



Ayşe Elyiğit

Süleyman Demirel University, ayseperielyigit@gmail.com, Isparta-
Türkiye

Celalettin Başyiğit

Süleyman Demirel University, celalettinbasyigit@sdu.edu.tr, Isparta-
Türkiye

Mehmet Hanifi Alkayış

Süleyman Demirel University, mehmethanifiialkayis@gmail.com, Isparta-
Türkiye

DOI	http://dx.doi.org/10.12739/NWSA.2024.19.1.1A0488	
ORCID ID	0009-0009-1001-7686	0000-0003-0084-1320
	0000-0003-0177-043X	
Corresponding Author	Ayşe Elyiğit	

FARKLI MİNERAL KÖKENLİ AĞIR BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte nükleer güç santralleri, hastanelerde elektromanyetik radyasyon tipinin kullanıldığı röntgen üniteleri, nükleer tıp uygulamalarının yapıldığı görüntüleme odaları, otomotiv sektöründe test için yapılan radyonüklid yerleri, savunma ve sığınma yapıları, olası radyasyon salınımı ve tesislerin güvenliği için ağır beton kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı son zamanlarda yüksek performanslı beton ve ağır betonlarla ilgili araştırmalardaki ilerlemeyi takip etmek ve mineral kökenli agregaların ağır betonda kullanımına genel bakış açısı sunarak literatüre katkı sağlamaktır. Ağır beton üretiminde mineral kökenli agrega kullanılmasının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri gerekli literatür incelemesi neticesinde demir bileşeni en fazla olan manyetit agreganın diğer mineral kökenli agregalara göre en iyi performansı sağladığı anlaşılmıştır. Böylece ülkemizde demir içeriği fazla olan cevherlerin zenginliği göz önüne alındığında ağır beton agregası olarak kullanılacak demir cevherlerinin araştırılmalarının arttırılması önem arz etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ağır Beton, Betonun Mekanik Özellikleri, Radyasyon, Mineral Agregalar, Beton

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF HEAVY CONCRETE OF DIFFERENT MINERAL ORIGIN

ABSTRACT

With the development of technology, nuclear power plants, X-ray units in hospitals where electromagnetic radiation type is used, imaging rooms where nuclear medicine applications are performed, Radionuclide sites for testing in the automotive industry, heavy concrete is used in defense and shelter structures for possible radiation release and for the security of the facilities. This study aims to follow the recent progress in research on high-performance concrete and heavy concrete and to contribute to the literature by providing a general perspective on the use of mineral-based aggregates in heavy concrete. The effects of using mineral-based aggregate in the production of heavy concrete on the mechanical and physical properties of concrete were determined as a result of the necessary literature review it has been understood that magnetite aggregate, which has the highest iron component provides the best performance compared to other mineral origin aggregates. Thus, considering the abundance of ores with high iron content in our country, it is important to increase the research on iron ores that can be used as heavy concrete aggregate.

Keywords: Heavy Concrete, Mechanical Properties of Concrete, Radiation, Mineral Aggregates, Concrete

How to Cite:

Elyiğit, A., Başyiğit, C. ve Alkayış, M.H., (2024). Farklı Mineral Kökenli Ağır Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması. 19(1):1-15, DOI: 10.12739/NWSA.2024.19.1.1A0488.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kum, agrega, su ve çimentonun standartlara uygun şekilde istenen özelliklerde katkı maddeleri eklenmesiyle oluşturulan yapı malzemesine beton denilmektedir. Beton çeşitlerinden olan birim ağırlıklarına göre betonlar TS EN 206-1'e göre 2600 kg/m^3 'den daha büyük betonlara ağır beton, TS EN 1097-6'ya göre yoğunluğu 3000 kg/m^3 'den daha fazla olan agregalara ağır agrega denilmektedir. Ağır betonlar ağır agregalarla elde edilirler. Genellikle demir içeriği fazla olan doğal agrega türüne giren limonit, barit, magnetit vb. mineraller ile yapay agregalar, çelik, atık demirler ile ağır beton üretilir [1].

İlk olarak yapılarda kayma kesmesi ve devrilme göçmesine dayanıklılığından dolayı kullanılmaya başlanan ağır betonlar günümüzde nükleer güç santralleri, askeri, tıp, sanayi gibi birçok alanlarda radyasyon zararlı etkilerinden korunmak amacıyla kullanılmaktadır [2]. Radyasyon bir kaynaktan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçiminde yayılan enerji salınımıdır [3]. Bu enerji salınımı bir canlıya kolaylıkla etki ederek zarar verebilir. Herhangi bir radyoaktif kaynağından çıkabilecek α , β , γ , x ışınlarının ve nötron parçacıklarının yayılmasını beton gibi yalıtım özelliği olan malzemeler önleyebilir. Yapılarda zararlı olan bu ışınlarla karşı alınacak tedbir beton harcı içerisinde birim hacim ağırlığı yüksek olan agregalar kullanılmasıdır. Radyasyon tehlikesine karşı kurşun da kullanılmaktadır. Ancak kurşun kullanımı insan sağlığı açısından olumsuz etkilere sahiptir ve ekonomik bir çözümdedir [4]. Radyasyon ışınlarından korunmada ağır betonun kullanılması yoğunluğunun fazla olmasından dolayı küçük kesitler biçiminde kullanılmasına olanak sağlar [47]. Koruma yapılarının betonunun performans gereksinimleri temel olarak radyolojik koruma, yapısal bütünlük ve dayanıklılık vb.'dir. Bu amaçla özel niteliklere sahip yüksek performanslı, ağır yoğunluklu beton kullanılır [5].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Bu çalışmada mineral kökenli agregaların ağır betonda mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisi ele alınmıştır. Bu çalışmanın amacı son zamanlarda yüksek performanslı beton ve ağır betonlarla ilgili araştırmalardaki ilerlemeyi takip etmek ve mineral kökenli agregaların ağır betonda kullanımına genel bakış açısı sunarak literatüre katkı sağlanması hedeflenmektedir. Ağır beton, istenen boyut ve şekillerde üretilebilen, radyasyon ışınlarından koruyucu, üretiminin ve bakımının kolaylığı, ekonomikliği bakımından tercih edilen beton çeşididir. İleriki yıllarda meydana gelecek olası nükleer savaşlar veya nükleer santrallerde yaşanacak patlamalara karşı alınacak önlemler, sığınak, batırma tüpleri, baraj gövdeleri, reaktör siloları, köprü ayakları, istinat duvarı yapımı ve diğer radyasyon etkilerine karşı ağır beton kullanılmaktadır. Teknolojinin gelişimiyle birlikte kullanım sahası giderek artan ve yapılarda talep edilen dayanımı sağlamada başarılı olan ağır beton kullanımına önem verilmesi gerekmektedir. Ağır beton yapımında doğal ve yapay ağır agregalar kullanılması var olan kaynakların tüketilmesinde önemli bir faktördür. Agrega kaynaklarına alternatif agrega türlerine yönelmesinin ve demir içeriği fazla olan minerallerin tercih edilmesinin araştırılması ülke kaynaklarından verimli şekilde yararlanılmasını sağlayacaktır.

Önemli Noktalar (Highlights):

- Mineral kökenli agregalar
- Betonun mekanik özellikleri
- Ağır beton ve özellikleri

3. AĞIR BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN AGREGALAR (AGGREGATES USED IN HEAVY CONCRETE PRODUCTION)

Beton agregası, beton özelliklerini değiştirmede önemli bir rol oynar ve betonun mekanik özelliklerini önemli ölçüde etkiler [5]. Agregalar betonun en büyük bileşenidir ve toplam beton ağırlığının ağırlıkça yaklaşık %70-80'idir. TS EN 206-1'e göre özgül ağırlığı 2600 kg/m³'ün üzerinde olan betonlara ağır beton, 3000 kg/m³'ün üzerinde olan agregalara ise ağır agrega adı verilmektedir. Ağır betonun yoğunluğu, agregaların özgül ağırlığına ve betonun diğer bileşenlerinin özelliklerine bağlıdır [6]. Aşağıda ağır beton üretimi için araştırılan mineral kökenli madenler detaylı şekilde ele alınmıştır.

3.1. Limonit (Limonite)

Demir bakterisi adı verilen çok küçük organizmaların yoğun şekilde birleşmesiyle limonit yatakları oluşur [7]. Şekil 1'de sarı, kahverengi ve siyah renklerde bulunan limonitin renklerindeki değişim oksitlenme miktarına bağlıdır. Tablo 1'de bileşenleri verilen mineral, kimyasal olarak 2Fe₂O₃.2H₂O ile formüle edilmektedir [8]. Hidroksitli sınıfına giren bu cevherin mohs sertliği 5-5.5 arasında, yoğunluğu ise 4-4.5 gr/cm³ aralığındadır. Gözenekli ve yarı saydam bir mineraldir [9].

Tablo 1. Limonit mineralinin bileşenleri [10]
(Table 1. Components of limonite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı
Limonit	3.31	3.85	60.65	3.39	5.85	15.90



Şekil 1. Limonit minerali [11]
(Figure 1. Limonite mineral)

3.2. Siderit (Siderite)

Tabakalı sedimanter yataklarında oluşan siderit genellikle volkanik kayalarda bulunur. Orta veya ince taneli kristalli, prizmatik ve levhamsı şekillerde olabilirler. Özgül ağırlığı 4.1-4.7 gr/cm³, mohs sertliği 3.5-4 aralığındadır. Şekil 2'de görüldüğü üzere soluk sarı, soluk yeşil, sarımsı gri, gri, grimsi ve siyahımsı kahverengi bazen beyaz renklerde bulunabilirler. Tablo 2'de bileşenleri verilen FeCO₃ olarak formüle edilen demir karbonat bileşiği sideritin demir içeriği %48'dir. Asitle çözünen bu mineral mangan, kalsiyum ve magnezyum elementlerinde bulunmaktadır. Doğada nadiren rastlanılan bu mineral içeriğindeki mangan sayesinde zenginleştirme yöntemi olarak demir üretimde kullanılır. Oksijen ve nemin bulunduğu ortamlarda limonite dönüşebilir [12].

Tablo 2. Siderit mineralinin bileşenleri [10]
(Table 2. Components of the siderite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı
Siderit	1.36	1.00	52.06	3.22	2.56	33.65



Şekil 2. Siderit minerali [13]
(Figure 2. Siderite mineral)

3.3. Barit (Barite)

Dolomit ve kalkerlerin içerisinde bulunan Şekil 3'te görülen barit farklı zamanlara ait alt sedimanterlerde kütle halinde yataklarda oluşurlar. Bu barit yatakların kalınlıkları 10 metreyi bulmaktadır. Suda erimeyen formu yumuşak ve aşındırma özelliği yoktur [14]. Tablo 3'de bileşenleri verilen barit $BaSO_4$ ile formüle edilir ve mohs sertliği 2.5-3.5 arasındadır. Gri, renksiz, beyaz ve sarı renklerde doğada bulunurlar. Özgül ağırlığı 4.5 gr/cm^3 'tür [15].

Tablo 3. Barit mineralinin bileşenleri [15]
(Table 3. Components of barite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Kızdırma Kaybı
Barit	1.23	0.30	0.06	0.12	0.3	--



Şekil 3. Barit minerali [16]
(Figure 3. Barite mineral)

3.4. İlmenit (Ilmenite)

İlmenit minerali, titanyum içeren mineraller grubuna aittir. Magmatik ve metamorfik kayalarda bulunan ilmenit zayıf mıknatıslanması ve kabuğun daha derin katmanlarının kalıcı mıknatıslanması da dahil olmak üzere mıknatıslanma özelliğine sahiptir [17]. Farklı manyetik özelliklere sahip yarı iletken olan ilmenit, elektrokimyasal özelliğe sahip fonksiyonel oksitlerin temsilcisi sayılmaktadır. Tablo 4'te bileşenleri verilen ve tek kristalli olan ilmenit $FeTiO_3$ ile formüle edilmiştir [18]. Özgül ağırlığı $4.3-4.8 \text{ gr/cm}^3$ olan mineralin yoğunluğu 4-7.2 aralığında olup mohs sertliği 5-6 arasındadır. Şekil 4'te görüldüğü üzere genellikle çelik grisi ve demir siyahı renginde bulunurlar [9].

Tablo 4. İlmenit mineralinin bileşenleri [19]
(Table 4. Components of the ilmenite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Ti
İlmenit	1.9	1.2	12.7	0.5	3.2	47.6



Şekil 4. İlmenit minerali [20]
(Figure 4. Ilmenite mineral)

3.5. Hematit (Hematite)

Yeryüzünde en fazla olan mineral ve Tablo 5’de bileşenleri verilen hematit %70 oranında demir içeriğine sahiptir. Oksitli yapıya sahip hematit Fe_2O_3 şeklinde kimyasal formüle edilmiştir. Demir ve oksijen bağlarının zayıf olması kolay bir şekilde redüklenebilmelerine sebep olur. Gevrek yapıya sahip olan hematitin mohs sertliği 6.5’tur. Yoğunluğu 4.9-5.9 gr/cm³ olup Şekil 5’de görüldüğü üzere kırmızıya yakın kahverengi rengindedir [21].

Tablo 5. Hematit mineralinin bileşenleri [22]
(Table 5. Components of the hematite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	Mn	P ₂ O ₅
Hematit	6.15	1.63	56.02	4.40	4.05	4.25	0.52	0.004	0.13	0.47



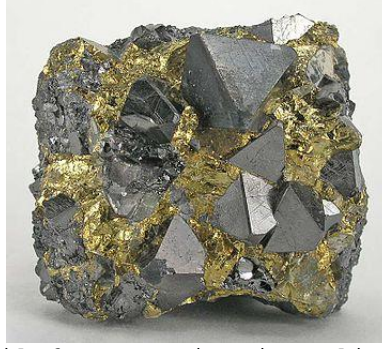
Şekil 5. Hematit minerali [23]
(Figure 5. Hematite mineral)

3.6. Manyetit (Magnetite)

20 mikrondan 0.6mm’ye kadar çeşitli boyutlarda olan manyetit farklı minerallerle bileşik halde bulunabilirler [24]. Tablo 6’da bileşenleri verilen manyetitin kimyasal formülü Fe_3O_4 ile gösterilmektedir. Ferroferrik oksit olarak bilenen manyetit ayrıca demir 2-3 oksit olarak da adlandırılır. Şekil 6’da görüldüğü üzere geometrik kristaller şeklinde siyaha yakın koyu renklerde bulunan manyetit, gevrek ve manyetik özelliği fazla olan mineraldir [25]. Mohs sertliği 5.5 kristal yapısı kübik formunda görülebilen ve yoğunluğu 4.9-5.2 gr/cm³ aralığında değişebilen mineraldir [26].

Tablo 6. Manyetit mineralinin bileşenleri [27]
(Table 6. Components of the magnetite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	Na ₂ O+K ₂ O	SO ₃	TiO ₂
Manyetit	1.25	0.98	95.57	0.48	0.04	---	0.08	0.02	6.01



Şekil 6. Manyetit minerali [28]
(Figure 6. magnetite mineral)

3.7. Pirit (Pyrite)

Tablo 7'de bileşenleri verilen demir cevheri pirit FeS_2 ile formüle edilmiştir. Yoğunluğu $5-5.2 \text{ gr/cm}^3$ olan bu mineralin mohs sertliği $6-6.5$ arasındadır. Sülfürlü sınıfına giren mineral çoğunlukla Şekil 7'deki gibi parlak pirinç sarı rengindedir [29]. Pirit altın rengine yakın sarı renkte olduğu için sahte altın olarak da adlandırılır [30].

Tablo 7. Prit mineralinin bileşenleri [31]
(Table 7. Components of prite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	MgO	Ni	Na ₂ O	K ₂ O	Co
Pirit	1.17	0.41	0.02	0.23	0.16	0.26	≥0.01	0.05	0.51



Şekil 7. Pirit minerali [32]
(Figure 7. Prite mineral)

3.8. Götit (Goethite)

Şekil 8'de görüldüğü üzere götitler genellikle koyu kahverengi ve siyah renginde olan cevherlerdir [33]. Götit bulunduğu bileşiklerden hidrotermal çözeltilerin yardımıyla ayrılırlar [34]. Kimyasal bileşimi Tablo 8'de bileşenleri verilen ve kimyasal formülü $HFeO_2-FeO(OH)$ olan götit, bileşiminde az miktarda magnezyum, kalsiyum, nikel, kobalt ve bakır bulundurabilir. Kristal yapısı lifsi, mohs sertliği $5-5.5$ arasında, özgül ağırlığı $3.3-4.3 \text{ gr/cm}^3$ olan mineraldir [35]. Götitler zayıf manyetiktir yani güçlü bir mıknatıs ile çekilebilirler [36].

Tablo 8. Götit mineralinin bileşenleri [37]
(Table 8. Components of the goethite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MnO	P ₂ O ₅	H ₂ O
Götit	0.52	0.10	79.53	6.20	1.01	0.05	10.1



Şekil 8. Götüt minerali [29]
(Figure 8. Goethite mineral)

3.9. Spekularit (Olijist) (Specularite (Oligist))

Mikalı demir oksit olarak bilinen spekularit Şekil 9'daki gibi siyaha yakın ve parlak metalik renklerinde olur. Tablo 9'da bileşenleri verilen spekularitin kimyasal formülü Fe_2O_3 (Demir-III-Oksit), yoğunluğu 4.8 gr/cm^3 , mohs sertliği 6-6.5 aralığındadır [38].

Tablo 9. Spekularit mineralinin bileşenleri [39]
(Table 9. Components of the specularite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	S	FeS ₂
Spekularit	8.80	1.58	52.49	1.05	2.32	0.09	0.06	7.23	13.64



Şekil 9. Spekularit minerali [38]
(Figure 9. specularite mineral)

3.10. Kromit (Chromite)

Yer kabuğunda ultrabazik kayalarda görülebilen kromit minerali Şekil 10'daki gibi parlak siyah renğinde, mohs sertliği 5.5, özgül ağırlığı $4.1-4.9 \text{ gr/cm}^3$ aralığındadır. Tablo 10'da bileşenleri verilen ve kimyasal formülü $FeCr_2O_4$ olan kromit minerali serpantinit içerisinde kristalleşerek kromu oluşturur [40].

Tablo 10. Kromit mineralinin bileşenleri [41]
(Table 10. Components of the chromite mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaCO ₃	Ni	Zn	Cu	S	P	TiO ₂
Kromit	13.06	3.02	17.72	21.41	0.82	0.12	0.34	0.08	0.03	0.14



Şekil 10. Kromit minerali [42]
(Figure 10. Chromite mineral)

3.11. Tufal (Oxide Layer)

Tablo 11’de verildiği gibi demir içeriği oldukça fazla olan ve çelik üretiminin son aşamasında çeliklerin tav fırınlarına bırakılması ve çelik yüzeyinde oluşan 3-4 mm kalınlığındaki oksit tabakası tufal olarak adlandırılmaktadır. Çelik yüzeyindeki oksit tabakası Şekil 11’de görüldüğü üzere ya fırçayla ya da asitli sularla alınarak tufal elde edilmiş olur [43].

Tablo 11. Tufal mineralinin bileşenleri [44]
(Table 11. Components of oxide layer mineral)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃
Tufal	1.56	---	97.57	---	---	0.06	0.04	0.32



Şekil 11. Tufal [45]
(Figure 11. Oxide layer mineral)

3.12. Demir Parçaları (Iron Pieces)

Demir doğal halde tek başına bulunmamaktadır. Demir içeren pirit, götit, manyetit, limonit vb. minerallerin içerisinde bileşik halde bulunurlar. Bu bileşiklerde demir oksijen ile birlikte bulunduğu için oksijeni bileşikten ayırarak demir elde edilir [46]. Demir parçaları çoğunlukla atık demirlerden oluşur. Tablo 12’de bileşenleri verilen demir 3700-4650 kg/m³ birim hacim ağırlığında ve 6.2-7.8 gr/cm³ özgül ağırlığa sahiptir [47].

Tablo 12. Demir elementinin bileşenleri [48]
(Table 12. Components of the element iron)

Element	Mn	Al	Fe	Cr	C	Ni	Cu	S	Si	P	Ti
Demir	0.181	0.023	99.539	0.036	0.075	0.032	0.082	0.007	0.014	0.009	0.002

3.13. Kurşun Atıkları (Lead Waste)

Ağır metal grubuna giren kurşun elementi Pb ile gösterilmektedir. Şekil 13’deki gibi mavi gümüş renginde olan element galenit olarak da adlandırılır. Kurşun, 7.8 gr/cm³ yoğunluğa, 2.5 mohs sertliğe sahip elementtir [49]. Tablo 13’de bileşenleri verilen kurşun alaşımları gümüş ve altın içerebilir. Genellikle bazı alaşım formları akü yapımında ve radyasyondan korunmada kullanılırlar [50]. Kurşun atıkları, kurşun madenlerinden elde edilir.

Tablo 13. Kurşun elementinin bileşenleri [51]
(Table 13. Components of the element lead)

Element	Mn	Al	Fe	Cr	Cl	Ni	Cu	Na	Si	Mg	Ba	Sb
Kurşun	0.25	0.75	40.8	0.07	0.72	0.11	1.2	0.37	3.0	0.26	0.13	0.27



Şekil 13. Kurşun elementi [52]
(Figure 13. Element lead)

3.14. Çelikhane Cürufu (Steel Mill Slag)

Çelik yapımında kullanılan çelikhane cürufu Tablo 14’de bileşenleri görüldüğü üzere bileşiminde bulunan MgO ve CaO oksitlerinden dolayı beton harcının hacminde değişime sebep olacağı için oranlarına dikkat edilerek özenle kullanılması gerekmektedir [44]. Çelikhane cürufu çelik üretimi esnasında eriyen metalin oksitlenmesi sonucu oluşur. Mohs sertliği 6-7 aralığında olan cürufun özgül ağırlığı 3.30-3.35 gr/cm³’tür [53]. Çelik üretimde hurda olarak sayılan kısmı cüruftur ve Şekil 14’deki gibi farklı boyutlarda olabilir.

Tablo 14. Çelikhane cürufunun kimyasal bileşimi [44]
(Table 14. Chemical composition of steel mill slag)

Mineral	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	Kızdırma Kaybı
Çelikhane Cürufu	4.13	2.17	75.50	3.74	2.13	0.08	0.07	---	11.48



+55 mm üstü



Elek üstü kalan



-11 mm

Şekil 14. Çelikhane cürufunun farklı boyutları [54]
(Figure 14. Different sizes of steel mill slag)

3.15. Çelik Saçma ve Parçaları (Steel Ball and Pieces)

Çelik saçmalar bilyeli dövme biçiminde karbon çeliği kullanılarak üretilirler. Bu bilyeler Şekil 15’deki gibi küresel şekillere dökülerek elde edilir. Karbon çeliği bilye parçaları demir oksitten oluşan dış katmana sahiptir ve kırılğan bir dış yüzeye sahipken çekirdek kısma oldukça sağlamdır. Tablo 15’de bileşenleri verilen çelik saçmaların özgül ağırlığı 6.2-7.8 gr/cm³ ve mikro sertliği 40-50 HRC aralığındadır [55].

Tablo 15. Çelik saçma ve parçalarının bileşenleri [56]
(Table 15. Components of steel shot and its parts)

Element	Mn	Fe	C	S	P	Diğer Elementler
Çelik	0.622	98.36	0.77	0.0032	0.018	0.048



Şekil 14. Çelik saçma parçaları [57]
(Figure 14. Steel ball pieces)

4. AĞIR BETONDA AGREGA TÜRLERİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ (EFFECT OF AGGREGATE TYPES ON MECHANICAL PROPERTIES IN HEAVY CONCRETE)

Yapılan çalışmalarda mineral kökenli krom, pirit ve magnetitden üretilen agregalar kullanılarak ve 0.40-0.50-0.60 S/Ç oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerde piritin diğer agregalara göre daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Elastisite modülü değerlerinde ise yine piritin en yüksek değerleri aldığı görülmüştür. Krom ve magnetit agregalı betonlarda basınç ve elastisite değerlerinde düşüslere neden olurken karışımlardaki agregalar içerisinde magnetit agregalı betonlarda radyasyon soğurma değerleri diğer agregalı betonlara göre yüksek çıkmıştır [47].

Ağır betonların radyasyon soğurma katsayılarını belirlemek için farklı mineral kökenli agregalar çalışmalarda incelenmeye devam etmektedir. Manyetik, barit ve limonitten elde edilen agregalar farklı oranlarında ve kurşun madenlerinde çıkarılan kayaçlar içerisinde bulunan atık kurşunlardan elde edilen agregalar %1 oranında diğer agregalarla ikame edilerek oluşturulan beton numunelerinde kurşun atıklarının radyasyon soğurmada etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca kullanılan agregalar içerisinde manyetik agregalı betonlarda en fazla radyasyon soğurma değerleri elde edilmiştir [58]

Dolomit, manyetit ve kuşun cürufundan elde edilen agregalar kaba agrega olarak kurşun cürufu kullanılması, ince agrega olarak manyetit veya kurşun cürufu agregaları ikame edilerek hazırlanan yüksek performanslı beton örnekleri üzerinde yapılan deneylerde kurşun cürufu ve manyetit agregaların dolomit agregalı numunelere göre ağır betonun mekanik özelliklerini iyileştirdiği belirlenmiştir [59].

Yüksek performanslı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin tayini için farklı türlerde mineral kökenli agregalar kullanılarak numuneler üretilmiştir. Götite-limonit betonu (G.L), barit-limonit betonu (B.L), çelik cürufu-limonit betonu (S.L) ve dolomit betonu (D.C) şeklinde hazırlanan numunelerden (B.L) ve (S.L) betonlarında gama ışını zayıflatma katsayıları yüksek değerlerde bulunmuştur ve daha iyi radyasyon kalkanına sahip oldukları belirlenmiştir. Çekil cürufu, barit ve götite özgül ağırlık değerlerinin yüksek olması ve ayrıca demir ve baryum gibi atom çekirdeğindeki proton sayısı (Z) yüksek elementlerin varlığı gama ışınlarının zayıflatılmasında (D.C)'nin diğer betonlara göre daha etkili olduğu belirlenmiştir [60].

Işınların zararlarını önlemek için yapılarda en etkili yol ağır agregalarla yapılan ağır betonlardır. Ağır agrega olarak çelikhane cürufu, tufal, demir cevheri ve barit ile üretilen beton numunelerde gerçekleştirilen deneylerde elastisite modülü, basınç dayanımı, yarma-çekme dayanımı ve kırılma davranışları belirlenmiştir. Numunelerin

mekanik özelliklerini iyileştirmede demir cevheri ve çelik hane cürufu etkili olmuştur [61].

Limonit ve siderit minerallerinin farklı oranlarında üretilen beton numunelerde yapılan deneylerde siderit oranının %80 katılması karışımlardaki en yüksek basınç değerini aldığı ve radyasyon geçirimsizliğini sideritin %20 oranında karışımlarda, geçirimsizliği iyileştirdiği görülmüştür. Limonitin ise basınç ve çekme değerleri oranı arttıkça azalmış ve radyasyon geçirimsizliği siderit ile eş çıkmıştır [10].

Barit minerali kullanılarak radyasyon zırhlama işlemi yapılan beton numunelerde yaklaşık %50 oranında beton kalınlığının düşmesi ile radyasyon tutucu özelliği ağır betonda kullanılabilirliği belirlenmiştir [62].

İnce agregaların %50'si ile çelik bilyelerin ikame edilmesiyle oluşturulan ağır betonlarda yoğunluğu 3000 kg/m³'ten daha fazla beton elde edilmiştir ve eğilme dayanımı yaklaşık olarak 6 N/mm² olarak elde edilmiştir. Numunelerin ultrasonik darbe hızı testinde beton kalitesinin çok iyi olduğu görülmüştür. Yüksek yoğunluklu beton, yapısal elemanın genel kalınlığını azalttığı için ham madde miktarının en aza indirilmesine yardımcı olur [57].

Kurşun atıkları, manyetit, barit ve limonit agregaları ile yapılan ağır beton radyasyon geçirimsizliği araştırmalarında farklı oranlarda agregalarla ikame edilerek farklı beton dayanım sınıflarında 4 farklı radyasyon seviyelerindeki soğurma değerleri manyetit-kurşun agregalı karışımların C35/45 sınıfında en yüksek değeri vermiştir. Manyetit agregalar ile karıştırılan kurşun atıkları oranı arttıkça radyasyon geçirimsizlik katsayıları düşüş görülmüştür. Manyetit kullanımının diğer mineral kökenli agregalara göre daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir [58].

Nükleer enerji çalışmalarının yapıldığı yerlerde ağır betonlara ihtiyaç duyulmaktadır. Hematit minerali yoğunluğu yüksek olduğu için ağır agrega olarak kullanımı araştırılmıştır. Araştırmalarda çimentonun farklı dozajlarında hematit ve kalker katkılı betonlar üretilmiştir. Numuneler sodyum sülfat etkisi altında mekanik özellikleri değerlerinde düşüş yaşanırken hematit agregalı betonların diğer betonlara oranla sülfat etkisi altında basınç, eğilme dayanımlarında daha dayanıklı olduğu ortaya konulmuştur [63].

Beton boyutunun küçülmesine olanak sağlayan daha fazla kullanım alanı sağlamak için yapılarda ağır agregalı beton üretimini öngören çalışmalarda ilmenit agregası (5-10mm), serpantin agregası (≤5mm), çakıl (10-40mm) sırasıyla 1:1:1 oranlarında karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Kum kullanılmadan ilmenit, serpantin ve çakıl agregaları kullanılmasının kabul edilebilir mekanik özellikleri sahip yarı ağır beton üretiminde kullanılabilirler [64].

Agregaların tamamının ağır agrega olarak hematit ve çelik cürufuların yer değiştirilmesiyle yapılan çalışmalarda nano titanyum ve %1 ve %3 oranlarında nano silika eklenmesiyle ağır yüksek dayanımlı beton üretim çalışmalarında betonların mekanik ve taşıma özelliklerinde en iyi sonucu %3 oranının verdiği görülmüştür [65].

5. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS)

Bu çalışmada mineral kökenli agregaların ağır betonların mekanik özelliklerine etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Çalışma kapsamından çıkan sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Ağır beton yapımında ülkemizde var olan doğal mineral kökenli madenler yapılan çalışmalarla incelenmektedir. Ancak bu mineral kökenli madenlerin agrega yerine kullanılmasında kısıtlı mineraller araştırılmaktadır. Yapılan bu çalışma ülkemizde

türleri oldukça fazla olan lepidokrosit, witerit, ferrosilikon vb. demir içeren birçok mineralin ağır beton üretiminde kullanılmasının araştırılmasının önemini ortaya koymaktadır.

- Radyasyon zırhlama yönteminde ağır beton kullanımı etkili bir yöntemdir. Ancak radyasyon soğurma özelliği olan betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin de istenen talebi yerine getirmesi gereklidir. İncelemeler neticesinde betonun hem radyasyon soğurma hem de mekanik ve fiziksel özelliklerini iyileştiren mineral kökenli agregaların araştırılması önerilmektedir.
- Ağır beton numunelerinde mineral kökenli ağır agrega miktarının çoğaltılmasında beton basınç dayanımını arttırdığı ancak çekme ve eğilme mukavemetinde farklı sonuçlar elde edildiği incelemelerde görülmüştür. Ağır betonda kullanılan mineral kökenli agregaların çatlak oluşturma mekanizmalarının araştırılması ile çekme ve eğilme mukavemeti değerlerindeki tutarsızlıkların yorumlanması önerilmektedir.
- Ağır beton üretiminde mineral kökenli agrega kullanılmasının betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri gerekli literatür incelemesi neticesinde demir bileşeni en fazla olan manyetit agreganın diğer mineral kökenli agregalara göre en iyi performansı sağladığı anlaşılmıştır. Böylece ülkemizde demir içeriği fazla olan cevherlerin zenginliği göz önüne alındığında ağır beton agregası olarak kullanılacak demir cevherlerinin araştırılmalarının arttırılması önem arz etmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)

Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

FİNANSAL AÇIKLAMA (FINANCIAL DISCLOSURE)

Yazarlar bu çalışma için herhangi bir mali destek almadığını beyan etmiştir.

ETİK STANDARTLAR BEYANI (DECLARATION OF ETHICAL STANDARDS)

Makalenin yazarları bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan eder.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Demir, İ., (2016). Siirt yöresinde farklı santrallerde üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Elazığ: Fırat Üni. Fen Bil. Enstitüsü.
- [2] Baradan, B., Yazıcı, H. ve Aydın, S., (2015). Beton (2. Baskı). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- [3] Dural, G. ve Ruacan, Ş., (2001). Elektromanyetik dalgalar ve insan sağlığı (Sıkça sorulan sorular ve yanıtları). Ankara: Tübitak-Bilten.
- [4] Sürücü, A.M. ve Subaşı, S., (2021). Nanomateryallerin kompozit malzemelerin radyasyon zırhlama özelliklerine etkisinin incelenmesi. El-Cezeri, 8(1):182-194.
- [5] Ouda, A.S., (2015). Development of high-performance heavy density concrete using different aggregates for gamma-ray shielding. Progress in Nuclear Energy, 79:48-55.
- [6] Gharieb, M., El-Sayed, E.S., Abo-El-Enein, S., Sakr, K., Ali, A., and El-Sokkary, T.M., (2018). Influence of some industrial wastes as a heavy aggregate on durability of concrete upon utilization in the special constructions. Journal of Building Materials and Structures, 5(1):1-13.

- [7] Read, H.H. and Read, H.H., (1970). Iron, Cobalt, Nickel. Rutley's Elements of Mineralogy, 513-537.
- [8] Asil, S., (2007). Demir cevheri numunelerinde x-ışını floresans yöntemiyle molibden ve kalay tayini (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [9] Aşan, B.B., (2016). Siderit cevherindeki demirin farklı sıcaklıklarda bazı metallerle olan ilişkisi (Yüksek Lisans Tezi). Elazığ: Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [10] Doğan, Z.M., (2012). Limonit ve siderit agregalarının ağır beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması.
- [11] URL-1: <https://en.wikipedia.org/wiki/Limonite>.
- [12] McLennan, A.R., Bryant, G.W., Bailey, C.W., Stanmore, B.R., and Wall, T.F., (2000). An experimental comparison of the ash formed from coals containing pyrite and siderite mineral in oxidizing and reducing conditions. Energy&fuels, 14(2):308-315.
- [13] Lin, C.Y., Turchyn, A.V., Krylov, A., and Antler, G., (2020). The microbially driven formation of siderite in salt marsh sediments. Geobiology, 18(2):207-224.
- [14] Ayan, M., (1979). Dünyada barit ve geleceği. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 3(1):47-64.
- [15] Binici, H., Sevinç, A.H. ve Durgun, M.Y., (2011). Pomza, barit, kolemanit ve yüksek fırın cürufu katkılı harçların dayanımı ve sülfat direnci. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7(1):39-51.
- [16] URL-2: <https://www.maden.itu.edu.tr/muze/sulfat.htm>.
- [17] Kletetschka, G., Wasilewski, P.J., and Taylor, P.T., (2002). The role of hematite-ilmenite solid solution in the production of magnetic anomalies in ground- and satellite-based data. Tectonophysics, 347:167-177.
- [18] Tao, T., Glushenkov, A.M., Liu, H., Liu, Z., Dai, X.J., Chen, H., Ringer, S.P., and Chen, Y., (2011). Ilmenite FeTiO₃ nano flower sand their pseudo capacitance. The Journal of Physical Chemistry C, 115(35):17297-17302.
- [19] İçdem, C., (2007). Saf titanyum ve Ti₆Al₄V, Ti₆Al₇Nb alaşımlarının akışkan yatak ortamında termal oksidasyonu (Doktora Tezi). İstanbul: İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [20] URL-3: <https://tr.wikipedia.org/wiki/İlmenit>.
- [21] Doğanstepe, G., (2013). Hematit karakterli demir cevherinden ve yüksek fırın baca tozundan sünger demir üretilebilirliğinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Karabük: Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [22] Abi, E., Öztürk, B. ve Emrulloğlu, Ö.F., (2005). Hematit katkısı ile tuğla özelliklerinin geliştirilmesi. TMMOB Metalurji Mühendisleri Odası 12. Uluslararası Metalurji Malzeme Kongresi ve Fuarı, 28 Eylül-2 Ekim 2005 CNR Dünya Ticaret Merkezi İstanbul.
- [23] URL-4: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Hematit>.
- [24] Öztürk, C., Taner, Ü.N.L.Ü. ve Sayılı, S., (2012). Yellice (Çetinkaya-Sivas) manyetit oluşumlarının maden jeolojisi. Jeoloji Mühendisliği Dergisi, 36(2):125-169.
- [25] Ovalloğlu, R., (1969). Marin Sedimanter Demir Yataklarının önemi ve Jönezleri Hakkında Yeni Düşünceler. Scientific Mining Journal, 8(3):181-184.
- [26] Oral, K., (1965). Türkiye Demir Envanteri M.T.A. Rapor. (Neşredilmemiş) Ankara.
- [27] Çelebi, H., (2009). Türkiye apatitli manyetit yatakları: jeolojisi, jeokimyası ve ekonomik potansiyeli. İstanbul Yerbilimleri Dergisi, 22(1):67-83.
- [28] URL-5: Wikipedia: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Manyetit>.

- [29] Boyrazlı, M., (2008). Demir cevheri içerisindeki safsızlıkların olumsuz etkilerinin giderilme yollarının araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [30] Telli, E., (2019). Demir bileşiklerinin (hematit, limonit, wüstit, demir sülfat) seramik döküm çamuru, astar ve sırn (11600c) bünye özelliklerine etkilerinin araştırılması (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Güzel Sanatlar Enstitüsü.
- [31] Bonnissel-Gissing, P., Alnot, M., Ehrhardt, J.J., and Behra, P., (1998). Surface oxidation of pyrite as a function of pH. *Environmental Science & Technology*, 32(19):2839-2845.
- [32] Kibici, Y., (2002). Seramik hammaddeleri ve teknolojik özellikleri. Afyon: Afyon Kocatepe Üniversitesi Yayınları.
- [33] Helvacı, C., Gündoğan, İ., Oyman, T., Sözbilir, H. ve Parlak, O., (2013). Çaldağ (Turgutlu-Manisa) lateritik Ni-Co yatağının jeolojisi, mineralojisi ve jeokimyasal özellikleri. *Yerbilimleri*, 34(2):141-168.
- [34] Şükrü, K., Caner, K. ve Öksüz, N., (2008). Karacaali (Kırkkale) demir cevherlerinin mineralojik özellikleri. *Selçuk Üni. Mühendislik Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23(3):49-60.
- [35] URL-6: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/gotit>.
- [36] Bonewitz, R., (2012). *Rocks and minerals* (pp:1-337).
- [37] Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., (1962). Rock-forming minerals. *Non-silicates*, 118-121.
- [38] Vapur, H. and Soner, T., (2016). Spekularit cevherinin kalite özelliklerinin iyileştirilmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 31(1):293-300.
- [39] Tanriverdi, M., Sen, S., and Çiçek, T., (2018). Micaceous iron oxide production by application of magnetic separation. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 54.
- [40] URL-7: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kromit>.
- [41] Fisher, L.W., (1929). Chromite: Its mineral and chemical composition. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 14(10):341-357.
- [42] Akbulut, M., (2009). Güneybatı Anadolu kromit yataklarının platin grubu element (PGE) potansiyelleri (Doktora Tezi). Eskişehir: Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [43] Afacan, H.D., (2006). Tufal'dan demir sülfat üretimi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üni. Fen Bil. Enstitüsü.
- [44] Özen, S., Şengül, C., Taşdemir, M.A., Erenoğlu, T., Ekim, H., ve Ilıca, T., (2012). Farklı agregalarla üretilen ağır betonların tasarımı ve mekanik özellikleri. <https://www.thbbakademi.org/wp-content/uploads/2020/12/40-51.pdf>
- [45] URL-8: <http://www.kucukaligeridonusum.com/Tufal>.
- [46] Fathalizadeh, A., (2013). Eski çağda demir üretim, teori ve teknolojisini. *Türk Mühendis Mimar Odaları Birliği Mühendisler Odası Dergisi*, 164:53-60.
- [47] Demirci, M., (2018). Pirit, krom ve magnetit agregalı ağır betonların mekanik ve radyasyon soğurma özelliklerinin tayini (Yüksek Lisans Tezi). Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [48] Gross, G.A. and McLeod, C.R., (1980). A preliminary assessment of the chemical composition of iron formations in Canada. *The Canadian Mineralogist*, 18(2):223-229.
- [49] Avşın, N., Kıvrak, A. ve Kavak, E., (2019). Budaklı (Bitlis) kaplıcasının jeokimyasal özellikleri ile alanın jeolojik ve

- coğrafi yapısı arasındaki ilişki. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Özel sayı.
- [50] URL-9: <https://www.mta.gov.tr/v3.0/metalik-madenler/kursun>.
- [51] URL-10: https://www.researchgate.net/figure/Composition-of-lead-slugs_tbl11_11043496.
- [52] URL-11: <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kurşun>.
- [53] Karadağ, H., Fırat, S. ve Işık, N.S., (2020). Çelikhane cürufunun yol temel ve alt temel malzemesi olarak kullanılması. Politeknik Dergisi, 23(3):799-812.
- [54] Soysal, B., (2014). Çelikhane cürufunun yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [55] Kirk, D., (2011). Properties of carbon steel shot. Shot Peener, 25(2):24-34.
- [56] URL-12: https://www.researchgate.net/figure/Average-mineral-chemistry-WDS-EDS-wt-of-brownmillerite-subgroup-minerals-from_tbl14_334777332.
- [57] Anandu, S., Arunroy, N.S, Noel, F., Mathew, P., and Vasugi, V., (2018). Influence of steel shots in achieving high density concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology, 9(13):1745-1750.
- [58] Bakırhan, E., (2017). Kurşun maden atığı katkılı ağır betonların radyasyon soğurma katsayılarının 662-1460 Kev enerji aralığında incelenmesi (Yüksek Lisans Tezi). Gümüşhane: Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [59] Gharieb, M., Mosleh, Y.A., Alwetaishi, M., Hussein, E.E., and Sultan, M.E., (2021). Effect of using heavy aggregates on the high performance concrete used in nuclear facilities. Construction and Building Materials, 310:125111.
- [60] El-Samrah, M.G., Abdel-Rahman, M.A., and Kany, A.M., (2018). Study characteristics of new concrete mixes and their mechanical, physical, and gamma radiation attenuation features. Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie, 644(2):92-99.
- [61] Özen, S., (2013). Denge ağırlığı ve radyasyonlu ortamlarda zırh işlevi amacına yönelik ağır beton tasarımı (Doktora Tezi). Bursa: Bursa Uludağ University Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [62] Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Molla, T. ve Sancar, S., (2011). Radyoaktif Işınlardan Korunaklı Ekolojik Yapılar. Politeknik Dergisi, 14(2):93-99.
- [63] Soykan, O., Zengin, B. ve Özel, C., (2013). Kendiliğinden yerleşen ağır agregalı betonun sülfat etkisi altındaki özellikleri. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(1):7-12.
- [64] Mohamed, A.H., Abdel Wahab, M.M., and El Ashaal, A.A.S., (2010). Enhancement of ilmenite-serpentine heavy weight concrete by adding rice husk ash as a replacement for a part of cement. In The International Conference on Civil and Architecture Engineering, 8:1-13.
- [65] Abu el-Hassan, K., Hakeem, I.Y., Amin, M., Tayeh, B.A., Zeyad, A.M., Agwa, I.S., and Elsakhawy, Y., (2023). Effects of nano titanium and nano silica on high-strength concrete properties incorporating heavyweight aggregate. Structural Concrete, 25(1):239-264.