



Hematit Mineralli Polimer Kompozitlerin Mekanik Özellikleri

Hasan POLAT^{1*}, Meral OLTULU²

¹ Bingöl Üniversitesi, Teknik bilimler MYO, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Bingöl, Türkiye

² Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

Hasan POLAT ORCID No 0000-0003-1521-0695

Meral OLTULU ORCID No: 0000-0002-3779-6888

*Sorumlu yazar: hpolat@bingol.edu.tr

(Alınış: 26.10.2020, Kabul: 29.04.2021, Online Yayınlanma: 25.06.2021)

Anahtar Kelimeler

Polimer
kompozitler,
Basınç dayanımı,
Hematit minareli,
Mekanik
özellikler

Öz: Ülkemizin önemli yer altı kaynaklarından biri olan hematit minerali için alternatif bir kullanım alanı oluşturmak ve polimer matrisin özelliklerini iyileştirmek amacıyla polimer matrisine ağırlıkça farklı oranlarında (%0, 10, 20, 30 ve 40) hematit minerali (Fe₂O₃) eklenerek polimer kompozit malzeme grupları hazırlanmıştır. Üretilen polimer kompozit numuneler uygun koşullarda kür edildikten sonra, numuneler üzerinde birim hacim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, birim hacim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerlerinde hematit minerali oranının artmasıyla artış gözlemlenmiştir. Ayrıca basınç dayanımı değerleri incelendiğinde %10 hematit minerali oranında artış gözlemlenirken diğer oranlarda azalma meydana gelmiştir.

Mechanical Properties of Hematite Mineral Polymer Composites

Keywords

Polymer composite,
Compressive
strength,
Hematite mineral,
Mechanical
properties

Abstract: In order to create an alternative usage area for hematite mineral, one of the important underground resources of our country, and to improve the properties of the polymer matrix Polymer composite material groups were prepared by adding hematite mineral (Fe₂O₃) in different proportions (0, 10, 20, 30 and 40%) by weight to the polymer matrix. After the polymer composite samples were cured under suitable conditions, unit volume weight, ultrasound velocity, compressive strength and bending strength tests were performed on the samples. According to the results, an increase was observed in unit volume weight and ultrasound velocity values with the increase of hematite mineral ratio. In addition, when the compressive strength values were examined, an increase was observed up to 10% hematite mineral, while a decrease was observed in other rates.

1. GİRİŞ

Dünya çapında en yaygın kullanılan yapı malzemesi, düşük maliyeti, uygulama kolaylığı ve yüksek basınç dayanımı sayesinde geleneksel Portland-çimentolu betondur [1-3]. Öte yandan, portland-çimentolu beton düşük eğilme ve çekme mukavemeti, yüksek geçirgenlik ve düşük kimyasal direnç gibi özelliklerinden dolayı bazı dezavantajlara sahiptir [4-5]. Ayrıca çimento, bağlayıcı malzeme olarak günümüzde en çok kullanılan malzeme olmasına rağmen dünyadaki CO₂ emisyonunun yaklaşık %5-8'inden sorumlu olduğundan çimento üretiminde düşük sağlama çevresel açıdan tercih edilmektedir [6].

Bu nedenlerden dolayı özellikle mukavemet ve dayanıklılığı arttırmak, bakım ve onarım işlerini hızla

bitirmek ve inşaat alanında yapı malzemelerini geliştirmek amacıyla uygulamalarda polimer kompozitler kullanılmaya başlanmıştır [7-8]. Polimer kompozitlerin geleneksel Portland çimentolu betona göre çok sayıda avantajı vardır. Yüksek mukavemet ve dayanıklılık, üstün kimyasal direnç, çok hızlı kürlenme özellikleri, düşük büzülme, geliştirilmiş kırılma tokluğu ve agrega ile yüksek aderans gibi özelliklerinden dolayı normal betona göre kullanımı giderek artmaktadır [9-11]. Polimer kompozitler, inşaat endüstrisinde polimer modifiyeli beton (PMB), polimer beton (PB) ve polimer emdirilmiş beton (PEB) olmak üzere üç farklı biçimde kullanılmaktadırlar [12-14].

PMB, PB ve PEB kullanımı son 20 yılda önemli ölçüde artmıştır. Ancak, son zamanlarda çalışmalar termoset polimerin (örneğin epoksi, polyeester) beton için yapışkan

matris olarak çimentonun yerini aldığı PB üretimine odaklanmıştır [15]. PB, belirli oranlarda sertleştirici ve hızlandırıcı ilave edildikten sonra dolgu malzemesi ve polimer bağlayıcı (reçine) polimerizasyonu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [16]. Polimer kompozitler köprü zemin kaplaması, beton çatlak onarımı, kaldırım kaplamaları, tehlikeli atık konteynerleri, atık su boruları ve dekoratif yapı panelleri gibi bir dizi inşaat ve yapısal uygulamada kullanılmaktadır [17-20]. Son yirmi yılda PB'nin farklı alanlarda kullanımı ve mekanik özelliklerinin incelenmesi konularında birçok araştırma yapılmıştır. Bu araştırmalar; örneğin %10 oranında uçucu kül eklenmesi ile PB'nin basınç dayanımının %30 arttığı [21], geri dönüştürülmüş polimerin polimer betonda kullanımı ile sünme davranışının iyileştirildiği [22], Gaz beton atıklarının %20 oranında, mermer minerali atığının %30 oranında kullanılmasıyla basınç dayanımının arttığı [23], andezit mineralinin %10 oranında kullanılmasıyla polimer betonun basınç dayanımının iyileştirildiği [24].

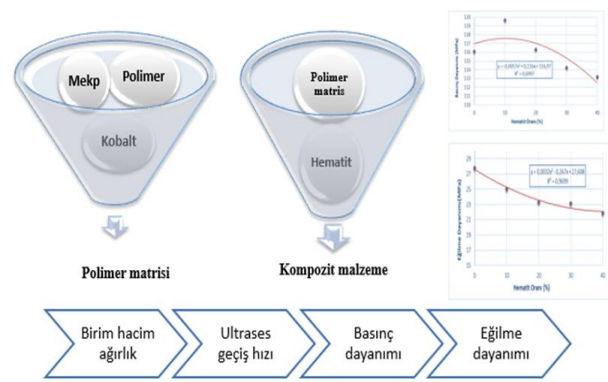
Literatürdeki çalışmalarda faz malzemelerini özellikle atık minerallerden seçmek ve minerallerin yapı malzemelerinde kullanımı ile ek değerlendirilme alanları oluşturmak tercih edilmektedir. Bu maksatla değerlendirilecek malzemelerden biri de hematit mineralidir. Ülkemizdeki demir içerikli minerallerden başlıcaları; manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), limonit ($2Fe_2O_3 \cdot 2H_2O$), götit ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$) ve siderit ($FeCO_3$)'tir. 2016 verilerine göre demir cevheri üretimi yaklaşık 70 milyon ton civarındadır. Önemli bir demir cevheri olan hematit, hidrotermal damarlarda ve magmatik kayalarda aksesuar minerali olarak bulunabilir. Volkanik kayalarda, birçok metamorfik kayada, kontakt metamorfik yataklarda, birincil veya ikincil olarak sedimenter kayalarda yaygın olarak oluşabilir. Ülkemizin en büyük demir cevheri işletmesi Sivas (Divriği)'tadır. Bu işletmede yoğun olarak hematit cevheri üretilmektedir [25]. Hematit cevherinin, kozmetikte ve boya endüstrisinde, çimento sektöründe ve yüksek birim ağırlığından dolayı radyasyon zıhlama işlemlerinde kullanımıyla ilgili yoğun çalışmalar bulunmaktadır [26-30].

Fakat polimer malzemenin içerisinde kullanımı ile çok sınırlı çalışma vardır. Çalışmalar incelendiğinde özellikle radyasyon zıhlama ile alakalı yapılan çalışmaların çoğunda mekanik özelliklerinin incelenmediği görülmüştür.

Yapılan bu çalışmada ülkemizin önemli yer altı kaynaklarından biri olan hematit mineralinin, literatürde kullanılan başka faz malzeme oranlarına dayanarak bağlayıcı olan doymamış polyester reçineye %0, 10, 20, 30 ve 40 oranlarında eklenip kompozitlerin mekanik özelliklerinin araştırılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda hematit minerali kullanılarak farklı bir polimer kompozit malzeme elde etmek, mekanik özelliklerini incelemek ve bu minerale farklı bir kullanım alanı sağlamak çalışmanın temel amacı olarak belirlenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Hematit minerali Malatya Hekimhan madencilikten temin edilmiştir. Kimyasal formülü Fe_2O_3 ve özgül ağırlığı $5.26 - 6.20 \text{ gr/cm}^3$ arasındadır. Gerçekleştirilen bu çalışmada Polipol 314 dolgu tipi polyester reçine kullanılmıştır. Birim ağırlığı 1.113 gr/cm^3 dür. Sertleştirici olarak MEKP (metil etil keton peroksit) kullanılmıştır. MEKP kobalt hızlandırıcısı ile birlikte reçinelerin kürlenmesi için uygundur. Hızlı jelleşme ve kürleşme özelliğine sahiptir. Birim ağırlığı 1.17 gr/cm^3 dür. Kobalt; hızlandırıcı olarak doymamış polyester reçinelerin oda sıcaklığında kürlenmesi için kullanılmıştır. Birim ağırlığı 0.92 gr/cm^3 dür. Çalışmada kullanılan malzemeler ve deneysel plan Şekil 1'de verilmiştir.



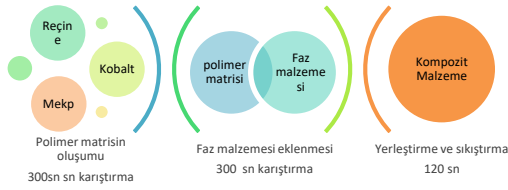
Şekil 1. Çalışmada kullanılan malzemeler ve deneysel planı

Mekp (metil etil keton peroksit) ve kobalt kullanım oranlarını belirlemek için literatürdeki çalışmalar göz önüne alınmıştır [31-32]. Yapılan deneysel çalışmada doymamış polyester reçinenin % oranlarında Mekp ve Kobalt eklenerek yapılmış olup elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Farklı Mekp ve kobalt oranları kullanılarak elde edilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı verileri incelendiğinde, en yüksek basınç dayanımı değeri %1 Mekp oranı + %0,2 kobalt oranı kullanılarak üretilen numunelerden elde edilmiş olup yapılan bu çalışmada belirlenen Mekp ve kobalt oranları kullanılmıştır.

Tablo 1. Mekp ve Kobalt Oranları

Mekp Oranı	Basınç Dayanımı- (0,2 kobalt)	Basınç Dayanımı- (0,5 kobalt)
0,5	104,07	76,2
0,8	109,11	80,34
1	110,15	80,74
1,3	103,23	78,4

Eklenen faz malzeme doymamış polyester reçinenin ağırlıkça %10, 20, 30 ve 40'ı oranlarında eklenerek polimer kompozit numuneler elde edilmiş olup üretim metodolojisi Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Polimer kompozit numune üretim yöntemi [24]

Şekil 2’de polimer kompozit numunelerin üretim yönteminde gösterildiği gibi, birinci aşamada doymamış polyester reçine içerisine, reaksiyonu tamamlaması için sertleştirici olarak MEKP ve hızlandırıcı olarak organik peroksit (Kobalt) eklenerek polimer matris oluşturulmuştur. Faz malzemesinin yüksek birim ağırlığından dolayı polimer matris içerisinde çökme yapmasını engellemek ve homojen karışım elde etmek için polimer matrisi 300sn süreyle karıştırıldı. Oluşan polimer matrisine faz malzeme eklenerek polimer kompozit numuneler elde edildi. Polimer kompozitlerden her bir grup için 3 tane 5×5×5 cm’lik küp numuneler ve 3 tane 4×4×16 cm’lik numuneler üretilmiş, 28 gün oda sıcaklığında kürede bırakılmıştır. 28. gün sonunda birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

3. BULGULAR

Yapılan çalışma sonucunda üretilen kompozit numunelerin bazı fiziko-mekanik, (BHA, Ultrases Geçiş Hızı, Basınç, Eğilme Dayanımı) özellikleri incelenmiş olup, elde edilen veriler ve kontrol numunesine göre değişimleri Tablo 3’de verilmiştir.

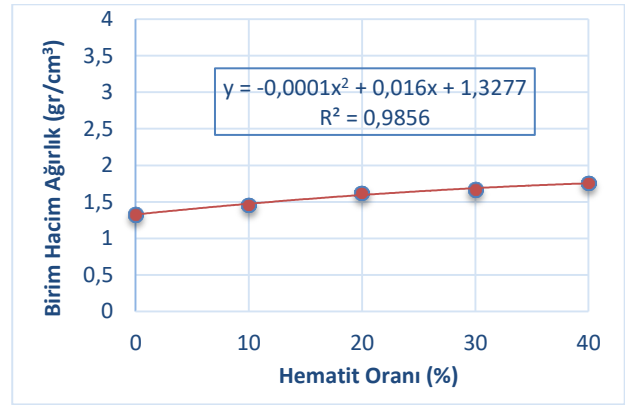
Tablo 3: Deneysel Verileri ve Kontrol Numunesine Göre Değişimleri

Kod	B.H.A(gr/cm ³)/Değişim değerleri (%)	Ultrases Geçiş Hızı (km/sn) Değişim Değerleri (%)	Basınç Dayanımı (MPa)/Değişim Değerleri(%)	Eğilme Dayanımı (MPa)/ Değişim Değerleri(%)
H0	1,332/ 0	2,79/ 0	116,06/ 0	27,77/ 0
H10	1,456/ 9,3	2,85/ 2,2	119,63/ 3,1	25,04/ -9,8
H20	1,624/ 21,9	2,86/ 2,5	116,3/ 0,2	23,25/ -16,3
H30	1,667/ 25,1	2,88 / 3,2	114,22/ -1,6	23,13/ -16,7
H40	1,760/ 32,1	2,96/ 6,1	113,18/ -2,5	21,82/ -21,43

3.1. Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

Birim hacim ağırlık deneyi TS EN 1015-10 (2001) [33]’ye göre yapılmış olup Şekil 3’te polimer kompozitlerin birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde grupların birim hacim ağırlık değerleri Hematit minerali oranı arttıkça artış göstermektedir. Artış oranı %7,3-%27 arasında değişmektedir. Kullanılan hematit mineralinin özgül ağırlığının, matris malzemenin özgül ağırlığından yüksek

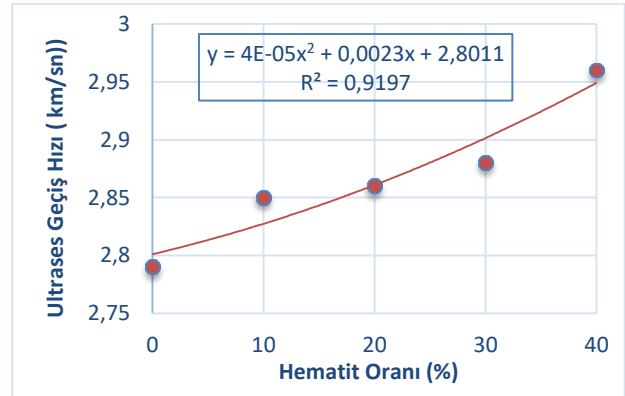
olmasından dolayı elde edilen sonuçlar zaten beklenen bir durum olarak gözlemlenmiştir.



Şekil -3. Birim Hacim Ağırlık Değerleri

3.2. Ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Ultrases geçiş hızı deneyi ASTM C 597, (1997) [34]’e göre yapılmış olup, faz malzemesi oranının ultrases geçiş hızı değerleri üzerindeki etkisi Tablo 2’de ve Şekil 4’de gösterilmiştir. Faz malzeme oranına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinde artış elde edilmiştir. Artış değerleri incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı değerinin %40 hematit minerali katkılı numunelerden elde edildiği ve kontrol numunesine göre %6,1 oranında değişim olduğu gözlemlenmiştir.



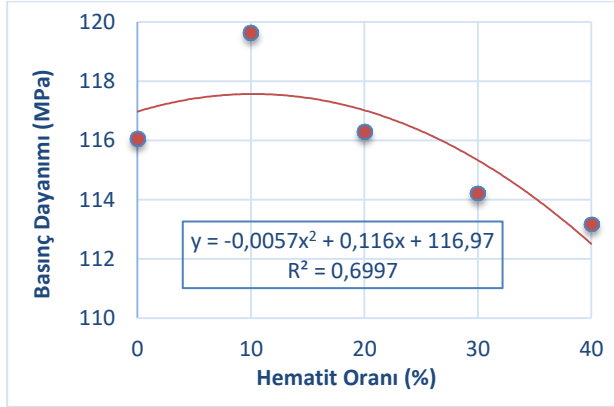
Şekil 4. Ultrases geçiş hızı değerleri

3.3. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Basınç dayanımı deneyi TS EN 12390-3 (2010) [35]’e göre yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Şekil 5’de verilmiştir. Mekanik özellikler açısından %10 hematit içeren polimer kompozit numunelerde en yüksek basınç dayanımı elde edilirken (%3 artış) en düşük değerler H40 (%2,5 azalma) numunelerinden elde edilmiştir. Kontrol numunesine göre gruplarda azalma miktarı yaklaşık olarak %2,5-3 arasında değişmektedir. Bu sonuç aslında mineralin uygun optimum oran değerinde kullanıldığında basınç dayanımını az da olsa artırdığı böylelikle mekanik özellikleri de iyileştireceğini göstermektedir.

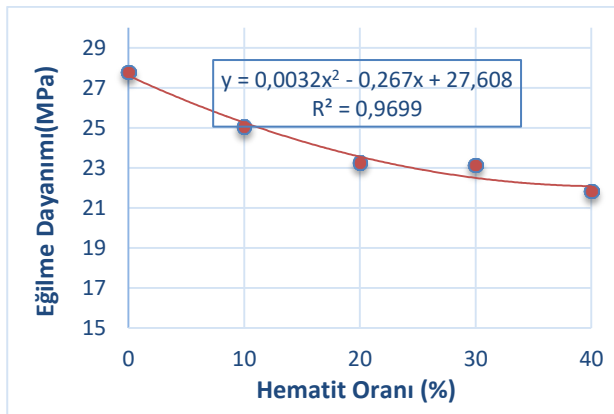
Basınç dayanımı ve ultrases hızı arasında çimentolu kompozitlerden farklı bir ilişki olduğu belirlenmiş olup ultrases geçiş hızı değerleri tüm hematit minerali

oranında artış gösterirken, basınç dayanımı değerleri sadece %10 hematit minerali oranında artış göstermiştir. Üretim aşamasında faz malzeme doymamış polyester reçineye farklı yüzdesel oranlarda ikame edilerek kullanılmış, faz malzemesinin yüksek birim hacim ağırlığı ve yüksek oranlarda kullanımı numunelerde çökmeye sebep olmuştur. Basınç dayanımı değerlerinde bu nedenden dolayı azalma meydana gelmiştir.



Şekil 5. Basınç dayanımı deney sonuçları

Eğilme dayanımı deneyi TS EN 12390 -5 (2010)' [36] göre yapılmış olup elde edilen deney sonuçları Şekil 6'da verilmiştir. Elde edilen eğilme dayanımı değerleri incelendiğinde hematit minerali oranının artmasıyla basınç dayanımından farklı olarak, eğilme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Meydana gelen değişim miktarı yaklaşık olarak %9,48 – %21,43 arasındadır. Basınç dayanımı değerlerinde açıklandığı üzere %10'dan düşük değerlerde hematit mineralinin kullanımı ile eğilme dayanımı değerlerinde de farklı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.



Şekil 6. Eğilme dayanımı deney sonuçları

4. SONUÇLAR

Hematit mineralinin polimer kompozitlerde kullanılabilirliğinin incelendiği bu çalışma bahsedilen kompozitlerin diğer performans özelliklerinin inceleneceği çalışmalara ışık tutacaktır. B.H.A değerleri incelendiğinde Hematit minerali oranı arttıkça birim hacim ağırlık değerleri artış göstermekte kontrol numunesine göre artış %7,3-%27 oranları arasında değişmektedir. Faz malzeme oranına bağlı olarak ultrases geçiş hızı değerlerinde artış elde edilmiş H40 grubunun birim hacim ağırlık değerlerinde olduğu gibi

ultrases geçiş hızı değerlerinde en yüksek değerler elde edildiği (kontrol numunesine göre artış %6,1 oranında artış) gözlemlenmiştir.

Mekanik özellikler açısından H10 numunelerinde kontrolden yüksek (% 3,01 artış) dayanım elde edilirken çökmeden dolayı en düşük değerler %40 hematit içeren (%2,5 azalma) numunelerden elde edilmiştir. Mineral homojen olarak eklendiğinde mekanik özellikleri az da olsa yükseltebileceği görülmüş olup bu sonuç polimer malzeme miktarının azaltılması açısından da önemli bir sonuçtur.

Hematit minerali oranının artmasıyla kontrole göre eğilme dayanımı değerleri oldukça azalmış kontrol numunesine göre azalış oranları %9,8-%21,43 değerleri arasında değişim göstermiştir.

Seçilen kullanım oranları ile kontrol numunesine göre daha yüksek basınç dayanımı veren %10 hematit değeri düşünüldüğünde daha sonra yapılacak çalışmalar için bu orandan daha düşük oranlarda mineral kullanımının araştırılması ve kompozitin diğer performans özelliklerinin de belirlenmesi önerilmektedir.

Ayrıca farklı reçine türü ve farklı oranlarda faz malzemeleri kullanılarak çalışmaların yapılması ile polimer kompozitlerin mekanik ve durabilite özelliklerinin saptanması sonraki yapılacak çalışmalara tavsiye edilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] Muthukumar M. Moha D. Studies on polymer concretes based on optimized aggregate mix proportion, European Polymer Journal. 2004; 40, 2167–2177.
- [2] Polat H. Özel C. TS EN 206-1'e göre Tasarlanan ve Zararlı Kimyasal Ortamlara Maruz Kalacak Betonların Basınç Dayanımının Bulanık Mantık Yöntemiyle Tahmini. Electronic Journal of Construction Technologies/Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi. 2012; 8(1).
- [3] Polat H. Yurtcan U. E. Kolak M. N. Atık Bordür Taşlarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Tr. Doğa ve Fen Derg. – Tr. J. Nature Sci. 2014; Vol. 3 No.
- [4] Toufigh V, Hosseinali M, Shirkorshidi S.M. Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete's behavior in compression, Construction and Building Materials. 2016; 112, 183–190.
- [5] Polat H. Farklı çimento tipinin silindire sıkıştırılmış betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisinin araştırılması. Bilecik şeyh edebali üniversitesi fen bilimleri dergisi. 2018; 5(2), 75-81.
- [6] Yadollahi M. M. Varolgüneş S. Polipropilen Liflerin Perlit Esaslı Geopolimerlerin Mekanik Davranışına Etkisi. Türk Doğa ve Fen Dergisi. 2018; 7(2), 36-41.
- [7] Polat H. Demirel B. Kolak, M.N. Oltul M. Polimer betonlarda barit minerali kullanımının

- araştırılması, Bingöl Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi, 2020; Cilt:1, Sayı: 1, Sayfa: 25-32.
- [8] Vipulanandan C, Paul E.(1993). Characterization of polyester polymer and polymer concrete. *J Mater Civ Eng.* 1993; 5(1):62–82.
- [9] Fowler D.W. Polymers in concrete: a vision for the 21st century, *Cement and Concrete Composites.* 1999; 21, 449-452.
- [10] Reis J.M.L. Effect of aging on the fracture mechanics of unsaturated polyester based on recycled PET polymer concrete, *Materials Science and Engineering A.* 2011; 528, 3007–3009.
- [11] Heidari-Rarani M, Aliha M.R.M, Shokrieh M.M, Ayatollahi M.R. Mechanical durability of an optimized polymer concrete under various thermal cyclic loadings – An experimental study, *Construction and Building Materials.* 2014; 64, 308-315.
- [12] ACI Committee 548. Polymers and adhesives in concrete. State of the Art Report. 2019.
- [13] Bignozzi, M C, Saccani, A., Sandrolini, F. New polymer mortars containing polymeric wastes. Part 1. Microstructure and mechanical properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.*2000; 31(2), 97–106.
- [14] Borowski E, Soliman E, Kandil U F, Taha, M R. Interlaminar fracture toughness of CFRP laminates incorporating multi-walled carbon nanotubes. *Polymers.* 2015; 7(6), 1020–1045.
- [15] Wang, T, Zhang J, Bai W, Hao S. Forming process and mechanical properties of fibers-reinforced polymer concrete. *Journal of Reinforced Plastics and Composites.* 2013; 32(12), 907–911.
- [16] Rebeiz, K S, Craft, A P. Polymer concrete using coal fly ash. *Journal of Energy Engineering—ASCE.*2002; 128(3), 62–73.
- [17] Jo BW, Park SK, Park JC. Mechanical properties of polymer concrete made with recycled PET and recycled concrete aggregates. *Constr Build Mater.*200 ; 22:2281–91.
- [18] Jo BW, Park SK, Lee KS. Prediction of stress-strain relationship for polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate under compression. *Adv Cem Res.* 2008; 20:151–9.
- [19] Jamshidi M, Pourkhorshidi AR. Modified polyester resins as an effective binder for polymer concretes. *Mater Struct* 2012; 45:521–7.
- [20] Rebeiz, K S, Serha. S. P, Craft, A P. Properties of polymer concrete using fly ash. *Journal of Materials in Civil Engineering.*2004; 16(1), 15–19.
- [21] Jo B W, Tae G H, Kim C H. Uniaxial creep behavior and prediction of recycled-PET polymer concrete. *Construction and Building Materials.*2007; 21(7), 1552–1559.
- [22] Tawfik M E , Eskander S B. Polymer concrete from marble wastes and recycled poly (ethylene terephthalate). *Journal of Elastomers and Plastics.*2006; 38(1), 65–79.
- [23] Polat H, Oltulu M. Andezit Atıklı Polimer Kompozitlerin Fiziko Mekanik Özellikleri, 1. Uluslararası Battalgazi Multi Disipliner Çalışmalar Kongresi.2018; 7-9 Aralık, Malatya.
- [24] Polat H. Oltulu M. Atık Mermer Tozu Katkılı Polimer Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi II. Uluslararası Battalgazi multidisipliner çalışmalar kongresi. 2019; 15-16-17.
- [25] Maden teknik arama genel müdürlüğü, Dünyada ve Türkiye’de demir, Fizibilite etütleri daire başkanlığı, Eylül. 2017.
- [26] Turhan M. Akamn F. Polat H. Kaçal M. R. Demirkol İ. Gamma-ray attenuation behaviors of hematite doped polymer composites. *Progress in Nuclear Energy.*2020; 129, 103504.
- [27] Kılıçarslan Ş. Ağır betonların radyasyon zayıflatma katsayılarının belirlenmesinde bulanık mantık yaklaşımı. *Engineering sciences.*2008; 3(2), 171-180.
- [28] Binici H, Küçükönder A, Sevinç A. H, Mustafa E, Tüfenk N. Atık kâğıt ve mukavvaların yalıtım malzemesi ve radyasyon tutucu materyal olarak üretiminde kullanılması. *Çukurova üniversitesi mühendislik-mimarlık fakültesi dergisi.* 2013; 28(1), 21-30.
- [29] Shirayama K. Properties of radiation shielding concrete. In *Journal Proceedings.*1963; Vol. 60, No. 2, pp. 261-280.
- [30] Hassan A M, Habib A, El-Kady A, Use of radiative capture technique for multielement analysis of domestic hematite ore sample. *Radiochemical and Radioanalytical Letters.* 1981; 49(5), 323-339.
- [31] Çakır F, Yıldırım P, Gündoğdu M, Kul K . Metil Etil Keton Peroksidin (MEKP) Polimer Betonun (PC) Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, Uluslararası 10. Beton Kongresi. 2019; pp:447-456.
- [32] Poyraz B. Kompozit malzeme üretiminde kullanılan polyesterlerin mekanik, termal ve kimyasal özelliklerine başlatıcı etkisinin incelenmesi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi.* 2018; 33(4), 1383-1396.
- [33] TS EN 1015-10. Kâgir Harcı-Deney Metotları-Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü.* 2001; Ankara.
- [34] ASTM C 597. Standard Test Method for Pulse Velocity through Concrete. *Annual Book of ASTM Standards, Pennsylvania.* 1979; USA.
- [35] TS EN 12390-3. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımını Tayini. *Türk Standartları Enstitüsü.* 2010; Ankara.
- [36] TS EN 12390-5. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü.* 2010; Ankara.