Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 28, Sayı 3, 2023 ARAŞTIRMA

DOI: 10.17482/uumfd.1299353

JEOPOLİMER BAĞLAYICI ÜRETİMİNDE ATIK MERMER TOZU KULLANIM OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kübra EKİZ BARIŞ*

Alınma:19.05.2023; düzeltme:26.10.2023; kabul: 05.12.2023

Öz: Bu çalışmada Datça Puzolanı (P) esaslı jeopolimer bağlayıcıların fiziksel ve mekanik özeliklerinin gelişimi üzerinde farklı oranlarda atık mermer tozu (AMT) ikamesinin (100P:0AMT, 75P:25AMT, 50P:50AMT, 25P:75AMT ve 0P:100AMT) etkinliği değerlendirilmiştir. Numuneler 70ºC'de 24 saat kürlendikten sonra ortam koşullarında 7 ve 28 gün kürlenmiştir. Çalışma sonucunda, Datça Puzolanı esaslı jeopolimerin en düşük porozite (%16,57) ve su emme oranı (%5,29), en yüksek kapilarite katsayısı (0,143 cm/√dk), ultrases hızı (2,95 km/s), eğilmede çekme (2,34 MPa) ve basınç dayanımına (12,42 MPa) imkân veren karışım oranı 75P:25AMT olarak belirlenmiştir. Bu karışım, en küçük makro ölçekli boşluk çapına (575 µm), en dar boşluk boyutu dağılımı aralığına sahiptir ve içyapısı daha yoğun, kompakt ve homojendir. AMT oranının artmasıyla kapilarite katsayısı, ultrases hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında tespit edilen azalma, mermerin bileşimindeki silis ve alümin oranının düşük olması nedeniyle alkali aktivasyonun yeterince gerçekleşememesinden kaynaklanmaktadır. AMT oranı yüksek olan karışımlar daha fazla boşluklu olup, en büyük boşluk çapına ve en geniş boşluk boyutu dağılımına yani en heterojen içyapıya sahiptir. P ve AMT karışımından üretilen jeopolimerin mekanik özelikleri literatürdeki araştırmaların mekanik özeliklerine yakın ya da daha yüksektir. Araştırmada atık mermer tozunun değerlendirilmesiyle daha fazla çevre dostu olan alternatif bir bağlayıcı geliştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık mermer tozu, Doğal puzolan, Jeopolimer, Fiziksel özellikler, Mekanik özellikler

Evaluation of Waste Marble Powder Using Possibilities in the Production of Geopolymer Binders

Abstract: The efficiency of replacing waste marble powder (AMT) at various contents (pozzolan:marble ratios of 100P:0AMT, 75P:25AMT, 50P:50AMT, 25P:75AMT, and 0P:100AMT) on the development of the physical and mechanical properties of Datça Pozzolan-based (P) geopolymers was evaluated. After the specimens were cured at 70ºC for 24 hours, they were cured under ambient conditions for 7 and 28 days. As a result of the study, mixture ratio, which allows the lowest porosity (16,57%) and water absorption ratio (5,29%), and the highest capillarity coefficient (0,143 cm/√min), ultrasound pulse velocity (2,95 km/s), flexural strength (2,34 MPa) and compressive strength (12,42 MPa) was determined to be 75P:25AMT. This mixture has the smallest macro-scale pore diameter (575 µm) and the narrowest pore size distribution range, and its internal structure is more dense, compact, and homogeneous. The decrease observed in the capillarity coefficient, ultrasound pulse velocity, flexural and compressive strengths with the increase in marble content is due to insufficient alkali activation due to the low silica and alumina content in the composition of the marble. Mixtures with a high marble content have more pores, the largest pore diameter, and the widest pore size distribution range, i.e., a more heterogeneous microstructure. The mechanical properties of the produced geopolymer are close to or higher than the mechanical properties of the studies in the literature. In the research, a more environmentally friendly binder was developed by utilizing waste marble powder.

Keywords: Waste marble powder, Natural pozzolan, Geopolymer, Physical properties, Mechanical properties

* Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Cedit, Muzaffer Fidan Sokak, 41300, İzmit/Kocaeli
İletişim Yazarı: Kübra Ekiz Barış (kubra.ekizbaris@kocaeli.edu.tr)

1. GİRİŞ

Sürdürülebilir kalkınma girişimleri, bilim adamlarını "jeopolimer" ya da "alkali aktive edilmiş bağlayıcılar" gibi üretimlerinde nispeten düşük enerji tüketimi gerektiren ve daha düşük emisyonlara yol açan alternatif yapı malzemeleri ve üretim süreçleri geliştirmeye yönlendirmektedir (Shi ve diğ., 2011). Bir bağlayıcı malzemenin sürdürülebilirliğini açıklayan, ancak, nadiren göz önünde bulundurulan unsurlardan biri "yerel hammadde kavramı"dır. Jeopolimer bağlayıcıların üretiminde kullanılan alüminosilikat hammadde kaynağının yerel olarak bulunması, bu malzemelerin daha düşük karbon ayak izine sahip olmasını sağlamaktadır (Provis, 2018). Jeopolimer malzemelerin üretiminde sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için, yerel olarak temin edilebilen ya da atık hammaddelerin ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına öncelik verilirken, ortaya çıkan atıkların ve emisyonların en aza indirilmesi önemle tavsiye edilmektedir (Kamseu ve diğ., 2021a; Kamseu ve diğ., 2021b).

Jeopolimer ya da alkali aktive edilmiş bağlayıcılar, alümin (Al_2O_3) ve silisçe (SiO_2) zengin katı alüminosilikat kaynakların alkali hidroksit ya da alkali silikat çözeltileriyle reaksiyonu sonucunda üretilen yapı malzemeleridir (Firdous ve diğ., 2018). Ekzotermik bir süreç olan çözünme, topaklaşma ve yoğunlaşma reaksiyonları sonucunda sertleşen bu bağlayıcılar, hammaddelerinin bileşiminde bulunan kalsiyum oranına göre yüksek kalsiyumlu ve düşük kalsiyumlu olmak üzere gruplandırılmaktadır (Garcia-Lodeiro ve diğ., 2015). Yüksek fırın cürufu gibi yaklaşık %30-40 oranında kalsiyum içeren hammaddelerin alkali aktivasyonu sırasındaki reaksiyon ürünü C-S-H (kalsiyum silikat hidrat) jel olup Portland çimentonun hidratasyon ürününe benzerdir. Metakaolin, uçucu kül, volkanik toprak ya da volkanik kül gibi düşük kalsiyum içeren hammaddelerin reaksiyon ürünü ise üç boyutlu inorganik bir alkali polimer, yani N-A-S-H (ya da alkali aluminosilikat hidrat) jelidir (Palomo ve diğ., 1999; Duxson ve diğ., 2007; Provis ve van Deventer, 2009). Jeopolimer bağlayıcılar, kullanılan hammadde kaynaklarının türüne bağlı olarak, geleneksel Portland çimentolu bağlayıcılara nazaran yaklaşık %80 daha az CO_2 salımına neden olduğundan (Firdous ve diğ., 2018) daha düşük karbon ayak izine sahiptir.

Mermer, kireçtaşı ve dolomitin yüksek sıcaklık ve basınç altında yeniden kristalleşmesi sonucunda oluşan doğal bir taştır. Antik çağlardan günümüze kadar, kültürel miras anıtlarının, tarihi binaların ve birçok diğer uygulamanın inşasında mermer kullanımı yaygın olmuştur. Dünya genelinde toplam doğal taş üretiminin yaklaşık %50'si kadar büyük bir oranda mermer rezervi bulunmaktadır (Komnitsas ve diğ., 2021). Alp-Himalaya kuşağındaki Portekiz, İspanya, İtalya, Yunanistan, İran, Pakistan ve Türkiye mermer yatakları bakımından oldukça zengin ülkelerdir (Çelik ve Sabah, 2008). Türkiye, 3872 milyon m^3 mermer rezervi ile dünya genelindeki toplam mermer rezervinin yaklaşık %40'ına sahiptir (Singh ve diğ., 2019). Ülkemizde çok çeşitli renk ve dokularda 250'nin üzerinde mermer çeşidi bulunmaktadır. Özellikle %90'ı Batı Anadolu, Afyon, Balıkesir, Eskişehir, Uşak, Kütahya, Muğla, Bursa, Aydın ve İzmir'de olmak üzere faaliyette olan yaklaşık 700 mermer ocağı bulunmaktadır (Çelik ve Sabah, 2008).

Mermer işleme fabrikalarında kesme ve cilalama işlemleri sırasında 1 ton mermer işlenirken yaklaşık 1 ton mermer çamuru ortaya çıkmaktadır. Mermer çamurunun %35-45'i sudan oluşmaktadır (Singh ve diğ., 2017). Bu çamur, mermer fabrikaları ya da kesim atölyelerinden dışarı atıldığında ve kendiliğinden kuruduğunda AMT elde edilmektedir (Singh ve diğ., 2019). AMT genellikle gelecekte başka uygulamalarda kullanılmak üzere depolarda depolanmakta ya da çöplüklere bırakılarak çevre sorunlarına yol açmaktadır (Komnitsas ve diğ., 2021). Ayrıca, çevreye dağılan bu tozların tarıma ve canlı sağlığına olumsuz etkileri bulunmaktadır (Çelikten ve Atabey, 2021). Mermer atıklarının biyolojik olarak parçalanamadığı göz önüne alındığında, bu atıkların bağlayıcı, dolgu maddesi ya da agrega olarak betona entegrasyonu çevresel açıdan uygun bir seçenektir. Çimento ağırlıkça %5 oranında AMT ile ikame edildiğinde, özellikle boşluk doldurma etkisiyle betonun mekanik özeliklerini geliştirmede etkili olduğu tespit edilmiştir (Ergün, 2011). Ancak, AMT alkali-reaktif olduğundan, beton matrislerine katılmaları önemli kısıtlamalar getirmektedir ve betona ağırlıkça %10'dan fazla eklenememektedir (Kamseu ve diğ.,

2021b). Portland çimentolu harca %10'dan daha fazla AMT eklediğinde, malzemenin eğilmede çekme ve basınç dayanımlarında azalma olduğu tespit edilmiştir (Sharma ve Kumar, 2015; Alyousef ve diğ., 2019). Bir diğer araştırmada, AMT'nun %20 oranına kadar çimento içerisinde kullanıldığında etrenjit oluşumu nedeniyle basınç dayanımında azalmaya yol açtığı belirlenmiştir (Kechagia ve diğ., 2021).

AMT'nun jeopolimer bağlayıcı üretiminde bir alüminosilikat hammadde kaynağı ya da dolgu maddesi olarak kullanımına yönelik araştırmalar da literatürde mevcuttur (Wang ve diğ., 2011; Colangelo ve diğ., 2018; Simão ve diğ., 2020; Komnitsas ve diğ., 2021; Kamseu ve diğ., 2022; Tekin, 2016). Yüksek fırın cürufu esaslı jeopolimerlerin üretiminde agrega olarak mermer ve granit atıklar değerlendirmiştir (Wang ve diğ., 2011). Elde edilen sonuçlara göre, AMT jeopolimer matris ile daha güçlü bir ara yüzey oluşturduğundan matris ve agrega arasındaki aderansı granit esaslı numunelere nazaran arttırmıştır. Metakaolin esaslı ve EPS agrega içeren jeopolimer ısı yalıtım malzemesinin kuruma rötresini azaltmak amacıyla, dolgu maddesi olarak, AMT kullanım olanakları değerlendirilmiştir (Colangelo ve diğ., 2018). Araştırma sonucunda, AMT'nun (metakaolin:mermer ağırlıkça 41,6:7,5) malzemenin mekanik özeliklerini arttırdığı ve kuruma rötresini azalttığı tespit edilmiştir. Bir diğer araştırmada, metakaolin esaslı jeopolimer çeşitli oranlarda (metakaolin:mermer ağırlıkça 3:1, 1:1, 1:3 ve 1:9) AMT ile ikame edilmiştir. AMT, malzeme bünyesinde sadece bir dolgu etkisi yapmamış, aynı zamanda daha iyi gelişmiş bir jeopolimer jel yapısının oluşumunu sağlamıştır. Böylece, yalnızca metakaolin esaslı jeopolimere nazaran daha yüksek mekanik özelikler elde edilmiştir (Simão ve diğ., 2020). Bir diğer araştırmada, NaOH ve sodyum silikat karışımıyla aktive edilmiş metakaolin esaslı jeopolimer çeşitli oranlarda (metakaolin:mermer ağırlıkça 1:0,3, 1:0,7, 1:1,5) AMT ile karıştırılmıştır. Yalnızca metakaolin esaslı jeopolimer daha yüksek (37,3 MPa) basınç dayanımına sahip olmasına rağmen, 0,3 oranında AMT içeren numunelerin basınç dayanımının (30,1 MPa) bu değere yakın olmasının hibrit sodyum-kalsiyum-alüminyum-silikat hidrat (N–C-A-S-H) fazı oluşumundan kaynaklandığı belirtilmiştir (Komnitsas ve diğ., 2021). Pirinç kabuğu külü esaslı jeopolimer bağlayıcı AMT ile karıştırarak faz değişimi ve içyapı gelişimi araştırılmıştır. Çalışma sonucuna göre, C–S–H (mermerin reaksiyonundan kaynaklanan) ve N-A-S-H (jeopolimerleşme reaksiyonlarından kaynaklanan) matrisleri karıştırıldığında, ortaya çıkan jeopolimer, N–C-A-S-H (sodyum-kalsiyum-alüminyum-silikat hidrat) kimyasal formülüne sahip ve amorf ve kristal fazlar içeren bir yapıdadır (Kamseu ve diğ., 2022).

Literatür araştırmalarından yola çıkılarak, AMT'nun jeopolimer malzeme teknolojisinde alüminosilikat kaynağı, dolgu malzemesi ve agrega olarak kullanım olanakları bulunduğu anlaşılmaktadır. Ancak, araştırmalar daha çok yüksek fırın cürufu, metakaolin, pirinç kabuğu külü gibi yapay puzolan esaslı jeopolimerlerde AMT'nun değerlendirilmesiyle gerçekleştirilmiştir. Doğal puzolan esaslı AMT katkılı bir araştırmada bulunmaktadır (Tekin, 2016). Ancak, bu araştırmada alüminosilikat kaynağı olarak traverten ve volkanik tüf kullanılmış ve alkali aktivatör olarak yalnızca NaOH kullanım olanakları değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın amacı ise, yalnızca volkanik tüf esaslı doğal puzolanın sodyum silikat ve potasyum hidroksit kombinasyonuyla aktive edilmesiyle üretilen bağlayıcının özelikleri üzerinde farklı oranlarda AMT ikamesinin etkinliğini belirlemektir. Çalışmada, doğal puzolan esaslı jeopolimer üretimi için ülkemiz yerel hammadde kaynağı olan volkanik tüf (Datça Puzolanı) değerlendirilmektedir. Böylece, bir bağlayıcı malzemenin sürdürülebilirliği üzerinde nadiren dikkate alınan kilit unsurlardan biri olan "yerel hammadde kullanımı" çalışmanın odak noktası olarak belirlenmiştir ve araştırmanın özgün değerini teşkil etmektedir.

2. MALZEME VE METOT

2.1. Kullanılan Hammaddeler

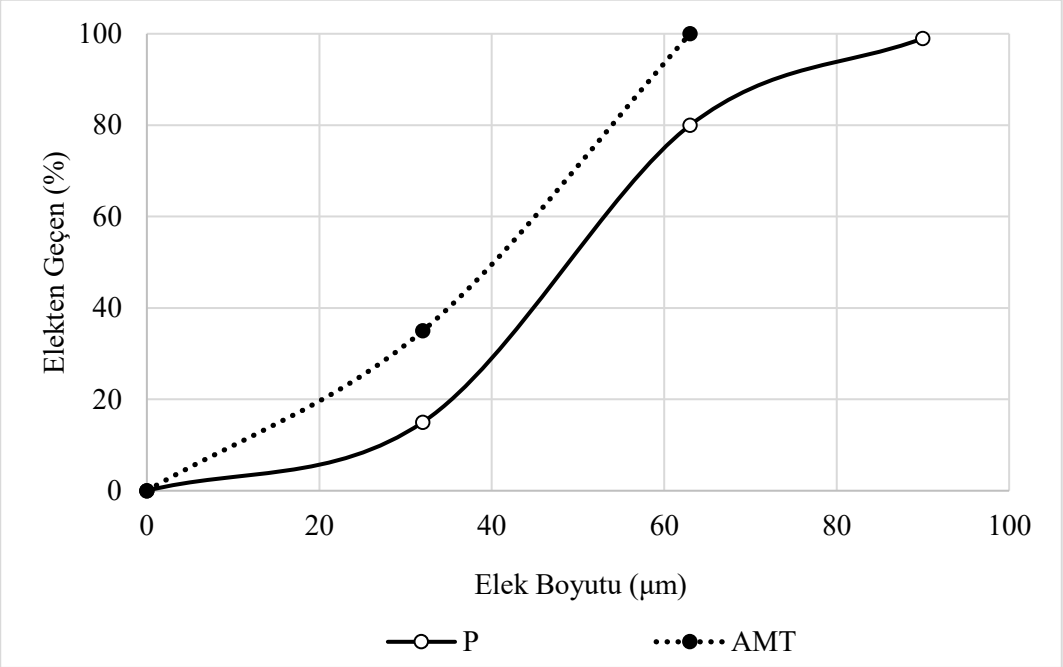
Datça Yarımadası'nda Knidos Antik Kenti ile doğusundaki Çeşmeköy-Cumalı arasındaki bölgede yerel halk tarafından "aktoprak" ya da "akkum" olarak adlandırılan ve bağlayıcılık

özelliği belirlenen (Akgül, 2006) volkanik tüf (Şekil 1a), jeopolimer bağlayıcı üretiminde alüminosilikat kaynağı olarak kullanılmıştır. Bu sarımsı gri renkteki volkanik tüfün özgül ağırlığı 2.52 g/cm^3'tür. Malzeme, içindeki nemin uzaklaştırılması amacıyla Memmert Marka havalandırmalı etüvde 70ºC'de kurutulmuştur. Daha sonra, bilyalı değirmende öğütülmüş, 90 µm elekten elenmiş ve polietilen (PE) kaplanarak muhafaza edilmiştir (Şekil 1b). Bu volkanik tüfün puzolanik özelikte olduğunu belirlemek amacıyla TS 25 (2008) uyarınca puzolanik aktivite deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda elde edilen eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri (sırasıyla 1.43 and 6.12 MPa), standartta belirtilen minimum gereksinmeleri karşıladığından, puzolanik bir malzeme olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1:
(a) Datça Puzolanı'nın doğadaki hali; (b) Öğütülmüş haldeki Datça Puzolanı (P); (c) Atık mermer tozu (AMT); (d) Potasyum hidroksit (KOH); (e) Sodyum silikat (SS); (f) 40x40x160 mm jeopolimer bağlayıcı numuneleri

AMT, çamur halinde İstanbul'da bulunan bir mermer kesim atölyesinden temin edilmiştir. Parlak beyaz renge sahip AMT etüvde 70°C'de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar 48 saat süreyle kurutulmuş, elekten elenmiş ve PE kaplanarak muhafaza edilmiştir (Şekil 1c). P ve AMT'nun tanecik boyutu dağılımı elek sarsma makinesiyle gerçekleştirilmiş olup elde edilen sonuçlar Şekil 2'de verilmektedir. Buna göre P'nın en büyük tanecik boyutu 90 µm ve AMT'nun en büyük tanecik boyutu 63 µm'dur.



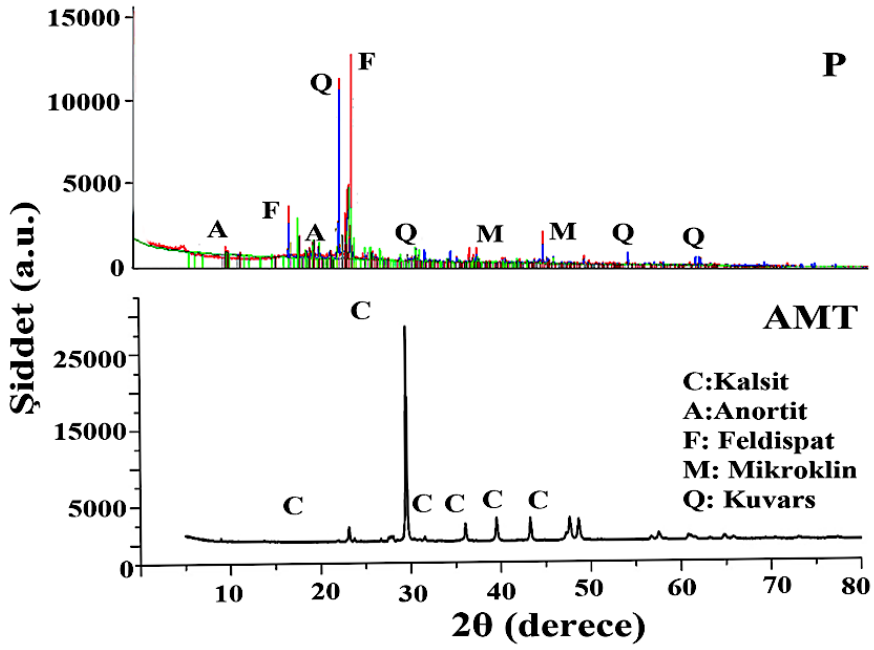
Şekil 2:
P ve AMT'nun elek analizi

P ve AMT'nun yarı kantitatif element (X-ray floresan spektometre-XRF) analizi sonuçları Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre, P alkali aktivasyon için gereken silisyum ve alüminyum (ağırlıkça %75,29 SiO_2 ve %15,99 Al_2O_3) kaynağı iken, AMT, beklendiği gibi, yüksek CaO içeriğine sahiptir (ağırlıkça %55,7 CaO).

Tablo 1. P ve AMT'nun yarı kantitatif element (XRF) analizi sonuçları

Bileşim	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	Na_2O	TiO_2	SO_3
P	75,29	15,99	0,98	1,22	0,62	0,07	3,02	2,21	0,14	0,1
AMT	0,22	0,10	-	55,7	0,21	-	-	-	-	-
Bileşim	MnO_2	Cr_2O_3	NiO	CuO	ZnO	Rb	SrO	Diğ.	KK	Toplam
P	0,04	0,005	0,004	0,002	0,002	0,006	0,015	0,136	0,15	100
AMT	-	-	-	-	-	-	-	-	43,77	100
"Diğ." Diğer bileşimleri, "KK" Kızdırma kaybını sembolize etmektedir.										

P ve AMT'nun kalitatif faz (XRD) analizi Şekil 3'te verilmiştir. Buna göre, puzolanda kuvars, anortit, feldspat ve mikroklin gibi amorf yapı gösteren bileşikler, AMT'da ise kristal yapılı kalsit bileşiği bulunmaktadır.



Şekil 3:
P ve AMT'nun kalitatif faz (XRD) analizi sonuçları

Jeopolimerizasyon reaksiyonlarının gerçekleşebilmesi için alkali aktivatör olarak %99 saflığa sahip katı potasyum hidroksit (KOH) (Şekil 1d) ve sıvı sodyum silikat (Na_2SiO_3=SS) (Şekil 1e) çözeltileri Merck Kimya'dan temin edilmiştir. Datça Puzolanı'nın jeopolimerleşme özelliğinin araştırıldığı bir önceki araştırmada (Barış, 2022) en yüksek mekanik özelikleri sağlamasından dolayı SS ve KOH çözeltileri birlikte kullanılmıştır. 7,5 molar (M) konsantrasyona sahip KOH çözeltisi kullanılmadan 24 saat önce deiyonize suda çözülerek kapalı bir kap içerisinde oda sıcaklığına kadar soğutulmuştur. Sıvı haldeki SS çözeltisi %7,5 Na_2O, %25,5 SiO_2 ve %67 H_2O'dan oluşmaktadır.

2.2. Karışım Oranları

Karışımlar hazırlanırken puzolan:alkali aktivatör, SS:KOH (aktivatör oranı) ve su:toplam katı madde oranları sırasıyla ağırlıkça 1:0,3, 2,5:1 ve 0,5:1 olarak sabit tutulmuştur. Su:toplam katı madde oranı Xie ve Kayalı (2014)'e göre hesaplanmıştır. "Su", aktivatör çözeltilerinin içerisinde bulunan çözelti suyunun ve karıştırma sırasında işlenebilirliği sağlamak için eklenen ekstra suyun toplamını ifade etmektedir. "Katı maddeler" ise katı fazdaki (P ve AMT) malzemelerin ve alkali aktivatörlerin bileşimindeki katı kısımların (Na_2O ve SiO_2) toplamını ifade etmektedir.

Doğal puzolan esaslı jeopolimer malzemenin özelikleri üzerinde AMT ikamesinin etkilerini araştırmak amacıyla P:AMT oranı 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 ve 0:100 olan karışımlar hazırlanmıştır. AMT içermeyen numune (100:0), kontrol numunesi olarak kabul edilmiştir.

2.3. Üretim ve Kür Koşulları

Hammaddelerin hazırlanması, karışımların oluşturulması ve deneylerin gerçekleştirilmesi işlemleri 22±2ºC ve %55±5 bağıl nemli ortam koşullarında gerçekleştirilmiştir. Karışımlar hazırlanırken ilk olarak katı hammaddeler, elektrikli bir harç karıştırıcısı yardımıyla 60 rpm hızla 5 dakika karıştırılmıştır. Ardından, alkali aktivatörler ve su, bu kuru karışıma kademeli olarak eklenmiş ve homojen bir bağlayıcı elde edilene kadar 100 rpm hızla 10 dakika daha karıştırılmıştır. Üretilen taze haldeki karışım 40x40x160 mm prizmatik çelik kalıplara yerleştirildikten sonra, karışım suyunun buharlaşarak hızlıca bağlayıcı yapısından ayrılmaması

için kalıplar PE kaplanmıştır. Numuneler PE kaplı halde ve kalıp içerisinde 70ºC'de 24 saat etüv kürüne tabi tutulmuştur. 24 saat sonra etüvden çıkarılan numuneler (Şekil 1f) 22±2ºC ve %55±5 bağıl nemli ortam koşullarında 7 ve 28. güne kadar bekletilerek fiziksel ve mekanik deneyler 7. ve 28. gün gerçekleştirilmiştir.

Üretilen numuneler "xP:yAMT" formatında kodlanmıştır. Bu kodlamada "P" puzolanı, "x" ağırlıkça puzolan oranını, "AMT" atık mermer tozunu ve "y" ağırlıkça atık mermer tozu oranını sembolize etmektedir. Örneğin, 75P:25AMT kodlu numune ağırlıkça %75 puzolan ve %25 mermer tozundan oluşan karışımı betimlemektedir.

2.4. Uygulanan Deneyler

Numunelerin birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) TS EN 1015-10 (2001) ve atmosferik basınç altındaki su emme oranı TS EN 13755 (2014) standartlarına uygun olarak tespit edilmiştir. Numunelerin porozitesi Denklem-1 uyarınca tespit edilmiştir.

$$P = [1 - (\Delta/\rho)] \text{ x } 100 \quad (1)$$

(Δ) ve (ρ) sırasıyla numunenin birim hacim ağırlığını ve özgül ağırlığını sembolize etmektedir (g/cm^3). Özgül ağırlık, boşluksuz haldeki malzemenin birim hacminin kütlesidir ve TS 699 (2009)'a uygun olarak tespit edilmiştir.

Numunelerin dinamik ultrases hızı Proceq marka ultrases ekipmanı kullanılarak TS EN 14579 (2006)'a uygun olarak tespit edilmiştir. Tahribatsız bir deney olarak ultrases hızı testi, yüzeye bağlı bir dönüştürücü (yayıcı) prob kullanılarak periyodik darbelerle ultrases dalgalarının ($2x10^4 \pm 10^3$ Hz) malzemeye gönderilmesi prensibine dayanmaktadır. Malzemenin içinden geçtikten sonra, dalgalar alıcı prob tarafından toplanır. Ultrases hızı, ortam sıcaklığından, malzemenin mineralojik bileşimden, yoğunluğundan, malzeme içindeki çatlaklardan, heterojenlikten ya da süreksizlikten etkilenir. Ultrases hızı Denklem 2 uyarınca hesaplanmıştır:

$$V = l/\mathrm{t} \quad (2)$$

(l) yayıcı ve alıcı problar arasına yerleştirilmiş olan numunenin boyu (m) ve (t) numuneden ultrasesin geçmesi sırasındaki süre (µs)'dir.

Jeopolimer malzemelerin boşluk yapısı özelikleri belirlenirken tespit edilmesi gereken temel parametreleri porozite, en büyük boşluk boyutu, boşluk boyutu dağılımı ve homojenlik olarak sınıflandırmak mümkündür (Dhasindrakrishna ve diğ., 2021). Boşluk yapısı özelikleri malzemenin yoğunluğu, dayanım gelişimi, su emme oranı, ısıl ve akustik özeliklerini belirlemektedir. Özellikle, 10 µm'dan daha büyük makro ölçekli boşluklar bu temel özelikleri belirlemede anahtar rol oynamaktadır (Cui ve diğ., 2018). Bundan dolayı, çalışmada üretilen numunelerin makro ölçekli boşluk yapısını belirlemek için numunelerin ince kesiti hazırlanmıştır. İnce kesit hazırlama işlemi sırasında numuneler öncelikle elektronik bir taş kesme makinesi kullanılarak 40x40x10 mm kalınlıkta kesilmiştir. Kesilen bölümlerin yüzeyi düzeltme diski üzerinde inceltilerek temiz ve pürüzsüz hale getirilmiştir. Daha sonra, bu bölümler 1 mm kalınlığındaki camın üzerine iki bileşenli şeffaf epoksi kullanılarak yapıştırılmış ve düzeltme diskinde 600 mesh zımpara ile zımparalanarak 30 µm kalınlığa kadar inceltilmiştir. Hazırlanan ince kesitlerin mikroskobik görüntüleri Nikon LV 100 Pol Marka optik mikroskop yardımıyla (10×) alınmıştır. Daha sonra, bu görüntülerdeki boşluk yapısı özelikleri Image-Pro Plus yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Her bir numuneye ait boşluk yapısı özelikleri (boşluk sayısı, en büyük boşluk boyutu, boşluk boyutu dağılımı ve homojenlik) 500 ölçüm sonucundan elde edilmiştir. Boşluk boyutları eşdeğer daire çapı ile ölçülmüş ve Denklem 3 ile hesaplanmıştır (Prud'homme ve diğ., 2015):

$$\text{Deşdeğer} = 2\,x\,(\frac{Spi}{\pi})^{1/2} \quad (3)$$

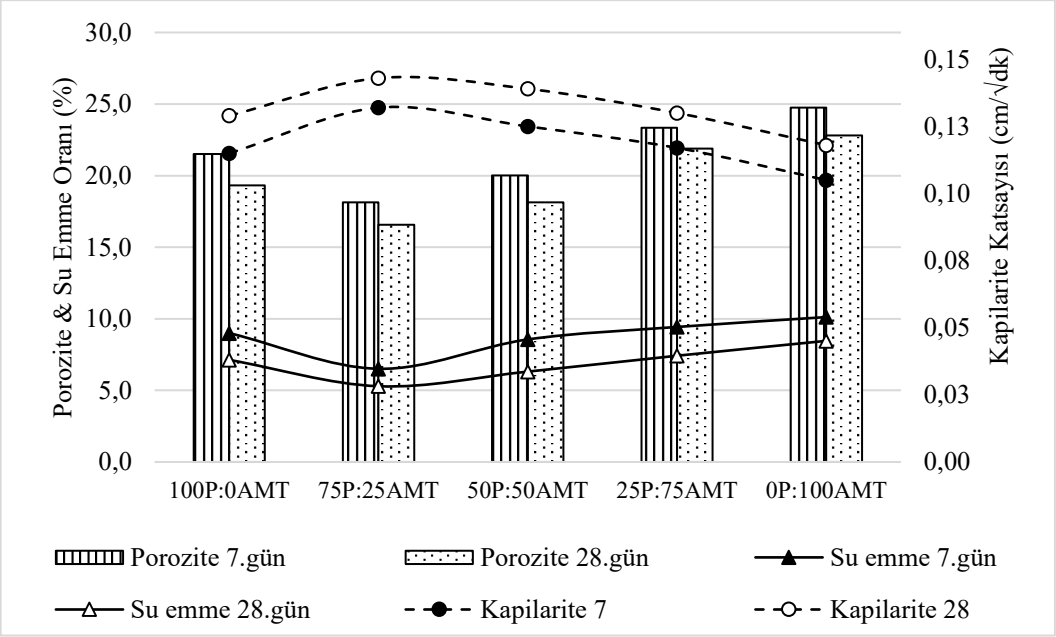
(Deşdeğer) eşdeğer daire çapı (µm) ve (Spi) boşluğun ölçülen yüzey alanıdır $(\mu m)^2$.

Numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri TS EN 196-1 (2016)'e uygun olarak 100 kN kapasiteli Universal Deney Makinesiyle (0,5 N/mm^2 sabit hızla) tespit edilmiştir.

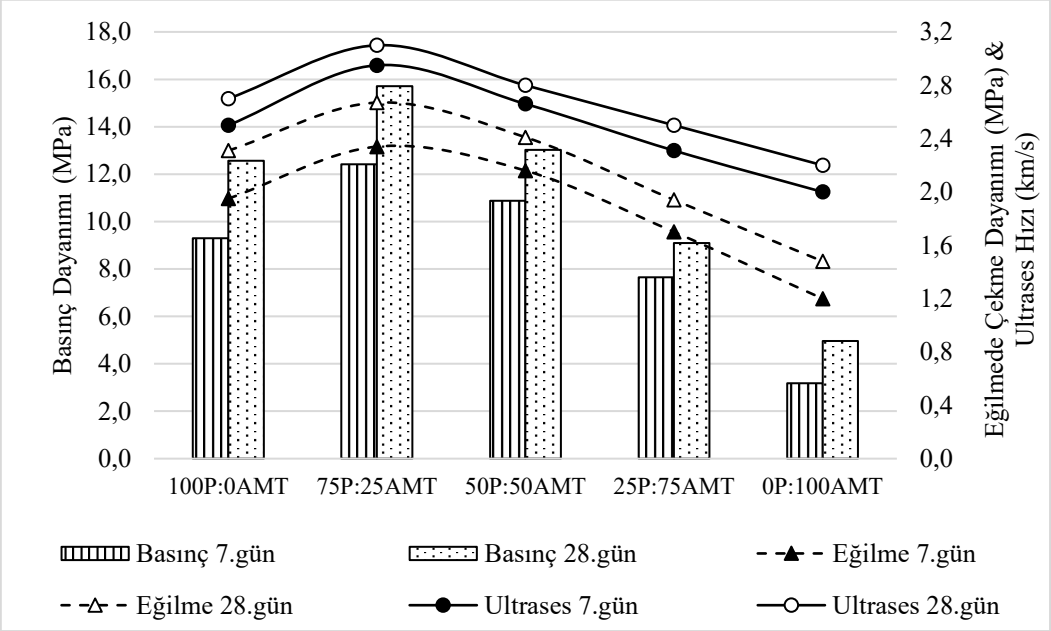
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Puzolan:Atık Mermer Tozu Oranının İncelenen Özelikler Üzerindeki Etkisi

Farklı P:AMT oranlarına sahip numunelerin fiziksel ve mekanik özeliklerindeki değişimler sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 4:
Farklı P:AMT oranlarına göre jeopolimer numunelerin fiziksel özelikleri



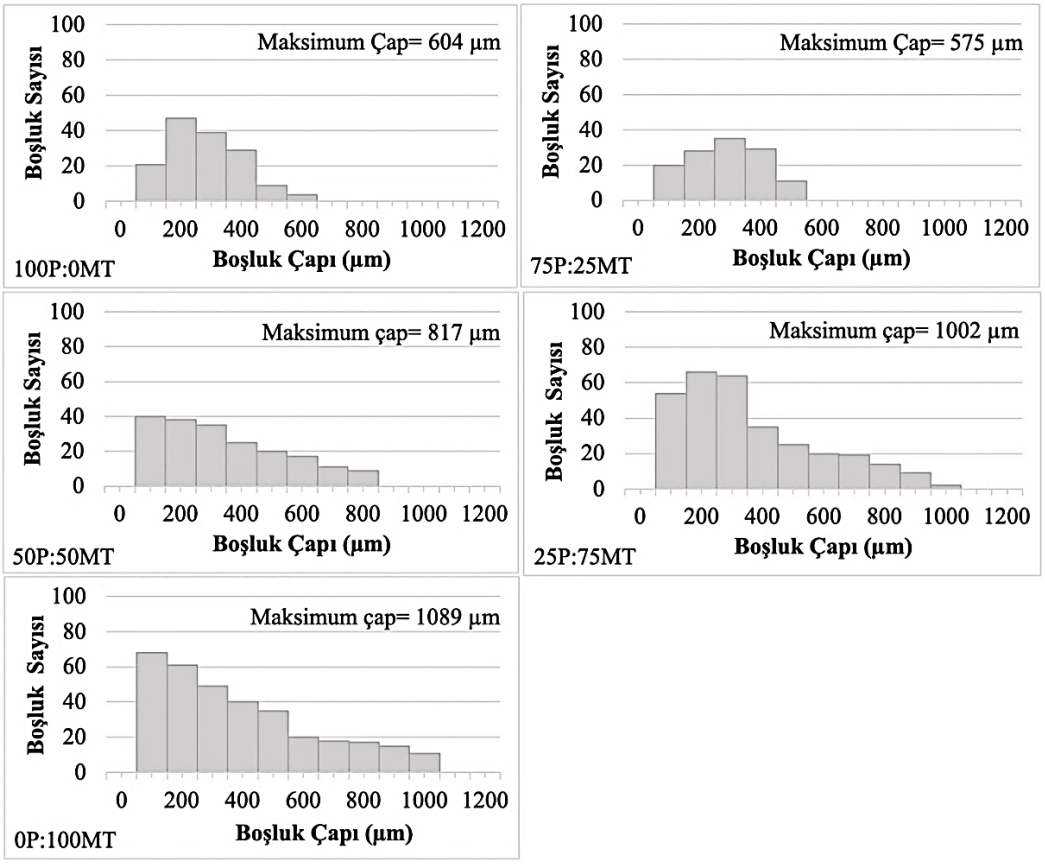
Şekil 5:
Farklı P:AMT oranlarına göre jeopolimer numunelerin mekanik özelikleri

Alüminosilikat kaynağı olarak yalnızca doğal puzolan kullanıldığında üretilen kontrol numunesi (100P:0AMT) 7. günde %21,5 porozite, %9,00 su emme oranı, 0,115 cm/√dk kapilarite katsayısı, 2,50 km/s ultrases hızı, 1,95 MPa eğilmede çekme ve 9,31 MPa basınç dayanımına sahiptir. Jeopolimerleşme reaksiyonları üç aşamalı olarak gelişmektedir. Birinci aşamada, alkali aktivatördeki OH^- iyonları, silis ve alümin içeren alüminosilikat kaynağındaki Si-O-Si bağlarını çözerek silanol (Si-OH) ve sialat ($Si\text{-}O^-$) bileşenleri meydana getirir. Bu OH^- iyonları, Si-O-Al bağlarını da aynı şekilde çözer. İkinci aşamada, çözünmüş ürünler birbirine temas ederek topaklanmış, bir yapı oluşur. Silis monomerleri arasında dimer oluşmaya başlar ve dimerler birbirleriyle birleşir. Polikondansasyon aşamasında ise, bir önceki aşamada yoğunlaşan dimerler büyüyerek üç boyutlu amorf N-A-S-H jelini (ya da alkali aluminosilikat hidrat jelini) meydana getirir (Garcia-Lodeiro ve diğ., 2015). Yani, bu araştırmada %100 puzolandan üretilen karışımların temel bağlayıcısı üç boyutlu amorf yapılı N-A-S-H jelidir ve sonuç özelliklerin elde edilmesinden sorumludur. Diğer yandan, puzolanın %25 oranında AMT ile ikame edilmesiyle (75P:25AMT), 7 günlük porozite 0,84 kat ve su emme oranı 0,72 kat azalmıştır. Kapilarite katsayısında tespit edilen 1,16 kat artış, bağlayıcının içyapısındaki boşlukların daha dar ve birbirleriyle daha fazla bağlantılı hale gelmesinden dolayı kapiler basıncın arttığını ifade etmektedir. %25 AMT ikamesiyle fiziksel özeliklerde tespit edilen değişimler bağlayıcının strüktürel olarak geliştiğini göstermiştir ve bu durum mekanik özeliklere de yansımıştır. 75P:25AMT numunelerinin ultrases hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri, kontrol numunesinin özeliklerine nazaran sırasıyla 1,18, 1,20 ve 1,34 kat artmıştır. En yüksek ultrases hızı (2,95 km/s), eğilmede çekme (2,34 MPa) ve basınç dayanımı (12,42 MPa), %75 doğal puzolan ve %25 AMT'dan üretilen (75P:25AMT) numuneye aittir. Doğal puzolanın %25 AMT ile ikame edilmesi, mermerin ana bileşeni kalsit ($CaCO_3$) olduğundan, karışımdaki Ca^{+2} miktarının artmasına yol açmıştır. Literatür verileri, alkali koşullar altında kalsitin de reaktif olduğunu göstermektedir (Locat ve diğ., 1991; Palmero ve diğ., 2017). Jeopolimerleşmenin birinci aşaması olan çözünme sırasında, yukarıda anlatılan reaksiyonlara ek olarak, kalsiyumca zengin AMT'dan Ca^{+2} iyonları çözünmektedir. Polikondansasyon sırasında ise, N-A-S-H jelinde bulunan Na iyonlarıyla çözünmüş olan bu Ca^{+2} iyonları yer değiştirmekte ve bunun sonucunda katı halde (N,C)-A-S-H jeli oluşmaktadır. N-A-S-H ve (N,C)-A-S-H jellerinin aynı jeopolimerik yapıda bir arada bulunması daha yüksek dayanım gelişiminin ana etkenidir ve daha yüksek

mekanik özeliklerin elde edilmesini doğrular niteliktedir (Simão ve diğ., 2020; Komnitsas ve diğ., 2021). Yani, kalsitçe zengin kristal yapılı AMT kullanımı, farklı bir jeopolimer jel yapısı oluşumuna imkân vermektedir. Ayrıca, yapıda reaksiyona girmemiş halde bulunan ve Datça Puzolanı'na nazaran daha ince tanecik boyutu dağılımına sahip olan $CaCO_3$'ın da jeopolimer bağlayıcı yapısında mikro-dolgu etkisi yaptığı düşünülmektedir. Ancak, elde edilen jeopolimer jel içerisindeki faz gelişimini tam olarak tespit edebilmek için XRD, FTIR ve SEM analizleriyle daha derinlemesine araştırma yapılması gerekmektedir.

Puzolanın %50 ve daha yüksek oranlarda AMT ile ikame edilmesiyle (50P:50AMT, 25P:75AMT, 0P:100AMT), fiziksel ve mekanik özeliklerdeki gelişim tam tersine dönmüştür. 7 günlük porozite ve su emme oranının artışına bağlı olarak bağlayıcının mekanik özelikleri kademeli olarak azalmıştır. 7 günlük en yüksek porozite ve su emme oranı (sırasıyla %24,75 ve %10,12) ve en düşük kapilarite katsayısı, ultrases hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımları (sırasıyla 0,105 cm/√dk, 2,00 km/s, 1,20 MPa ve 3,18 MPa) %100 AMT'dan üretilen (0P:100AMT) numunede elde edilmiştir. Jeopolimer malzemelerin bileşiminde yüksek oranda amorf silis ve alümin bulunması durumunda yukarıda açıklanan reaksiyonların daha iyi gelişmesine bağlı olarak daha yüksek mekanik özelikler elde edilebilmektedir (Tchadjie ve Ekolu, 2018). %100 AMT'dan üretilen numunelerde tespit edilen en düşük mekanik özelikler, kalsitçe zengin kristal yapılı AMT'daki silis ve alümin oranının çok düşük olmasından dolayı (Tablo 1) alkali aktivasyonun tam olarak gerçekleşememesine bağlı olabilir.

Jeopolimer bağlayıcılara ait Image-Pro Plus yazılımı kullanılarak tespit edilen makro ölçekli (>10 µm) boşluk yapısı özelikleri (boşluk sayısı, en büyük boşluk boyutu, boşluk boyutu dağılımı ve homojenlik) Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6:
Farklı P:AMT oranlarına göre jeopolimer numunelerin makro ölçekli boşluk yapısı özelikleri

Şekil 6'ya göre, bütün numunelerin boşluk çapı 76-1089 μm (0,076-1,089 mm) aralığında değişmektedir. Yalnızca doğal puzolandan oluşan referans numunesinin (100P:0AMT) en büyük boşluk çapı 604 μm'dir ve boşluk boyutu dağılımı dar bir aralıkta yer almaktadır. Puzolanın %25 oranında AMT ile ikame edilmesiyle üretilen 75P:25AMT numunesi en az boşluk sayısına, en dar maksimum boşluk çapına (575 μm) ve en dar boşluk boyutu dağılımı aralığına sahiptir. Bu sonuç, söz konusu numunenin en düşük poroziteye sahip olduğu bulgusuyla örtüşmektedir. Boşluk boyutu dağılımının daha dar bir aralıkta yer almasıyla, malzeme bünyesinin boşluk morfolojisi bakımından daha fazla homojenlik gösterdiği anlaşılmaktadır. Yani, ideal P:AMT oranında (75P:25AMT) daha iyi gelişen jeopolimerleşme reaksiyonları, daha az boşluklu, daha kompakt ve yoğun bir malzeme bünyesinin oluşumunu ve daha yüksek mekanik özeliklerin gelişimini sağlamıştır. Diğer yandan, AMT oranının kademeli olarak arttırılması (50P:50AMT, 25P:75AMT ve 0P:100AMT), boşluk sayısının artmasına, en büyük boşluk çapının 1089 μm'a kadar artmasına ve boşluk boyutu dağılımının daha geniş bir aralıkta yer almasına, yani malzeme bünyesinde daha heterojen bir boşluk morfolojisi oluşmasına yol açmıştır. Bu sonuç ise, AMT oranı yüksek olan numunelerin en yüksek poroziteye ve buna bağlı olarak en düşük mekanik özeliklere sahip olmasıyla uyumludur. Yani, AMT oranı yüksek olan numunelerde, mermer bileşimindeki silis ve alümin yetersizliği nedeniyle daha düşük reaktiviteye sahip olduğundan, jeopolimerleşme reaksiyonları daha kısıtlı kalmıştır. Bunun sonucunda, bünyede reaksiyona girmemiş öncül maddeler kalarak ve daha boşluklu bir içyapı oluşmuş ve daha zayıf bir strüktürel gelişim tespit edilmiştir. Bu sonuç literatürde yer alan diğer araştırma sonuçlarıyla da uyumludur (Komnitsas ve diğ., 2021).

3.2. Kür Süresinin İncelenen Özelikler Üzerindeki Etkisi

Çalışmada üretilen numuneler PE kaplı halde ve kalıp içerisinde 70ºC'de 24 saat etüv kürüne tabi tutulmuştur. 24 saat sonra etüvden çıkarılan numuneler, 22±2ºC ve %55±5 bağıl nemli ortam koşullarında 7 ve 28. güne kadar kürlenmiştir. Farklı P:AMT oranlarına sahip numunelerin fiziksel ve mekanik özeliklerinin 7 ve 28 günlük kür süresine bağlı olarak değişimleri sırasıyla Şekil 4 ve Şekil 5'te ifade edilmiştir. Buna göre, bütün numunelerde kür süresinin 7. günden 28. güne arttırılmasıyla porozite ve su emme oranları sırasıyla 0,88-0,94 ve 0,70-0,84 kat azalmıştır. Kapilarite katsayısında tespit edilen 1,08-1,17 kat artıştan, artan kür süresiyle bağlayıcının içyapısındaki boşlukların daha dar hale geldiği anlaşılmaktadır. Fiziksel özeliklerdeki gelişime bağlı olarak numunelerin ultrases hızı, eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri sırasıyla 1,09-1,16, 1,17-1,27 ve 1,23-1,59 kat artmıştır. Buradan farklı kür koşulları ile farklı seviyelerde kür verimliliği sağlandığı ve jeopolimer bağlayıcının daha uzun süre kürlenmesinin içyapı gelişimini desteklediği anlaşılmaktadır.

3.3. Araştırma Bulgularının Literatür Verileriyle Karşılaştırmalı Olarak İrdelenmesi

Farklı P:AMT oranlarına sahip numunelerin eğilmede çekme ve basınç dayanımları çeşitli alüminosilikat kaynaklarından ve AMT'dan üretilen ve benzer koşullarda kürlenen jeopolimerler ile karşılaştırılmıştır (Tablo 2). Bu karşılaştırmaya göre, %75 Datça Puzolanı ve %25 AMT'dan üretilen ve en yüksek mekanik özeliklere sahip olan 75P:25AMT numunelerin sahip olduğu eğilmede çekme ve basınç dayanımı değerleri (sırasıyla 2,67 ve 15,71 MPa), literatürde yer alan $CaCO_3$-esaslı doğal taş tozu içeren numunelere nazaran (Akturk ve diğ., 2023) daha düşük; %50 AMT içeren uçucu kül esaslı jeopolimerle (Ionescu ve diğ., 2023); bir diğer araştırmada %30 AMT içeren uçucu kül esaslı jeopolimer malzemeyle (Alharthy ve diğ., 2022); %13 AMT içeren metakaolin esaslı jeopolimerle (Komnitsas ve diğ., 2021); %60 AMT içeren traverten ve Bayburt volkanik tüfü esaslı jeopolimerle (Tekin, 2016) yakın değerlerdir. Diğer yandan, çalışmada elde edilen mekanik özelikler literatürdeki %10-30 oranında AMT içeren metakaolin esaslı (Kaya ve diğ., 2022) ve %30-70 oranında AMT içeren metakaolin esaslı (Cwirzen ve diğ., 2014) jeopolimerlerin özeliklerine nazaran daha yüksektir. Buradan, ülkemiz yerel hammadde kaynaklarıyla üretilen doğal Datça Puzolanı esaslı jeopolimer malzemenin literatürde geliştirilmiş olan jeopolimerlerle uyumlu olduğu ve çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı anlaşılmaktadır.

Tablo 2. AMT içeren Datça Puzolanı esaslı jeopolimer malzemenin mekanik özeliklerinin literatür verileriyle karşılaştırılması

Referans	Alüminosilikat kaynağı	Atık hammadde türü	Alkali aktivatör türü ve molaritesi	İkame oranı (%, ağırlıkça	Kür koşulu	Eğilmede çekme dayanımı (MPa)	Basınç dayanımı (MPa)
Ionescu ve diğ., (2023)	Uçucu kül	AMT	SS + 8 M NaOH	10	70ºC, 24 saat	3,3	28,8
				25		2,3	26,8
				50		0,7	15,0
Alharthy ve diğ., (2022)	Uçucu kül	AMT	SS + 10 M NaOH	10	60ºC, 72 saat	-	5,9
				30		-	14,7
				50		-	10,3
Kaya ve diğ., (2022)	Metakaolin	AMT	8, 10 ve 12 M NaOH	10	80ºC, 24 saat	1,2	6,5
				20		1,4	7,2
				30		1,9	7,9
Cwirzen ve diğ., (2014)	Metakaolin	AMT	3 ve 5 M NaOH	30	80ºC, 24 saat	-	4,5
				50		-	4,1
				70		-	3,0
Komnitsas ve diğ., (2021)	Metakaolin	AMT	SS + 6, 8 ve 10 M NaOH	13	90ºC, 24 saat	-	15,5
				25		-	12,0
				37		-	7,5
Akturk ve diğ., (2023)	Metakaolin	$CaCO_3$-esaslı doğal taş	SS + 8, 10 ve 12 M NaOH	10	60ºC, 24 saat	12,9	64,0
				20		11,2	58,6
				30		11,0	56,1
Tekin (2016)	Traverten, Volkanik tüf	AMT	1, 5 ve 10 M NaOH	20	75ºC, 24 saat	-	35,9
				40		-	24,2
				60		-	15,7
				80		-	12,8
Bu araştırma	Volkanik tüf (Datça, Türkiye)	AMT	SS + 7.5 M KOH	25	70ºC, 24 saat	2,67	15,71
				50		2,41	13,03
				75		1,94	9,10
				100		1,48	4,96

4. SONUÇ

Çeşitli oranlarda AMT içeren doğal puzolan esaslı jeopolimer malzeme geliştirmek amacıyla gerçekleştirilen deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar şu şekilde özetlenebilmektedir:

- Datça Puzolanı esaslı jeopolimer bağlayıcıları farklı oranlarda AMT ile karıştırmak bağlayıcının fiziksel ve mekanik özeliklerini önemli ölçüde etkilemektedir.
- Datça Puzolanı esaslı jeopolimer bağlayıcının en yüksek fiziksel ve mekanik özeliklere imkân veren karışım oranı %75 P ve %25 AMT'dan oluşmaktadır. Söz konusu karışımın en dar maksimum boşluk çapına ve en dar boşluk boyutu dağılımı aralığına sahip olması, jeopolimerleşme reaksiyonlarının daha iyi geliştiğini ve malzeme bünyesinin yoğun, kompakt ve homojen olduğunu göstermektedir.
- %75 P ve %25 AMT'dan oluşan ideal karışım oranında kapilarite katsayısının artması ve böylece kapiler boşluklardan suyun yer çekimine zıt yönde ilerlemesi sonucunda, donma çözülme etkisiyle çatlama ya da suda çözünen tuzların yüzeyde birikmesi nedeniyle çiçeklenme gibi çeşitli durabilite sorunlarına yol açabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.
- AMT oranı daha yüksek olan karışımlar daha düşük mekanik özeliklere sahiptir. Bu durum, mermerin bileşimindeki silis ve alümin oranının düşük olması nedeniyle alkali aktivasyonun tam olarak gerçekleşememesinden kaynaklanmaktadır.
- AMT oranı yüksek olan numuneler daha fazla boşluklu ve en büyük boşluk çapına sahiptir. Bu numunelerde boşluk boyutu dağılımı daha geniş bir aralıkta yer aldığından heterojen bir malzeme bünyesi elde edilmektedir.
- Datça Puzolanı esaslı ve AMT içeren jeopolimer malzemenin mekanik özelikleri literatürde yer alan yapay puzolan esaslı araştırmaların mekanik özeliklerine yakın ya da daha yüksektir. Bu bağlamda, söz konusu araştırmanın bilimsel literatür içerisindeki yeri önemlidir.
- Datça Puzolanı ile geliştirilen malzemenin literatürde beklenen performans kriterlerini sağlaması, makalenin giriş bölümünde önemi özellikle vurgulanan "yerel hammadde kullanımı ve sürdürülebilirlik ilişkisini" desteklemektedir. Ayrıca, çevre sorunlarına yol açan AMT'nun bağlayıcı içerisinde değerlendirilmesiyle, ülkemizde atık problemi yaratan malzemelerden birinin azaltılmasına katkı sağlanabilmektedir.
- Farklı AMT oranına sahip jeopolimer jellerin yapısındaki faz gelişimini tam olarak tespit edebilmek için XRD, FTIR ve SEM analizlerinin ileriki araştırmalarda gerçekleştirilmesi önerilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Kübra Ekiz BARIŞ; çalışmanın kavramsal ve tasarım süreçlerinin belirlenmesi, deneysel çalışma programının yürütülmesi, verilerin analizi ve yorumlanması, makalenin yazımı ve düzenlenmesi.

KAYNAKLAR

1. Akgül, E. (2006) Datça bölgesindeki volkanik tüflerin yapı malzemesi olarak değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,* İstanbul.

2. Akturk, M., Turk, F., Topcu I. B. and Keskin, U. S. (2023) Heated stone powder substitute for metakaolin-based geopolymer, *European Journal of Environmental and Civil Engineering,* 1-14. Doi: 10.1080/19648189.2023.2247052

3. Alharthy, S. E., Hodhod, O. A. and Abdelkadir, B. A. (2022) Developing a geopolymer pastes using marble dust, *Water Science,* 36(1), 144-153. doi:10.1080/23570008.2022.2152173

4. Alyousef, R., Benjeddou, O., Soussi, C., Khadimallah, M. A. and Mustafa Mohamed, A. (2019) Effects of incorporation of marble powder obtained by recycling waste sludge and limestone powder on rheology, compressive strength, and durability of self- compacting concrete, *Advances in Materials Science and Engineering,* 2019, 4609353. https://doi.org/10.1155/2019/ 4609353

5. Barış, K. E. (2022) Doğal puzolan esaslı hafif jeopolimer duvar malzemesi, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

6. Colangelo, F., Roviello, G., Ricciotti, L., Ferrándiz-Mas, V., Messina, F., Ferone, C. and Cheeseman, C. R. (2018) Mechanical and thermal properties of lightweight geopolymer composites, *Cement and Concrete Composites,* 86, 266-272. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.11.016

7. Cui, Y., Wang, D., Zhao, J., Li, D., Ng, S. and Rui, Y. (2018) Effect of calcium stearate-based foam stabilizer on pore characteristics and thermal conductivity of geopolymer foam material, *Journal of Building Engineering,* 20, 21-29. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.06.002

8. Cwirzen, A., Provis, J. L., Penttala, V. and Habermehl-Cwirzen, K. (2014) The effect of limestone on sodium hydroxide-activated metakaolin-based geopolymers, *Construction and Building Materials,* 66, 53-62. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.05.022

9. Çelik, M. Y. and Sabah, E. (2008) Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution, *Environmental Management,* 87(1), 106-116. https://doi.org/10.1016/j. jenvman.2007.01.004

10. Çelikten, S. ve Atabey, İ. İ. (2021) Farklı silis ve alümin kaynaklarının atık mermer tozu esaslı alkali ile aktive edilmiş harçların özelliklerine etkisi, *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi,* 9(2), 396-405. doi:10.21923/jesd.884393

11. Dhasindrakrishna, D. K., Pasupathy, K., Ramakrishnan, S. and Sanjayan, J. G. (2021) Progress, current thinking and challenges in geopolymer foam concrete technology, *Cement and Concrete Composites,* 116, 103886. https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103886

12. Duxson P., Fernández-Jiménez A., Provis J. L., Lukey G. C., Palomo A. and Van Deventer J. S. J. (2007) Geopolymer technology: The current state of the art, *Journal of Material Science,* 42, 2917-2933. https://doi.org/10.1007/s10853-006-0637-z

13. Ergün, A. (2011) Effects of the usage of diatomite and waste marble powder as partial replacement of cement on the mechanical properties of concrete, *Construction and Building Materials,* 25(2), 806-812. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.002

14. Firdous, R., Stephan, D. and Djobo, J. N. Y. (2018) Natural pozzolan based geopolymers: A review on mechanical, microstructural and durability characteristics, *Construction and Building Materials,* 190, 1251-1263. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.09.191

15. Garcia-Lodeiro, I., Palomo, A. and Fernández-Jiménez, A. (2015) *An Overview of the Chemistry of Alkali-Activated Cement-Based Binders,* Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes, 2, 19-47. https://doi.org/10.1533/9781782422884.1.19

16. Ionescu B. A., Barbu, A-M., Lăzărescu, A-V., Rada, S., Gabor, T. and Florean, C. (2023) The Influence of substitution of fly ash with marble dust or blast furnace slag on the properties of the alkali-activated geopolymer paste, *Coatings*, 13(2), 403. https://doi.org/10.3390/coatings13020403

17. Kamseu, E., Alzari, V., Nuvoli, D., Sanna, D., Lancellotti, I., Mariani, A. and Leonelli, C. (2021a) Dependence of the geopolymerization process and end-products to the nature of solid precursors: challenge of the sustainability, *Journal of Cleaner Production,* 278, 123587. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123587

18. Kamseu, E., Alzari, V., Rosa, R., Nuvoli, D., Sanna, D., Mariani, A. and Leonelli, C. (2021b) Marble wastes recycling: design and synthesis of low-temperature calcium silicate hydrate under various $CaO:SiO_2$ Ratio and alkalinity, *Materiala,* 20, 10224-10233. https://doi.org/10.1016/j.mtla.2021.101224

19. Kamseu, E., Akono, A. T., Rosa, R., Mariani, A. and Leonelli, C. (2022) Valorization of marble powder wastes using rice husk ash to yield enhanced-performance inorganic polymer cements: Phase evolution, microstructure, and micromechanics analyses, *Cleaner Engineering and Technology,* 8, 100461. https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100461

20. Kaya, M., Köksal, F., Bayram, M., Nodehi, M., Gencel, O. and Ozbakkaloglu, T. (2022) The effect of marble powder on physico-mechanical and microstructural properties of kaolin-based geopolymer pastes, *Structural Concrete.* https://doi.org/10.1002/suco.202201010

21. Kechagia, P., Koutroumpi, D., Bartzas, G., Peppas, A., Samouhos, M., Deligiannis, S. and Tsakiridis, P. E. (2021) Waste marble dust and recycled glass valorization in the production of ternary blended cements, *Science of the Total Environment,* 761, 143224. https://doi. org/10.1016/j.scitotenv.2020.143224

22. Komnitsas, K., Soultana, A. and Bartzas, G. (2021) Marble waste valorization through alkali activation, *Minerals,* 11, 46. https://doi.org/ 10.3390/min11010046

23. Locat, J., Berube, M. A. and Choquette, M. (1991) Behavior of common rock-forming minerals in a strongly basic NaOH solution, *The Canadian Mineralogist,* 29, 163-173.

24. Palmero, P., Formia, A., Tulliani, J. M. and Antonaci, P. (2017) Valorisation of alumino-silicate stone muds: From wastes to source materials for innovative alkali-activated materials, *Cement and Concrete Composites,* 83, 251-262. https://doi.org/ 10.1016/j.cemconcomp.2017.07.011

25. Palomo, A., Grutzeck, M. W. and Blanco, M. T. (1999) Alkali-activated fly ashes - A cement for the future, *Cement Concrete Research,* 29 (8), 1323-1329. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(98)00243-9

26. Provis, J. L. (2018) Alkali-activated materials, *Cement Concrete Research,* 114, 40-48. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2017.02.009

27. Provis, J. L. and Van Deventer, J. S. J. (2009) *Geopolymers: Structure, Processing, Properties and Industrial Aplications,* Woodhead Publishing, Cambridge.

28. Prud'homme, E., Joussein, E. and Rossignol, S. (2015) *Alkali-Activated Concrete Binders as Inorganic Thermal Insulator Materials,* Handbook of Alkali-Activated Cements, Mortars and Concretes, 26, 687-728. https://doi.org/10.1533/9781782422884.5.687

29. Sharma, N. and Kumar, R. (2015) Use of waste marble powder as partial replacement in cement sand mix, *International Journal of Engineering Research & Technology,* 4(5), 501-504. http://dx.doi.org/10.17577/IJERTV4IS050698

30. Shi, C., Ferna´ndez-Jim´enez, A. and Palomo, A. (2011) New cements for the 21st century: the pursuit of an alternative to Portland cement, *Cement and Concrete Research,* 41(7), 750-763. https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.016

31. Simão, L., Hotza, D., Ribeiro, M. J., Novais, R. M., Montedo, O. R. K. and Raupp-Pereira, F. (2020) Development of new geopolymers based on stone cutting waste, *Construction and Building Materials,* 257, 119525. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119525

32. Singh, M., Choudhary, K., Srivastava, A., Sangwan, K. S. and Bhunia, D. (2017) A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete, *Journal of Building Engineering,* 13, 87-95. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2017.07.009

33. Singh, M., Srivastava A. and Bhunia D. (2019) Long term strength and durability parameters of hardened concrete on partially replacing cement by dried waste marble powder slurry, *Construction and Building Materials,* 198, 553-569. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.12.005

34. Tchadjie, L. N. And Ekolu, S. O. (2018) Enhancing the reactivity of aluminosilicate materials toward geopolymer synthesis, *Journal of Materials Science,* 53,4709-4733. https://doi.org/10.1007/s10853-017-1907-7

35. Tekin, I. (2016) Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes, *Construction and Building Materials,* 127, 607-617. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.10.038

36. TS 25, (2008). Doğal puzolan (tras) - Çimento ve betonda kullanılan - Tarifler, gerekler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

37. TS-699, (2009). Doğal yapı taşları - İnceleme ve laboratuvar deney yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

38. TS-EN1015-10, (2001). Kâgir harcı - Deney metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş harcın boşluklu kuru birim hacim kütlesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

39. TS-EN13755, (2014). Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Atmosfer basıncında su emme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

40. TS-EN14579, (2006). Doğal taşlar - Deney metotları - Ses hızı ilerlemesinin tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

41. TS-EN196-1, (2016). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

42. Wang, Q., Ding, Z. Y., Da, J., Ran, K. and Sui, Z. T. (2011) Factors influencing bonding strength of geopolymer-aggregate interfacial transition zone, *Advanced Materials Research,* 224, 1-7. http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.224.1

43. Xie, J. and Kayali, O. (2014) Effect of initial water content and curing moisture conditions on the development of fly ash-based geopolymers in heat and ambient temperature, *Construction and Building Materials,* 67, 20-28. https://doi.org/10.1016/ j.conbuildmat.2013.10.047

Dergi Kurulları

Başkan



Prof. Dr. Adem AKPINAR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

İnşaat Mühendisliği

Başkan Yardımcısı



Prof. Dr. Fatih ÇAVDUR
BURSA ULUDAG ÜNİVERSİTY
0000-0001-8054-5606
Türkiye

Karar Desteği ve Grup Destek Sistemleri, Makine Öğrenme, Yapay Zeka, Bulanık Hesaplama, Planlama ve Karar Verme, Biyoinformatik ve Hesaplamalı Biyoloji, Yöneylem Araştırması, Matematikte Yöneylem Araştırması, Tasarım Modelleri ve Simülasyonları, Çok Ölçütlü Karar Verme, Endüstri Mühendisliği, Sistem Mühendisliği, Stokastik (Olasılıksal) Süreçler, Üretim ve Hizmet Sistemleri, Üretimde Optimizasyon, Risk Yönetimi ve Sigorta, Üretim ve Operasyon Yönetimi



Doç. Dr. Neyir ÖZCAN SEMERCİ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği, Devreler ve Sistemler

Baş Editör



Prof. Dr. Erhan PULAT
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Makine Mühendisliği

Editör

Dergi Ana Sayfası
Hakkında
Amaç ve Kapsam
Makale Gönder
Dergi Kurulları
İstatistikler
Yazım Kuralları
Etik İlkeler ve Yayın Politikası
Ücret Politikası
Dizinler
Arşiv
İletişim

Duyurular
Hakkında
Makale Gönderim Süreci
Değerlendirme Süreci
İntihal Kontrolü
Etik Kurallar
Yayın Sıklığı
Açık Erişim Politikası
Basım Ücretleri
Arşivleme



Doç. Dr. Sait Eser KARLIK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-5985-210X
Türkiye

Elektrik Mühendisliği

Yardımcı Editör/ Alan Editörü/Dil Editörü



Prof. Dr. Erhan Kenan ÇEVEN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
0000-0003-3283-4117
Türkiye

Kompozit ve Hibrit Malzemeler, Malzeme Karekterizasyonu, Polimerler ve Plastikler, Nanoteknoloji, Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği, Lif Teknolojisi, Tekstil Teknolojisi



Prof. Dr. Yasemin KAVUŞTURAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
0000-0002-9919-564X
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği, Kumaş Teknolojisi, Tekstil Kalite Kontrolü, Tekstil Teknolojisi



Prof. Dr. Murat KANKAL
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-0897-4742
Türkiye

İnşaat Mühendisliği, Su Kaynakları ve Su Yapıları, Hidroloji



Prof. Dr. Ali Yurdun ORBAK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
0000-0002-4921-4275
Türkiye

Makine Mühendisliği, Endüstri Mühendisliği

Prof. Hande GÜLER
ULUDAG UNIVERSITY
Türkiye

Otomotiv Mühendisliği

Prof. Dr. Melike YALILI KILIÇ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ, BURSA
0000-0001-7050-6742

Türkiye

Çevre Mühendisliği



Doç. Dr. Neyir ÖZCAN SEMERCİ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği, Devreler ve Sistemler



Prof. Dr. Elif ERZAN TOPÇU
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Mekatronik Sistem Tasarımı, Makine Mühendisliği, Makine Teorisi ve Dinamiği



Doç. Dr. Gıyasettin ÖZCAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
0000-0002-1166-5919
Türkiye

Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri, Algoritmalar ve Hesaplama Kuramı, Hesaplama Karmaşıklığı ve Hesaplanabilirlik, Hesaplamalı Mantık ve Biçimsel Diller, Bilgi Çıkarımı, Makine Öğrenme (Diğer), Mühendislik



Doç. Dr. Betul YİLDİZ
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Sayısal Modelleme ve Mekanik Karakterizasyon



Dr. Öğr. Üyesi Musatafa Safa YILMAZ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Editör Asistanı



Dr. Efsun DİNDAR
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Çevre Mühendisliği



Dr. Öğr. Üyesi Serkan TEZEL
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-4078-8210
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği

Arş. Gör. Ercan DÜZGÜN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Kontrol Teorisi ve Uygulamaları, Kontrol Mühendisliği, Mekatronik ve Robotik, Mekatronik Mühendisliği, Makine Mühendisliği, Makine Teorisi ve Dinamiği

Arş. Gör. Ezel Yağmur ZEYDAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-4996-5359
Türkiye

Klasik ve Fiziksel Optik, Elektrik Mühendisliği, Fotonik ve Elektro-Optik Cihazlar, Sensörler ve Sistemler (İletişim Hariç), Fiber Optik Haberleşme Sistemleri ve Teknolojileri

Arş. Gör. Büşra UZUN
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-7636-7170
Türkiye

İnşaat Mühendisliği

Arş. Gör. Şerife Gülsüm DEMİR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

İnşaat Mühendisliği

Dr. Ahmet KARAKÜÇÜK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri, Elektrik Mühendisliği

Arş. Gör. Ahmet DEMİR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği

Arş. Gör. Kübra KILINÇARSLAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği



Doç. Dr. Burcu ÇAĞLAR GENÇOSMAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Yapay Zeka, Yöneylem Araştırması, Matematikte Yöneylem Araştırması, Endüstri Mühendisliği, Üretimde Optimizasyon

Dr. Arş. Gör. Emine EŞ YÜREK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-0871-3385
Türkiye

Matematikte Yöneylem Araştırması, Endüstri Mühendisliği, Stokastik (Olasılıksal) Süreçler, Üretimde Optimizasyon



Dr. Öğr. Üyesi Tuba TOPRAK-ÇAVDUR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-8475-3197
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği, Tekstil Kimyası, Tekstil Teknolojisi, Tekstil Terbiyesi

Dr. Öğr. Üyesi Emre BULUT
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-9159-5000
Türkiye

Otomotiv Mühendisliği

Arş. Gör. Merve TEKİN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-2831-3175
Türkiye

Otomotiv Mühendisliği, Hibrit ve Elektrikli Araçlar ve Güç Aktarma Organları, Otomotiv Mühendisliği (Diğer)



Arş. Gör. Caner ŞEN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-5405-8214
Türkiye

Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri



Arş. Gör. Nazlı ARMAN
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-6529-608X
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği



Arş. Gör. Rümeysa YALINDAĞ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-2738-8917
Türkiye

Termodinamik ve İstatistiksel Fizik, Enerji, Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Enerji Üretimi, Dönüşüm ve Depolama (Kimyasal ve Elektiksel hariç)

Yayın Kurulu



Prof. Dr. Adem AKPINAR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

İnşaat Mühendisliği



Prof. Dr. Erhan PULAT
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye Web

Makine Mühendisliği



Doç. Dr. Sait Eser KARLIK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-5985-210X
Türkiye

Elektronik



Prof. Dr. Fatih KARPAT
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-8474-7328
Türkiye

Makine Mühendisliği

Prof. Dr. Güneş YILMAZ

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği



Prof. Dr. Erdal EMEL
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Endüstri Mühendisliği



Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-1867-7103
Türkiye Web

İnşaat Mühendisliği



Prof. Dr. Dilek KUT
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, TEKSTİL MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
0000-0002-9059-0838
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği



Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Otomotiv Mühendisliği



Prof. Dr. Feza KARAER
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, ÇEVRE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
Türkiye

Çevre Mühendisliği



Doç. Dr. Pınar KIRCI
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Bilgi ve Bilgi İşleme Bilimleri



Prof. Dr. Ahmet ALTUNCU
AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ



0000-0002-3753-9515
Türkiye Web

Elektrik Mühendisliği



Prof. Dr. Ahmet DURMAYAZ
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-6884-8791
Türkiye Web

Enerji Sistemleri Mühendisliği



Prof. Dr. Murat HOŞÖZ
KOCAELİ ÜNİVERSİTY
Türkiye Web

Otomotiv Mühendisliği

Doç. Dr. Cemal HANİLÇİ
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği

Prof. Dr. İbrahim ATMACA
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Makine Mühendisliği

Dr. Öğr. Üyesi Ekrem DÜVEN
BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-4957-6126
Türkiye

Mekatronik Mühendisliği

Bilimsel Danışma Kurulu

Prof. Dr. Sabit ADANUR
AUBURN ÜNİVERSİTY
Amerika Birleşik Devletleri

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği

Prof. Dr. Falah ALİ
UNİVERSİTY OF SUSSEX
Birleşik Krallık

İletişim Mühendisliği

Prof. Dr. Abdullah SOFİYEV
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
0000-0001-7678-6351
Türkiye

Katı Mekanik

Prof. Dr. Mustafa AYTEKİN
UNİVERSİTY OF BAHRAİN
Bahreyn

İnşaat Mühendisliği

Prof. Dr. Behcet BECERİR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği

Prof. Dr. Erdoğan DİLAVEROĞLU
BURSA ULUDAG UNİVERSİTY
Türkiye

Sinyal İşleme

Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
ULUDAG ÜNİVERSİTESİ
0000-0002-1867-7103
Türkiye

İnşaat Mühendisliği

Prof. Dr. M. Hesham EL NAGGAR
WESTERN UNİVERSİTY
Kanada

İnşaat Mühendisliği



Prof. Dr. Arif HEPBAŞLI
YASAR UNIVERSITY
0000-0002-2074-8281
Türkiye

Enerji Sistemleri Mühendisliği

Prof. Dr. Bilgin KAFTANOĞLU
ATILIM ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Makine Mühendisliği



Prof. Dr. Muhsin KILIÇ
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
0000-0003-2113-4510
Türkiye

Termodinamik ve İstatistiksel Fizik, Akışkan Akışı, Isı ve Kütle Transferinde Hesaplamalı Yöntemler (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği Dahil), Yenilenebilir Enerji Sistemleri, Makine Mühendisliği, Enerji Üretimi, Dönüşüm ve Depolama (Kimyasal ve Elektiksel hariç), Makine Mühendisliğinde Sayısal Yöntemler, Otomotivde Isı Transferi

Prof. Dr. Bülent ÖZİPEK
İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Tekstil Bilimleri ve Mühendisliği

Prof. Dr. Seda ÖZMUTLU
ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
Türkiye

Endüstri Mühendisliği

Prof. Dr. Ferruh ÖZTÜRK
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Otomotiv Mühendisliği

Prof. Dr. Halil SEZEN
OHİO STATE UNİVERSİTY
Amerika Birleşik Devletleri

İnşaat Mühendisliği



Prof. Dr. Bülent ŞENGÖRÜR
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Çevre Mühendisliği



Prof. Dr. Yücel TAŞDEMİR
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Çevre Mühendisliği



Prof. Dr. Yusuf Ziya UMUL
ÇANKAYA ÜNİVERSİTESİ
Türkiye

Elektrik Mühendisliği



Prof. Dr. Ahmet Salih YİĞİT
KUWAİT UNİVERSİTY
Kuveyt

Makine Mühendisliği



Prof. Dr. Faruk YİĞİT
T. C. CUMHURBAŞKANLIĞI SAVUNMA SANAYİİ BAŞKANLIĞI
Türkiye

Makine Mühendisliği

Dizinler

Her veri tabanından dergilerin dizin güncelliği kontrol edilmelidir. DergiPark sorumluluk almamaktadır.

Atıf Dizinleri

TR Dizin

Diğer Dizinler

Index Copernicus

DOAJ

SOBIAD

EBSCO

Dergi Ana Sayfası
Hakkında
Amaç ve Kapsam
Makale Gönder
Dergi Kurulları
İstatistikler
Yazım Kuralları
Etik İlkeler ve Yayın Politikası
Ücret Politikası
Dizinler
Arşiv
İletişim

Duyurular
Hakkında
Makale Gönderim Süreci
Değerlendirme Süreci
İntihal Kontrolü
Etik Kurallar
Yayın Sıklığı
Açık Erişim Politikası
Basım Ücretleri
Arşivleme

TR DİZİN

Giriş Yap

Yayın | Dergi | Yazar | Kurum

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

ÜAK Doçentlik başvurularında yer alan "Ulusal Hakemli Dergi" tanımında yer alan ULAKBİM TR Dizin dergi listesidir.

Bulunan Toplam Sonuç : 2

Dergi Önerisi | Başlık A-Z

Filtrelerde Ara..

Yıl (13)

- 2024 1
- 2023 1
- 2022 1
- 2021 1



Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

EISSN: 2148-4155

Editör Sait Eser Karlık

2024 2023 2022 2021 *Tüm Yıllar* **Web Adresi**

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

Makale Sayısı	Atıf Sayısı	Kendine Atıf Sayısı
763	626	72

Atıf Alan Makale Sayısı	Atıf Ortalaması	Kendine Atıf Oranı
297	0,82	%11,5



Konu Kategorisi: Fen > Mühendislik

Konu Alanları: Bilgisayar Bilimleri, Bilgi Sistemleri | Mühendislik, Elektrik ve Elektronik | Mühendislik, Makine | Metalürji Mühendisliği | Malzeme Bilimleri, Özellik ve Test | Mühendislik, Kimya | Mühendislik, Jeoloji | Endüstri Mühendisliği | Bilgisayar Bilimleri, Yazılım Mühendisliği | İnşaat Mühendisliği | Çevre Mühendisliği | İmalat Mühendisliği

EISSN: 2148-4155

İlk Yayın Yılı: 2002
Dizinlendiği Yıllar: 2014-2024 (Fen)

Yayın Periyodu: Nisan, Agustos, Aralık

Yayın Formatı: Elektronik

Yayın Dili: Türkçe | İngilizce

Editör: Sait Eser Karlık

Yayıncı: BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ > MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

Web Adresi:
https://dergipark.org.tr/tr/pub/uumfd

journals.indexcopernicus.com

INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL

ICI World of Journals | ICI Journals Master List | ICI World of Papers | Contact | Login/ Register

ICI World of Journals / **Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi** | Back

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi



English title: Uludag University Journal of The Faculty of Engineering
ISSN: 2148-4155 (online)
DOI: 10.17482
Website: https://dergipark.org.tr/en/pub/uumfd
Publisher: Bursa Uludağ University
Country: TR
Language of publication: EN TR

Deposited publications: 1392 › Full text: 98% | Abstract: 100% | Keywords: 100% | References: 100%

Issues and contents

Journal description | Details | Scientific profile | Editorial office | Publisher

Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering (UUJFE) is a continuously published, open access, international, refereed publication journal aiming at publishing high quality original research papers in all disciplines of engineering sciences. UUJFE publishes original research articles, review papers, and technical notes in all fields of engineering. The publication language of the journal is English and Turkish and it is published three times a year (April, August and December). UUJFE checks submitted papers with automated tools (iThenticate ©) against plagiarism. All submitted manuscripts to the journal are double blind peer reviewed. UUJFE publishes articles without any charge or fee.

Indexed in the ICI Journals Master List 2022

ICV 2022: 94.64 Archival ratings ›

MSHE points: n/d

Archival ratings ›

Please contact with:

The editorial office of the journal (Comments, Requests, Information)

Index Copernicus (Submissions, Questions, Suggestions)

SOBIAD

Arama yapın... Atıf Tüm Alanlar Ara

Sobiad



Tüm Makaleler

Web Sitesi Adresi

Yayın 1.004

Atıf 2.760

Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering

2022 Q1 / 0.309

Alan: Fen

Dergi Türü: Ulusal

İlk Yayın Yılı: 2002

Yayıncı Ülke: Türkiye

Editör: Erhan PULAT

Yayıncı: Uludağ Üniversitesi

Yayın Dili: Türkçe

En Çok Atıf Alan Makaleler | En Çok Görüntülenen Makaleler | En Çok İndirilen Makaleler

2007

1. Kentsel Dönüşüm Kavramı Üzerine: Bursa'da Kükürtlü ve Mudanya Örnekleri

Sibel POLAT Neslihan DOSTOĞLU

128 Atıf

İncele PDF

DOAJ OPEN GLOBAL TRUSTED

SUPPORT APPLY SEARCH

SEARCH DOCUMENTATION ABOUT LOGIN

Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering

2148-4147 (PRINT) / 2148-4155 (ONLINE)

Website ISSN Portal

Update this journal

About Articles

PUBLISHING WITH THIS JOURNAL

There are
NO PUBLICATION FEES
(article processing charges or APCs) to publish with this journal.

BEST PRACTICE

This journal began publishing in **open access in 2002.**

This journal uses a **CC BY** license.

JOURNAL METADATA

Publisher
Bursa Uludag University , Türkiye

Manuscripts accepted in
Turkish, English

Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi

GÜNCEL SAYI

Cilt: 28 Sayı: 3, 27.12.2023

YIL: 2023

Araştırma Makaleleri

Araştırma Makalesi

1. THE EXPLOITATION OF TITANIUM DIOXIDE NANOPARTICLES FOR IMPROVING THE PERFORMANCE AND EMISSIONS OF BIOFUEL-DIESEL BLEND-FUELLED STATIONARY DIESEL ENGINE

Abdülvahap ÇAKMAK *

Sayfa : 685-704 PDF

Araştırma Makalesi

2. BURSA'DAKİ İÇ VE DIŞ ORTAM HAVASINDA ORGANOKLORLU PESTİSİTLER (OCP'LER): KONSANTRASYON DAĞILIMLARI, MUHTEMEL KAYNAKLARI VE SAĞLIK RİSKLERİ

Mehmet Ferhat SARİ Fatma ESEN * Sündüz SHANABO

Sayfa : 705-720 PDF

Araştırma Makalesi

3. ERGONOMİK RİSKLER İÇEREN DEPO RAF ATAMA PROBLEMİ İÇİN KARIŞIK TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ: BİR UYGULAMA

Besim Türker ÖZALP * Ayşenur HARMAN NAZLI Al Masu BARLINTI Ceydanur KIL Moustafa SIAMPAN Mehmet AKANSEL

Sayfa : 721-740 PDF

Araştırma Makalesi

4. DEVELOPMENT OF SEAMED COMPRESSION SOCKS AND COMPARISON WITH CLASS I SOCKS USING EXISTING MATHEMATICAL MODELS

Engin AKÇAGÜN * Hafiz SİDDİQUE Abdurrrahim YILMAZ

Sayfa : 741-760 PDF

Araştırma Makalesi

5. DYEING OF SILK IN EDIRNE RED COLOR WITH MADDER

İsmail YÜCE * Nilgun BECENEN

Sayfa : 761-774 PDF

Araştırma Makalesi

6. ALTERNATIVE LIGHTWEIGHT COMPOSITE FACING MEMBERS FOR REINFORCED SOILS

SAYI DOSYALARI

Cildin Hakem Kurulu

2B 2.4B 0

Arşiv

Cilt: 28 Sayı: 1, 30.04.2023

Cilt: 28 Sayı: 2, 31.08.2023

Cilt: 28 Sayı: 3, 27.12.2023

Burak EVİRGEN * Onur TUNABOYU Barış BÜYÜK Gizem Tuğçe ÇİL

Sayfa : 775-790 PDF

Araştırma Makalesi

7. QUANTITATIVE ASSESSMENT OF POSTGRADUATE THESES IN TÜRKİYE ABOUT YARN PRODUCTION TECHNOLOGY

Cansu VAR Sema PALAMUTCU *

Sayfa : 791-808 PDF

Araştırma Makalesi

8. USING CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK FOR GRAPE PLANT DISEASE CLASSIFICATION

Cemal İhsan SOFUOĞLU Derya BIRANT *

Sayfa : 809-820 PDF

Araştırma Makalesi

9. TEK ADIMLI DİNAMİK TERMOKİMYASAL İŞLEM İLE SiC-TiC TOZ SENTEZİ

Betül ARSLAN Nuray CANIKOĞLU *

Sayfa : 821-834 PDF

Araştırma Makalesi

10. PET, GERİ DÖNÜŞÜMLÜ PET (r-PET) ve BİYOBOZUNABİLİR PET (bio-PET) İÇERİKLİ KUMAŞLARIN MEKANİK VE YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Semiha EREN Aliye AKARSU ÖZENÇ * Zeynep ATLAS Cansu İŞBİLİR SALİH

Sayfa : 835-846 PDF

Araştırma Makalesi

11. YEŞİLIRMAK DELTASI'NDA KIYI EROZYONUNUN DOĞRUSAL REGRESYON ORANI YÖNTEMİYLE ANALİZİ

Derya ÖZTÜRK * Sibel UZUN

Sayfa : 847-866 PDF

Araştırma Makalesi

12. DEVELOPMENT OF A METHOD FOR CALCULATING LOADS ON IMPLANTS AND PROSTHESES USED FOR THE HUMAN SKELETON

Ismet Emircan TUNC * Gürsel ŞEFKAT

Sayfa : 867-886 PDF

Araştırma Makalesi

13. DEVELOPMENT OF MNO2/PANI/SWCNT NANOCOMPOSITE SUPERCAPACITOR ELECTRODE AND INVESTIGATION OF ELECTROCHEMICAL PERFORMANCE

Çağatay OZADA * Merve UNAL Hakkı OZER Murat YAZICI

Sayfa : 887-904 PDF

Araştırma Makalesi

14. AVİYONİK ÜRÜN DOĞRULAMASINDA TİTREŞİM FİKSTÜRÜ TASARIMI

İbrahim YILDIRIM * Ramazan MERAL Caner GÜVEN Cansu MENŞUR ÇETİN Mehmet DEMİR Fikret Kamil ÇORBACI

Sayfa : 905-914 PDF

Araştırma Makalesi

15. KUMAŞ BOYAMA SÜRECİNDE BULANIK TOPSIS İLE HATA TÜRÜ VE ETKİLERİ ANALİZİ

Emine EŞ YÜREK *

Sayfa : 915-926 PDF

Araştırma Makalesi

16. YIĞMA YAPILARIN TÜRKİYE BİNA DEPREM YÖNETMELİĞİ 2018'E GÖRE PERFORMANS ANALİZİ: AFYONKARAHİSAR ÖRNEĞİ

Gökhan ÇOBAN Veli BAŞARAN *

Sayfa : 927-936 PDF

Araştırma Makalesi

17. OTOMOTİV VE GIDA SEKTÖRLERİNDE ENERJİ VERİMLİLİĞİ VE KARBON EMİSYONUNUN AZALTIMI İLE İLGİLİ BİR ÇALIŞMA

Duriye DEĞİRMEN Işıl HASDEMİR Gizem EKER ŞANLI *

Sayfa : 937-956 PDF

Araştırma Makalesi

18. YARI İLETKEN YONGA PLAKASI HARİTALARINDAKİ KUSUR SINIFLANDIRMALARI İÇİN DERİN ÖĞRENME TEMELLİ BİR KARAR DESTEK YÖNTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Gökhan ERGEN Ekrem DÜVEN *

Sayfa : 957-974 PDF

Araştırma Makalesi

19. JEOPOLİMER BAĞLAYICI ÜRETİMİNDE ATIK MERMER TOZU KULLANIM OLANAKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Kübra EKİZ BARIŞ *

Sayfa : 975-990 PDF

Araştırma Makalesi

20. PROJEKSİYON KAYNAĞIN PROSES PARAMETRELERİNİN S355MC KLEVİS BRAKETİN BAĞLANTI PERFORMANSINA ETKİSİ

Ali ARI * Kübra KORKMAZ Berk MÜHÜRDAR Ali BAYRAM

Sayfa : 991-1008 PDF

Derleme Makaleler

Derleme

21. YÜKSEK MUKAVEMETLİ BALİSTİK ZIRH ÇELİKLERİNİN KAYNAKLANABİLİRLİĞİ

Ceren ÇELİK Müesser GÖÇMEN Ozan ÇOBAN Hakan BAYKAL Uğur GÜROL * Mustafa KOÇAK

Sayfa : 1009-1028 PDF

Derleme

22. 6G AĞLARDA ARAÇLARIN HABERLEŞMESİ: GELİŞİMİ, ETKİNLEŞTİRİCİ TEKNOLOJİLER VE GÜVENLİK

Serdar Özgür ATA *

Sayfa : 1029-1048 PDF

Teknik Notlar

Teknik Not

23. TAGUCHİ OPTİMİZASYON METODUNUN İMALAT MÜHENDİSLİĞİ ALANINDA KULLANIMI: MİNİTAB ÖRNEĞİ

Erman AYDIN *

Sayfa : 1049-1068 PDF

Amaç ve Kapsam

Yazım Kuralları

Etik İlkeler ve Yayın Politikası

Ücret Politikası