Fiziksel etmenlere ise donma-çözülme, buz çözücü tuzlar, yüksek sıcaklıklar, aşırı yükleme örnek verilebilir [3].

Yapı elemanlarının en önemli özelliklerinden birisi de yüksek sıcaklıklara karşı göstermiş oldukları dayanıklılık olmasına rağmen bu özellik özel amaçlı yapılar hariç (fabrika, termik santraller, yüksek sıcaklıklı bacalar vb.) tasarım aşamasında dikkate alınmamaktadır. Günümüzde normal bir yapının yüksek sıcaklığa maruz kalması çok önemsenmeyip göz ardı edilmektedir. Fakat sanayinin gelişimiyle birlikte enerji kullanımını arttırdığından, yangın önemli bir risk faktörü haline gelmiştir. Yangın etkisi yapılarda yüksek sıcaklığı beraberinde getirdiğinden her yapı için göz önünde bulundurulması gereken bir etmen olmalıdır [4].

Yüksek sıcaklıklar farklı olaylardan dolayı kaynaklanabilmektedir. Yangın, hava alanı pistlerinde sürtünmeden kaynaklı ısınmalar, nükleer reaktörlerdeki sıcaklıklar, endüstri fırınlarının bacalarında görülen sıcaklıklar; farklı yüksek sıcaklık kaynaklarına örnektir [5].

Yapılarda karşılaşılan yangın etkisiyle yapı yüksek sıcaklıklara maruz kaldığından yüksek sıcaklıklar altında betonarme sistemlerin davranışlarının modellenmesi mühendisler için önemlidir [6].

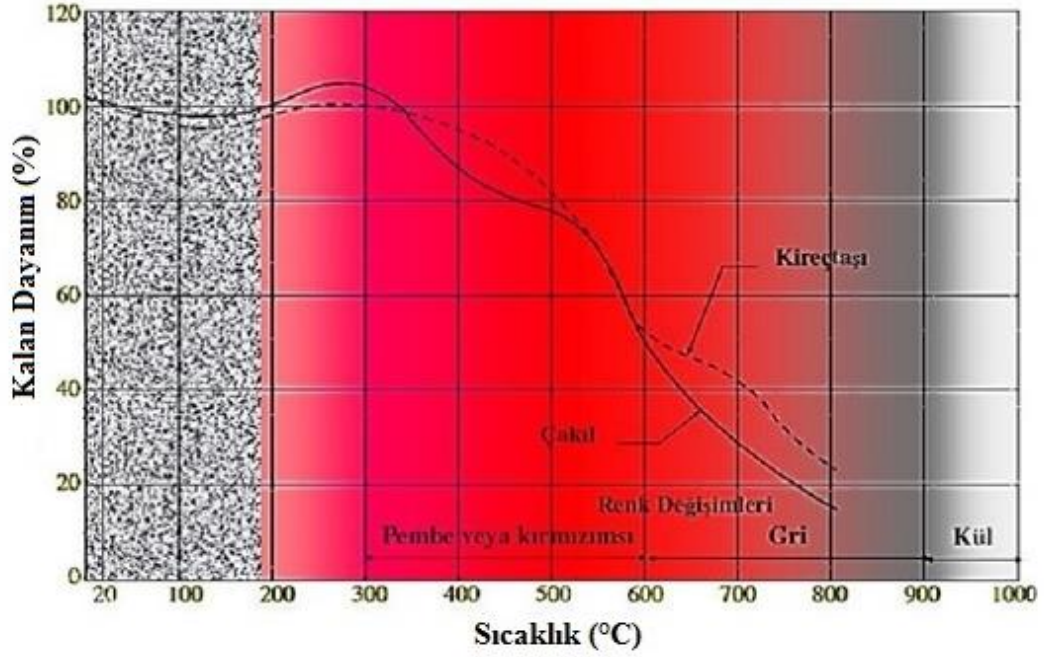
Avrupa Yapı Malzemeleri Direktifi'ne dayanarak, EN 13501-1:2002:“Yapı mamulleri ve inşaat malzemelerinin yangın sınıflandırması” yangına reaksiyonlarına göre malzemeleri A1, A2, B, C, D, E ve F şeklinde yedi kategoride sınıflandırmaktadır. Burada en yüksek seviye A1 sınıfı olup bu seviye yanmaz malzemeler olarak adlandırılır. Beton bu sınıflardan A1 sınıfı (yanmaz malzemeler) içerisinde yer alır çünkü bileşenleri yanmaz nitelik taşımaktadır [7]. Yüksek sıcaklık altındaki beton zehirli gaz veya duman çıkarmaz, termik iletkenlik katsayısının düşük olması sebebiyle betonarme yapılarda yüksek sıcaklıklara karşı donatıyı da korur. Birçok yapı malzemesine karşı yüksek sıcaklığa dayanıklı olan betonun bu dayanıklılığı belli süreler ve belli sıcaklık değerleri için geçerlidir [2].

Yüksek sıcaklığa bağlı olarak betonda hasar mekanizmasının gelişimi betondaki serbest suyun kaybı ile başlamaktadır. Farklı sebeplerden dolayı beton bünyesinde bulunan serbest su, sıcaklığın artmasıyla birlikte kaybolarak betonda büzülmelele neden olur. Betonda buhar basıncının da artması sonucu pas payı tabakasında

çatlamalar ve dökülmeler meydana gelmektedir. Betonda sıcaklığa bağlı hasar mekanizmasının gelişimi şu şekildedir:

- 100-150°C kılcal boşluklardaki suyun buharlaşması,
- 150-250°C büzülme, kılcal çatlak oluşumu, çekme dayanımında düşüş, pembemsi renk,
- 250-300 °C betonda bulunan serbest suyun sıcaklık etkisiyle buharlaşmasından dolayı betonda oluşan hasarlar artmakta, basınç dayanımında düşüş,
- 400°C Ca(OH)_2 'in CaO (sönmemiş kireç)'e dönüşümü sonucu %33'lük hacim azalması,
- 600°C CSH yapısının tahribi, gri beyaz renk, dayanımda %80'lere varan azalma
- 900°C CSH yapısının tamamen dağıldığı görülmektedir [2].

Tüm bunların yanında Şekil 1.1'de görüldüğü gibi sıcaklık artışı beton renginde de değişime neden olmaktadır [2].

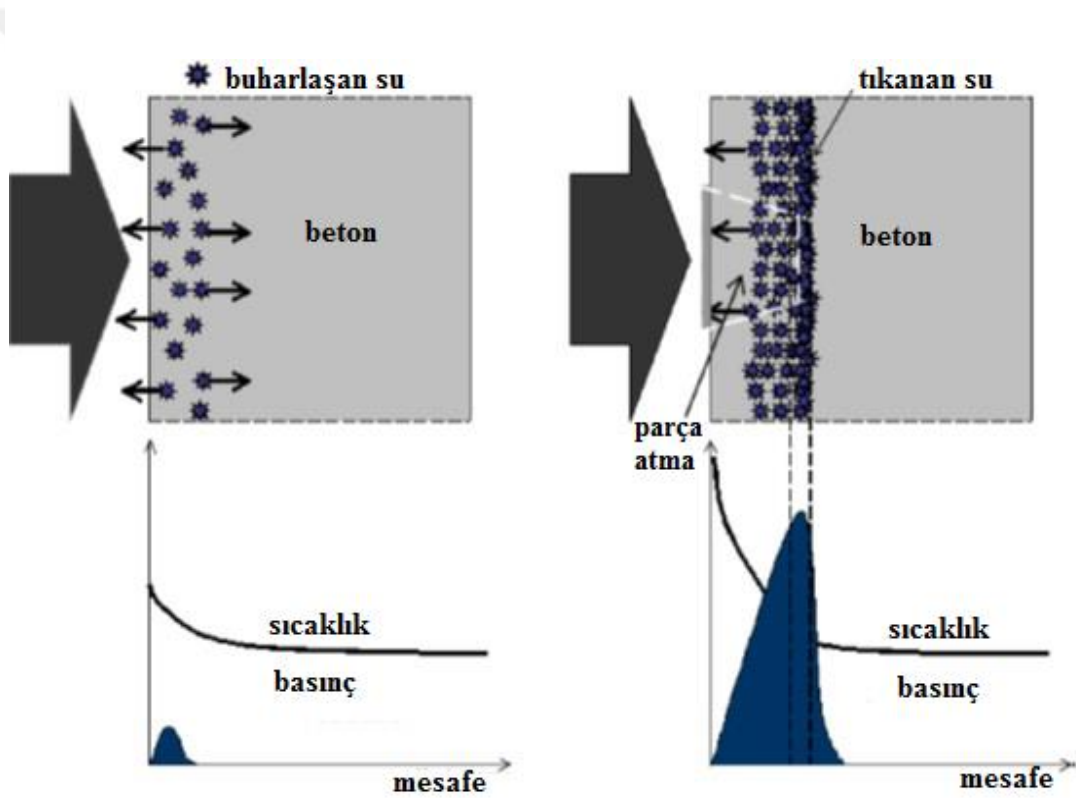


Şekil 1.1. Betonda sıcaklığa bağlı dayanım kaybı ve renk değişimi [2]

Betonun yangından etkilenmesiyle betonda oluşacak en önemli sorun kapak atmalardır. Bu durum 300°C’de başlayıp 500°C’ye kadar gözlenmektedir. Betonda ısı iletimi yavaş bir şekilde gerçekleşir bundan dolayı da sıcaklık beton yüzeyinde kalır, yüzeyde su buharına dönüşür. Böylece kapak atmaları meydana gelmektedir. Betonun dayanımının yükselmesiyle ve nem oranının artmasıyla kapak atmalarda artış görülür.[8] Yüksek sıcaklıklar betonun dış yüzeyinde ayrışmaya ve kabuklar halinde dökülmesine sebep olmaktadır. Yapılarda çatlaklara en çok betonda iyi sıkıştırma işlemi gerçekleştirilmemiş bölgelerde, donatıların bulunduğu bölgelerde ve ek yerlerinde rastlanmaktadır. Eğer yapıda pas payı az tutulmuş ve donatı açıkta kalmışsa; donatı yüksek sıcaklık altında ısıyı çok iyi bir şekilde ileticek ve hasarın boyutu artacaktır [9].

Son yıllarda yapılarda kullanılan betonlarda, yüksek dayanım ve dayanıklılık özellikleri, aranan en önemli kriterler haline gelmiştir. Bu ihtiyaçları karşılamak üzere süper ve hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılıp istenen özellikte betonlar üretilmeye başlanmıştır. Yüksek performanslı beton olarak adlandırılan bu betonların yüksek sıcaklıklar altında gösterdikleri performanslar belirsizdir. Yüksek performanslı betonlarda yoğun bir içyapı olması sebebiyle geniş kılcal boşluklara

rastlanmamaktadır. Beton bünyesinde bulunan serbest su miktarı ise çok azdır. Sıcaklığın 300°C’i aşması jel boşluklarındaki suyun serbest hale geçmesine ve su buharına dönüşmesine neden olmaktadır. Betondaki küçük boşluklardan dışarıya çıkamayan su buharı beton bünyesinde büyük basınç oluşmasına neden olmaktadır. Yüksek sıcaklıklar altında ortaya çıkan yüksek basınç etkisiyle, betonda dökülmeler oluşabilmektedir. Bu soruna çözüm olarak polipropilen lif kullanılmaktadır. Kullanılan polipropilen lifler çatlak gelişimini yavaşlatmalarının yanın sıra eriyerek beton bünyesinde küçük kanalcıklar oluşturmaktadır. Böylelikle açığa çıkan yüksek basınçlı su buharı kanalcıklardan tahliye edilmekte, betonun iç ve dış basıncında denge sağlanmaktadır [2]. Şekil 1.2’de beton bünyesinde bulunan yüksek basınçlı su buharı nedeniyle betonda meydana gelen dökülmeler gösterilmiştir.



Şekil 1.2. Beton bünyesinde bulunan yüksek basınçlı su buharı nedeniyle betonda meydana gelen dökülmeler [10]

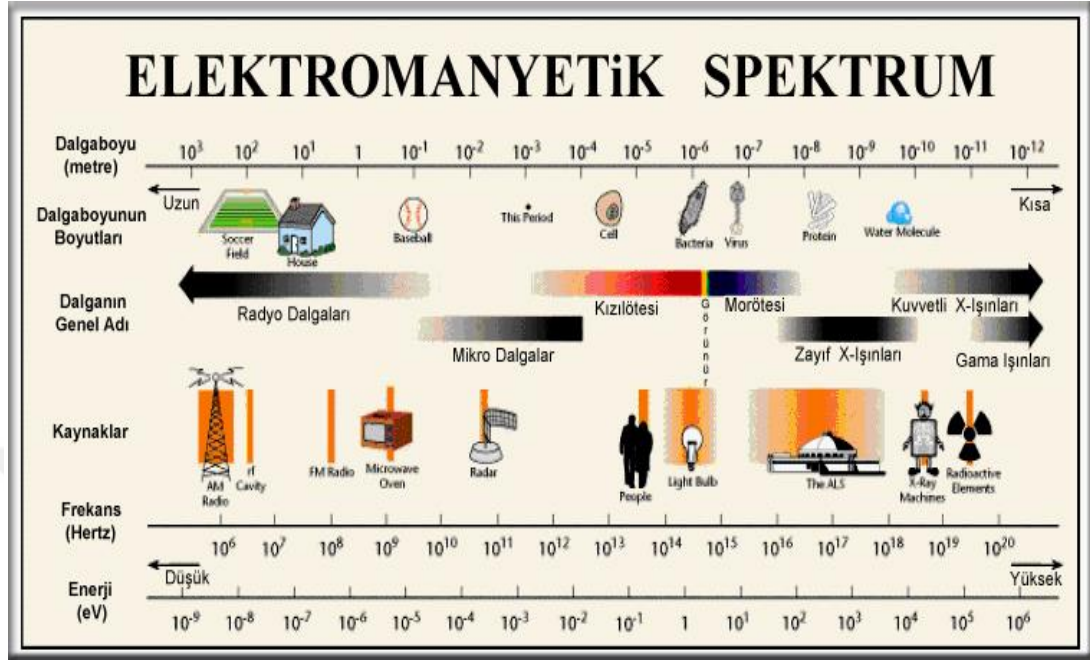
1.1.2. Radyasyon

Bir elementin en küçük yapı birimini oluşturan atom, proton ve nötronlardan oluşan bir çekirdek ve çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan meydana gelmiştir. Çekirdekte bulunan nötronların protonlardan fazla olması durumunda çekirdekte kararsızlık meydana gelmektedir. Kararlı çekirdeklerde ise proton ve nötronlar birbirlerine sıkı sıkıya bağlı olduklarından atomdaki hiçbir parçacık çekirdek dışına çıkamamaktadır. Böylece çekirdek dengede kalmaktadır. Dengede olmayan kararsız çekirdeklerde bulunan fazla enerji, atomdaki parçacıkların bir arada durmalarına engel olmakta ve atom, bünyesindeki fazla enerjiiyi dışarı atmaktadır. Böyle çekirdeklere radyoaktif çekirdek denilmektedir. Radyoaktif çekirdekler içlerindeki fazla enerjiden kurtulmaya, kararlı hale gelmeye çalışmaktadırlar. Doğal veya yapay radyoaktif çekirdeklerin kararlı hale geçebilmek için ortama aktardıkları hızlı parçacıklar ve elektromanyetik dalga olarak taşıdıkları fazla enerjiye radyasyon denilmektedir [11].

Radyasyon insanlık var olduğundan beri bulunmasına rağmen insanların radyasyonu günlük yaşamlarında kullanmaya başlamaları teknolojik ilerlemelerin yaşanmasıyla birlikte gelişim göstermiştir. 1895 yılında Wilhelm Röntgen'in X ışınlarını keşfetmesiyle radyasyona dair çalışmalar başlamış, 1896 yılında Henry Becquerel'in Uranyum tuzlarının ışın yaydığını keşfetmesiyle radyoaktif bir maddenin varlığı görülmüştür. Bunun ardından Marie Curie bu ışınlara enerjilerini veren kimyasal elementleri keşfetmiştir. Ernest Rutherford ise yaptığı deneyler sonucunda radyoaktif maddeler tarafından yayılan ışınları ve ışınların özelliklerini tanımlamıştır [12].

Radyasyonu temel şekilde parçacık radyasyonu ve dalga tipi radyasyonu olmak üzere iki şekilde sınıflandırmak mümkündür. Parçacık radyasyonu gözle görülemeyecek kadar küçük, belli bir kütle ve enerjiye sahip olan çok küçük parçacıkların oluşturduğu radyasyondur. Dalga tipi radyasyon ise kütlesi olmayan ancak belli enerjiye sahip olan titreşim yaparak ilerleyen dalgalar şeklinde tanımlanır. Bütün dalga tipi radyasyonlar ışık hızıyla hareket etmektedir. Gözlerimizin algılayabileceği en yüksek enerjili ışık mor renkli ışıklardır. Radyasyonun enerjisinin artmasıyla ışık rengi mor ve ötesi ışıklara döner. Morötesi ışıklar ortamda var olmasına rağmen görülemez

ve hissedilemez ancak şiddeti fazla ise ciltte bıraktığı güneş yanığına benzer yanık izlerinden anlaşılabilir [11]. Şekil 1.3'te ışın türleri ve enerjileri verilmiştir.



Şekil 1.3. Elektromanyetik spektrum [13]

1.1.2.1. Radyoaktif Işıma Türleri

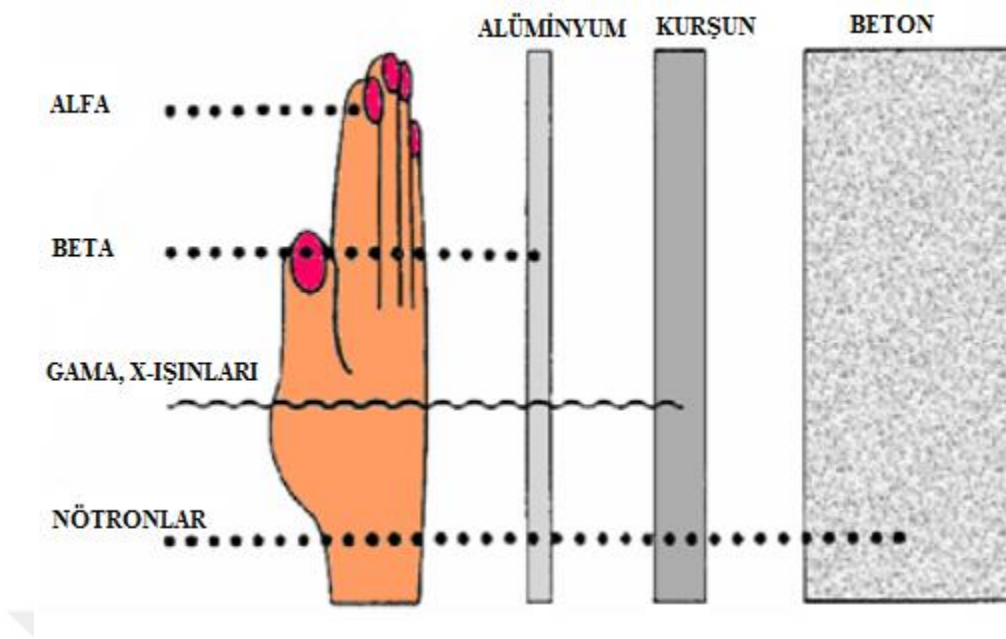
Alfa (α) Parçacıkları: Alfa parçacığı, pozitif yüklü olan iki proton ve iki nötrondan oluşan bir helyum (${}^2\text{He}^4$) çekirdeğidir. Genellikle doğal radyoaktif elementlerde rastlanan bu olay çekirdekten alfa parçacığı çıkması olayıdır ve atom numarası büyük izotoplarda görülür. Alfa parçacıklarını ince kağıt tabaka gibi çok küçük kalınlıktaki maddelerde durdurmak mümkün olmaktadır. Çünkü diğer radyasyon türlerine göre sahip oldukları nispeten büyük elektrik yükleri herhangi bir madde içerisinden geçmekte iken yoğun bir enerji meydana getirmekte ve bundan dolayı da enerjilerini daha çabuk kaybetmektedirler. Enerjilerini bu yolla kaybeden alfa parçacıkları erişme uzaklıkları kısa olduğundan durdurulmaları da kolaydır ve bu yüzden dış radyasyon tehlikesi oluşturmazlar [11].

Beta (β) Parçacıkları: Belli bir yüke ve kütleyle sahip olan beta parçacıkları herhangi bir madde içerisinden geçerken geçtikleri yollar üzerinde alfa parçacıkları gibi iyonlaşmaya sebep olmaktadır. Fakat beta parçacıkları alfa parçacıklarına göre daha hafif olduklarından oluşturdukları iyonlaşma da daha azdır. Ayrıca alfa parçacıklarından yüz defa daha fazla nüfuz etme özelliğine sahiptirler. Beta parçacıklarının oluşturduğu radyasyondan korunmak için alüminyum levhalar zırh malzemesi olarak kullanılmaktadır [11].

Gama (γ) Işınları: Kaynağı atom çekirdeği olan gama ışınları, atom çekirdeğindeki enerji seviyelerinin farklılıklarından ötürü oluşmaktadır. Atom çekirdeği alfa veya beta parçacıklarından birini çıkardığında kararlı duruma ulaşamaz ve çekirdekte hala enerji bulunmaktadır. Çekirdekte kalan fazla enerji elektromanyetik radyasyon olarak yayılmaktadır. Beta ışınlarından daha yüksek enerjili olan ve bundan dolayı da daha nüfuz edici olan gama ışınlarının iyonlaşmaları beta ve alfa parçacıklarına göre daha azdır. Gama ışınları kurşun tuğlalar ile durdurulabilmektedir [11].

Nötronlar(n): Yüksüz parçacık olan nötronlar yüksüz olmalarından dolayı herhangi bir maddeye kolayca nüfuz edebilmektedir. Doğrudan iyonlaşmaya neden olmamalarına rağmen atomlar ile etkileşim içerisinde olmaları halinde gama, beta, alfa ve X ışınlarının oluşumlarına neden olabilmektedirler. Nötronları parafin, su ve beton kütleleri ile durdurulabilmektedirler [11].

Röntgen (X) Işınları: Dalga şeklinde yayılan X ışını, bir atomun ilk halkalarından koparılan elektronların yerini üst halkalardaki elektronların doldurması esnasında açığa çıkan enerji fazlalığı olarak ortama salınır. Ayrıca çekirdekte bulunan protonların hareketleri esnasında, bir protonun ilk halkalarda bulunan bir elektronu yakalayıp nötrleşmesi ve boş kalan seviyeyi üst seviyelerden elektronların doldurması esnasında da ortama X ışınları salınmaktadır [11]. Şekil 1.4'te radyoaktif ışınma türlerinin farklı maddeler tarafından tutulmaları görülmektedir.



Şekil 1.4. Farklı maddeler tarafından tutulan radyoaktif ışın türleri [14]

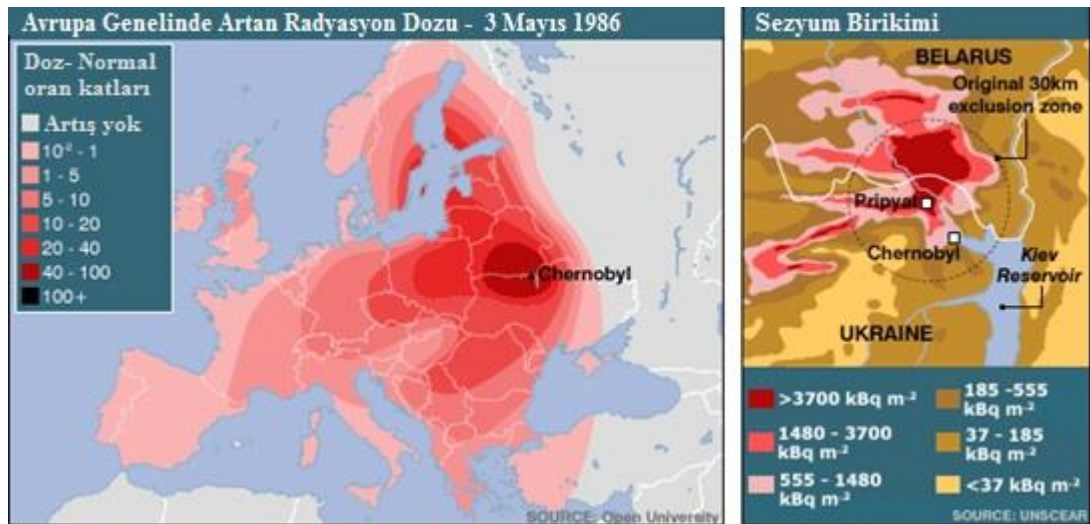
1.1.2.2. Radyolojik Olaylar ve Kazalar

Günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte radyoaktif maddelerin kullanımının artması nükleer kazaların sayının artmasına neden olmaktadır. Yaşanan bu kazaların ne denli ciddi boyutta olduğunu anlamak için bir skala tanımlanmıştır. Uluslararası nükleer ve radyolojik olay ölçeğine göre her bir seviye bir önceki seviyeden 10 kat daha önemli olayı tanımlamaktadır. Şekil 1.5'te uluslararası nükleer ve radyolojik olay ölçeği görülmektedir.



Şekil 1.5. Uluslararası nükleer ve radyolojik olay ölçeği [16]

Radyasyonun kilometrelerce uzaklara yayıldığı ve etki ettiği, çevreye ne denli büyük zarar verdiği bilinmektedir. En bilindik örnek olan Ukrayna'daki Çernobil kazası sadece Ukrayna'yı etkilememiş birçok bölgeyi de etkisi altına almıştır. Şekil 1.6'da Çernobil kazası sonrasında radyasyondan etkilenen bölgeler görülmektedir [17].



Şekil 1.6. Çernobil nükleer kazasının etkilediği bölgeler [17]

Dünyada yaşanan nükleer kazalar incelendiğinde birçok farklı şiddette ve etkiye sahip kaza yaşandığı görülmektedir. Nükleer enerji santrali kazalarına örnekler:

Three Mile Adası, Pennsylvania ABD, 28 Mart 1979

Pennsylvania'da nükleer enerji santralinin soğutma suyunun sistem dışına çıkmasıyla reaktör çekirdeği zarar görmüş ve nükleer kaza yaşanmıştır. Kaza sonucunda ortama düşük miktarda radyonüklidler yayıldığı, kanserin istatistiksel olarak aşırı yayılmadığı tespit edilmiştir [15].

Çernobil, Ukrayna (Eski Sovyetler Birliği), 26 Nisan 1986

Çernobil nükleer kazası günümüze kadar yaşanmış olan en ciddi nükleer kaza olarak tarihe geçmiştir. Kaza nükleer test sırasında reaktör sistemlerindeki güçte ani artışın meydana gelmesiyle başlamış, yeterli güvenlik önlemlerinin alınmaması sebebiyle şiddetini arttırmıştır. Kaza sonucunda ani güç dalgası reaktörün yıkımına neden olmuştur. Yıkılan reaktör binasında çıkan yangın sonucunda çevreye aşırı radyasyon salınımı gerçekleşmiştir. Kaza nedeniyle birçok kişi radyasyona maruz kalmış, kanser vakalarında artış gözlemlenmiştir [15].

Goiânia, Brezilya, 13 Eylül 1987

Brezilyada meydana gelen kazada eski bir radyoterapi enstitüsünden çalınan Cs-137 teleterapi cihazının radyasyon yaymasıyla geniş bir alanda radyasyon yayılımı gerçekleşmiştir. Kaza sonucunda bazı hastalarda kemik iliği sendromu gerçekleşirken bazı hastalar ölmüş, bazıları ise radyasyon sonucu vücutlarında meydana gelen yaralardan dolayı cerrahi müdahale geçirmişlerdir [15].

Kosta Rika Radyoterapi Kazası, Ağustos-Eylül 1996

Bir hastanenin radyoterapi biriminde meydana gelen bu kazada Co-60 kaynağı değiştirildikten sonra kalibrasyonun yanlış yapılması nedeniyle hastalara yüksek dozda ışın verilmesi nedeniyle yüksek doz ışın alan 114 hastadan 13'ü yaşamını kaybetmiştir [15].

İstanbul İkitelli Kazası, Aralık 1998

Bir depoda bulunan radyoterapi kaynaklarının deponun el değiştirmesi sonucu hurdacılara satılması ve hurdacıların radyasyona maruz kalmasıyla sonuçlanan olayda bazı kişilerde akut radyasyon sendromu gelişmiştir. Hastalar tedavi altına alınırken radyasyon yayan kaynak Çekmece Nükleer Eğitim Araştırma Merkezi tarafından güvenli şekilde depolanmıştır [15].

Yanango Radyolojik Kazası, Peru, 20 Şubat 1999

Peru'da hidroelektrik santral borularına kaynak yapılması esnasında yaşanan bir problemden dolayı etrafa Ir-192 radyografi kaynak parçasının dağılmasıyla kazaya meydana gelmiş kaynak parçasını alan ve cebine atan usta yüksek dozda radyasyona maruz kalmıştır. Olay kaynakçının aldığı yüksek doz nedeniyle kaynakçının bacağıının amputasyonu ile sonuçlanmıştır [15].

Fukushima Daiichi, Japonya, 11 Mart 2011

2011 yılında Japonya'da yaşanan 9 şiddetindeki deprem sonucunda yaşanan tsunami ile birlikte Japonya'da birçok yapı hasar görmüştür. Yaşanan bu tsunami ve deprem etkisiyle Japonya'nın Kuzeydoğu kıyısında yer alan Fukushima Daiichi Nükleer Enerji Santrali'nde büyük hasar oluşmuştur. Deprem reaktörlerin dış güç kaynaklarını kesmiş fakat tsunami santralin dayanabileceğinden daha şiddetli olduğundan jeneratörler çalışmamıştır. Soğutma sistemlerinin de çalışmaması sebebiyle reaktörlerde aşırı ısınan yakıt hidrojen patlamalarına yol açarak büyük bir hasara neden olmuştur. Hasar gören reaktörlerden etrafa salınan radyoaktif maddeler geniş bir alana yayılmıştır. Yarım milyona yakın kişi evlerinden tahliye edilmiştir. Bu kaza Çernobil faciasından sonra Dünya'nın gördüğü en ciddi nükleer kaza olarak tarihe geçmiştir. Kaza sonucunda radyasyona bağlı ölümler olmamıştır fakat bu kaza bir kez daha radyasyona bağlı kazalara dair daha dikkatle önlem alınması gerektiğini göstermiştir [15].

1.1.3. Ağır Beton ve Radyasyon Etkileri

Ağır beton; doğal veya yapay agrega kullanılarak üretilen etüv kurusu ağırlığı 2600kg/m³'den fazla olan betonlar olarak tanımlanmaktadır. Ağır beton üretiminde genellikle barit, magnetit, ilmenit, hematit, limonit gibi doğal ağır agregalar veya

ferrofosfor, ferrosilikon ve demir saçmaları gibi yapay ağır agregalar kullanılmaktadır. Barit, ($BaSO_4$) baryum sülfattan oluşan bir mineraldir. İçerdiği sülfat baritin çok stabil olmasından dolayı betona zarar vermemektedir. İyi bir dayanıma sahip olan bu kayaç ülkemizde ağır beton üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. [18] Siderit ise özgül ağırlığı 3800 kg/m^3 olan içerisinde $FeCO_3$ bulunan sık taneli, yaprağımsı demir cevheridir [19].

Dünya’da ve Türkiye’de ağır betonlar uzun süreden beri kullanılmalarına rağmen ilk kullanılma amaçları kaymaya ve devrilmeye karşı koymak için üretilen yapılarda emniyeti sağlamaya yönelik olmuştur. Fakat nükleer enerjinin gelişmesiyle yapılan nükleer parçalamaların sonucunda ortaya çıkan α , β ve nötron parçacıkları ile γ ve X ışınlarının zararlı etkilerinden kurtulmak amacıyla radyasyon etkisine karşı beton perde oluşturma zorunluluğu ile karşı karşıya kalınmıştır. Radyasyona karşı en iyi zırh görevi görecek olan malzemenin beton olduğu bilinmektedir [20].

Radyasyon için koruma sağlayan normal betonlarla üretilen perdelerin boyutlarının büyük olması, birim ağırlıkları fazla olduğundan daha ince duvar kalınlıklarının elde edilebilmesi sebebiyle ağır betonlara büyük bir önem kazandırmıştır. Burada ağır betonu normal betondan farklı kılan özelliği kullanılan ağır agregadan dolayı birim hacim ağırlığının artmasıdır. Betonların birim hacim ağırlıklarının artması, radyoaktif ışınlarla karşı koyma özelliklerini arttırmaktadır. Ağır betonun karma suyundaki hidrojen ve oksijen atomları düşük enerjili nötron ışınlarını tutarken; kullanılan ağır agregalar da α , β ve nötron parçacıkları ile γ ve X ışınlarının tutulmasını sağlamaktadır. Tüm bunlara bakılarak ağır betonun radyasyona karşı iyi bir kalkan görevi üstlendiği görülmektedir [18]. Şekil 1.7’de ağır betonların kullanım alanlarından biri olan nükleer enerji santralleri görülmektedir.

Ağır betonların kullanıldıkları alanlar;

- Radyoaktif maddelerin saklandığı öngerilmeli beton reaktör siloları
- Hastanelerin ısın tedavi ve radyografi tesisleri
- Askeri mühimmat depo duvarları
- İstinat duvarları
- Su altı petrol boru hatları

- Köprü ayakları
- Beton ağırlık baraj gövdeleri
- Elektron depolama devreleri
- Sığınak yapıları
- Nükleer enerji santrallerinin koruyucu perdeleri
- Atom araştırmaları kurumları
- Petrol sondaj kuyusu çeperleridir [20].



Şekil 1.7. Nükleer enerji santrali [21]

Dünyanın dört bir yanında yaşanan nükleer santral kazaları; nükleer santrallerde kullanılacak olan betonun daha titiz bir çalışma sonucu üretilmesi gerektiğini göstermiştir. Japonya’da 11 Mart 2011 tarihinde yaşanan deprem sonucu ülkede bulunan Fukuşima Nükleer Santralindeki reaktörlerin kalbine kontrol çubukları yerleşerek reaktörleri durdurmuştur ve nükleer parçalama işlemi sona ermiştir. Fakat reaktörler dursa bile açığa çıkan ısının %7’lik kısmı sistemde durmaya devam etmektedir. Normalde, sistemde kalan bu ısıyı soğutma suyu uzaklaştırılıp, sistem soğutulmaktadır. Depremde soğutma suyunun pompalarına elektrik verecek olan güç

kaynağı hasar gördüğü için pompalar çalışmamıştır. İlk saatlerde jeneratör devreye girip elektrik üreterek pompaları çalıştırmıştır. Fakat meydana gelen tsunami sonucu jeneratörler de hasar gördüğü için pompalar çalışmamıştır. Yedekteki aküler devreye sokularak 8 saat pompalar çalıştırılmış fakat 8 saat sonunda akülerde boşalmıştır. Bu olaydan sonra reaktörün kalbinde sıcaklık yükselmeye başlamış, içerde biriken basınçlı buharı mühendisler vanaları açarak atmosfere bırakmışlardır. Buharın salınmasıyla radyoaktif sızıntı gerçekleşmiş fakat bu sızıntı tehlike arz edecek derecede olmamıştır. Reaktörlerdeki sıcaklık 1200°C'yi geçince yakıtın depolandığı zirkonyum-alüminyum alaşımından oluşan metal su ile reaksiyona girerek hidrojen gazı üretmiştir. Atmosfere bırakılan buhar ile birlikte bir miktarda hidrojen çıkmış ve hidrojen oksijen ile birleşerek yanmıştır. Fazla buhar basıncı ve yanan hidrojen gazı reaktörlerde patlamalara neden olmuştur. Patlamalar sonucu binanın üstündeki çatı uçmuştur [22].

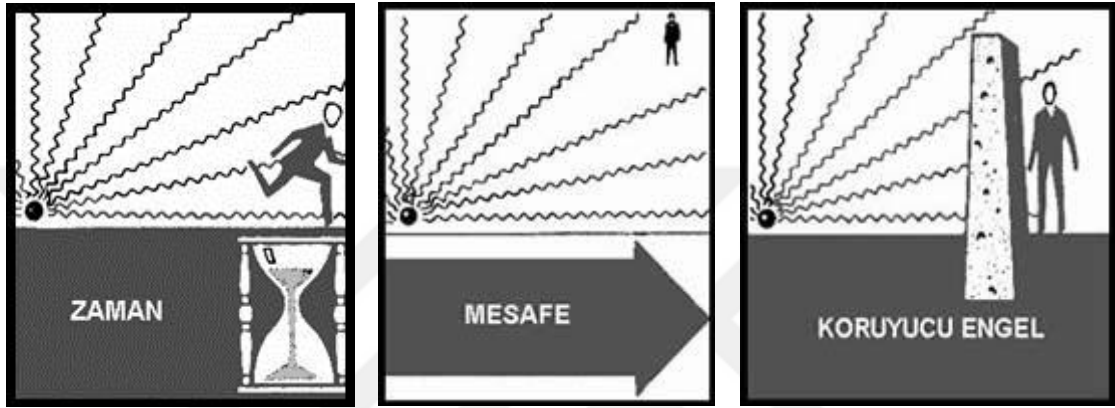
Deprem sonucu Fukuşima Nükleer Santralinde gerçekleşen patlamada kazanın ilk saatlerinde yakıtta erime olduğu ve eriyen yakıtın reaktörlerin alt bölümlerine sızdığı saptanmıştır. Bu olayın gerçekleşebilmesi için yakıt sıcaklığının 2500°C'ye ulaşması gerekmektedir. Erime gerçekleştiğinde eriyik zarf maddesi (zirkonyum-alüminyum alaşımı), yakıt, çelik karışımı reaktörün alt kısımlarına hareket etmiştir. Zirkonyum-alüminyum alaşımında (zarf maddesi) 1200°C'de çatlak oluşmuştur. 1300°C'de oksitlenme başlamıştır. 1850°C'de zarf erimeye başlamıştır [23].

En son yaşanan nükleer olay olan Fukuşima Nükleer Santral kazası; nükleer enerji santrallerinin yapımlarının, bakımlarının ve kontrollerinin titizlikle yapılması gerektiğini, bir kaza sonucu çok yüksek sıcaklıklarla temas halinde kalılabileceğini ve çevreye radyasyon sızabileceğini göstermiştir.

1.1.4. Radyasyondan Korunma

Uzaydan gelen ışınlar, vücudumuzdaki radyoaktif elementler, hastalıkların teşhis ve tedavilerinde kullanılan cihazlar, tarlalarda kullandığımız fosfor içerikli gübreler, kullandığımız fosil yakıtlar, nükleer tesisler ve daha birçok olgudan dolayı insanların

radyasyona maruz kaldığı bilinmektedir. Günümüz yaşam koşullarına bakıldığında radyasyondan tamamen arındırılmış bir ortamın olmadığı görülmektedir. Fakat radyasyonun insanlar üzerindeki zararları bilindiği için maruz kalınan radyasyonun mümkün olduğu kadar az olması gerekmektedir. Bundan dolayı birtakım önlemler alınarak maruz kalınacak radyasyonun azaltılması gerekmektedir. Dış radyasyon tehlikesinden korunmanın zaman, mesafe ve zırhlama olmak üzere üç kuralı vardır [11]. Şekil 1.8.'de dış radyasyondan korunmanın kuralları görülmektedir.



Şekil 1.8. Dış radyasyondan korunmanın kuralları [11]

1.1.4.1. Zaman Kuralı

Radyasyona maruz kalınan doz; doz şiddeti ile zamanın çarpımıdır. Yani radyoaktif bir kaynağın yakınında ne kadar çok zaman geçirilirse o kadar çok doza maruz kalınmaktadır. Radyoaktif kaynak yakınında ne kadar az zaman geçirilirse de o kadar az doza maruz kalınmaktadır. Bundan dolayı radyoaktif kaynağın yakınında az zaman geçirilmesi, yapılacak olan işlemin kısa sürelerde bitirilmesi daha sağlıklıdır [11].

1.1.4.2. Mesafe Kuralı

Radyasyon kaynağından ne kadar uzaklaşırsa maruz kalınacak olan doz miktarı o kadar azaltılabilir. Yani kaynaktan ne kadar uzakta kalan mesafeden radyasyona maruz kalınırsa radyasyon çevreye yayıldığından, o kadar az doza maruz kalınmaktadır. Bir

radasyon kaynağından farklı bir uzaklıkta iken maruz kalınabilecek doz miktarı Şu Şekilde hesaplanır:

$$D_1 \times d_1^2 = D_2 \times d_2^2 \quad (1.1.)$$

Burada D_1 , kaynaktan d_1 uzaklıktaki doz miktarı iken D_2 kaynaktan d_2 uzaklıktaki doz miktarı ifade etmektedir [11].

1.1.4.3. Zırhlama

Radyasyon dozunu azaltmadaki bir diğer yntem de radyasyon ile radyasyona maruz kalan kiŐilerin arasına bir engel konulmasıdır. Bu engeli oluşturan malzemelerin tmmne zırh denilmektedir. Genel olarak yksek yoğunluğa sahip malzemeler X ve gama ıŐınlarına karşı zırh olarak kullanılmaktadır. Uranyum, tungsten, kurşun ve elik iyi zırh malzemeleri olarak kabul edilmektedir. Beton ise bu malzemeler kadar iyi olmamasına rağmen ucuz olması ve yapımının kolay olması sebebiyle yaygın Şekilde kullanılmaktadır. Fakat yeterince kalın yapılmış bir beton duvar ince bir uranyum veya kurşun duvar kadar etkili olabilmektedir [11].

1.1.4.4. Nklear Santral Kazaları Sonucu Etrafa Yayılan Radyasyondan Korunma

Nklear santraller olağan dıŐı durumlarda sahip oldukları gvenlik sistemleri sayesinde kendi kendilerini kapatabilmektedirler. Fakat nadiren de olsa Çernobil rneğinde olduğu gibi meydana gelen kazalar sonucunda çevreye radyasyon sızıntısı meydana gelmektedir. Kaza sonucunda kuzey yarım kurede bulunan tm lklere olayın yaŐandıđu yere olan uzaklıkları ve meteorolojik durumlarına gvre farklı oranlarda etkilenmiŐlerdir. Bu tip kazalarda rncelikle ortamın radyasyon dzevi tespit edilmeli sonrasında gıda maddelerindeki radyoaktif kirlilik tespit edilip halk gvenliği sağlanmalıdır. Hatta bazı durumlarda blgenin geçici veya srrekli olarak iskana

kapatılması ve radyoaktif kirlenmeye maruz kalan gıdaların tüketiminin yasaklanması gibi önlemler alınabilmektedir [11].

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Bu çalışma yüksek sıcaklıklar altında farklı tip ağır agregalarla üretilen ağır betonun davranışını incelemektedir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan beton; deformasyona uğrar, dayanım kaybı yaşar ve bünyesinde meydana gelen zayıf bölgeler sonucu hasara uğrar. Bu durumlar yüksek sıcaklık etkisinde yapılarda can ve mal kayıplarının yaşanabileceğinin göstergesidir. Yüksek sıcaklıkların betonda sebep olduğu bu etkilerden dolayı yapılarda oluşturduğu hasarı minimize edip, yaşanan kayıpları en aza indirmeliyiz. Teknolojinin gelişimi de göstermektedir ki yüksek sıcaklıklara karşı yapılarda, gerek üretim aşamasında gerekse kullanım aşamasında daha fazla önlem alınmalıdır.

Günümüzde beton teknolojisinin gelişmesiyle yüksek dayanımlı betonların üretimi yaygınlaşmıştır. Normal dayanımlı betonda ve yüksek dayanımlı betonda yüksek sıcaklığın etkilerini inceleyen birçok çalışma bulunmasına rağmen ağır betonda yüksek sıcaklığın etkilerini inceleyen çalışma azdır. Literatürde daha çok ağır betonun radyasyon zırhlama özelliklerini araştıran çalışmalar üzerinde durulmuştur. Fakat yaşanan nükleer kazalar sonucu meydana gelen patlamalar radyasyona karşı koymak üzere üretilen ağır betonun yüksek sıcaklık etkisine de dayanıklı olması gerektiğini ortaya koymuştur. Tüm bu durumlar göz önüne alındığında; kullanılacak olan yapıların yüksek sıcaklık etkisine maruz kalması durumu da düşünülerek, titiz bir çalışma sonucunda beton üretiminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Yapılacak bu çalışmanın amacı barit agregalı ve siderit agregalı polipropilen lifli ağır betonların, yüksek sıcaklık etkisi altında dayanım kayıplarını belirlemektir. Bu kapsamda öncelikle; barit agregalı polipropilen lifli ağır beton, siderit agregalı polipropilen lifli ağır beton ve kalker kırmataş agregalı polipropilen lifli normal beton olmak üzere 3 farklı grupta numuneler üretilecektir. Kalker kırmataş agregalı polipropilen lifli normal beton çalışma kapsamında referans numune olarak

kullanılacaktır. Üretilen bu numuneler 20, 300, 600, 900, 1300°C olmak üzere 5 farklı sıcaklığa maruz bırakılacaktır. Yüksek sıcaklık uygulamalarından önce ve sonra numunelerin basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve radyasyon soğurma özellikleri test edilecektir. Sonuçta; yapılan çalışma ile polipropilen lifli ağır betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışları gözlemlenecektir.

2.LİTERATÜR TARAMASI

Yaşar [24], yüksek sıcaklık etkisindeki betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini incelediği çalışmasında; 500kg/m³ çimento dozajı, beton hacminin %0,15, %0,25, %0,35, %0,50 oranlarında polipropilen lif, %4, %6 oranlarında hava sürükleyici katkı, çimento yerine ağırlıkça %7 oranında silis dumanı, ince agrega yerine ağırlıkça %25, %50, %75, %100 oranlarında genişmiş perlit ve pomza agregaları kullanarak 16 grup beton numune üretmiştir. Üretilen numuneler 100, 200, 300, 400, 500, 600 ve 700°C olmak üzere 7 farklı sıcaklık değerine maruz bırakılmıştır. Sıcaklık öncesi ve sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımları, birim ağırlıkları, kılcal geçirimsizlikleri test edilmiştir. Sıcaklık öncesinde en iyi basınç dayanımı %0,25 polipropilen lif katkılı betonda 77,43 MPa olarak tespit edilmiştir. Sonuçta; ince agrega yerine %100 oranında hafif agrega kullanılarak yüksek sıcaklıklara daha dayanıklı beton üretilebileceği, kullanılan polipropilen liflerin oluşan yüksek buhar basıncına çıkış olanağı sağladığı, hava sürükleyici katkı ve hafif agregaların oluşturduğu boşluklar ile buhar basıncının azaldığı gözlemlenmiştir.

Uçarkoşar [25], çalışmasında pirinç kabuğu katkılı yüksek dayanımlı betonun ve polipropilen lif katkılı yüksek dayanımlı betonun yüksek sıcaklıktaki performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışma kapsamında s/ç oranı tüm serilerde sabit tutularak 3 farklı oranda polipropilen lif, 3 farklı oranda pirinç kabuğu kullanılarak ve hiçbir katkı kullanmadan normal beton üretilmiştir. Numuneler 0, 300, 600, 900°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak; polipropilen lifin kullanıldığı tüm oranlarda sıcaklık etkisiyle betonda parça atmayı engellemiş olduğu görülmüştür. Pirinç kabuğunun ise betonda parça atmayı engelleyebilmek için en az %3 oranında kullanılması gerektiği tespit edilmiştir. Normal betonda ise polipropilen lif ve pirinç kabuğu kullanılmadığından dolayı 425°C sıcaklıkta betonda patlama meydana gelmiştir. Ayrıca oda sıcaklığında betonların dayanımı yaklaşık 110 MPa iken sıcaklık değerinin artmasıyla basınç dayanımında düşüşler gözlemlenmiştir. Bu çalışma içerisinde pirinç kabuğu ve polipropilen lifin dayanıma olan etkileri karşılaştırılacak

olursa pirinç kabuğunun polipropilen life oranla dayanımı bir miktar daha fazla düşüreceği söylenebilir.

Sağsöz [26], kendiliğinden yerleşen betonda yüksek sıcaklık etkisini incelediği çalışmasında CEM I 42,5 R ve CEM II 42,5 (B-M)(P-L) L N olmak üzere farklı tiplerde çimento kullanarak 0.35, 0.40, 0.45 su/çimento oranlarında beton numuneler üretmiştir. Numuneler 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 ve 800°C sıcaklık derecelerine maruz bırakılmıştır. Havada ve suda olarak iki farklı soğutma tipi uygulanmıştır. Sıcaklık öncesi ve sonrası numuneler üzerinde renkölçer ve fotoğraf makinesi yardımıyla renk ölçümleri yapılmıştır. Ayrıca numuneler üzerinde basınç dayanım testi, ultrases geçiş hızı testi, kılcal geçirimsizlik testi uygulanmıştır. Kontrol numuneleri arasında en yüksek basınç dayanımı CEM I tipi çimento kullanılarak üretilen s/ç oranı 0,35 olan numunede 56,9 MPa olarak tespit edilmiştir. Sonuç olarak; betonda yüksek sıcaklıkların geri dönüşü mümkün olmayan dayanım kayıplarına neden olduğu görülmüştür. Suda soğutulan numunelerin havada soğutulan numunelere göre dayanım kayıplarının daha az olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklığın kılcallığı artırıcı etkisi olduğu saptanmış bu durumda betonda durabilite problemlerine yol açacağı öngörülmüştür.

Orhan ve Şahin [27], öğütülmüş atık cam tozu katkılı betonun yüksek sıcaklık altındaki dayanım kayıplarını araştırdıkları çalışmada; %0, %5, %10, %15, %20 oranlarında öğütülmüş atık cam tozu, çimento ile yer değiştirerek betona ilave edip 10×10×10 cm boyutlu küp numuneler üretmişlerdir. 7, 28, 90 gün kür uygulanan numuneler kür sonrası 100°C, 300°C, 600°C ve 900°C sıcaklığa maruz bırakılarak basınç dayanımları test edilmiştir. Sonuçlara göre; öğütülmüş atık cam tozu katkılı beton 600°C ve 900°C'lerde kontrol betonuna göre daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Öğütülmüş atık cam tozunun %10 kullanım oranında en iyi sonucu verdiği ve atık cam tozu katkılı numunelerin daha az dayanım kaybı gösterdiği görülmüştür.

Acay [28], uçucu kül katkılı kendiliğinden yerleşen betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışını incelediği çalışmasında; çimento yerine ağırlıkça %0, %20 ve %40 oranında uçucu kül kullanarak 135 adet 15×15×15 cm boyutlu küp numune üretmiştir. Numuneler 28 gün, 56 gün ve 90 gün kür edilmiştir. Kür işlemleri

tamamlanmış numuneler 3'lü gruplar halinde 20°C, 100°C, 400°C, 700°C ve 900°C derece olmak üzere 5 farklı sıcaklık değerine 3 saat süreyle maruz bırakılmıştır. Soğutma işlemleri de tamamlanan numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, birim ağırlık, basınç dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuçta; kendiliğinden yerleşen betonda uçucu kül oranındaki artışın basınç dayanımında düşümlere neden olduğu fakat yüksek sıcaklık etkisindeki dayanım kayıplarını azda olsa engellediği ve betonun yerleştirilmesine olumlu etki ettiği gözlemlenmiştir. Basınç dayanımı, kendinden yerleşme, ekonomiklik, çevre yararı gibi tüm etkenler bir arada düşünüldüğünde kendiliğinden yerleşen beton için uçucu kül kullanımının %20 oranına kadar betonda fayda sağlayacağı tespit edilmiştir.

Akça [29], polipropilen lif ve hava sürükleyici katkı kullanarak üretilen yüksek performanslı betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını inceleyen çalışması kapsamında; s/ç oranı 0,24 seçilerek, farklı oranlarda polipropilen lif ve hava sürükleyici katkı kullanarak 18 seri beton üretmiştir. Numuneler 300, 600 ve 900°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakılmıştır. Sonuçta hava sürükleyici katkı ve polipropilen lifin birlikte kullanılmasının betonun parçalanma riskini azalttığı tespit edilmiştir.

Tekdemir[30], çelik lif katkılı betonlarda sıcaklık etkisini incelediği çalışmasında; C30 beton sınıfında ürettiği 15x30 cm'lik silindir ve 15x30x30 cm' lik prizmatik beton numunelerin içerisine %0.5, %1.0 ve %1.5 hacimsel oranlarda çelik lif ilave etmiş, numunelere 50 °C, 100 °C, 150 °C, 200 °C, 400 °C, 600 °C ve 800 °C'lerde sıcaklık uygulamıştır. . Deneyler sonucunda oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin 7, 28, 90 günlük basınç dayanımları, elastisite modülü ve tokluk değerleri ölçülmüş, lif oranları ve sıcaklık değerleri değişimine göre araştırılmış ve elde edilen değerler karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Kontrol amaçlı olarak da çelik lifsiz numune üretilmiştir. Sonuçta genel yaklaşım olarak sıcaklık arttıkça dayanım azalmış ve 600 °C ve 800 °C'deki sıcaklıklarda %1.5 oranında çelik lif içeren numunelerin, lifsiz numunelere göre daha iyi performans gösterdiği saptanmıştır. Çelik lif katkılı betonlarda elastisite modülünün değişimi dayanım artışı ile paralellik göstermiş.

Seçer [31], yüksek sıcaklık etkisinde hasar gören lifli, hava sürükleyici katkılı ve perlit agregalı betonların dayanım özelliklerini incelediği çalışmada; hacimce %0.7 oranında 6, 20, 35 mm boyutlarında polipropilen lif, %4, %6, %8 boşluk oluşturacak miktarda hava sürükleyici katkı ve ince agrega yerine de %30, %70, %100 oranlarında geliştirilmiş perlit agregası kullanarak 9 farklı seride beton numuneleri üretmiştir. Üretilen numuneler 23, 300, 500, 700°C sıcaklıklara maruz bırakıldıktan sonra numunelerin su emme, birim ağırlık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, kılcal geçirimsizlik özellikleri belirlenmiştir. Numuneler cam fiber takviyeli polimer (GFRP) ile sarılmış ve numunelere basınç dayanım testi uygulanmıştır. Sonuçta; 20mm uzunluğundaki lifler yüksek sıcaklıklarda daha olumlu sonuçlar vermiştir. Beton içerisinde kullanılan hava sürükleyici katkı ve hafif agrega oranı arttıkça; sıcaklık artışına bağlı meydana gelen dayanım kayıplarında azalmalar görülmüştür. Ayrıca cam fiber takviyeli polimer (GFRP)'in yüksek sıcaklığa maruz kalan betonlarda dayanımı arttırdığı gözlemlenmiştir.

Bingöl [32], beton donatı arasındaki aderansa yüksek sıcaklığın nasıl etkilediğini araştıran çalışmada 8mm çapında; 6 cm, 10 cm ve 16 cm boylarında çelik çubuklar betona gömülmüş, basınç dayanımının bulunması içinde donatısız C20 ve C35 dayanım sınıflarına sahip betonlar üretilmiştir. Yüksek sıcaklık altındaki davranışın belirlenmesi içinde 50-700°C arasında 12 farklı sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra, havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma şekliyle soğutulmuştur. Numunelere çekip çıkarma ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Sıcaklığın artmasıyla 150°C'ye kadar, beton-donatı arası aderansa ve basınç dayanımında artışlar gözlenmiş, ancak bundan sonraki tüm sıcaklıklar için aderans ve dayanım azalmıştır. Suda soğutulan numunelerin basınç dayanım kayıplarının havada soğutulanların basınç dayanım kayıplarına göre daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Özbey [33], farklı tip çimentolarla üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışlarını inceleyen çalışmada; CEM I 42.5 R ve CEM III/A 32.5 N çimentoları ile 0-4mm nehir kumu, 4-16, 16-31.5 mm kırmataş agregalar kullanarak beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Numuneler üretildikten sonra numunelere 28 ve 56 gün kür uygulanmış, kür sonrası numuneler 150, 300, 450 ve 600 °C sıcaklık derecelerinde 3 saat süreyle bekletilmiştir. Yüksek sıcaklığın beton üzerindeki etkilerini araştıran

çalışma aynı zamanda havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma şekli kullanarak soğutma şeklinin de beton üzerindeki etkilerini gözlemlemiştir. Soğutma işlemi gerçekleştirildikten sonra numunelerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases geçiş hızı, birim ağırlık, hacimce su emme değerleri belirlenmiştir. Sonuçta; her iki çimento tipi için havada soğutmanın daha iyi sonuçlar verdiği ve yüksek sıcaklık etkisi altında CEM III tipi çimentonun daha dayanıklı olduğu görülmüştür. En büyük dayanım kayıplarının ise 600 °C’de meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Şahin [34], geliştirilmiş vermikülit içeren çelik tel takviyeli çimento esaslı kompozitlerin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını incelediği çalışmasında hacimsel olarak farklı oranlarda vermikülit/çimento oranları kullanmış, harçlara 6mm boyunda 0,16 mm çapında çelik tel ilave ederek numune üretmiştir. 40×40×160 mm boyutlarında üretilen numuneler; 20, 300, 600 ve 900°C olmak üzere 4 farklı sıcaklık değerine maruz bırakıldıktan sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Soğutma işlemi tamamlanan numunelere basınç dayanımı testi, eğilme dayanımı testi ve ultrases geçiş hız testi uygulanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda; yüksek sıcaklık etkisinde bırakılan numunelerin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin genellikle sıcaklık artışı ile azaldığı, çelik tel kullanımının yüksek sıcaklık etkisinde numunelere direnç kazandırdığı gözlemlenmiştir. Ultrases geçiş hız testi sonuçlarına göre ise sıcaklık uygulamasına tabi tutulan numunelerin hepsinde hız değerinin azaldığı ve gözlemlenmiştir.

Kızılkant [5], yüksek sıcaklık etkisinin ve söndürme biçiminin beton üzerindeki etkilerini araştırdığı çalışması kapsamında; CEM I 42.5 R çimentosu, silis ve kalker esaslı olmak üzere iki tip agrega, silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi puzolanlar kullanarak 12 farklı karışım dizaynı yaparak numune üretimi gerçekleştirmiştir. 200, 300, 600 ve 900°C sıcaklık derecelerinde yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler; havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma yöntemi kullanılarak oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Soğutma işlemleri tamamlanan numuneler üzerinde fiziksel, mekanik ve termofiziksel özelliklerini belirlemek için deneyler yapılmıştır. Munsell Renk Dizgisi kullanılarak betonda yüksek sıcaklık sonrası renk değişimi tespit edilmiş ve betonun yüzey renginin yeşilimsi sarıdan kırmızıya doğru bir renk aldığı gözlemlenmiştir. Renk değişimi ile basınç dayanımı paralellik göstererek

değişmiştir. Suda soğutma yönteminin havada soğutmaya göre numunelere daha fazla zarar verdiği tespit edilmiştir. Sonuç olarak ise yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen renk değişiminin yüksek sıcaklık sonrası beton muayenesinde tahribatsız muayene yöntemi olarak kullanılabilmesi belirlenmiştir.

Atashafrzeh [35], polipropilen lif katkılı betonlara yüksek sıcaklığın etkisini incelediği çalışması kapsamında; çubuk polipropilen lif ve yünsü polipropilen lif olmak üzere iki tip kullanarak beton üretmiştir. Lif katkısız, 300, 600, 900, 1200 g/m³ polipropilen lif kullanılarak üretilen numuneler 28 günlük kür sonunda 150, 300, 450, 600 ve 750°C'de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak: yüksek sıcaklık etkisinde çubuk polipropilen liflerin yünsü polipropilen liflere göre daha iyi sonuçlar verdiği, basınç dayanımında en yüksek değer 300 g polipropilen lif katkılı betonda tespit edildiği ve her iki lif tipi için de 600°C'den sonra lifsiz numunelerin daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Kantarcı [36], Elazığ ferrokrom cürufu (EFC) ile alkali aktivasyon metoduyla üretilen geopolimer çimentolu betonların yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını incelediği çalışmada; EFC'yi çimento inceliğinde öğüterek ve aktivatörler ile birleştirerek bağlayıcılık özelliği kazandırmıştır. Bağlayıcılık özelliği kazandırılan EFC, dere agregası, kırma kum agregası kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Karşılaştırma amacıyla normal portland çimentolu beton numuneler üretilmiştir. 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700°C sıcaklık etkilerine maruz bırakılan numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımları ve mikro yapıları incelenmiştir. Sonuçta; 28 günlük basınç dayanımının maksimum değeri EFC kullanılarak üretilen dere agregalı numunelerde 35.10 MPa olarak belirlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz kalan numunelerde basınç dayanımının 700°C'de minimum değerde olduğu tespit edilmiştir.

Kurt [37], farklı mineral katkıları kullanılarak üretilen betonlar üzerinde yüksek sıcaklık etkisini araştıran çalışmada; 300 ve 400 kg/m³ dozajlı CEM I 42,5 R çimento ve %0, %10, %20, %30, %40 oranlarında ikameli barit tozu, diatomit, silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıları kullanarak beton üretimini gerçekleştirmiştir. 28 gün kür edilen numuneler kür işlemleri tamamlandıktan sonra 200, 400, 600 ve 800°C olmak üzere 4 farklı sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Sonuçta yüksek

sıcaklık etkisinde kalan numunelerde her iki dozaj içinde 400°C'den sonra basınç dayanımında önemli düşüşler görülmüştür. Bütün mineral katkılı numuneler içerisinde basınç dayanımı açısından en iyi sonucu verenlerin çimento dozajı 400 kg/m³ olan numuneler olduğu tespit edilmiştir.

Bekem [38], kalker kırmataş agrega ile üretilen betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışını incelediği çalışması kapsamında; CEM I 42,5 R çimento, süper akışkanlaştırıcı katkı kullanarak C20 sınıfı 100×100×10 cm boyutlu numune üretmiştir. Üretilen plaka üzerinden 5×10 cm boyutlu silindir numune olacak şekilde karot örnekleri alınmıştır. Silindir numuneler 20 (referans numune), 150, 300,500, 600, 700 ve 800°C'de 3 saat süreyle yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık uygulanan numuneler havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma yöntemiyle soğutulmuştur. Soğutma işlemleri tamamlanan numunelere; basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve kapiler su emme deneyleri uygulanmıştır. Sonuçta; yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numunelerde sıcaklık arttıkça; numunelerin basınç dayanımında ve ultrases geçiş hızında azalmalar, su emme miktarlarında artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Soğutma koşulları açısından numuneler incelendiğinde ise 500°C'ye kadar olan sıcaklık değerlerinde havada soğutulan numunelerin ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımlarının suda soğutulanlara göre daha fazla olduğu 500, 600, 700°C'deki numuneler için ise bu durumun tam tersi söz konusu olduğu görülmüştür.

Karagöz [39], farklı mineral katkıları kullanarak ürettiği harç numunelerinin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını incelediği çalışması kapsamında; uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu, tuğla tozu ve kırma taş tozu mineral katkılarını çimentoyla yer değiştirerek %0, %10, %20 ve %30 oranlarında kullanmıştır. Üretimden sonraki 28 günlük kür süresini tamamlayan numuneler etüv kurusu hale getirilmiştir. 200, 400, 600, 800 ve 1000°C'de yüksek sıcaklık etkisine bırakılan numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi için numunelere testler uygulanmıştır. Sonuç olarak; tüm deneyler dikkatle incelendiğinde %30 yüksek fırın cürufu katkılı numunelerin en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

Celep [40], polipropilen lifli betonlara yüksek sıcaklık etkisini incelediği çalışmasında 0-4mm 7-15mm 15-22 mm olmak üzere 3 farklı agrega sınıfı kullanarak s/ç oranı 0.4, 0.5, 0.6 ve lif miktarları 0, 0.9, 1.8 kg/m³ olan beton numuneler üretmiştir. Numuneler 27 gün kür edildikten sonra etüv kurusu durumuna getirilmiştir. Referans numunesi olarak üretilen numuneler (20°C) dışındakiler 200, 400 ve 600°C sıcaklığa 3 saat süreyle maruz kaldıktan sonra kendiliğinden soğumaya bırakılmıştır. Sonuçta; 600°C’de lifsiz olarak üretilen betonlarda parçalanma, patlama olayları görülürken aynı sıcaklık derecesinde lifli olarak üretilen betonlarda polipropilen lifin yüksek sıcaklıkta eriyip küçük kanalcıklar oluşturarak beton iç basıncını dengelemesinden dolayı patlama olayları görülmemiştir.

Demirel ve Keleştemur [41], ince öğütülmüş pomza ve silis dumanı katkılı betonların yüksek sıcaklık sonrası dayanımlarına kür yaşının etkisini inceledikleri çalışmada çimento; ince öğütülmüş pomza ile ağırlıkça %5, %10, %15, %20 oranlarında kontrol numunesi hariç tüm numunelerde silis dumanı ile ağırlıkça %10 oranında yer değiştirerek ilave edilmiştir. 28 gün ve 365 gün kür edilen numuneler 400, 600 ve 800°C ‘de yüksek sıcaklığa maruz bırakılmış ve 1 saat süreyle bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası numunelerin porozite, birim ağırlık, su emme ve basınç dayanımı gibi özellikleri deneylerle belirlenmiştir. Sonuç olarak; ince öğütülmüş pomzanın erken yaş dayanımını düşürdüğü fakat ileriki yaş dayanımında artışa neden olduğu görülmüştür. Ayrıca ileriki yaş dayanımında silis dumanı katkılı numunelerin 28 günlük yaş dayanımına sahip numunelere nazaran yüksek sıcaklıklar altında daha fazla dayanım kaybı yaşadıkları tespit edilmiştir.

Kaya vd. [42], mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların yüksek sıcaklık etkisi altındaki basınç dayanımı ve porozite özelliklerini incelediği çalışmada; mermer tozu ve yüksek fırın cürufunu %10, %20, %30 oranlarında ince agrega ile ikame ederek numune üretmiştir. Karşılaştırma amacıyla mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanılmadan referans numunesi üretilmiştir. Üretimi tamamlanan beton numuneler 365 gün kür edildikten sonra 400 ve 800°C sıcaklıklara 1 saat süreyle maruz bırakıldıktan sonra ortam sıcaklığına gelinceye kadar soğutulmuştur. Sonuçta; 400°C’den sonra mineral katkılı kendiliğinden yerleşen betonların içyapılarının yoğun olmasından dolayı iç buhar basıncını dışarıya atamaması sebebiyle yüksek sıcaklıklar

altında normal betonlardan daha fazla porozite ve dayanım kaybı yaşamalarına neden olmuştur. Dayanım kayıpları dikkate alındığında ise mermer tozu ve yüksek fırın cürufu kullanmanın en uygun olduğu miktarların %20 ve %30 olduğu belirlenmiştir.

Subaşı vd. [43], uçucu kül ikameli çimento harç numunelerinin yüksek sıcaklık etkisindeki mekanik özelliklerini araştırdığı çalışmada; çimentoyu %0, %5, %10, %20 oranlarında uçucu kül ikame ederek 4×4×16 cm boyutlu numuneler üretmiştir. Bu numuneler 28 günlük kürden sonra 100, 200, 300, 400, 500 ve 600°C’de yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelere basınç dayanımı testi ve eğilme dayanımı testi uygulanmıştır. Sonuç olarak; %5 ve %10 oranında uçucu kül ikame edilen numunelerin basınç dayanımında iyileşmeler görülmesine rağmen, %20 uçucu kül ikameli numunelerin basınç dayanımında azalmaların görüldüğü tespit edilmiştir. Dayanım kayıplarının ve kütle kayıplarının en fazla olduğu sıcaklığın 600°C olduğu tespit edilmiştir.

Binici vd. [44], yüksek sıcaklığın betona olan etkisini incelediği çalışmada ince agregaya yerine bims, gazbeton veya alüminyum kullanarak ürettiği numunelerin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. 10×10×10 cm boyutlu numuneler 7 gün kür edildikten sonra 100, 200, 400, 600 ve 800°C olmak üzere 5 farklı sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Numunelere su emme, basınç dayanımı, ısı iletim ve ultrases hız testleri uygulanmıştır. Sonuçta; en az kütle kaybının gazbeton katkılı numunelerde olduğu, alüminyum katkılı numunelerin 400°C’den sonraki sıcaklıklara direnç gösteremediği, bims katkılı numunelerin 800°C’den sonra dağılmaya başladığı ve basınç dayanım sınıflarının sıcaklık artışı ile C20’den C5’e düştüğü gözlemlenmiştir. Ayrıca en yüksek basınç dayanımı bims katkılı numunelerde gözlemlenmiştir.

Kaya ve Yazıcıoğlu [45], farklı tip sıvalar ile kaplanan beton numunelerinin yüksek sıcaklıklarda mekanik özelliklerindeki değişimi inceledikleri çalışma kapsamında; maksimum dane çapı 8 mm olan kırmataş agregası ve CEM I 42.5 R çimento kullanarak 5×5×5 cm boyutlu beton numuneler üretmişlerdir. 28 günlük kürlerini tamamlayan numuneler 2,5 cm sıva kalınlığı olacak şekilde 10×10×10 cm’lik kalıplara ortalanarak yerleştirilmiştir. Beton numuneler sıva ile kaplanırken sıva kaplamasız, alçı sıvası, ısı yalıtım sıvası ve çimento esaslı sıva olmak üzere 4 farklı gruba ayrılmıştır. 350, 550,

700, 1000°C olmak 4 farklı sıcaklıkta 1 saat süre ile bekletilen numunelerin yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı ölçülmüştür. Sonuç olarak yüksek sıcaklığın basınç dayanımında ve ultrases geçiş hızında azalmalara neden olduğu, 1000°C sıcaklığa erişildiğinde numunelerde dağılmalardan kaynaklı olarak basınç dayanımının tespit edilemediği ve 700°C'ye kadar olan sıcaklıklarda basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı için en iyi sonucun alçı kaplamalı sıvadan alındığı gözlemlenmiştir.

Durmuş ve Bekem [46], yüksek sıcaklık etkisi ve farklı soğutma koşullarının kalker kırmataş agrega ile üretilen betonlar üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışmada; C25 dayanım sınıfına sahip 100×100×10 cm boyutlu prizma numune üretmiştir. 28 gün kür edildikten sonra Ø5×10 cm boyutunda karotlar alınmıştır. Numuneler 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900°C'lerde sıcaklıklara maruz bırakılmışlardır. Havada ve suda olmak üzere iki tip soğutma şekli uygulanmıştır. Soğutma işlemleri tamamlandıktan sonra numunelere basınç dayanım testi ve ultrases geçiş hızı testi uygulanmıştır. Sonuç olarak; yüksek sıcaklık etkisinin beton basınç dayanımını olumsuz etkilediği, basınç dayanımında azalmalara neden olduğu, 600°C'ye kadar yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerde suda soğutma yöntemi ile soğutulan numunelerin havada soğutma yöntemi ile soğutulan numunelerden daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu gözlemlenmiştir. 800 ve 900°C'de havada soğutulan numunelerin yüksek sıcaklık etkisiyle dağılmasından dolayı basınç dayanımı tespit edilememiştir. Soğutma şeklinin ultrases geçiş hızını etkilemediği gözlemlenmiştir.

Ceylan ve Saraç [47], hafif beton üretiminde pomzanın hafif agrega olarak kullanılabilirliğini ve pomza ile üretilen hafif betonun yüksek sıcaklıklar altındaki davranışını inceledikleri çalışma kapsamında 3 farklı türde pomza kullanarak beton üretilmişlerdir. 3 farklı s/ç oranı kullanılarak 78 seri ve her seri için 10×10×10 cm boyutlu 9 adet numune üretilmiştir. Kür işlemleri tamamlanan numuneler 120, 180 ve 200°C sıcaklıklarda 72 saat süreyle bekletilmiştir. Numunelerin su emme, birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı gibi özellikleri test edilmiştir. Sonuç olarak; beton numunelerde genellikle sıcaklık arttıkça birim hacim ağırlığın azaldığı görülmüştür. Bazı serilerde basınç dayanımının sıcaklığın artmasıyla azaldığı, bazı serilerde ise

arttığı gözlemlenmiştir. Bu durumun; karışım oranlarının farklılığı, agrega türünün ve gradasyonun farklılığı gibi nedenlerden kaynakladığı düşünülmektedir.

Demirel ve Gönen [48], karbon lif takviyeli silis dumanı katkılı hafif betonun yüksek sıcaklık altındaki mekanik özelliklerinin değişimini inceledikleri çalışmada; CEM I 42,5 N tipi çimento, pomza agrega, çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı, %0,5'i kadar karbon lif kullanarak beton numune üretmişlerdir. Silis dumanı ve karbon lifin yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını tespit edebilmek için silis dumanlı, silis dumansız, silis dumanlı karbon lifli, silis dumansız karbon lifli olmak üzere 4 farklı seri hazırlamışlardır. 365 gün kür edilen numuneler; 250, 500, 750 ve 1000°C olmak üzere 4 farklı sıcaklıkta 1 saat süreyle bekletilmiştir. Oda sıcaklığına kadar soğutulan numunelerde sıcaklık ile porozite ve basınç dayanımı değişimleri incelenmiştir. Sonuç olarak; 250°C'den sonra beton içerisinde jel boşluklarındaki suyun buharlaşması mikro çatlakları oluşturmuş bu çatlaklarda porozitenin artmasına neden olmuştur. Basınç dayanımındaki kayıpların silis dumanı bulunan serilerde silis dumansız serilere göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Yaprak ve Karacı [49], polipropilen lifli betonların yüksek sıcaklık sonrasındaki özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında s/ç oranı 0,53 olan lif katkısız, 0,9, 1,35 ve 1,8 kg/m³ polipropilen lif katkılı 15×30 cm boyutlu silindir numuneler üreterek 28 gün kür uygulamışlardır. Kürü tamamlanan numuneler 20, 400, 600 ve 800°C yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Ortam sıcaklığına kadar soğutulan numunelerin basınç dayanımları test edilmiştir. Deneysel olarak bulunan basınç dayanımı değerleri yapay sinir ağırları metoduyla bulunmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak; polipropilen liflerin 0,9 kg/m³ oranında kullanılmasının basınç dayanımını az miktarda arttırdığı diğer oranlarda basınç dayanımını düşürdüğü ve yapay sinir ağırları metoduyla bulunan sonuçların deneysel olarak elde edilen sonuçlara yakın olduğu görülmüştür.

Sancak ve Şimşek [50], süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı kullanılarak üretilen hafif beton üzerindeki yüksek sıcaklığın etkilerini araştırdıkları çalışma kapsamında; bims agregası kullanarak ve normal yoğunluklu agrega kullanarak 12 farklı beton karışımı hazırlamışlardır. Çalışmada çimento ile ağırlıkça %0, %5, %10 silis dumanı yer değiştirilerek kullanılmıştır. Silis dumanı katkılı karışımlara çimento ağırlığının %2'si

kadar süper akışkanlaştırıcı katkı eklenmiştir. Numuneler 100, 400, 800 ve 1000°C olmak üzere 4 farklı sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Sonuçta; hafif ve normal betonların 100°C'ye kadar basınç dayanımlarında önemli bir düşüş görülmemiştir. Silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanımının ağırlık kaybında bir rolü olmadığı görülmüştür. 800°C ve üzerindeki sıcaklıklarda hafif betonların normal betonlardan daha iyi basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir.

Demirel ve Gültekin [51], metakaolin katkılı taşıyıcı hafif betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışını inceledikleri çalışmada; %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında metakaolin ilave ederek 5 farklı beton karışımı tasarlamışlardır. Çalışmada, 10×10×10 cm boyutlu küp ve 10×20 cm boyutlu silindir numuneler üretilmiştir. 28 gün kür edilen numuneler; 400, 600 ve 800°C olmak üzere 3 farklı sıcaklık değerine maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, porozite, basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak %15'e kadar metakaolin katkısının basınç dayanımını arttırdığı, ultrases geçiş hızı ve porozite özelliklerini iyileştirdiği tespit edilmiştir. Tüm seriler için sıcaklık derecesinin artmasının basınç dayanımını düşürdüğü gözlemlenmiştir.

Kara ve Kara [52], beyaz çimento ile üretilen betonların yüksek sıcaklık ve farklı soğutma koşulları sonrası davranışlarını inceledikleri çalışma kapsamında; BPC 52,5 R tipi çimento, kalker agrega, süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak hazırladıkları C30 sınıfı beton karışımlarını 12×50×60 cm boyutlu kalıba dökerek üretimlerini gerçekleştirmişlerdir. 14.gün alınan 5 cm boyutlu karot örnekleri 360 gün süre ile kür havuzunda bekletilmiştir. Kür işlemleri tamamlanan numuneler öncelikle etüv kurusu haline getirilmiş daha sonra 300, 450, 600, 750 ve 900°C sıcaklıklarda 3 saat süreyle bekletilmiştir. Sıcaklık sonrası numuneler; fırın içinde soğutma ve su ile soğutma olmak üzere 2 farklı yöntemle soğutulmuştur. Soğutma işlemleri tamamlanan numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak; yüksek sıcaklığın beton özelliklerini olumsuz yönde etkilediği, sıcaklık artışı ile ağırlık kaybının arttığı, basınç dayanımında ve ultrases geçiş hızında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Su ile aniden soğutma yöntemiyle

soğutulan numunelerin ağırlık kaybı ve dayanım kaybının daha fazla olduğu, ultrases geçiş hızının azaldığı görülmüştür.

Kaya ve Yazıcıoğlu [53], kalsine edilmiş bentonit katkılı harçların yüksek sıcaklık etkisindeki özelliklerini inceledikleri çalışmada; ağırlıkça %10, %15 ve %20 çimento azaltılarak yerine kalsine bentonit ikame edilmiştir. Üretilen numunelerin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. 56 gün kür edilen numuneler 250, 500, 750 ve 1000°C'lerde yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası yapılan testlerle numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, porozite, su emme ve ağırlık kaybı özellikleri incelenmiştir. Sonuçta; yüksek sıcaklık etkisine maruz kalabilecek alanlarda kullanılacak betonun tasarımında %10 oranında kalsine edilmiş bentonitin kullanılabileceği görülmüştür.

Gökçer vd. [54], cam lifi ve atık mermer tozu kullanılarak üretilen harçlara yüksek sıcaklık etkisini araştırdıkları çalışmalarında; harç karışımına 0, 10, 20 kg/m³ cam lifi ve ağırlıkça %10, %20, %30 oranlarında filler malzeme ile yer değiştirilerek atık mermer tozu ilave edilmiştir. 10 seri beton üretilerek numuneler 28 gün kür edilmiştir. Kür işlemi tamamlanan numuneler 400, 600, 800°C sıcaklıklarda 1 saat süreyle bekletilmiştir. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası numunelere ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, porozite, kapiler su emme ve eğilme dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; cam lif katkılı harç numunelerine atık mermer tozu ilave edilmesinin numunelerde daha yoğun mikro yapı oluşturduğu bundan dolayı da yüksek sıcaklık sonrası dayanım kayıplarının bir miktar azaldığı tespit edilmiştir.

Uysal [4], yaptığı çalışmasında yüksek sıcaklık etkisinin betonu olumsuz yönde etkilediğini 600°C'de betonun basınç dayanımının %50'sini 800°C'den sonra ise %80'inden fazlasını kaybettiğini gözlemlemiştir. Beton renginde meydana gelen değişimin 600°C sıcaklıktan sonra daha belirgin hale geldiğini, 600°C'den sonra agrega-arayüzey arasında meydana gele çatlak gelişiminin hızla arttığını, önemli ölçüde deformasyonların meydana geldiğini tespit etmiştir.

Fares vd. [55], kendiliğinden yerleşen betonun performansına yüksek sıcaklığın etkisini araştırdıkları çalışmalarında iki farklı karışım üzerinde deneylerini

yapmışlardır. Üretilen numuneler 150, 300, 450 ve 600°C sıcaklık değerlerine maruz bırakılmıştır. Sonrasında numunelerin basınç dayanımı, elastisite modülü, eğilme dayanımı, porozite ve geçirimsizlik özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak numunelerde mukavemet kayıplarının; 20-150°C arasında başladığı, 300-600°C’de mukavemet kayıplarının arttığı ve 600°C’de numunelerdeki mukavemetin büyük çoğunluğunu kaybettiğini, yüksek sıcaklık etkisinin betondaki boşluk yapısını olumsuz yönde etkilediği ve betonun geçirimsizliğini arttırdığını ifade etmişlerdir.

Mahsanlar [56], yüksek sıcaklığın betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada; CEM I 42.5 R çimentosu, silis esaslı agrega ve silis dumanı, uçucu kül, cüruf gibi farklı puzolanlar kullanılarak üretilen beton numuneleri 100, 200, 300, 600, 900 ve 1200°C olmak üzere 6 farklı sıcaklık derecesine maruz bırakmıştır. Sonuç olarak yüksek sıcaklık etkisiyle beton numunelerin basınç dayanımlarının olumsuz etkilendiği 900°C’de basınç dayanımlarının büyük çoğunluğunu kaybettiği ve 1200°C’de numuneler parçalandıklarından dolayı dayanım tespitinin yapılamadığı gözlemlenmiştir.

Adar [57], uçucu kül ve polipropilen lifli kendiliğinden yerleşen betonun yüksek sıcaklık etkisindeki davranışını incelediği çalışmada 0,25, 0,50, 0,75 ve 1.00 kg/ m³ oranlarında polipropilen lif kullanarak kendiliğinden yerleşen beton üretmiştir. Farklı oranlarda lif içeren sertleşmiş numuneler 250, 500 ve 750°C olmak üzere 3 farklı sıcaklıkta yüksek sıcaklık fırınında 3 saat yüksek sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra oda sıcaklığına gelene kadar soğutulmuştur. KYB’de polipropilen lif miktarının artmasının; basınç dayanımına etki etmediği, betonun akıcılık özelliğini olumsuz yönde etki ettiği, çekme dayanımına olumlu yönde etki ettiği tespit edilmiştir. Sıcaklığın 500°C ve üzerinde olmasının dayanım kayıplarını arttığı ve ultrases geçiş hızı ölçümlerinin de bu duruma paralellik gösterdiği gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisiyle numunelerde oluşan boşlukların; basınç dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği, dayanım kayıplarını arttırdığı vurgulanmıştır. En fazla dayanım kaybının 750°C’ye maruz bırakılan numunelerde olduğu, 500°C’den sonra dayanım kaybının belirgin olarak arttığı gözlemlenmiştir.

Nazlı [58], yaptığı çalışmasında genleştirilmiş vermikülit tozunun hacimsel olarak %0, %15, %30 ve %45 oranlarında ince agrega ile yer değiştirmesi ile üretilecek harçların yüksek sıcaklığa karşı dirençlerini araştırmıştır. 28 gün boyunca standart kür uygulandıktan sonra 300°C, 600°C, ve 900°C’de sıcaklığa maruz bırakıldıktan bırakılan numunelerin fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla; birim ağırlık, su emme, boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testleri uygulanmıştır. Sonuçta yüksek sıcaklık etkisiyle numunelerin, 600°C’de dayanımlarının büyük çoğunluğunu kaybettiği, 900°C numuneler dağıldıklarından dolayı basınç dayanımlarının tespit edilemediği, iç-yapılarında meydana gelen bozulmalar nedeniyle ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık gibi özelliklerinin olumsuz etkilendiği tespit edilmiştir.

Yaltay ve Ekinci [59], kolemanit katkılı ve pomza agregalı hafif betonların yüksek sıcaklık etkisindeki basınç dayanımı değişimlerini inceledikleri çalışmada; iri ve ince agrega olarak pomza kullanılmıştır. Ayrıca karışımda çimento ağırlığının %0.4, %0.6, %0.8, %1 ve %2 oranlarında kolemanit kullanılarak 10×10×10 cm boyutlu küp numuneler üretilmiştir. 28 gün ve 56 gün kür edilen numuneler etüv kurusu durumuna getirildikten sonra 400, 600 ve 800°C’lerde 1 saat süreyle yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık öncesi ve sonrası ultrases geçiş hızı testi yapılarak basınç dayanımı belirlenmiştir. Sonuçta; sıcaklık artışının beton özelliklerini olumsuz etkilediği ses hızı, basınç dayanımı ve birim ağırlıkta azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Kolemanit katkılı betonların 800°C’de dahi mukavemet özelliklerini tamamen kaybetmedikleri tespit edilmiştir.

Kaçar [60], yapılarda radyasyon kalkanı olarak kullanılan barit agregalı ağır betonun zırh kalınlıklarını tespit ettiği çalışmasında; zırh malzemesi olarak normal beton, kurşun ve barit agregalı ağır beton olmak üzere 3 farklı tipte malzeme kullanarak beton üretmiştir. Radyasyon kaynağı olarak ise Kobalt 60 kullanılmıştır. Sonuçta; yoğunluğu sırasıyla 11.35 gr/cm³ kurşun, 3,2 gr/cm³baritli ağır beton, 2.35 gr/cm³ normal beton zırh malzemesi olarak kalınlıkları bu malzemelerin yoğunlukları ile ters orantılı olarak azaldığı görülmüştür.

Yılmaz [61], Muş yöresinden temin edilen barit agrega ile üretilen ağır betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırdığı çalışmada; normal agrega yerine %0, %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında barit agrega kullanarak 7 seri beton karışımı üretmiştir. Kontrol karışımı olarak üretilen beton sadece normal agrega ile üretilmiştir. Betonun s/ç oranı 0.50, Dmax'ı 16mm olarak belirlenmiştir. Sonuçta; baritsiz üretilmiş kontrol betonu ve 6 farklı barit oranıyla üretilmiş ağır betonun özellikleri karşılaştırıldığında; barit oranının artması beton numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemiştir. En yüksek basınç dayanımı (59,58 MPa) %10 barit kullanılan beton karışımında elde edilmiştir. Barit oranının artması ile radyasyon geçirimsizliği azalmıştır.

Coşkun [62], barit agregası kullanılarak üretilen ağır betonların radyasyon soğurma özelliklerini araştırdığı çalışmada betonun su/çimento oranları 0,46 ve 0,50 olarak belirlemiş, karışımlarda 0-22mm aralığında agrega kullanmıştır. Bu agregalardan tane boyutu 5-22mm olan kısım sabit tutulmuş, 0-5mm agrega ile taş ununun yeri değiştirilmiştir. Bu işlemle optimum işlenebilirlik ve soğurma özellikleri sağlanmak istenmiştir. Sonuçta barit kullanımının artmasıyla dayanımda artış gözlenmiş fakat su/çimento oranının artması bu artışı olumsuz etkilemiştir. Karışımlardaki taş unu boşluk oranını azaltmasına rağmen soğurma miktarını azaltmıştır. Bu durumun nedeni olarak taş ununun düşük özgül ağırlığı gösterilmiştir. 0,46 s/ç oranı, %30 0-5 mm barit ve %20 taş unu kullanılan karışımda en iyi soğurma katsayısı saptanmıştır. Yüksek soğurma istenen betonlar için yüksek yoğunlukta malzeme kullanılması gerektiği açıklanmıştır.

Akyıldırım [63], farklı agrega tipleri kullanılarak üretilen ağır betonların radyasyon zırhlama özelliklerini araştırdığı çalışmada; normal agrega ile üretilen beton, olivin ile üretilen ağır beton, %50'si barit agrega ile üretilen ağır beton ve %100'ü barit agrega ile üretilen ağır beton olmak üzere 4 seri beton üreterek hazırlanan numunelerin radyasyonu zayıflatma özelliklerini araştırmıştır. Elde edilen sonuçlar zırh malzemesi olarak kullanılan kurşun ile yapılan deneylerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta; referans olarak kabul edilen normal agregalı beton ile baritli betonlar karşılaştırıldığında barit oranının artmasının radyasyon zayıflatılmasında daha iyi sonuçlar verdiği bunun nedeninin de beton yoğunluğunun artmasının olduğu tespit edilmiştir.

Zengin [64], ağır betonların üretim ve yerleştirme zorluğunu ortadan kaldırmak için ağır agregâ kullanılarak üretilen kendiliğinden yerleşen betonun yüksek sıcaklık etkisindeki özelliklerini incelediği çalışmasında; hematit agregâ kullanarak ağır beton üretimi, kırmataş agregâ ile şahit beton üretmiştir. CEM I 42,5 R ve alüminatlı çimento 300, 400 ve 500 kg/m³ olmak üzere 3 farklı dozajda kullanılmıştır. Yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkıının kullanıldığı çalışmada s/ç oranı tüm serilerde sabit tutulmuş ve 0.42 olarak belirlenmiştir. Üretimi tamamlanan numuneler 28 gün kür edildikten sonra 20, 100, 200, 400, 600, 800°C sıcaklıklarda 3 saat süreyle bekletilmiştir. Havada ve suda olmak üzere iki farklı soğutma uygulanmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı testi uygulanmıştır. Sonuç olarak hematit agregâ ile üretilen betonların doldurma yeteneği, geçiş yeteneği, ayrışmaya karşı direnç gibi kendiliğinden yerleşen beton özelliklerini sağladığı tespit edilmiştir. Hematit agregânın yüksek sıcaklıklara kırmataş agregâdan daha fazla direnç gösterdiği, hematit agregâ ile üretilen betonların basınç dayanım ve ultrases geçiş hızı değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiği, dozaj miktarının azalması ile dayanım ve ultrases hız değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca havada soğutma yönteminin suda soğutma yöntemine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Polat [65], kolemanit kullanarak ağır betonların durabilite özelliklerini araştırdığı çalışmasında kolemanit agregâ %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında normal agregâ ile yer değiştirerek ve tüm serilerde s/ç oranı 0,48 ve çimento dozajı 400 kg/m³ sabit tutularak numuneler üretmiştir. Numunelere 28 günlük kürün sonunda havada, suda ve %5'lik Na₂SO₄ ve MgSO₄ 'lı ortamlarda 28, 56 ve 90 günlük kür uygulaması yapılmıştır. Kür işlemleri sonucunda numunelerin bazı mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonunda kolemanit kullanımı betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilediği görülmüştür. Durabilite özellikleri açısından %30 kolemanitli betonun kullanılabilir özelliklere sahip olduğu tespit edilmiştir.

Çakı [66], ağır betonların elastisite modülünü incelediği çalışmasında barit agregâ kullanarak farklı s/ç oranlarında 3 grup beton üretmiştir. Karışımlar için D_{max} 16mm olarak belirlenmiştir. Sonuç olarak; küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımları ortalama değerleri; s/ç oranı 0,63 olanın 46.69 MPa, s/ç oranı 0,54 olanın 63.69 MPa,

s/ç oranı 0,46 olanın 62.24 MPa, olarak tespit edilmiştir. Ayrıca baritli ağır betonların basınç dayanımı ve ultrases hızına bağlı olarak bulunan elastisite modülünün TS 500, ACI 318-95 ve CEB'de verilen basınç dayanımına bağlı elastisite formülü ile hesaplanan değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Özen [67], farklı agregalarla üretilen betonların radyasyon zırlama özelliklerini araştırdığı çalışma kapsamında; tufal, demir cevheri, manyetit, çelikhane cürufu ve iki tip barit kullanarak 6 farklı beton karışımı hazırlamıştır. Üretilen numunelere 72 gün kür uygulanmıştır. Numunelerin basınç dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, kırılma enerjileri ve radyasyon geçirimsizlikleri gibi özellikleri araştırılmıştır. Sonuç olarak en iyi mekanik özellikler; çelikhane cürufu ve demir cevherinde tespit edilirken, radyasyon geçirimsizliğinin agrega tipinden bağımsız olduğu betonun birim hacim ağırlığı ile alakalı olduğu tespit edilmiştir.

Esen [68], silis dumanı katkılı ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelediği çalışmasında; ince agrega olarak %40 oranında 0-4mm barit, iri agrega olarak %60 oranında 4-16mm barit kullanılmıştır. Beton karışımındaki s/ç oranı 0.50 olarak seçilmiş ve tüm karışımlarda sabit tutulmuştur. Karışıma ağırlıkça çimentonun %10, %20 ve %30 oranlarında silis dumanı ilave edilmiştir. Üretilen numunelere basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı testleri uygulanmıştır. Sonuçta; silis dumanı kullanımının işlenebilirliği azalttığı gözlenmiştir. 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ölçülen numunelerin en yüksek basınç dayanımını 90 günlük numunelerde verdiği görülmüştür.

Mehrnejad [69], radyasyon zırlamada karma lifli ağır betonların kullanılabilirliğini incelediği çalışması kapsamında; s/ç oranı 0,55 beton hacminin %1'i oranında çelik lif %0,3'ü oranında yünsü polipropilen lif %0,3'ü oranında çubuk polipropilen lif kullanmıştır. Farklı yüzde barit agrega ve galena agrega kullanılarak 5 seri beton üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretimi tamamlanan numuneler 28 gün kür edilmiştir. Sonuçta; kullanılan galena agreganın nötron zırlama özelliklerini arttırdığı tespit edilmiştir.

Ünal vd. [70], filler malzeme kullanılarak üretilen ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini araştırdıkları çalışma kapsamında; CEM I 42,5 R çimento, çimentonun %1,5'i oranında süper akışkanlaştırıcı katkı ve 0-0,25 mm 0-5 mm ve 5-22 mm olmak üzere 3 sınıf agrega kullanılarak 6 sınıf beton üretilmiştir. 0-5 mm ve 0-0,25 mm'lik malzemeler her grup için farklı oranlarda ilave edilmiştir. Üretimi tamamlanan numunelere 28 gün kür uygulandıktan sonra ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, birim hacim ağırlık su emme ve Schmidt çekici testleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; karışımdaki filler malzemenin azalmasının birim hacim ağırlık ve basınç dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Filler malzeme azaldıkça malzeme özelliklerinde iyileşmeler görülmüştür.

Kılınçarslan vd. [71], radyasyon zırlama amacıyla barit agregalı ağır betonun kullanılıp kullanılmayacağını araştırdıkları çalışmada; agrega karışım oranları %40 ince agrega (0-4mm) ve %60 iri agrega (4-16mm) olarak seçilmiştir. Numuneler farklı oranlarda normal agrega ve barit agrega kullanılarak C20, C30, C40 sınıflarında üretilmiştir. S/Ç oranları sırasıyla 0.65, 0.51 ve 0.43 olarak belirlenmiştir. Sonuçta; s/ç oranının düşük olduğu serilerde C40 sınıfı beton üretilmediği tespit edilmiştir. Bu durumun nedeni olarak s/ç oranının düştükçe barit agregasının beton içerisinde karıştırılmasının güç olduğu gösterilmiştir. Buna rağmen barit agrega ile C20 ve C30 sınıfı beton üretilmiştir. Ayrıca barit oranının artması lineer soğurma katsayısını olumlu yönde etkilemiştir.

Topçu ve Uğurlu [72], barit ile üretilen ağır betonların özelliklerini araştırdıkları çalışmalarında en büyük dane çapı 16mm, çimento dozajı 350 kg/m³ olarak seçilmiştir. Agregalar beton karışımında; 0,50-1mm'den %12, 1-22mm'den %18, 2-4mm'den %20, 4-8mm'den %20, 8-16mm'den %30 oranlarında kullanılmış ve çimento sınıfları PÇ 32,5 ve PÇ 42,5 olarak seçilmiştir. 7 farklı s/ç oranları kullanılarak, her s/ç oranı için 3 numune olacak şekilde 15×30cm boyutlu silindir numuneler üretilmiştir. 28 gün kürde bekletilen numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, Schmidt çekici testleri uygulanmıştır. Elde edilen dayanım değerleri açısından en iyi sonuçları; PÇ 42,5 çimentosu ile 0.30 ve 0.40 s/ç oranlarında karışımların 40 MPa basınç dayanımını verdiği görülmüştür. Ayrıca sonuçlar barit agreganın taşıyıcı beton üretiminde kullanılabilirliğini de göstermiştir.

Ling ve Poon [73], ağır betonun yüksek sıcaklıklar altındaki davranışını incelemek üzere yaptıkları çalışmada 25, 300, 500, 600, 800°C sıcaklıklara maruz kalan barit agregalı ağır betonun yoğunluk, basınç dayanımı ve su emme kapasitesi belirlenmiş, normal granit agregalı beton ile karşılaştırılmıştır. Betonda ince agrega yerine ısıtılmış işlem görmüş cam kırıkları kullanılmıştır. Sonuç olarak ısıtılmış işlem görmüş camın ağır beton içine katılmasının patlama riskini artırdığı saptanmıştır. 500 ° C'ye maruz kaldıktan sonra beton yüzeyinde dökülme görülmüştür. Sıcaklık 600 ° C ile 800 ° C arasında iken ısıtılmış işlem görmüş cam kırıkları içeren betonun dayanımında önemli kayıplar gerçekleşmiştir.

Sevon vd. [74], nükleer santrallerde meydana gelen patlamalarla birlikte erimiş metallerin beton ile temas haline geçmesiyle metal ile beton arasındaki etkileşimi belirlemek amacıyla çalışmalarında yaklaşık 1800°C'de eritilen metaller potalara dökülerek testler uygulanmıştır. Testlerin asıl amacı silisli agrega ve hematit (Fe_2O_3) içeren FeSi betonun davranışını görmektir. Sonuç olarak FeSi betonun silisli betondan farklı olmadığı gözlenmiştir. Sıcaklık etkisiyle betonda yüzey atmaları meydana gelmiştir.

Sakr ve Elhakim, [75], nükleer santrallerde kullanılan ağır betonun yangın ya da yüksek sıcaklık etkisindeki özelliklerini belirlemek için yaptıkları bu çalışmada ilmenit, barit, kırmataş agrega kullanılmış olup, üretilen betonlar 1, 2, 3 saat farklı sürelerde 250, 500, 750 ve 950°C'lerde yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası betonun fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Soğutma işlemi hava, su, köpük kullanılarak yapılmıştır. Sonuç olarak ilmenit agreganın yüksek sıcaklıklara karşı daha dayanıklı olduğu görülmüştür. Ayrıca hava ve köpükle soğutma, su ile soğutmadan daha iyi sonuçlar vermiştir.

Hager [10], yüksek performanslı, polipropilen lifli betonlarda yüksek sıcaklık etkisini araştıran çalışması kapsamında; bazalt agrega ve CEM I 52,5 R tipi çimento, 6, 12, 19 mm uzunluklarında ve 0, 0,9 ve 1,8 kg/m³ miktarlarında polipropilen lifler kullanarak 7 seri beton üretmiştir. Çalışmada polipropilen lif boyutu ve miktarının beton üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Üretilen numuneler 160'dan 200°C'ye kadar yüksek sıcaklık etkisine bırakılmıştır. Yüksek sıcaklık sonrası numunelerin basınç dayanımı,

elastisite modülü gibi mekanik özelliklerinin yanı sıra renk değişimi, termal gerilme gibi fiziksel özellikleri de incelenmiştir. Sonuç olarak; polipropilen liflerin beton üzerinde olumlu etkisi olduğu, yüksek sıcaklıkta betonların patlama riskini azalttığı fakat $1,8 \text{ kg/m}^3$ miktarında 12 veya 19 mm uzunluğunda liflerin beton geçirgenliğinde artışlar tespit edilmiştir.

Tao vd. [76], kendiliğinden sıkışan betona yüksek sıcaklığın etkisini araştırdıkları çalışmada; CEM I 52,5 tipi çimento, 12 mm uzunluğunda 0,18 mm çapında polipropilen lif, süper akışkanlaştırıcı katkı ve filler malzeme olarak kireçtaşı tozu kullanılarak beton üretilmiştir. Üretilen numuneler 28 gün kür edilmiştir. Kür işlemleri tamamlanan numuneler 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak sıcaklığın artmasının basınç dayanımında düşümlere neden olduğu 400°C 'den sonra dayanım kayıplarının olduğu görülmüştür. Ayrıca polipropilen liflerin kendiliğinden sıkışan betonda; beton yüzeyindeki dökümleri ortadan kaldırdığı fakat basınç dayanımını düşürdüğü görülmüştür.

Cheng vd. [77], yüksek sıcaklık etkisinin yüksek dayanımlı betonların mekanik ve fiziksel özellikleri üzerindeki etkisini araştırdıkları çalışma kapsamında; farklı agregalar kullanılarak ve çelik lif ilave edilerek 4 seri beton üretilmiştir. Üretilen numuneler 7, 28 ve 91 gün kür edilmiştir. 20 (oda sıcaklığı), 100, 200, 400, 600 ve 800°C sıcaklıklara her beton tipi için 3 adet numune maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak; 400°C üzerindeki sıcaklıklarda yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımının büyük bir kısmını kaybettiği, çelik lif ilavesinin yüksek sıcaklıkta sünekliği arttırdığı tespit edilmiştir.

Phan [78], yüksek mukavemetli betonun yüksek sıcaklık etkisindeki mekanik özelliklerini ve patlama eğilimini incelediği çalışmada; s/ç oranları 0,22 0,33 0,33 ve 0,57 olan 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Çalışmada betonların patlama eğilimini incelemek için $1,5 \text{ kg/m}^3$ ve 3 kg/m^3 olmak üzere 2 farklı miktarda polipropilen lif kullanılmıştır. Üretilen numuneler 25, 100, 200, 300, 450 ve 600°C sıcaklıklara maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak; polipropilen liflerin kullanılmasının patlamayı azaltıcı etkisi olduğu ve polipropilen liflerin miktarının $1,5 \text{ kg/m}^3$ kullanılmasının yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Tai vd. [79], reaktif pudra betonun yüksek sıcaklık etkisi altındaki davranışını inceledikleri çalışmalarında; düşük kalsiyum alüminat içeriğine sahip portland çimento, kuvars kumu ve %1, %2, %3 oranlarında çelik lif kullanılarak üretilen silindir numuneler 90°C'de 7 gün kür edilmiştir. Numuneler 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ve 25°C (oda sıcaklığı) olmak üzere 8 farklı sıcaklık değerine maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak numunelerin 200-300°C sıcaklık derecelerinde basınç dayanımlarında artış görülürken sıcaklık derecesinin daha da artmasıyla basınç dayanımları azalır. %1 çelik lif içeren numunelerin basınç dayanımları 200-400°C aralığında daha yüksek basınç dayanımına sahiptir. %2 ve %3 çelik lif içeren numunelerin basınç dayanımları 200-300°C aralığında önemli artış göstermektedir. Tüm numuneler için 400°C'den sonraki sıcaklıklar önemli derecede basınç dayanımı kaybına neden olmuştur.

Demir [80], ağır betonların radyasyon soğurma özelliklerini incelediği çalışması kapsamında barit, kolemanit ve normal agregaya kullanarak 18 seri beton üretimi gerçekleştirmiştir. 28 gün kür edilen numunelere radyasyon soğurma testleri uygulanmıştır. Sonuçta barit agreganın yoğunluğunun yüksek olması sebebiyle X- ve γ -ışınlarını zırladıkları, kolemanit agregalı betonların ise nötronlar için daha iyi soğurgan oldukları tespit edilmiştir.

Başığit vd. [81], normal ve barit agregaya ile 310 ve 425 kg/m³ çimento dozajı kullanarak hazırladığı beton karışımlarında s/ç oranı ve donma-çözünmenin lineer soğurma katsayıları üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, barit agregalı ağır betonlarda, normal betonlara göre daha yüksek soğurma katsayıları elde edildiği belirtilmiştir. Ağır betonların lineer soğurma katsayılarının, donma-çözünme etkisinden dolayı düşük s/ç oranındaki normal betonlara göre daha fazla azaldığı vurgulanmıştır.

Baster [82], hematit-serpantin, ilmenit-limonit, bazalt-manyetit, ilmenit, çelik parçaları, çelik manyetit agregaları her biri ayrı karışımlarda kullanılarak beton karışımlarından numuneler üretilip 10 keV'tan 1 GeV'a kadar enerjiye sahip fotonlarda lineer sönümlenme ve kütle sönümlenme katsayıları hem teorik hem de deneysel olarak hesaplayıp karşılaştırmıştır. Üretilen beton numunelerin yoğunlukları 2,3 ile 5,11

gr/cm³ arasında değişmektedir. Sonuçta yoğunluğu içerisindeki kristalleşmiş suyun 500°C'ye kadar dayanabilmesi nedeniyle nötron zırlama için en uygun agreganın serpatin agrega olduğunu vurgulamıştır. Bundan dolayı nötron zırlama için en uygun karışımın hematit-serpantin karışımı olduğu, yalnızca radyasyon soğurma düşünöldüğünde çelik-manyetitten oluşan karışımın elde edilen yüksek yoğunluğundan dolayı daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Çalık ve Şirin [83], çalışmalarında farklı kimyasal bileşene sahip harç örneklerinde gama ışınlarının soğurulması için deneysel ve teorik yarı-değer kalınlıkları arasındaki uyumsuzluğun giderilmesini araştırmıştır. 59,9 keV enerjili Am-241 ve 661 keV enerjili Cs-137 gama ışını kaynakları kullanarak elde edilen deneysel ve teorik lineer soğurma katsayıları kullanılarak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçta; standart sonuçlar ile deneysel değerler arasındaki uyumsuzluğun nedeninin, standart soğurulma denkleminin sadece soğurucunun kalınlığına bağlı olup, gama ışınlarının enerjisine bağlı olmaması olduğunu vurgulamıştır.

Gencil vd. [84], farklı oranlarda hematit agregası içeren betonların hematit agregası oranlarının basınç dayanımı, gama ışını ve nötron soğurma özelliklerine etkisini araştırdığı çalışmada; hematit içeriğine bağlı olarak artan beton yoğunlukları ile gama ışını lineer soğurma katsayıları arasında bir uyum olmadığını tespit etmişlerdir.

Kan vd. [85], yaptıkları çalışmada; agrega olarak sadece demir cevheri kullanarak üretilen ağır betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Karışımlarda 0.48 s/ç oranı sabit, hacimce %0, 10, 20, 40 ve 48,8 oranlarında metalik agregalar eklenerek üretim gerçekleştirilmiştir. Sonuçta; karışımda demir cevheri miktarının artmasının beton basınç dayanımı artırırken, çekme dayanımı azalttığı tespit edilmiştir. Ayrıca hacimce %40 metal içerikli agrega kullanılmasının betonda yüksek dayanım ve yüksek tokluk özelliklerini beraberinde getirdiğini belirtmişlerdir.

Ün ve Demir [86], yaptıkları çalışmada farklı yoğunlukta agregalar kullanarak normal ve ağır betonların 1 keV ile 100 GeV aralığında; kütle soğurma katsayıları, efektif atom numaraları ve efektif elektron sayılarını belirlemişlerdir. Kütle soğurma katsayılarının foto-elektrik etki, çift oluşumu ve Compton saçılımına bağlı olduğu; etkin atom

numarası ve elektron sayısının, normal ve ağır betonların element içeriğine bağlı olduğu vurgulanmıştır. Ağır betonların etkin atom numaraları ve elektron numaralarının normal betonlardan daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Ayrıca betonların demir, baryum ve kalsiyum içeriklerinin çalışmadaki özelliklere olumlu etki ettiği ifade edilmiştir.

Kılınçarslan [87], çalışmasında barit ve kalker agrega ile CEM I 42,5 R tipi çimento kullanarak; s/ç oranı ve barit yüzdeleri değişken olan beton serileri üretmiştir. Çalışmada radyasyon zayıflatma katsayısı deneysel olarak elde edilmiştir. Bulanık mantık metodu yardımıyla deneysel veriler kullanılarak bir tahmin modeli geliştirilmiştir. Sonuçta barit oranı arttıkça geçen radyasyon yüzdesinin azaldığı ve geliştirilen model ile deney sonuçlarının yüksek oranda tahmin edilebildiği tespit edilmiştir.

Revuelta vd. [88], çalışmalarında ağır betonun üretimi esnasındaki segregasyonunu inceledikleri çalışmada; farklı oranlarda akışkanlaştırıcı ve barit agregası kullanarak iki tip ağır beton üretmişlerdir. Akışkanlaştırıcı katkı maddesinin ve çökme değerlerinin artmasının yoğunluk ve basınç dayanımı özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği tespit edilmiştir. Üretilen betonların arasında kendiliğinden yerleşen ağır beton özelliğini gösterenlerin, %1,8 kimyasal akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak üretilen numuneler olduğu vurgulanmıştır.

Demir vd. [89], yaptıkları çalışmada barit, kolemanit ve normal agrega ile üretilen betonların radyasyon geçirimsizliklerini belirlemek istedikleri çalışmada; 663 keV enerji seviyesinde lineer soğurma katsayılarının önemli ölçüde azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca kolemanit agrega ile üretilen betonun nötron geçirimsizliğini büyük oranda azalttığı ve barit agreganın da radyasyon zırlama da etkili sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Akgün vd. [90], yaptıkları çalışmada barit agregası kullanarak 0,30, 0,35, 0,40, 0,50, 0,55 ve 0,60 s/ç oranlarındaki ağır betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiş ve geleneksel beton ile karşılaştırarak ağır betonun kırılma mekanizmasını açıklamışlardır. Üretimde agrega dağılımının beton içerisinde boşluk oranını

minimum düzeyde tutacak şekilde dizayn yapıldığı takdirde çatlama riskini düşüreceği vurgulanmıştır. Bundan dolayı çatlama riski ve boşluk oranını minimuma indirebilmek için s/ç oranının 0,40'ın altına indirilmesi gerektiğini belirtilmiştir. Ağır betonlarda meydana gelen kırılmaların agrega dayanım yetersizliği ve agrega petrografik yapısı ile ilgili olduğu; ağır betonların radyasyona karşı koruyucu beton perde ve ağırlık gerektiren özel yapılar hariç diğer yapılarda kullanılmasının pek uygun olmadığı vurgulanmıştır.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Deneyleerde Kullanılan Malzemeler

Agrega: Yapılan deneyleerde 3 farklı tip agrega kullanılmıştır. Kalker kırmataş agrega Ankara ili Kutludüğün mevkiinden temin edilmiştir. Barit agrega Adana-Osmaniye bölgesinden temin edilmiştir. Siderit agrega Malatya- Hekimhan'dan temin edilmiştir. Bu agregalardan alınan numuneler üzerinde yapılan deneyleer sonucunda malzemelerin: tane büyüklüğü dağılımı, tane yoğunluğu, ince malzeme miktarı ve su emme özellikleri tespit edilmiştir. Kullanılacak olan agregalar beton karışımına girmeden önce agregalara elek analizi uygulanmıştır. Elek analizi sonucu agregalar 0-4 mm ve 4-11,2 mm olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılmıştır. Şekil 3.1, Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'te agregalara ait resimler bulunmaktadır.



Şekil 3.1. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu kalker kırmataş agregalar



Şekil 3.2. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu barit agregalar



Şekil 3.3. 4-11,2 mm ve 0-4 mm boyutlu siderit agregalar

Çalışmada kullanılan barit ve siderit agregaların kimyasal yapılarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de verilmektedir. Çizelge 3.1’e bakıldığında barit agreganın $BaSO_4$ içeriğinin, Çizelge 3.2’ye bakıldığında ise siderit agreganın Fe içeriğinin yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1. Barit agregasının kimyasal yapısına ait veriler

BaSO ₄ : %91,09	Al ₂ O ₃ : %0,20	SiO ₂ : %6,74
MgO: %0,01	MnO: %<0,01	P ₂ O ₅ : %<0,01
Na ₂ O: %0,04	Fe ₂ O ₃ : %0,01	CaO: % 0,06
K ₂ O: %0,02	TiO ₂ : %<0,01	Ateş kaybı: %0,38

Çizelge 3.2. Siderit agregasının kimyasal yapısına ait veriler

Fe: %38,00	Mn: %3,50	SiO ₂ : %3,00
MgO: %3,50	Al ₂ O ₃ : %1,00	S: %0,25
P: %0,01	As: %0,03	Zn: %0,04
Cu: %0,03	TiO ₂ : %0,02	Pb: %0,01
K ₂ O + Na ₂ O: %0,10	CaO: %2,75	Ateş kaybı: %35

Karışımlarda kullanılan agregaların en büyük tane boyutu D_{max} 11,2 mm olarak belirlenmiştir. Karışımlarda kullanılan her bir agrega türü için fuller eğrisi oluşturulmuştur ve agrega karışımlarının granülometrileri bu eğriye yakın olacak şekilde belirlenmiştir. Fuller eğrisinin ordinatları (3.1) eşitliğine göre hesaplanmıştır.

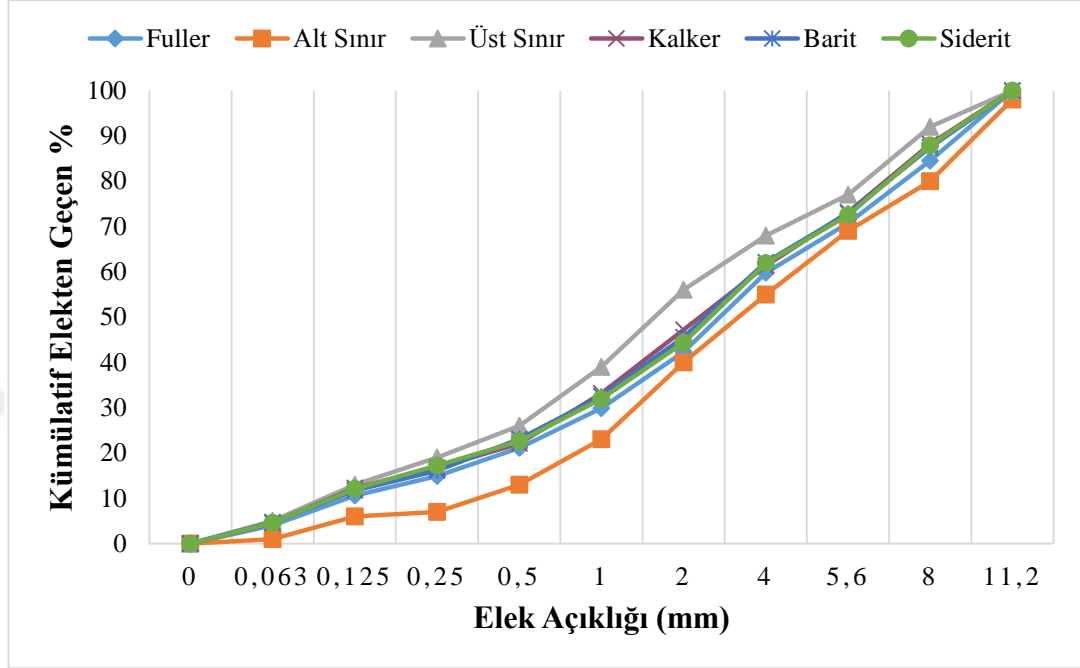
$$P = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (3.1)$$

D: En büyük agrega tane boyutu olan 11,2 mm'yi

d: 0 ile 11,2 mm arasında kullanılan herhangi bir agrega boyutunu ifade etmektedir.

Betonlara ait karışımların granülometri eğrileri, alt sınır üst sınır ve fuller eğrisi ile birlikte verilmiştir. Çalışmada siderit agreganın 0-4 mm boyutlu kısmı yerine ince agrega olarak 0-4 mm boyutlu barit agregası kullanılmıştır.

Beton karışımında kullanılacak olan agregaların tane dağılımı; TS EN 933-1'de [91] belirtilen esaslara uygun olarak belirlenmiştir. Şekil 3.4'te karışımlarda kullanılan agregalara ait tane dağılım grafiği verilmiştir.



Şekil 3.4. Karışımlarda kullanılan agregalara ait elek analizi grafiği

Şekil 3.4 incelendiğinde agrega boyutlarının alt sınır ve üst sınır eğri ileri arasında kaldığı ve fuller eğrisi ile karışımların granülometri eğrilerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum da betonun agrega gradasyonlarının iyi özellikte olduğunu kanıtlamaktadır. Karışımlarda kullanılan agregaların granülometri eğrilerinin sınır değerleri arasında ve fuller eğrisi ile yakın değerlerde olması beton dayanımına olumlu yönde etki etmiştir.

Çimento: Çalışma kapsamında CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel, basınç dayanımı özellikleri sırasıyla Çizelge 3.3, Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Bileşenler	Analiz Sonucu (%)
CaO	68,50
SiO ₂	12,48
Al ₂ O ₃	3,69
Fe ₂ O ₃	8,72
MgO	1,29
Na ₂ O	0,35
K ₂ O	0,99
SO ₃	3,92
Kızdırma Kaybı	1,98

Çizelge 3.4. Çimentonun fiziksel özellikleri

Yapılan Kontroller	TS EN 197-1	Analiz Sonucu
Özgül yüzey (Blaine) (cm ² /g)		3355
Özgül Ağırlık		3,11
İncelik 32 µm üstü (%)		17,5
İncelik 40 µm üstü (%)		8,6
Priz Başlangıcı (dakika)	60≤	156
Priz Sonu (dakika)		209
Hacim Genleşmesi (mm)	Maks/≤10	1

Çizelge 3.5. Çimentonun basınç dayanımı özellikleri

Yapılan Kontroller	TS EN 197-1	Analiz/Kontrol Sonucu
2 Günlük (MPa)	Min 20	26,1
7 Günlük (MPa)		37,3
28 Günlük (MPa)	42,5-62,5	48,0

Kimyasal Katkı: Karışımda çimento miktarının %1,3'ü oranında yeni nesil polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Karışımda kullanılan kimyasal katkı Şekil 3.5'te ve katkının özellikleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkının özellikleri

Özellikler	Değerler
Görünüm	Sıvı
Renk	Kahverengi
Yoğunluk	1,060 ± 0,02 g/cm ³
pH	5,00 ± 1
Klorür İçeriği	<%0,1



Şekil 3.5. Karışımda kullanılan polikarboksilat esaslı akışkanlaştırıcı

Lif Katkısı: Çalışmada yüksek sıcaklık etkisinde oluşacak hasarları minimize etmek, parça atmaları engellemek amacıyla polipropilen lif kullanılmıştır. Kullanılan polipropilen lif Şekil 3.6'da ve life ait özellikler Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Polipropilen lif özellikleri

Özellikler	Değerler
Kompozisyon	% 100 Polipropilen
Enkesit	Yuvarlak
Standart	ASTM C-1116
Fiber Boyu	19 mm
Fiber Çapı	0,056 mm
Çekme Direnci	1100 N/mm ²
Dinamik Modülü	3.000-3.500 N/mm ²
Genişleme	% 20 – 25
Özgül Ağırlık	0,91
Renk	Transparan
Yumuşama Sıcaklığı	150-160 °C
Erime Sıcaklığı	210-240 °C
Tutuşma Sıcaklığı	550-560 °C



Şekil 3.6. Karışımda kullanılan polipropilen lif

Karışım Suyu: Beton karışımında kullanılan su betona zarar verebilecek madde bulandırmayan Ankara ili içme suyudur. Kullanılan suyun özellikleri Çizelge 3.8’de verilmiştir.

Çizelge 3.8. Karışım suyunun özellikleri

Parametreler	Ankara Şebeke Suyu Kalitesi	TS 266 Türk Standartları Enstitüsü	SAĞLIK BAKANLIĞI İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmelik Değerleri
Renk (Pt-Co Birimi)	<5	20	* Yok
Bulanıklık (NTU Birimi)	0,30	1	1
Koku	Yok	Yok	* Yok
Tat	Normal	Normal	* Normal
Bakiye Klor (mg/l)	0,9	...	Uç noktada 0,5
pH	7,5	$6,5 \leq \text{pH} \leq 9,5$	$\geq 6,5 \text{ pH} \leq 9,5$
Elektriksel İletkenlik (Y = 25 °C, mS/m)	24,6	250	250
Alüminyum (µg/l)	38	200	200
Amonyum (mg/l)	<0,06	0,5	0,5
Demir (µg/l)	<5	200	200
Nitrit (mg/l)	<0,006	0,5	0,5
Sülfat (mg/l)	29,2	250	250
Toplam Alkalinite (mg/l CaCO ₃)	85
Enterobakter (100 ml.)	0	0	0
E. Coli (100 ml.)	0	0	0
Koliform Bakteri (100 ml.)	0	0	0

Beton Mikseri: Çalışmada Şekil 3.7’de görülen laboratuvar tipi beton mikseri kullanılmıştır. 80 dm³ beton ile birlikte mikserin karıştırma hızı 57 devir/dakikadır.



Şekil 3.7. Laboratuvar tipi beton mikseri

Kalıplar: Çalışmada küp numunelerin üretilmesi için 10×10×10 cm boyutlu standart plastik kalıplar kullanılmıştır. 30×30×3.5 cm boyutlu plaka numuneler için ise ahşap kalıplar imal edilmiştir. Şekil 3.8’de çalışmada kullanılan kalıplar görülmektedir.



Şekil 3.8. Beton numune üretiminde kullanılan kalıplar

Çökme Konisi ve Sarsma Tablası: Çökme konisi; üst çapı 10cm alt çapı 20 cm yüksekliği 30 cm olan çökme deneyinde kullanılan konidir. Sarsma tablası ise üretilen betonun kalıplara boşluksuz bir şekilde yerleşmesini sağlayan titreşimli cihazdır.

Yüksek Sıcaklık Kül Fırını: Çalışma kapsamında numunelerin yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılması için Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne Tübitak 117M880 nolu proje kapsamında alınan Şekil 3.9'da görülen 1300°C kapasiteli yüksek sıcaklık kül fırını kullanılmıştır.



Şekil 3.9. 1300°C kapasiteli yüksek sıcaklık fırını

Pres: Çalışma kapsamında numunelerin basınç dayanımları Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda test edilmiştir. Şekil 3.10'da kullanılan 2000 kN kapasiteli, hidrolik beton presi görülmektedir.



Şekil 3.10. Çalışmada kullanılan beton presi

3.2. Metot

Çalışmada kullanılan yöntemler agrega deneylerinin yapılması, karışımın hazırlanması, taze haldeki deneylerin yapılması, betonun kalıplara yerleştirilerek numunelerin üretilmesi, kür uygulanması, numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması, soğutma uygulamaları, sertleşmiş haldeki beton deneylerinin yapılması (ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyi, radyasyon soğurma katsayıları deneyi) ve değerlendirme aşamalarından oluşmaktadır.

Agrega deneyleri, beton karışımının hazırlanması, taze beton deneyleri, kür uygulaması Sigma Beton Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Yüksek sıcaklık uygulamaları, soğutma uygulamaları, ultrases geçiş hızı testi, basınç dayanımı testi Kırıkkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Radyasyon soğurma testleri ise Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nda yaptırılmıştır.

3.2.1. Agregada Deneylerinde Kullanılan Yöntemler

Çalışmada kullanılan ince ve iri agregaların tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini TS EN 1097-6 [92] standardına uygun olarak belirlenmiştir. Deney sonuçlarına ait veriler Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Tane yoğunluğu ve su emme

Agrega türü (mm)	Tane yoğunluğu (Mg/m ³)	Su emme %
Kırmataş 0-4 mm	2,64	2
Kırmataş 4—11,2 mm	2,71	0,18
Barit 0-4 mm	4,11	0,94
Barit 4-11,2 mm	4,05	1,11
Siderit 4-11,2 mm	3,61	0,62

Çalışma kapsamında ince agregalara TS EN 933-9 [93] standardına uygun olarak metilen mavisi testi uygulanmıştır. Deney sonuçlarına ait veriler Çizelge 3.10'da verilmiştir. Çizelge 3.10 incelendiğinde agregalara ait MB değerlerinin kabul edilebilir sınırlar içerisinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.10. Agregaların metilen mavisi deneyi sonuçları

Kalker kırmataş	Ortalama deney numunesi kütlesi M1 (g)	Kullanılan çözeltilerin hacmi V1 (ml)	(MB) Değeri $MB=(V_1/M_1) \times 10$
	225,95	25	1,11
Barit	Ortalama deney numunesi kütlesi M1 (g)	Kullanılan çözeltilerin hacmi V1 (ml)	(MB) Değeri $MB=(V_1/M_1) \times 10$
	225,70	5	0,22

3.2.2. Beton Karışımının Hazırlanması

Çalışma kapsamında üretilen betonların karışım hesabı TS EN 802 “Beton Karışım Hesap Esasları” standardına [94] uygun olarak belirlenmiştir. Karışım hesaplarında beton dayanımı olarak C35 sınıfı esas alınmıştır. Kalker kırmataş, barit ve siderit olmak üzere üç farklı tip agrega ile beton üretilmek üzere üç farklı karışım hesabı yapılmıştır. Tüm karışımlarda çimento dozajı 450 kg/m^3 , polipropilen lif miktarı 3 kg/m^3 , akışkanlaştırıcı katkı miktarı çimentonun %1,3 oranında ve su/çimento oranı 0,40 belirlenerek üretim gerçekleştirilmiştir. Beton karışım süresi 90 s olarak belirlenmiştir. 1000 dm^3 beton için, karışımlara giren malzemeler Çizelge 3.11’de görülmektedir.

Çizelge 3.11. Beton karışımlarına giren malzemeler

Malzeme	NB	BB	SB
Çimento (kg)	450	450	450
Su (kg)	180	180	180
Kalker kırmataş (kg)	955	-	-
Kalker kırmataş (kg)	791	-	-
Barit (0-4mm) (kg)	-	1448	1434
Barit (4-11.2) (kg)	-	1225	
Siderit (0-4mm) (kg)	-	-	-
Siderit (4-11.2mm) (kg)	-	-	1086
Süper akışkanlaştırıcı (kg)	5.85	5.85	5.85
Polipropilen lif (kg)	3	3	3
Toplam(kg)	2384.85	3311.85	3158.85
s/ç	0.40	0.40	0.40

3.2.3. Betonun Kalıplara Yerleştirilmesi ve Kür Uygulanması

Beton karışımları üretim tamamlandıktan sonra 10×10×10 ve 30×30×3.5 cm boyutlu kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplara yerleştirilen beton sarsma tablasında 15 saniye süreyle sıkıştırılmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış, 20 ± 2 °C’ deki kirece doymun kür havuzunda 28 gün süreyle kür edilmiştir. Beton karışımlarının kalıplara yerleştirilmesi ve bakımı TS 1247 “Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında)” standardına [95] uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3.2.4. Yüksek Sıcaklık Uygulamaları

Numuneler 28 günlük kürden sonra kür havuzundan çıkarılmıştır. Yüksek sıcaklık uygulaması öncesinde numuneler 48 saat etüvde ($105\pm 5^{\circ}\text{C}$) bekletilmiştir. 1300°C kapasiteli fırında gerçekleştirilen ısıtma işleminin planı Çizelge 3.12.'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Yüksek sıcaklık uygulamasının planı

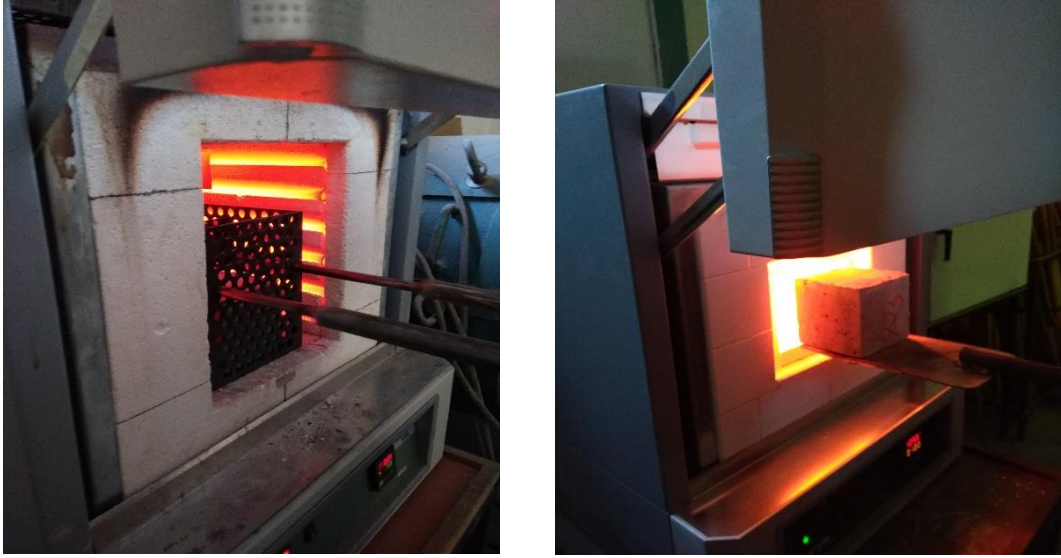
	Küp Numune 10×10×10 cm			Plaka Numune 30×30×3.5 cm		
	NB	BB	SB	NB	BB	SB
20°C	3	3	3	1	1	1
300°C	3	3	3	1	1	1
600°C	3	3	3	1	1	1
900°C	3	3	3	1	1	1
1300°C	3	3	3	1	1	1

Referans alacağımız numuneler ise laboratuvar ortamında ($22\pm 2^{\circ}\text{C}$) bekletilmiştir. Numunelerin yüksek sıcaklık etkisiyle patlayıp fırına zarar vermemesi için fırında çelik kafesler ve 2500°C 'ye kadar dayanabilen alüminasilikat esaslı malzeme ile yapılan kafesler kullanılmıştır. Kullanılan kafesler Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11. Çalışmada kullanılan numuneleri ve fırını koruyan kafesler

Yüksek sıcaklık uygulaması öncesinde etüvde bekletilen numuneler, etüvden çıkarıldıktan sonra kafeslere yerleştirilmiştir. 10°C/dk sıcaklık artışı ile çalışan ve istenilen sıcaklığa getirilen fırına numuneler yerleştirilmiştir. İlgili yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler fırında 3 saat süre ile bekletilmiştir. Şekil 3.12’de ilgili numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılma anı görülmektedir.



Şekil 3.12. Numunelerin yüksek sıcaklığa maruz bırakılması

3.2.5. Soğutma Uygulamaları

300, 600, 900 ve 1300°C’deki yüksek sıcaklıklarda 3 saat süreyle bekletilen numunelerin soğutulması için geçen süre sıcaklık derecesi ile doğru orantılı olarak artmıştır. 3 saat süre sonunda yüksek sıcaklık uygulaması biten numuneler fırın içinden çıkarılmadan geri soğutma programı ile soğutulmuştur. Numunelerin sıcaklıkları laboratuvar ortamının sıcaklığına gelene kadar ($22\pm 2^\circ\text{C}$), 5-24 saat süreyle fırın içerisinde soğumaya bırakılmıştır. Soğutma işlemi tamamlanan ve sıcaklığı laboratuvar ortamının sıcaklığına gelen numuneler fırın içerisinden çıkarılmış ve beton deneyleri için hazırlanmıştır.

3.2.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri ve Gözlemler

28 gün kür edilen numunelere ve yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelere ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı testi ile birim hacim ağırlık testleri yapılmış, radyasyon soğurma özellikleri belirlenmiştir. Ultrases geçiş hızı, ve basınç dayanımı testleri ve kütle kayıpları küp numuneler üzerinde (10×10×10 cm) yapılmıştır. Plaka numuneler (30×30×3.5 cm) üzerinde ise radyasyon testleri yapılmıştır. 900 ve 1300°C’de küp ve plaka numunelere parçalandıklarından dolayı ultrases geçiş hızı, birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve radyasyon soğurma testi yapılamamıştır.

3.2.6.1. Ultrases Geçiş Hızı Tayini

Çalışma kapsamında yüksek sıcaklık uygulamasına bağlı olarak betonlarda ultrases geçiş hızının değişimi araştırılmıştır. Numunelerin soğutma işlemleri tamamlandıktan sonra ultrases geçiş hızı testi yapılmıştır. Küp numuneler üzerinde yapılan bu test numunenin farklı yüzeylerinde yapılarak daha doğru sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Her karışımın bütün sıcaklık değerleri için bu deney uygulanmıştır. Cihazdan okunan geçiş süresi hız değerine çevrilmiştir. Deney ASTM C 597 standardına [96] uygun olarak yapılmıştır. Okunan geçiş süresi ses hızına (3.2) eşitliği yardımıyla çevrilmiştir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (3.2)$$

V= Ultrases geçiş hızı (km/s),

L= Ölçü boyu (km),

t= Ses geçiş süresi (saniye)

3.2.6.2. Basınç Dayanımı Deneyi

Çalışmada 10×10×10 cm boyutlu üretilen küp numuneler üzerinde basınç dayanımı testi yapılmıştır. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ölçülmüştür. Deney TS EN 12390-3 “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini” standardına [97] uygun olarak yapılmıştır. Numunelerden 900 ve 1300 °C sıcaklığa maruz bırakılanların yüksek sıcaklık etkisiyle ufalandığından dolayı basınç dayanımları tespit edilememiştir.

3.2.6.3. Kütle Kaybı

Çalışma kapsamında 10×10×10 cm boyutlu küp numunelerin kütleleri (kg) hassas terazi de tartılarak elde edilmiştir. Her numune için kütle değerleri hesaplanmış olup yüksek sıcaklık etkisiyle numunelerin kütle kayıpları incelenmiştir.

3.2.6.4. Radyasyon Deneyleri

Çalışma kapsamında üretilen numunelerin radyasyon yapılan deneyler, Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi tarafından yapılmıştır. Numuneler üzerinde nötron demetiyle ışınlama sonrası yavaş nötron soğurma katsayı tayini ve gama ışını lineer azaltma katsayısı tayini deneyleri uygulanıp numunelerin radyasyon soğurma tespit edilmiştir. Radyasyon soğurma deneyleri için 30×30×3.5 cm boyutlarında üretilen numuneler daha hassas ölçüm yapılabilmesi için kuru halde iken kesilerek küçültülmüştür. Nötron soğurma katsayısının tayini için 4×3.5×3 cm boyutlu numuneler kullanılırken gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini için 4×3×1.5 cm boyutlu numuneler kullanılmıştır.

Deneyler 900 ve 1300°C’lerdeki numuneler parçalandıklarından dolayı 20, 300, 600°C’lerdeki numuneler üzerinde uygulanmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısı tayininde kobalt ve sezyum kaynakları ile (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılarak deney yapılmıştır. Nötron deneylerinde

ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

Gama ışını lineer azaltma katsayılarının ölçümünde; HPGe dedektörlü gama spektrometresi kullanılmıştır. İlgili gama ışınları için, önce numune yokken spektrumlar alınmış ve gama ışını pik alanları (I_0) tespit edilmiştir. Daha sonra gama ışını ile dedektör arasına ayrı ayrı numuneler yerleştirilerek numuneyi geçen gama ışını demeti için spektrumlar alınmış ve gama ışını pik alanları ($I(x)$) tespit edilmiştir. Gama ışını lineer azaltma katsayıları belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 1.5 cm kullanılmıştır. Lineer azaltma katsayıları (3.3) eşitliği ile hesaplanmıştır.

$$\mu = \frac{\ln \frac{I(x)}{I_0}}{x} \quad (3.3)$$

x: Hedef numune kalınlığı (cm),

I_0 : Numune yokken alınan sayım,

I_x : X kalınlığında alınan sayım

μ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısı

Çalışmada gama ışınları için radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırhlama kalınlıkları olan yarı değer kalınlık değerleri (3.4) eşitliği yardımıyla hesaplanmıştır.

$$X_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (3.4)$$

$X_{1/2}$: Yarı değer kalınlığı (cm),

μ : Deneysel olarak saptanan lineer azaltma katsayısı

Nötron soğurma katsayısının tayini için yapılan ölçümlerde nötron aktivasyon monitörü olarak $^{115}\text{In}(n,\gamma)^{116\text{m1}}\text{In}$ nükleer reaksiyonu kullanılmıştır. $^{116\text{m1}}\text{In}$ radyoaktif izotopunun gama spektrometresi ile gama spektrumu alınmış ve spektrumdaki ana gama enerjileri olan 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV gama ışını piklerinin pik alanları kaydedilmiştir. Bu işlem orijinal termal nötron demeti ile ışınlamadan elde edilen monitör aktifliği ve hedef numune tarafından zayıflatılan yavaş nötron demeti ile ışınlamadan elde edilen aktifliğin kaydedilmesi şeklinde ayrı ayrı tekrarlanmıştır. Nötron soğurma katsayısı belirlenirken numune kalınlığı olarak tüm numunelerde 3 cm kullanılmıştır. Eşitlik (3.5) kullanılarak termal nötron soğurma katsayısı ölçülmüştür.

$$I(x) = I_0 e^{-\Sigma_T x} \quad (3.5)$$

x: Hedef numune kalınlığı (cm),

I_0 : Orijinal nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları,

I_x : Hedef numuneyi geçen nötron demetinden elde edilen gama ışını pik alanları

Σ_T : Termal nötron soğurma katsayısı (makroskopik tesir kesiti)

4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde çalışma kapsamında üretilen beton numunelerin taze beton özelliklerine ve sertleşmiş beton özelliklerine ait bulgular verilmektedir.

4.1. Taze Beton Deneylerine Ait Bulgular

Çalışmada 3 karışım için de slump deneyi ve birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır. Taze betonun çökme miktarının belirlenmesi TS EN 123510-2 “Beton- Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi” standardına [98] uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.1’de taze beton deneylerine ait sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 4.1. Taze beton deneyleri sonuçları

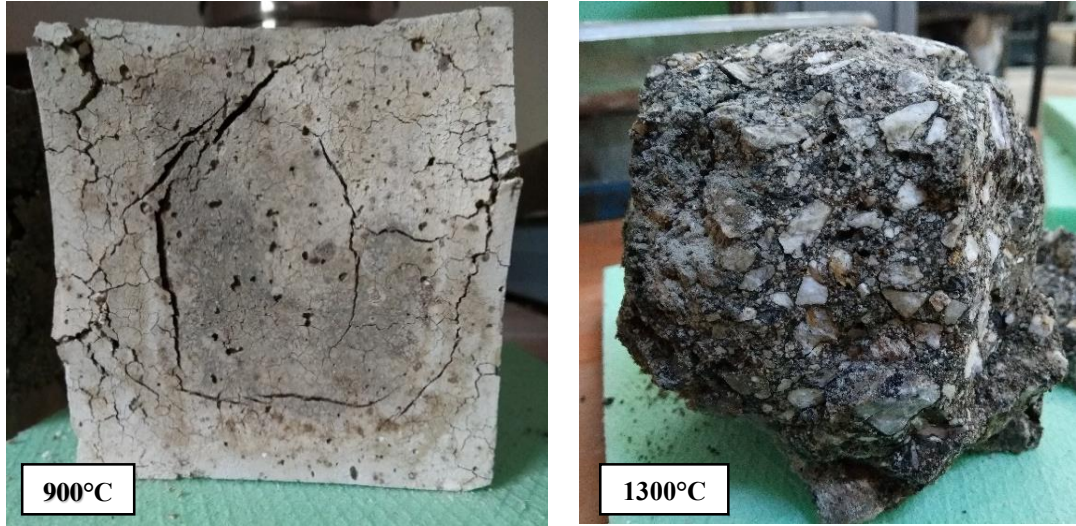
Numune	Çökme değeri (mm)	Birim hacim ağırlık (kg/m ³)	Beton sıcaklığı (°C)
NB	50	2370	18,5
BB	55	3220	18,5
SB	35	3130	18,5

Çizelge 4.1’de çökme değeri en yüksek olan numunenin barit agregalı ağır beton olduğu görülmektedir. Taze haldeki birim hacim ağırlık değerleri arasında en yüksek değer barit agregalı ağır betonda gözlenmiştir.

4.2. Sertleşmiş Beton Deneylerine Ait Bulgular

Çalışma kapsamında 20°C, 300°C, 600°C, 900°C ve 1300°C’lerde işlem gören beton numunelerin ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, kütle kaybı, radyasyon soğurma özellikleri tespit edilmiştir. 900°C ve 1300°C’de yüksek sıcaklığa maruz bırakılan

numuneler yüksek sıcaklık etkisiyle çok tahrip olduğundan dolayı numunelerin sertleşmiş beton özellikleri tespit edilememiştir. Şekil 4.1’de 900°C ve 1300°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler görülmektedir.

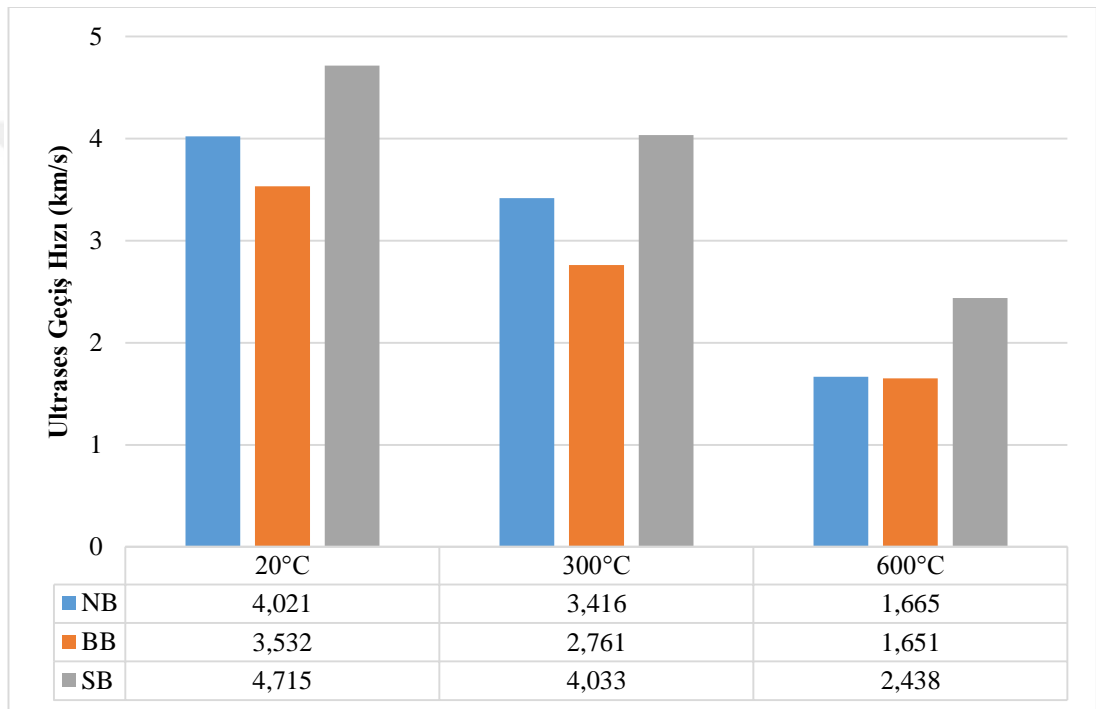


Şekil 4.1. 900°C ve 1300°C yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numuneler

Şekil 4.1 incelendiğinde 900°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numune üzerinde uzun ve derin çatlaklar olduğu, numunenin köşe bölgelerinde parçalanmalar ve kopmaların olduğu görülmektedir. 1300°C’de yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numune incelendiğinde numunenin köşelerinde büyük oranda parçalanmaların olduğu hasar oranının arttığı köşeleri tamamen parçalanmış küp numunenin yuvarlak bir hal aldığı görülmektedir. 900 ve 1300°C’lerde yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılan numuneler çok tahrip olduklarından ve literatürde de olduğu gibi 900°C ve sonrası sıcaklıklarda CSH yapısı tamamen bozulduğundan numunelerin sertleşmiş beton özellikleri tespit edilememiştir.

4.2.1. Ultrases Geçiş Hızı Testi

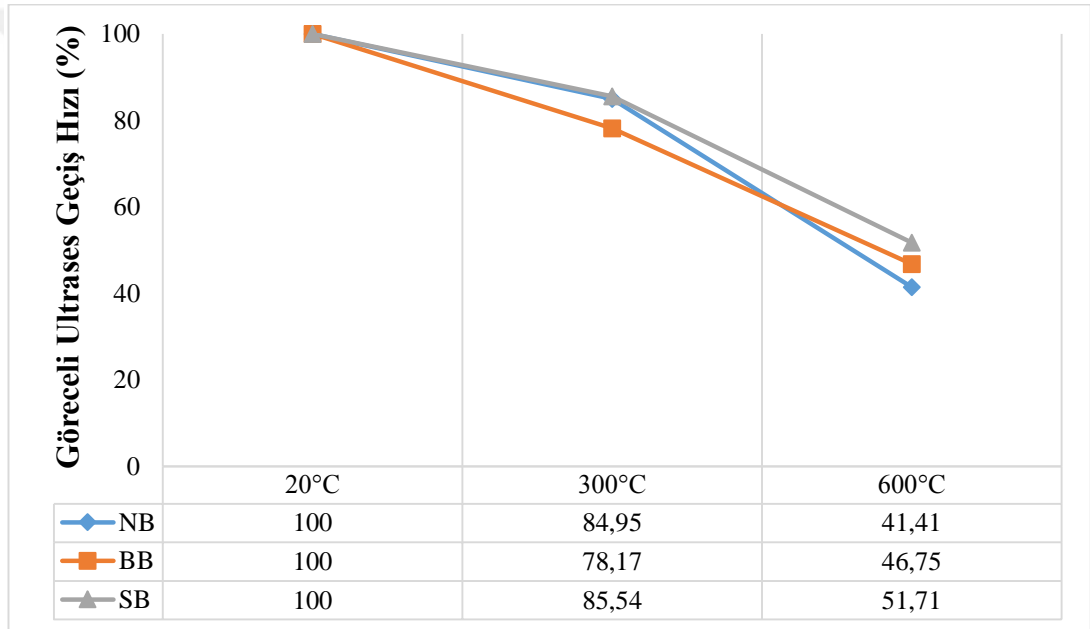
Ultrases geçiş hızı testi uygulanırken bir noktadan gönderilen ultrasonik dalganın ortamda ilerleme (geçiş) hızı, ortamın yoğunluğuna ve boşluk yapısına bağlıdır. Çalışma kapsamında ultrases geçiş hızı testi numunelerin boşluk yapısı hakkında fikir sahibi olmak için uygulanmıştır. Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin ultrases geçiş hızlarına ait veriler bulunmaktadır.



Şekil 4.2. Üretilen numunelerin ultrases geçiş hızlarının karşılaştırması

Şekil 4.2'ye göre farklı yüksek sıcaklık etkilerine maruz bırakılan 3 tip betonun ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde; yüksek sıcaklık etkisine maruz kalmamış 20°C'deki siderit agregalı ağır betonun 4,715 km/s ile en yüksek ultrases geçiş hızı değerini aldığı, 600°C'deki barit agregalı ağır betonun ise en düşük değeri aldığı görülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisine maruz bırakılmayan 20°C'de 3 tip beton içerisinde en yüksek değeri 4,715 km/s ile siderit agregalı ağır betonun, en düşük değeri 3,532 km/s ile barit agregalı ağır betonun aldığı görülmüştür.

Sıcaklık etkisinin beton kalitesini düşürdüğü, sıcaklık derecelerinin artmasıyla kalitenin daha da düştüğü görülmektedir. Sıcaklık derecesinin artmasının betondaki boşlukları arttırdığı bundan dolayı da ultrases geçiş hızının azaldığı gözlemlenmiştir. Yüksek sıcaklık etkisinin betonun boşluk yapısının olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Tüm seriler içerisinde en iyi ultrases geçiş hızı değerlerinin siderit agrega ile üretilen ağır betonda görüldüğü, siderit agregalı ağır betonun beton kalitesinin barit agregalı beton ve kalker agregalı normal betona göre daha iyi olduğu ve diğer numunelere göre siderit agregalı ağır betonun daha az boşluklu yapıya sahip olduğu söylenebilir.



Şekil 4.3. Beton numunelere ait göreceli ultrases geçiş hızı değerleri

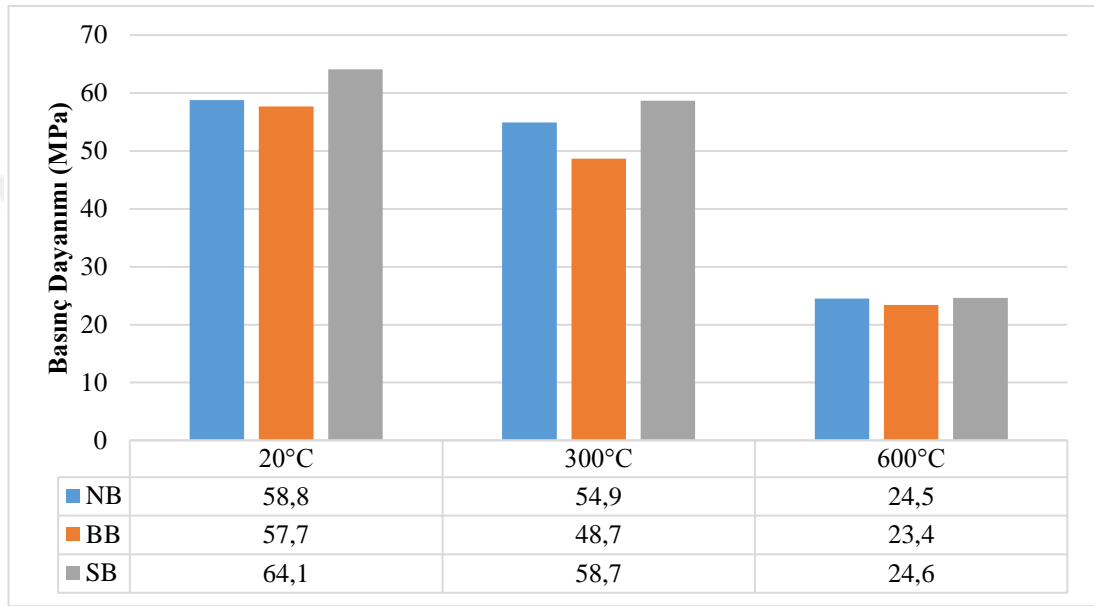
Şekil 4.3 incelendiğinde yüksek sıcaklık etkisiyle beton numunelerin ultrases geçiş hızlarındaki düşüşlerin yüzde olarak karşılaştırılması görülmektedir. Kalker agregalı normal betonun ultrases geçiş hızı düşüşlerin yüzdeleri incelendiğinde; 20°C'den 300°C'ye geçildiğinde ultrases geçiş hızının %15,05'ini kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçildiğinde ise ultrases geçiş hızının %58,59'unu kaybettiği görülmektedir. Barit agregalı ağır betonun ultrases geçiş hızı düşüşlerin yüzdeleri incelendiğinde; 20°C'den 300°C'ye geçildiğinde ultrases geçiş hızının %21,83'ünü kaybettiği,

20°C'den 600°C'ye geçildiğinde ise ultrases geçiş hızının %53,25'ini kaybettiği görülmektedir. Siderit agregalı ağır betonun ultrases geçiş hızı düşüşlerin yüzdeleri incelendiğinde; 20°C'den 300°C'ye geçildiğinde ultrases geçiş hızının %14,46'sını kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçildiğinde ise ultrases geçiş hızının %48,29'unu kaybettiği görülmektedir.

20°C'den 300°C'ye geçişte göreceli olarak en az ultrases geçiş hızı kaybı %14,46 kayıp ile siderit agregalı ağır betonda görülmüştür. 20°C'den 600°C'ye geçişe bakıldığında en az ultrases geçiş hızı kaybının %48,29 kayıp ile siderit agregalı ağır betonda olduğu, ultrases geçiş hızı değerlerinde meydana gelen kayıpların yaklaşık olarak aynı orana ulaştığı, numunelerin ultrases geçiş hızı değerlerinin yarısını kaybettikleri görülmektedir. Yüksek sıcaklığın ultrases geçiş hızı üzerindeki etkisi incelendiğinde en az performans kaybını siderit agregalı ağır betonun gösterdiği görülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisiyle ultrases geçiş hızı değerlerindeki kayıplarında arttığı tespit edilmiştir.

4.2.2. Basınç Dayanımı

Yapılan çalışmada basınç dayanımının yüksek sıcaklık etkisi ile değişimi incelenmiştir. 300, 600, 900 ve 1300°C’lerde yüksek sıcaklık etkisine 3 saat süreyle maruz bırakılan ve 20 °C’de laboratuvar ortamında bekletilen numunelerin basınç dayanımlarına ait veriler Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’te verilmiştir.



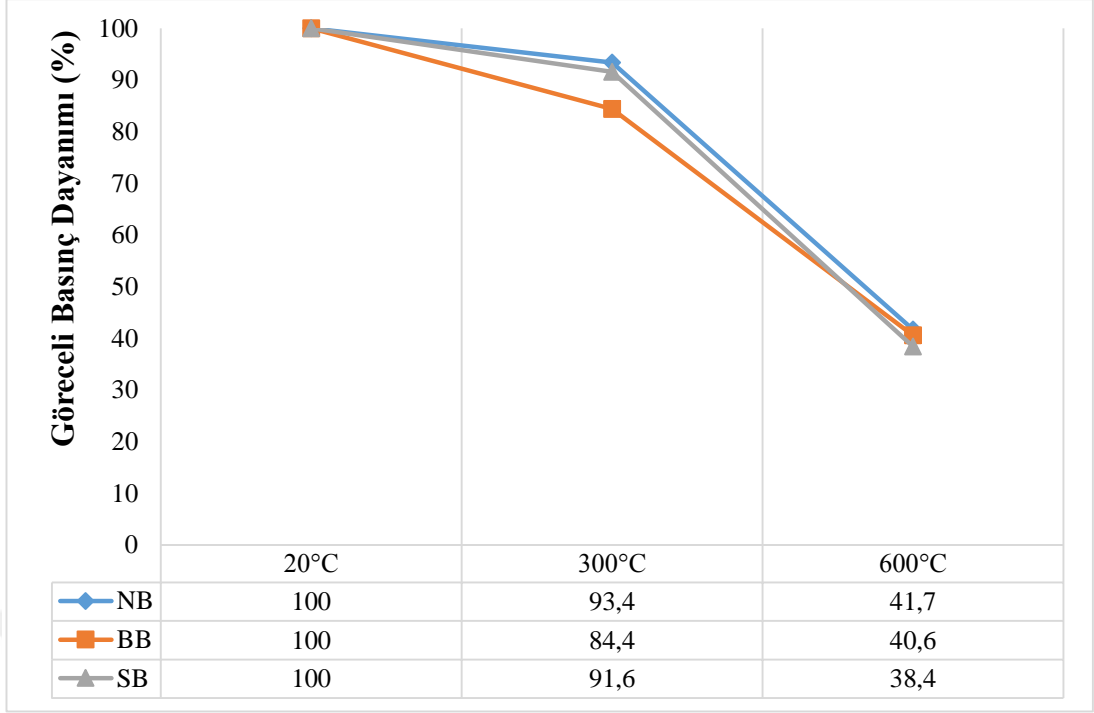
Şekil 4.4. Numunelerin basınç dayanımlarının karşılaştırması

Şekil 4.4’e göre üretilen farklı tip betonların yüksek sıcaklık etkisindeki basınç dayanımları incelendiğinde; tüm seriler içerisinde en yüksek basınç dayanımı yüksek sıcaklığa maruz kalmamış numunelerde 20°C gözlemlenmiştir. 20°C’deki numuneler arasında en yüksek basınç dayanımı 64,1 MPa ile siderit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. 20°C’deki kalker agregalı normal betonun basınç dayanımı değeri 58,8 MPa iken barit agregalı ağır betonun basınç dayanımı değeri 57,7 MPa’dır. 300°C’deki en yüksek basınç dayanımı 58,7 MPa değerine sahip olan siderit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. 300°C’de kalker agregalı normal betonun basınç dayanımı değeri 54,9 MPa iken barit agregalı ağır betonun basınç dayanımı değeri 48,7 MPa’dır. 600°C’de en yüksek basınç dayanımı 24,6 MPa değerine sahip olan siderit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. 600°C’de kalker agregalı normal betonun basınç

dayanımı değeri 24,5 MPa iken barit agregalı ağır betonun basınç dayanımı değeri 23,4 MPa'dır. Yüksek sıcaklık etkisinin tüm serileri olumsuz etkilediği, sıcaklık derecesinin artmasıyla basınç dayanımlarında ciddi düşüşler görölmektedir.

600°C'de numunelerin basınç dayanımlarının neredeyse eşitlendiği görölmektedir. 300°C sıcaklıkta beton bünyesinden buharlaşan serbest su ve bununla birlikte çimento hamurundaki bağların zayıflaması sebebiyle 600°C'deki basınç dayanımlarının birbirine yaklaştığı söylenebilir.

Tüm seriler içerisinde en iyi basınç dayanımı sonuçları siderit agregalı ağır betonda gözlemlenirken en düşük sonuçlar barit agregalı ağır betonda gözlemlenmiştir. Literatürde Ortega vd. [99] yaptıkları çalışmalarında barit agregası ile üretilen betonlarda karışım süresinin basınç dayanımını etkilediğini, karışım süresinin artmasının arayüzde zayıf bölgelerin oluşmasına sebep olduğunu ve bu durumda basınç dayanımını düşürdüğünü tüm unlardan dolayı barit agregalı betonlarda karışım süresine dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamıştır. Ayrıca yüksek sıcaklık etkisiyle numunelerin bünyelerinde bulundurdukları serbest suyu kaybetmeleri ve bununla birlikte çimento hamurundaki bağların zayıflamasının basınç dayanımı kayıplarına neden olduğu söylenebilir.

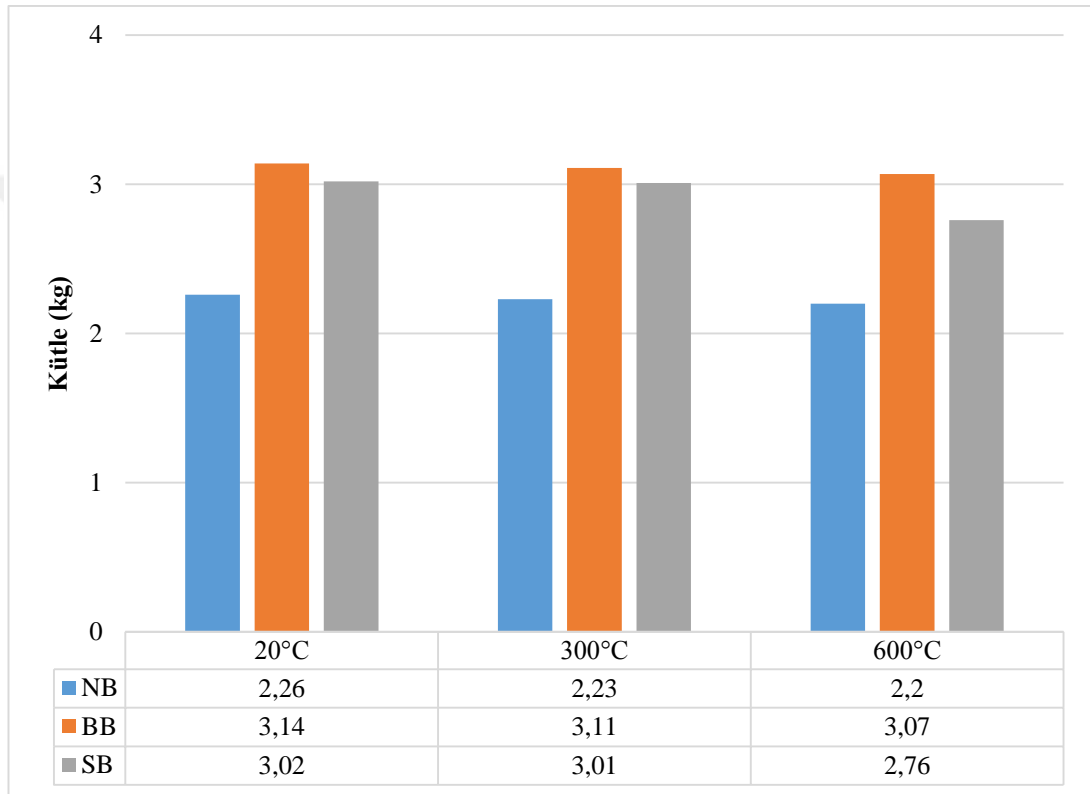


Şekil 4.5. Beton numunelere ait göreceli basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.5 incelendiğinde kalker agregalı normal betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte dayanımının %6,6'sını kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %58,3'ünü kaybettiği, barit agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte dayanımının %15,6'sını kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %59,4'ünü kaybettiği, sident agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte dayanımının %8,4'sını kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %61,6'sını kaybettiği görülmektedir. Sonuçlar performans kaybı açısından değerlendirildiğinde en az dayanım kayıpları kalker agregalı normal betonda tespit edilmiştir.

4.2.3. Kütle Kaybı

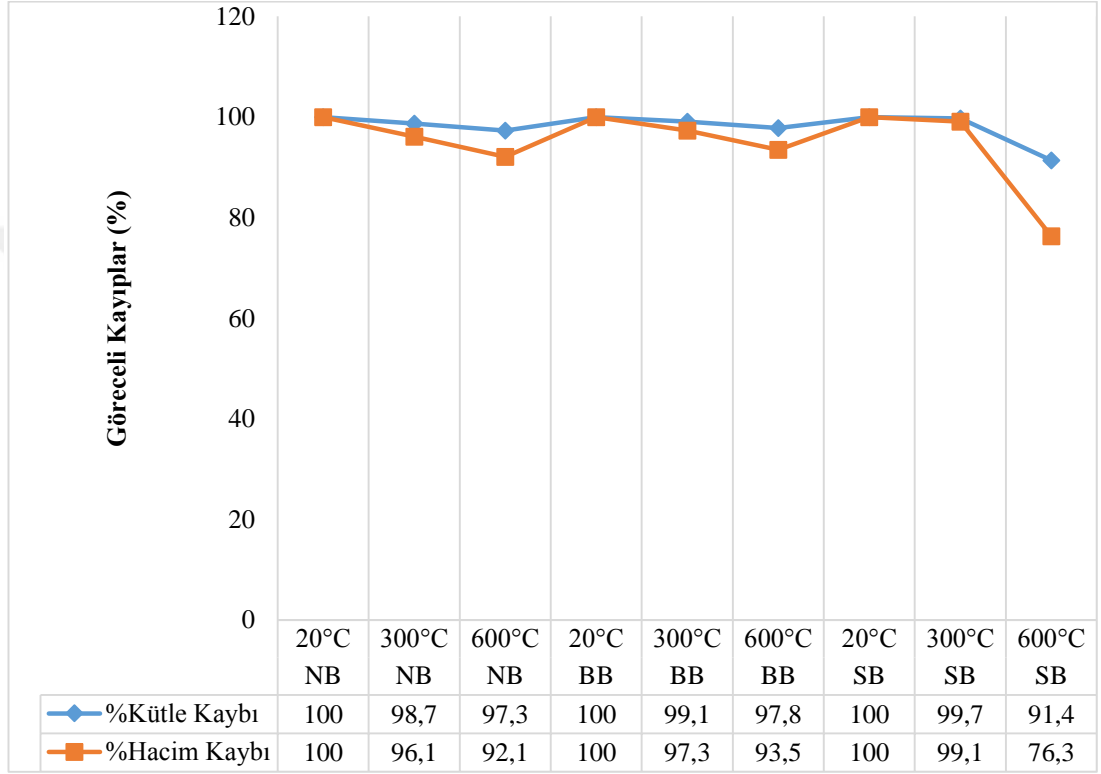
Çalışma kapsamında 10×10×10 cm boyutlu küp numunelerin kütleleri (kg) hassas terazi de tartılarak elde edilmiştir. Her numunenin kütlesi tespit edilmiş sıcaklık etkisiyle meydana gelen kütle kayıpları ve hacim kayıpları tespit edilmiştir. Şekil 4.6 ve Şekil 4.7’de numunelere ait kütle, kütle kaybı ve hacim kaybı özellikleri verilmiştir.



Şekil 4.6. Beton numunelere ait kütleler

Şekil 4.6 incelendiğinde numunelere ait kütleler görülmektedir. 20°C’de kütlesi kalker agregalı normal beton 2,26 kg, barit agregalı ağır beton 3,14 kg, siderit agregalı ağır beton 3,02 kg kütleyle sahiptir. 300°C’de kalker agregalı normal beton 2,23 kg, barit agregalı ağır beton 3,11 kg, siderit agregalı ağır beton 3,01 kg kütleyle sahiptir. 600°C’de kalker agregalı normal beton 2,2 kg, barit agregalı ağır beton 3,07 kg, siderit agregalı ağır beton 2,76 kg kütleyle sahiptir. Tüm seriler içerisinde en yüksek kütle değerini barit agregalı ağır beton vermiştir. Barit agregalı ağır betondan sonra ikinci

yüksek kütleleri beton siderit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir. Ağır agregalar kullanılarak üretildiğinden barit ve siderit agregalı ağır betonlar kalker agregalı normal betondan daha yüksek kütle değeri vermişlerdir. Yüksek sıcaklık etkisinin betonların kütle değerlerinde azalmalara neden olduğu, yüksek sıcaklık derecesinin artmasıyla kütle değerlerindeki azalmaların arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 4.7. Beton numunelere ait göreceli kütle kayıpları ve hacim kayıpları

Şekil 4.7 incelendiğinde kalker agregalı normal betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte kültresinin %1,3'ünü kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %2,7'sini kaybettiği, barit agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte kültresinin %0,9'unu kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %2,2'sini kaybettiği, siderit agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte kültresinin %0,3'ünü kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %8,6'sını kaybettiği görülmektedir. 20°C'den 300°C'ye geçişte en az kaybın %0,3 ile siderit agregalı ağır betonda, 20°C'den 600°C'ye geçişte en az kaybın %0,9 ile barit agregalı ağır betonda meydana geldiği görülmektedir. Buradan siderit ve barit

agrega ile üretilen ağır betonların performanslarının kalker agregalı normal betondan daha iyi olduğu söylenebilir.

Hacim kayıpları incelendiğinde kalker agregalı normal betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte hacminin %3,9'unu kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %7,9'unu kaybettiği görülmektedir. Barit agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte hacminin %2,7'sini kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %6,5'ini kaybettiği, siderit agregalı ağır betonun 20°C'den 300°C'ye geçişte hacminin %0,9'unu kaybettiği, 20°C'den 600°C'ye geçişte %27,3'ünü kaybettiği görülmektedir.

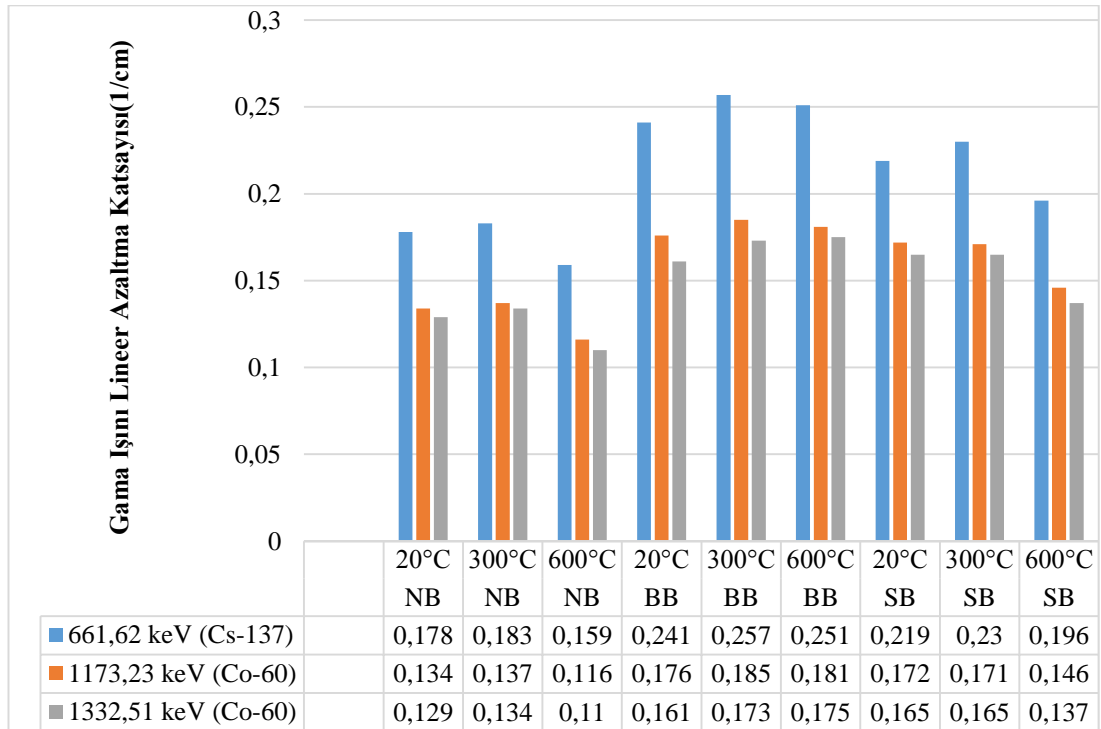
Kütle kayıplarına karşılık gelen hacim kayıplarına bakıldığında en yüksek kayıp 600°C'deki siderit agregalı ağır betonda meydana gelmiştir. 600°C'de siderit agregalı ağır beton kütle hacminin %8,6'sını kaybetmesine karşılık hacminde %27,3 kayıp meydana gelmiştir. En düşük kayıpların ise 300°C'deki siderit agregalı ağır betonda meydana geldiği görülmektedir. 300°C'de kütle hacminin %0,3'ünü kaybetmesine karşılık hacminin %0,9'unu kaybettiği gözlemlenmiştir. Kütle ve hacim kayıpları arasındaki oranlar incelendiğinde performans kaybı en az olan serinin barit agregalı ağır betonlar olduğu görülmektedir. Buradan da anlaşıldığı gibi yüksek sıcaklık etkisi numunelerde kütle kayıplarının yanı sıra hacimsel büzülme de neden olmaktadır. Özellikle 600°C'de tüm serilerde meydana gelen ani düşüşlerin sebebi 300°C'de beton bünyesinden buharlaşan serbest su ile ilişkilendirilebilir. Numunelerin bünyelerindeki serbest suyu kaybetmeleri ve bunun etkisiyle çimento hamurundaki bağların zayıflaması gibi etkenlerden dolayı 600°C'deki numunelerin kütle kayıpları artmıştır. Tüm bunlardan anlaşılmaktadır ki yüksek sıcaklık betonun özelliklerine olumsuz yönde etki etmektedir.

4.2.4. Radyasyon Soğurma Tayini

Çalışma kapsamında numunelere ait radyasyon soğurma testleri Türkiye Atom Enerjisi Kurumu Sarayköy Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi'nde yaptırılmıştır.

4.2.4.1. Gama Işını Lineer Azaltma Katsayısının Tayini

Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayini $4 \times 3 \times 1.5$ cm boyutlu numuneler üzerinde yapılmıştır. Tez çalışması kapsamında gama ışını lineer azaltma katsayısı tayini için (Cs-137) 661,62 keV, (Co-60) 1173,23 keV ve (Co-60) 1332,51 keV enerjileri kullanılmıştır. Gama ışını lineer azaltma katsayısının tayinine ait veriler Şekil 4.8, Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da da verilmiştir.



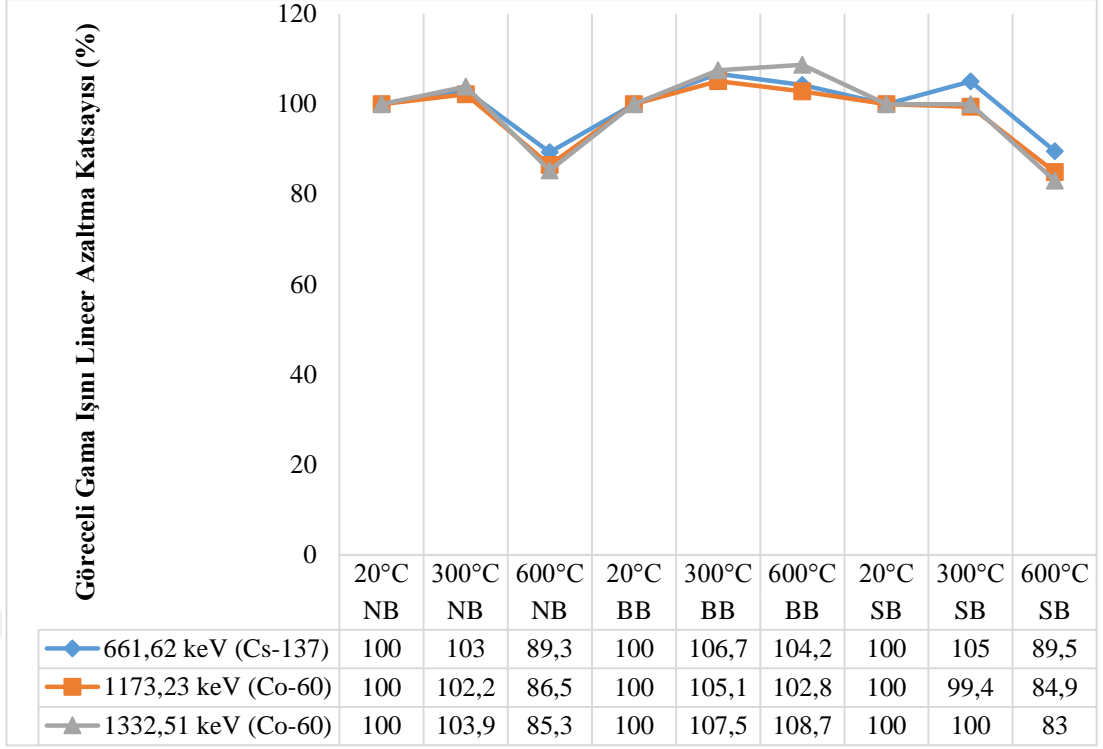
Şekil 4.8. Beton numunelere ait gama ışını lineer azaltma katsayıları

Şekil 4.8 incelendiğinde μ (lineer azaltma katsayısı) değerleri görülmektedir. Lineer zayıflatma katsayısı malzemelerin ışın zayıflatma kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Bundan dolayı radyasyon geçirimsizliği ile arasında bir ilişki söz konusudur. Lineer zayıflatma katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyonu tutma kabiliyeti de yüksektir. Yani lineer azaltma katsayısı değeri, radyasyon geçirimsizliği ile ters orantılıdır. Bu değerın düşük olması malzemenin radyasyon geçirimsizliğinin yüksek olduğunu yani malzemenin radyasyonu tutamadığını ve radyasyona karşı bir kalkan olarak kullanılamayacağını göstermektedir. Bu değerin yüksek olması ise malzemenin radyasyonu tutabildiğini ve malzemede radyasyon geçirimsizliğinin düşük olduğunu bundan dolayı da malzemenin radyasyona karşı iyi bir kalkan olabileceğini göstermektedir.

661,62 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değerlerin barit agregası kullanılarak üretilen beton numunelerde olduğu tespit edilmiştir. 20°C’de radyasyon geçirimsizliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin 0,241 cm⁻¹ ile barit agregası ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. 20°C’de siderit agregası ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının 0,219 cm⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

1173,23 keV enerji kullanılarak yapılan gama ışını soğurma testi sonucu incelendiğinde 3 seri arasında en iyi değerlerin barit agregası kullanılarak üretilen beton numunelerde olduğu tespit edilmiştir. 20°C’de radyasyon geçirimsizliği açısından en az radyasyon geçiren numunenin 0,176 cm⁻¹ ile barit agregası ile üretilen ağır beton olduğu gözlemlenmiştir. 20°C’de siderit agregası ile üretilen ağır betonun lineer azaltma katsayısının 0,172cm⁻¹ olduğu tespit edilmiştir.

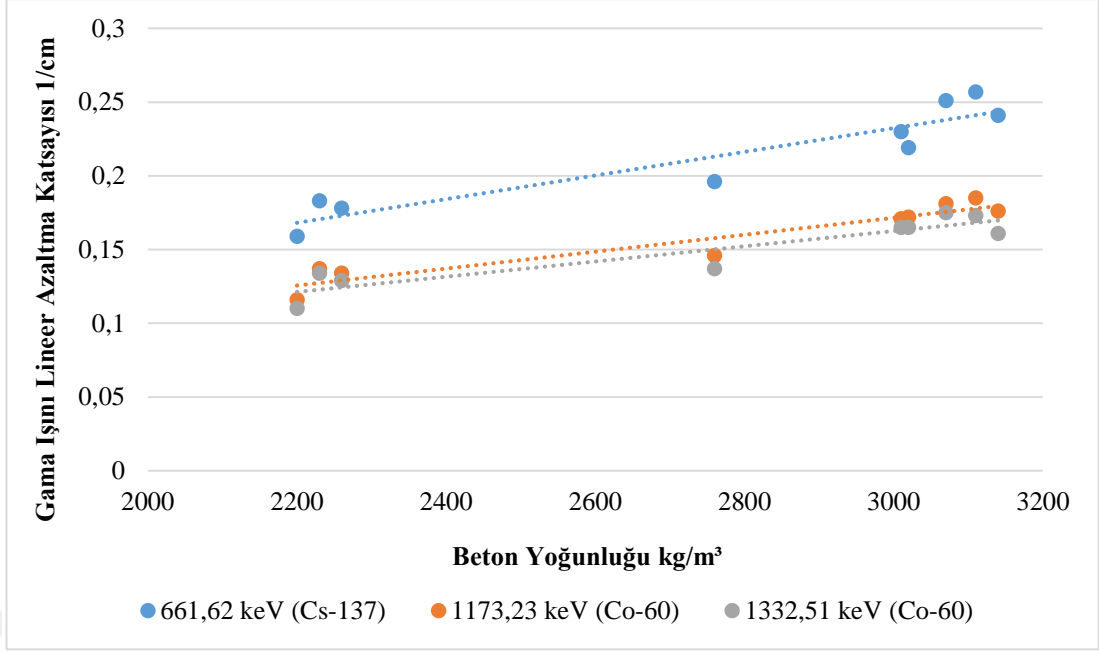
1332,51 keV kullanılarak uygulanan gama ışını soğurma testi sonuçları incelendiğinde yüksek sıcaklık uygulanmadan uygulanan test sonuçları arasında en iyi sonucu siderit agregası kullanılarak üretilen ağır betonun verdiği tespit edilmiştir. Ağır agregası kullanılarak üretilen beton numunelerinin normal agregası kullanılarak üretilen beton numunelere göre radyasyon geçirimsizliği açısından çok daha iyi zırh görevi gördüğü görülmektedir.



Şekil 4.9. Beton numunelere ait göreceli gama ışını lineer azaltma katsayısı değerleri

Şekil 4.9 incelendiğinde gama ışını lineer azaltma katsayısının göreceli olarak artış ve azalışı görülmektedir. Değerler incelendiğinde 20°C'den 300°C'ye geçişte değerlerde artış meydana gelirken 300°C'den 600°C'ye geçişte bir azalma görülmektedir. Ayrıca numuneler performans kaybı açısından değerlendirildiğinde en az performans kaybı barit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir.

Sonuç olarak μ (lineer azaltma katsayısı) değerleri incelendiğinde; radyasyon soğurmaya karşı zırh özelliği en iyi olan betonun barit agregası ile üretilen beton olduğu gözlemlenmiştir. Çünkü tüm seriler içerisinde en iyi lineer azaltma katsayısı değerlerini barit agregası ile üretilen numunelerin verdiği görülmektedir. Aynı şekilde siderit agregası ile üretilen ağır betonların da radyasyona karşı zırh özelliğinin kalker agregası ile üretilen normal betona göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ağır agregası ile üretilen numunelerin radyasyon tutuculuğunun daha yüksek olduğu görülmektedir. Bundan dolayı radyasyona karşı zırh görevi olacak bir yapı üretimi söz konusu olduğunda ağır beton kullanılmalıdır.

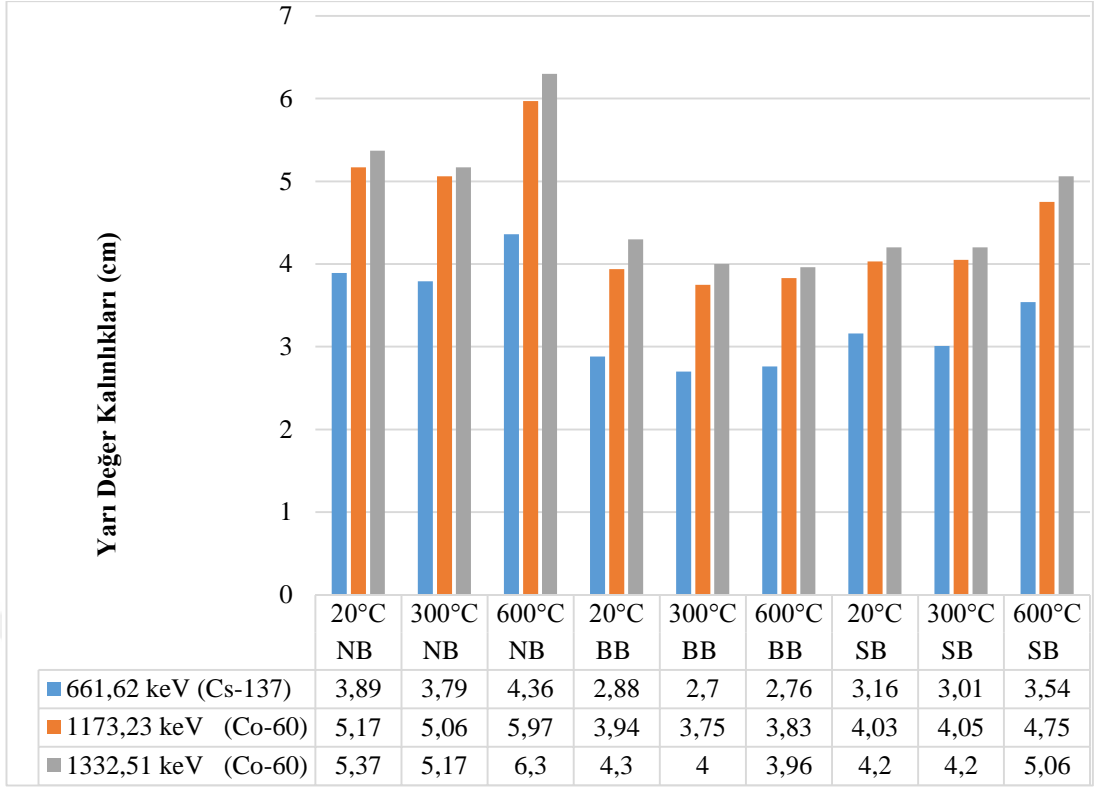


Şekil 4.10. Lineer azaltma katsayısının beton yoğunluğuna göre değişimi

Şekil 4.10 incelendiğinde beton yoğunluğu ve lineer azaltma katsayısı arasında bir ilişki olduğu, beton yoğunluklarının artması ile lineer azaltma katsayılarında artış görülmektedir. Buradan beton yoğunluğu ile gama ışını lineer azaltma katsayısının doğru orantılı olduğu söylenebilir.

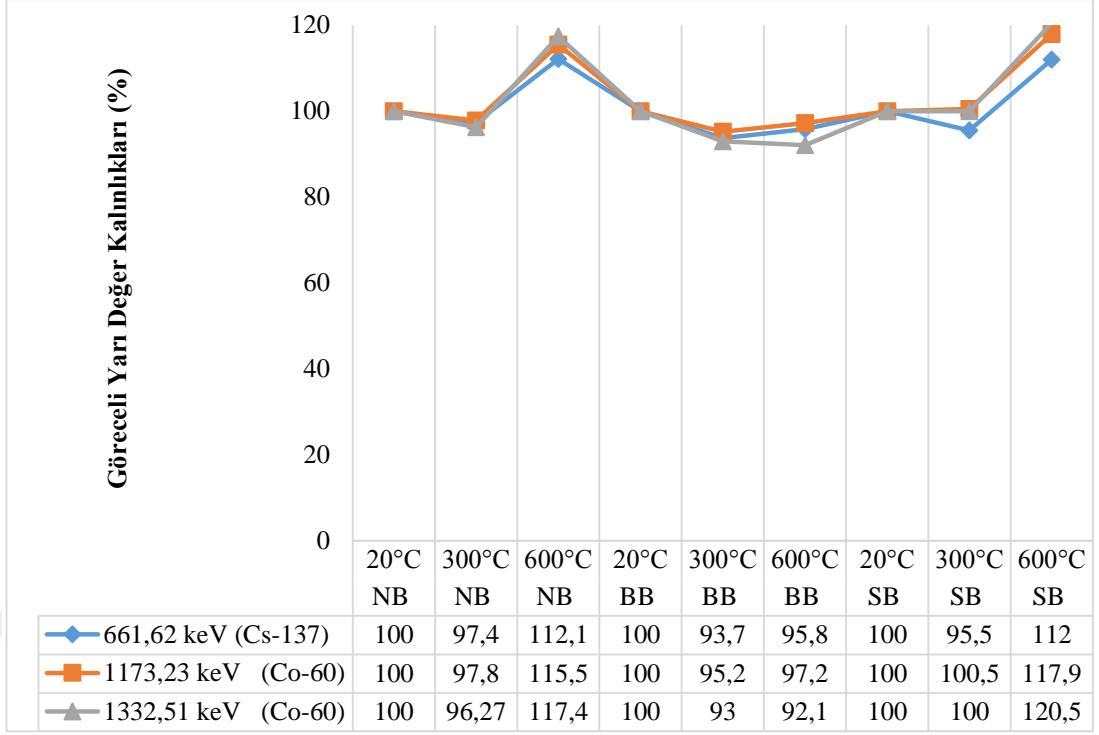
4.2.4.2. Yarı Değer Kalınlıkları

Çalışma kapsamında gama ışını için yarı değer kalınlıkları gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak Şekil 4.11 ve gama ışınlarının enerjilerine bağlı olarak yüzdesel göreceli yarı değer kalınlıkları Şekil 4.12’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Beton numunelere ait yarı değer kalınlıkları ($x_{1/2}$)

Şekil 4.11’de radyasyon şiddetini yarıya düşüren zırhlama kalınlıkları görülmektedir. Görülen bu değerler radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıklarını ifade etmektedir. Şekil 4.11’de incelendiğinde gelen radyasyon şiddetini yarıya düşüren malzeme kalınlıkları açısından en iyi sonuçları barit agrega ile üretilen numunelerin verdiği görülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisinde kalmamış numuneler için en az kalınlık ile radyasyon değerine karşı koyan numunelerin barit agregalı numune olduğu görülmektedir. Radyasyon zırhlama özelliği açısından ağır betonların normal betonlara göre daha iyi zırh olduğu görülmektedir. Ağır betonların daha az kalınlık ile radyasyon şiddetini yarıya düşürebildiği görülmektedir.

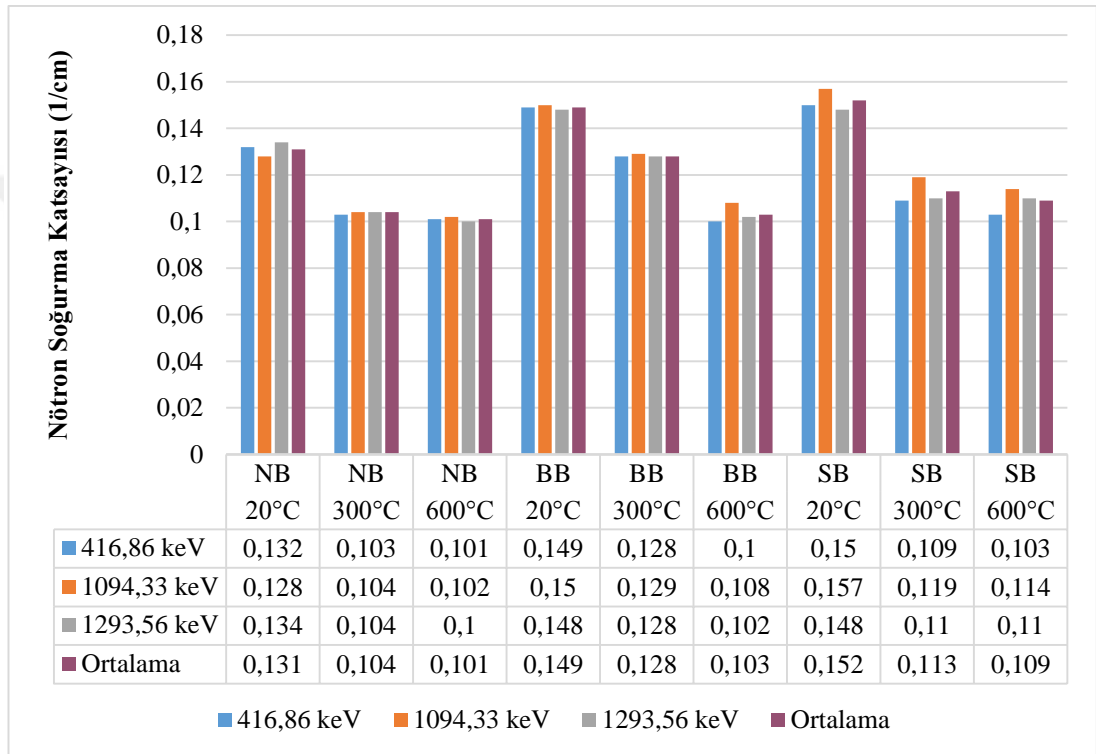


Şekil 4.12. Beton numunelere ait göreceli yarı değer kalınlıkları

Şekil 4.12 incelendiğinde barit agregalı ağır betonun en iyi performansı gösterdiği görülmektedir. Gelen radyasyonu barit agregası ile üretilen ağır betonun yüzdesel olarak daha az kalınlıkla karşıladığı söylenebilir. Sonuçlar performans kaybı açısından incelendiğinde en iyi performansı barit agregalı ağır betonun gösterdiği, en az performans kaybının da yine barit agregalı numunelerde meydana geldiği söylenebilir.

4.2.4.3. Nötron Soğurma Katsayısının Tayini

Nötron soğurma katsayısının tayini için $4 \times 3.5 \times 3$ cm boyutlu numuneler, nötron deneylerinde ise 1293,56 keV, 1097,33 keV, 416,86 keV enerjileri kullanılarak okumalar gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te nötron soğurma katsayısına ait bulgular verilmiştir.



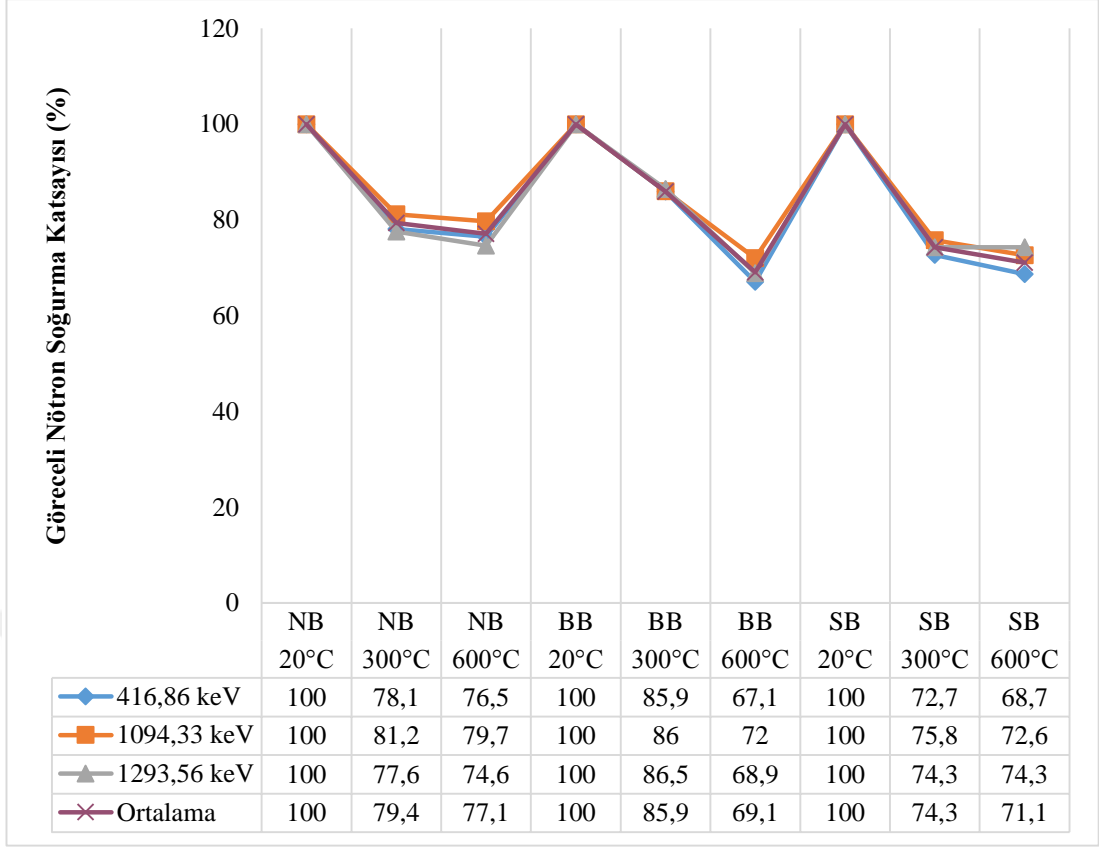
Şekil 4.13. Beton numunelere ait nötron soğurma katsayısı

Şekil 4.13’e bakıldığında nötron geçirgenlik testine en iyi karşı koyabilen numunenin 20 °C ‘deki siderit agregası ile üretilmiş olan numune olduğu görülmektedir. Ürettiğimiz numuneler arasında nötron radyasyonuna karşı koyabilen en iyi numunenin $0,152 \text{ cm}^{-1}$ soğurma katsayısı ile siderit agregasıyla üretilen numuneler olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklığa maruz bırakılmayan seriler içerisinde en iyi değeri siderit agregalı ağır betonun aldığı görülmüştür. Çünkü soğurma katsayısı yüksek olan malzemelerin radyasyonu soğurma güçleri de yüksektir. Barit agregalı ağır beton örneklerinin de radyasyon geçirgenliğine karşı koyma açısından iyi bir zırh malzemesi olduğu

gözlenmektedir. Buradan ağır agrega ile üretilen numunelerin radyasyona karşı zırlama açısından olumlu özellik gösterdiği görülmektedir. Radyasyona maruz bırakılan numunelerde radyasyona engel olabilecek beton numunelerinin siderit ve barit agrega ile üretilen beton numuneler olduğu görülmektedir.

Nötron parçacıkları bilindiği gibi hafif elementler ile durdurulabilmektedir. Beton bünyesinde bulunan H₂O'daki H atomu hafif element olduğundan dolayı nötron soğurulmasını etkilemektedir. 300°C'de buharlaşan bu su ile H atomu etkisini kaybetmektedir ve görüldüğü gibi 600°C'de numunelerin nötron soğurma katsayıları neredeyse eşit hale gelmektedir. Bundan dolayı da 600°C'deki soğurma katsayılarının 300°C'deki soğurma katsayılarından daha düşük değerler aldığı söylenebilmektedir. Bu durumun ultrases geçiş hızında ve basınç dayanımında da aynı durumdan kaynaklandığı söylenebilir. Nitekim 600°C'deki numunelerde ultrases geçiş hızlarının birbirine yakın değerler almasının 300°C'de buharlaşan serbest su nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. Aynı şekilde basınç dayanımında da 600°C'de numuneler aynı basınç dayanımı değerlerine ulaşmışlardır. Burada buharlaşan su, H atomundan dolayı düşük atom numaralı elementlerin uzaklaşması olarak yorumlanabilir. Nötron soğurmasının da düşük atom numaralı elementlerle alakalı olduğu düşünüldüğünde 600°C'de değerlerin eşitlenmesini açıklamaktadır. Kütle kaybında da 300°C'den 600°C'ye geçişte yaşanan kayıpların daha fazla olduğu ve bu durumun da serbest suyun buharlaşması ile alakalı olduğu ifade edilmiştir.

Tüm bu durumlardan anlaşılmaktadır ki 100°C-150°C'de kılcal çatlaklardan buharlaşan su, 150°C-250°C'de kılcal çatlak oluşumu ve 300°C'de beton bünyesinden buharlaşan serbest su sertleşmiş beton özellikleri üzerinde büyük ölçüde etkilidir. Hasar mekanizmasında 300°C'ye kadar gerçekleşen bu su kaybı durumu daha ileriki sıcaklıklarda beton özelliklerinde meydana gelen kayıpları arttırmıştır. Nötron soğurması ile ultrases geçiş hızı, kütle kaybı ve basınç dayanımı arasında buharlaşan sudan dolayı bir ilişki kurulması mümkündür. 300°C'de buharlaşan su 600°C'de meydana gelen kayıpların artması durumunu açıklamaktadır.

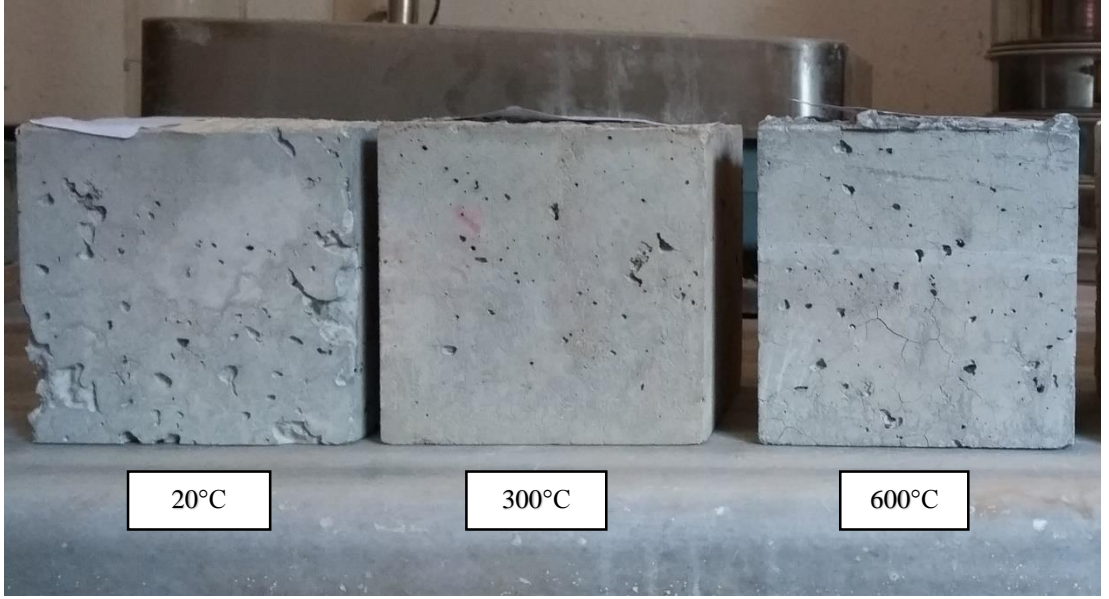


Şekil 4.14. Beton numunelere ait göreceli nötron soğurma katsayısı

Şekil 4.14 incelendiğinde nötron soğurma katsayısının sıcaklık etkisi ile azaldığı, sıcaklık derecesinin artmasının soğurma katsayısını olumsuz etkilediği görülmektedir. Tüm seriler içerisinde en az performans kaybını kalker agregalı normal betonun gösterdiği görülmektedir. 20°C'den 600°C'ye geçişte yüzde olarak kaybın barit agregalı ağır beton ve siderit agregalı ağır betonda neredeyse aynı seviyelerde olduğu görülmektedir.

4.3. Numunelerde Renk Değişimi

Yapılan alışma kapsamında numuneler farklı sıcaklık derecelerinde sıcaklık uygulamasına maruz bırakılmıştır. Bu uygulama beton numunelerinin mekanik özelliklerinin yanı sıra fiziksel özelliklerini de etkilemiştir. Bunlardan biri de numunelerin renkleridir. Şekil 4.15'te yüksek sıcaklığa maruz bırakılan numunelerin renk değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.15. Yüksek sıcaklık uygulaması sonrası numunelerdeki renk değişimi

Şekil 4.15 incelendiğinde 20°C'de betonun gri rengine olduğu, 300°C'de betonun pembemsi bir renk aldığı ve 600°C'de ise açık gri bir renk aldığı görülmektedir. Numunelerde yüksek sıcaklık etkisiyle meydana gelen renk değişimleri literatür ile de uyum göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Toplumlar var oldukları müddetçe enerjiye ihtiyaç duymuşlardır. Özellikle gelişen ve değişen teknoloji sanayileşmeye olan bağımlılığı artırmış, bundan dolayı da enerjiye olan ihtiyaç kat ve kat artmıştır. Günümüzde gerekli olan bu enerjiyi karşılama yollarından biri de nükleer enerji santralleridir. Güç üretiminde önemli bir paya sahip olan bu yapıların da tehlikeli durumları olabilmektedir. İşte bundan dolayı nükleer enerji santralleri çevreye ve insanlığa zarar vermemek adına çok titiz inşa edilmelidir. Bu çalışma da nükleer enerji santrallerinde kullanılan ağır betonlar için bir öngörü oluşturabilmek için yapılmıştır. Özellikle çalışmada kullanılan kalker, barit ve siderit agrega ile üretilen polipropilen lifli betonlar çalışmanın özgün değerini ortaya koymaktadır.

Çalışma kapsamında kalker, barit, siderit agrega ve polipropilen lif kullanılarak 3 farklı beton serisi üretilmiştir. Üretilen beton numuneleri 300, 600, 900 ve 1300°C olmak üzere 4 farklı yüksek sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Farklı sıcaklıklara maruz bırakılan bu numunelerin yüksek sıcaklık etkisindeki ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı, kütle kaybı ve radyasyon soğurma özellikleri incelenmiştir.

Yapılan deneysel çalışmalara göre;

- Yüksek sıcaklık etkisini beton numunelere zarar verdiği tespit edilmiştir. 20, 300, 600°C’lerde basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, kütle kaybı ve radyasyon soğurma özellikleri belirlenebilirken, 900 ve 1300°C’lerde numuneler parçalandıklarından dolayı numunelerin bu özellikleri belirlenememiştir.
- Yüksek sıcaklığın ultrases geçiş hızı değerlerine etkisi incelendiğinde tüm sıcaklık değerlerinde siderit agregalı ağır betonun en yüksek değerleri aldığı, sıcaklığın artmasıyla ultrases geçiş hızı değerlerinin düştüğü, 600°C’de %50’yi aşan performans kayıplarının meydana geldiği görülmektedir. Çalışmada sıcaklık derecesinin artmasının betondaki boşlukları arttırdığı bundan dolayı da ultrases geçiş hızının azaldığı gözlemlenmiştir.

- Benzer karışım oranlarında üretilen betonlarda en iyi basınç dayanımının 64,1 MPa ile siderit agregalı ağır betonun sahip olduğu tespit edilmiştir. Kalker agregalı normal betonun basınç dayanımının 58,8 MPa, barit agregalı ağır betonun basınç dayanımının 57,7 MPa ile olduğu tespit edilmiştir. Yüksek sıcaklık etkisiyle beton basınç dayanımlarında kayıplar meydana gelmiş, özellikle 600°C’de basınç dayanımları birbirlerine eşitlenmiştir. 600°C’de Kalker agregalı normal betonun basınç dayanımı 24,5 MPa, barit agregalı ağır betonun basınç dayanımı 23,4 MPa siderit agregalı ağır betonun basınç dayanımı 24,6 MPa tespit edilmiştir. Burada 600°C’de beton dayanımlarının eşitlenmesi, numunelerin bünyelerinde bulundukları serbest suyu kaybetmeleri ve bununla birlikte çimento hamurundaki bağların zayıflamasının basınç dayanımı kayıplarına neden olmasıyla açıklanmaktadır.
- Kütle kayıpları incelendiğinde tüm seriler içerisinde en yüksek kütle değerlerinin barit agregalı ağır betonda tespit edildiği, ağır agrega kullanılarak üretildiği için siderit agregalı ağır betonun da kütlelerinin kalker agregalı ağır betondan yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Kütle kayıplarına karşılık gelen hacim kayıplarına bakıldığında, en çok performans kaybının 600°C’de siderit agregalı ağır betonda kütlelerinin %8,6’sını kaybetmesine karşılık hacminde %27,3 kayıp gösterdiği tespit edilmiştir.
- Yüksek sıcaklık etkisiyle beton numunelerde renk değişimleri, numunelerde literatürde de belirtildiği gibi 300°C’de pembe renk, 600’de gri renk şeklinde gözlemlenmiştir.
- Gama ışını lineer azaltma katsayısının değerleri incelendiğinde; radyasyon soğurmaya karşı zırh özelliği en iyi olan betonun 0,257 cm⁻¹ soğurma katsayısı ile barit agrega ile üretilen beton olduğu gözlemlenmiştir. Gama lineer azaltma katsayısı ile beton yoğunluğu arasında bir orantı olduğu vurgulanmıştır. Ayrıca numuneler performans kaybı açısından değerlendirildiğinde en az performans kaybı barit agregalı ağır betonda tespit edilmiştir.

- Nötron soğurma katsayılarına bakıldığında nötron geçirgenlik testine en iyi karşı koyabilen numunenin $0,152 \text{ cm}^{-1}$ soğurma katsayısı ile 20°C 'deki siderit agrega ile üretilmiş olan numune olduğu görülmektedir. Yüksek sıcaklık etkisiyle değerleri düşmüş hatta 600°C 'deki soğurma katsayıları birbirlerine eşitlenmiştir. Buradan 300°C 'de buharlaşan serbest suyun nötron soğurmasını etkilediği giden H atomları sebebiyle soğurmaların aynı seviyeye geldiği vurgulanmıştır. Tüm seriler içerisinde siderit agregalı ağır betonların nötron soğurması için iyi bir zırh olabileceği ifade edilmiştir.

Sonuç olarak yüksek sıcaklığın betonu her anlamda olumsuz etkilediği, özellikle 600°C 'de sonrasında beton numunelerin çok tahrip olduğu bunun da beton numunelerin basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı, radyasyon soğurma, kütle kaybı gibi özellikleri kötü yönde etkilediği tespit edilmiştir. 300°C 'de buharlaşan serbest su sebebiyle numunelerde nötron soğurma katsayısı, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı değerlerinin 600°C 'de aynı seviyeye eriştiği tespit edilmiştir.

Beton numunelere üretim esnasında yüksek sıcaklığa karşı daha dayanıklı olması için kalsiyum alüminat çimentosu kullanılması önerilebilir. Ayrıca başta nükleer enerji santralleri olmak üzere yüksek sıcaklığa maruz kalabilecek yapılar da barit agrega kullanılarak üretilen polipropilen lifli ağır beton ve siderit agrega ile üretilen polipropilen lifli ağır beton kullanılmasının yapılarda oluşabilecek hasarları azaltabileceği söylenebilir. Radyasyon soğurma açısından, basınç dayanımı açısından bu betonların yüksek sıcaklığa maruz kalacak yapılarda kullanılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Erdoğan, Ş., Kurbetci, Ş., Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal Ve Mineral Katkı Maddeleri, Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 426, 115-120, 2003.
- [2] Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., Beton Ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite), Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul, 2010.
- [3] Baradan, B., Yazıcı, H., Betonarme Yapılarda Durabilite ve TS EN 206-1 Standardının Getirdiği Yenilikler, Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 426, 62-69, 2003.
- [4] Uysal, A., Yüksek Sıcaklığın Beton Üzerindeki Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi İstanbul, 2004.
- [5] Kızılkant, A., B., Yüksek Sıcaklık Etkisinde Kalan Betonun Basınç Dayanımı Renk Değişimi İlişkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2010.
- [6] Bingöl, A., F., Gül, R., Donatı Beton Aderansı, Yüksek Sıcaklıkların Beton Dayanımına ve Aderansa Etkileri Konusunda Bir Derleme, Tübav Bilim Dergisi, 2, 211-230, 2009.
- [7] Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Yangın Güvenliği, <http://www.tcma.org.tr/index.php?page=icerikgoster&cntID=220>. (Erişim tarihi: 25.01.2019)
- [8] Betonun Mühendislik Özellikleri, http://www.yapisanatlari.com/betonunmuhendislikozellikleri_2_34.htm. (Erişim tarihi: 25.01.2019)

[9] Baradan, B., Aydın, S., Betonun Dürabilitesi * (Dayanıklılık, Kalıcılık), Hazır Beton, Kasım Aralık Sayısı, 54-68, 2013.

[10] Hager, I., Behaviour of Cement Concrete at High Temperature, Bulletin of The Polish Academy of Sciences Technical Sciences, Cilt 61, No 1, 145-154, 2013

[11] Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Taek,
[Http://Www.Taek.Gov.Tr/Ogrenci/Bolum4_04.Html](http://Www.Taek.Gov.Tr/Ogrenci/Bolum4_04.Html) (Erişim tarihi: 25.01.2019)

[12] [https://ipfs.io/ipns/tr.wikipedia-on-ipfs.org/wiki/Radyasyon\(Işınım\).html](https://ipfs.io/ipns/tr.wikipedia-on-ipfs.org/wiki/Radyasyon(Işınım).html)
(Erişim tarihi: 25.01.2019)

[13] http://www.zamandayolculuk.com/html-3/em_spektrum.htm (Erişim tarihi: 25.01.2019)

[14] http://www.cygm.gov.tr/cygm/files/guncelbelgeler/radyasyon_olcum_sunum.pdf
(Erişim tarihi: 25.01.2019)

[15] Günalp, B., Dünyada ve Ülkemizde Nükleer ve Radyolojik Kazaların Tarihçesi, Nucl Med Semin 2017;3:184-188, 2017.

[16] <http://komhedos.com/wp-content/uploads/2015/02/Uluslararası%20B1-Nükleer-Olay-%20961%20A7e%209Fi.jpg> (Erişim tarihi: 25.01.2019)

[17] <https://www.bilgiustam.com/radyasyon-nedir-zararlari-nelerdir/> (Erişim tarihi: 25.01.2019)

[18] Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., “Beton” (2. Basım). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları, 2015.

- [19] Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. “Maden Terimleri Sözlüğü” <http://www.etimaden.gov.tr/m/page/dijital-medya-maden-terimleri-sozlugu-S-harfi-ile-baslayanlar>. (Erişim tarihi: 25.01.2019)
- [20] Yazıcı, H., “Ağır Beton” Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Ders Notları, 2010.
- [21] <http://www.gezegende.com/nukleer-santral-nedir-9423.html> (Erişim tarihi: 25.01.2019)
- [22] Akbulut, U., “Nükleer Santraller Atom Bombası Gibi Patlamaz”. <http://www.uralakbulut.com.tr/wp-content/uploads/2009/11/N%C3%9CKLEER-SANTRALLER-ATOM-BOMBASI-G%C4%B0B%C4%B0-PATLAMAZ.docMART-2011.pdf>. Prof. Dr. Ural Akbulut (Erişim tarihi: 02.01.2017)
- [23] Duman, V., “Fukuşima Nükleer Santral Kazası Kaza Hikayesi, Geline Son Durum Özeti ve Kazanın Etkileri”. Fizik Mühendisleri Odası. <http://www.fmo.org.tr/wp-content/belgeler/fukushimaraporu.pdf>. (Erişim tarihi: 02.01.2017)
- [24] Yaşar, S., Polipropilen Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Yöresel Hafif Agregalarla Üretilen Yüksek Dayanımlı Betonların Yüksek Sıcaklıklar Altında Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2008.
- [25] Uçarkoşar, B., Pirinç Kabuğu Katkılı Yüksek Dayanımlı Betonun Yüksek Sıcaklık Performansı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [26] Sağsöz, A., E., Kendiliğinden Yerleşen Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinde Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özellikleri İle Renk Değişiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi , Trabzon, 2013.

- [27] Orhan, E., Şahin, M., Ögütölmüş Atık Cam Tozu Katkılı Betonun Basınç Dayanımına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Journal Of Advanced Technology Sciences, Issn:2147-3455, 61-70, 2016.
- [28] Acay, E., Uçucu Kül Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2010.
- [29] Akça, A., H., The Effects of Polypropylene Fiber And Air Entraining Admixture Addition On High Performance Concrete Exposed To Elevated Temperatures, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, 2011.
- [30] Tekdemir, F., Çelik Lif Katkılı Betonlara Sıcaklık Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
- [31] Seçer, O., Yüksek Sıcaklık Etkisinden Hasar Görmüş Lifli, Hava Sürükleyici Katkılı ve Perlit Agregalı Betonların Dayanım Özellikleri ve Gfrp ile Onarımı ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2008.
- [32] Bingöl, A., F., Beton-Donatı Aderansına Yüksek Sıcaklıkların Etkisi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2008.
- [33] Özbey, S., Farklı Çimento Tipleri İle Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık Ve Değişik Soğutma Koşulları Altındaki Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2009.
- [34] Şahin, M., Genleştirilmiş Vermikülit Kullanılarak Üretilen Çelik Tel Takviyeli Çimento Esaslı Kompozitlerin Yüksek Sıcaklık Dirençleri, Yüksek Lisans Tezi, Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2011.
- [35] Atashafrazeh, M., Polipropilen Lif Takviyeli Betonların Yüksek Sıcaklık Etkilerinden Sonra Basınç Dayanımlarının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2013.

[36] Kantarcı, F., Elazığ Ferrookrom Cürufundan Alkali Aktivasyon Metoduyla Üretilen Geopolimer Çimentolu Betonların Yangın Dayanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Malatya, 2013.

[37] Kurt, A., Betonda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Mineral Katkı Çeşitlerine Göre Değişimi, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2012.

[38] Bekem, İ., Kalker Kırmataş ile Üretilen Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisine Dayanıklılığı, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2010.

[39] Karagöz, H., Kendiliğinden Yerleşen Harçlarda Kullanılan Mineral Katkıların Yüksek Sıcaklık Performansına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2013.

[40] Celep, G., Polipropilen Lifli Betonların Isıl Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, 2010.

[41] Demirel, B., Keleştemur, O., Yüksek Sıcaklığa Maruz Pomza ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerine Kür Yaşının Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 7, No 1, 1-13, 2011.

[42] Kaya, T., Karakurt, C., Dumangöz, M., Mineral Katkılı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Porozite ve Basınç Dayanımlarına Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 1, Sayı 1, 39-44, 2014.

[43] Subaşı, S., İşbilir B., Ercan, İ., Uçucu Kül İkameli Çimento Numunelerinin Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklığın Etkisi, Politeknik Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, 141-148, 2011.

[44] Binici, H., Temiz, H., Sevinç, A., H., Eken, M., Kara, M., Şayir, Z., Alüminyum Talaşı, Bims ve Gazbeton Tozu İçeren Betonların Yüksek Sıcaklık Etkisinin İncelenmesi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 9, No 11, 1-15, 2013.

[45] Kaya, T., Yazıcıoğlu, S., Farklı Tip Sıvalarla Kaplı Betonun Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 2, Sayı 2, 43-52, 2015.

[46] Durmuş, G., Bekem, İ., Yüksek Sıcaklığın ve Farklı Soğutma Koşulunun Kalker Agregalı Betonlar Üzerindeki Etkilerinin Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 25, No 4, 741-748, 2010.

[47] Ceylan, H., Saraç, M., S., Farklı Pomza Agregası Türlerinden Elde Edilen Hafif Betonun Yüksek Sıcaklık Etkisindeki Bazı Özellikleri Üzerine Bir Araştırma, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 10-3, 413-421, 2006.

[48] Demirel, B., Gönen, T., Yüksek Sıcaklığın Karbon Lif Takviyeli Hafif Betonda Basınç Dayanımı ve Poroziteye Etkisi, Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 14, Sayı 2, 223-228, 2008.

[49] Yaprak, H., Karacı, A., Polipropilen Lifli Betonların Yüksek Sıcaklık Sonrası Basınç Dayanımlarının Yapay Sinir Ağları ile Tahmini, Int.J.Eng.Research & Development, Vol.1, No.2, 23-28, 2009.

[50] Sancak, E., Şimşek, O., Yüksek Sıcaklığın Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Hafif Betona Etkileri, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 21, No 3, 443-450, 2006.

[51] Demirel, B., Gültekin, E., Metakaolin Katkılı Taşıyıcı Hafif Betonun Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışının İncelenmesi, 2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, 2015.

[52] Kara, İ.,B., Kara, C., Beyaz Çimentolu Betonlarda Yüksek Sıcaklık Etkisinin Araştırılması, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 32, Sayı 2, 1-8, 2016.

[53] Kaya, T., Yazıcıoğlu, S., Kalsine Bentonit Katkılı Harçların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Yüksek Sıcaklık Etkisi, BEU Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 4, Sayı 2, 150-160, 2015.

[54] Gökçer, B., Yıldız, S., Keleştemur, O., Atık Mermer Tozu ve Cam Lif Katkılı Harç Numunelerinin Yüksek Sıcaklık Altındaki Davranışları, Sdu International Journal Of Technologic Sciences, Cilt 5, No 2, 42-55, 2013.

[55] Fares, H., Noumowe, A. and Remond, S., Self-Consolidating Concrete Subjected to High Temperature: Mechanical and Physicochemical Properties. Cement and Concrete Research, 39 (12), 1230-1238, 2009.

[56] Mahsanlar, N., Yüksek Sıcaklık Etkisinde Beton Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2006,

[57] Adar, M., Uçucu Kül ve Polipropilen Lif İçeren Kendiliğinden Yerleşen Betonun Yüksek Sıcaklık Altında Özelliklerinin İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2009.

[58] Nazlı, T., Genleştirilmiş Vermikülit Tozu İle Modifiye Edilmiş Çimento Esaslı Harçların Yüksek Sıcaklık Dirençleri, Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi, Yozgat, 2018.

[59] Yaltay, N., Ekinci, C., E., Kolemanit Katkılı ve Pomza Agregalı Hafif Betonların Yüksek Sıcaklık Altındaki Basınç Mukavemeti Özelliğinin Tahribatsız Yöntemle İncelenmesi, Sdu International Journal Of Technologic Sciences, Cilt 5, No 2, 30-41, 2013.

[60] Kaçar, A., Yapılarda Radyasyon Kalkanı Olarak Kullanılan Barit Agregalı Ağır Beton Elemanların Zırh Kalınlık Hesaplarının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2006.

- [61] Yılmaz, B., Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin Kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel Ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, 2009.
- [62] Coşkun, A., Ağır Betonlarda Barit Agrega Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Afyon, 2010.
- [63] Akyıldırım, H., Ağır Betonların Nükleer Radyasyon Zırhlama Özelliklerinin Araştırılması, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2011.
- [64] Zengin, B., Ağır Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2012.
- [65] Polat, H., Kolemanit'li Betonların Bazı Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2012.
- [66] Çakı, S., İ., Ağır Betonların Elastisite Modülünün Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2013.
- [67] Özen, S., Denge Ağırlığı ve Radyasyonlu Ortamlarda Zırh İşlevi Amacına Yönelik Ağır Beton Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Bursa, 2013.
- [68] Esen, S., Silis Dumanı Katkılı Ağır Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 2013.
- [69] Mehrnejad, R., Nötron Radyasyona Karşı Zırhlama Amacıyla Karma Lifli Ağır Betonların Üretilmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2015.
- [70] Ünal, O., İçağa, Y., Coşkun, A., Ağır Betonların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Filler Malzemenin Etkisi, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt 10, No 2, 12-18, 2014.

- [71] Kılınçarslan, Ş., Başyiğit, C., Akkurt, İ., Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlama Amacıyla Kullanımının Araştırılması, Gazi Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 22, No 2, 393-399, 2007.
- [72] Topçu, İ., B., Uğurlu, A., Barit ile Üretilmiş Ağır Betonlar Üzerine Bir Çalışma, Tmh - Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 474, 51-57, 2012.
- [73] Ling, T-C., Poon, C-S., High Temperatures Properties Of Barite Concrete With CRT Funnel Glass, Fire and Materials, 38, 279-289, 2013.
- [74] Sevon, T., Kinnunen, T., Virta J., Holmström, S., Kekki, T., Lindholm, I., Hecla Experiments on Interaction Between Metallic Melt And Hematite-Containing Concrete, Nuclear Engineering and Design 240, 3586–3593, 2010.
- [75] Sakr, K., Elhakim, E., Effect of High Temperature or Fire on Heavy Weight Concrete Properties Used in nuclear Facilities, Sixth Arab Conference on the Peaceful Uses of Atomic Energy, 265-278, 2002.
- [76] Tao, J., Yuan, Y., Taerwe, L., Compressive Strength of Self-Compacting Concrete During High-Temperature Exposure, Journal of Materials in Civil Engineering, 1005-1011, 2010.
- [77] Cheng, F., P., Kodur, V., K., R., Wang, T., C., Stress-Strain Curves For High Strength Concrete at Elevated Temperatures, Journal of Materials in Civil Engineering, 84-90, 2004.
- [78] Phan L., T., High-Strength Concrete At High Temperature – An Overview, NIST, 1-15, 2002.
- [79] Tai, Y., S., Pan, H., H., Kung, Y., N., Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Reactive Powder Concrete Following Exposure to High Temperature Reaching 800 °C, Nuclear Engineering And Design 241, 2416–2424, 2011.

- [80] Demir F., Bor ve Barit Agregalı Ağır Betonların Nötron Parçacıkları X- Ve γ -Işınları İçin Radyasyon Soğurganlıklarının Belirlenmesi, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum, 2009.
- [81] Başığit, C., Akkurt, İ., Altındağ, R., Kılınçarslan, Ş., Akkurt, A., Mavi, B., Karagüzel, R., The effect of freezing-thawing (F-T) cycles on the radiation shielding properties of concretes, *Building and Environment*, 41(8):1070–1073, 2006.
- [82] Baster, I. I. Calculation of Radiation Attenuation Coefficients for Shielding Concretes. *Ann. Nucl. Energy*, 24(17): 1389-1401, 1997.
- [83] Çalık, A. E., Şirin, H., Farklı Tipte Üretilen Harçların Yarı-Değer Kalınlıklarının Teorik Olarak İncelenmesi, *Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi B-Teorik Bilimler*, Cilt: 6 Sayı: 1 Sayfa: 36 – 44, 2018.
- [84] Gencel, O., Bozkurt, A., Kam, E. and Korkut, T., Determination and calculation of gamma and neutron shielding characteristics of concretes containing different hematite proportions, *Annals of Nuclear Energy*, 38(12):2719–2723, 2011.
- [85] Kan, Y. C., Pei, K. C., Chang, C. L. Strength and Fracture Toughness of Heavy Concrete with Various Iron Aggregate Inclusions. *Nuclear Engineering and Design*, 228(1-3): 119–127, 2004.
- [86] Ün, A. and Demir, F., Determination of mass attenuation coefficients, effective atomic numbers and effective electron numbers for heavy-weight and normal-weight concretes, *Applied Radiation and Isotopes*, 80:3–77, 2013.
- [87] Kılınçarslan, Ş., Ağır Betonların Radyasyon Zayıflatma Katsayılarının Belirlenmesinde Bulanık Mantık Yaklaşımı, *e-Journal of New World Sciences Academy*, ISSN:1306-3111, Volume: 3, Number: 2, 171-180, 2008.

- [88] Revuelta, D., Barona, A., Navarro, D. Measurement of Properties and of The Resistance to Segregation in Heavyweight, Self-Compacting Barite Concrete. *Materiales de Construcción*, 59(295): 31-44, 2009.
- [89] Demir, F., Budak, G., Şahin, R., Karabulut, A., Oltulu, M., Un, A., Determination of radiation attenuation coefficients of heavyweight and normal-weight concretes containing colemanite and barite for 0.663 MeV γ - rays, *Annals of Nuclear Energy*, 38(6):1274–1278, 2011.
- [90] Akgün, Y., Durmuş, A., Durmuş, A. Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri, *İMO Dergisi*, 465-474, 2007.
- [91] TS EN 933-1, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
- [92] TS EN 1097-6, “Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
- [93] TS EN 933-9, “Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.
- [94] TS EN-802, “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2016.
- [95] TS 1247, “Beton Yapım Döküm ve Bakım Kuralları (Normal Hava Şartlarında)”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2018.
- [96] ASTM C 597, “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete”, American Society for testing and materials, USA (2002).
- [97] TS EN 12390-3, “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde Basınç Dayanımı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2010.

[98] TS EN 123510-2, “Beton- Taze Beton Deneylei - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneylei”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2002.

[99] M.A. González-Ortega*, S.H.P. Cavalaro, A. Aguado, Department of Construction Engineering, Universitat Politècnica de Catalunya, UPC-BarcelonaTech, Spain, 2015.

