



ULUSLARARASI 3B YAZICI TEKNOLOJİLERİ
VE DİJİTAL ENDÜSTRİ DERGİSİ

INTERNATIONAL JOURNAL OF 3D PRINTING
TECHNOLOGIES AND DIGITAL INDUSTRY

ISSN:2602-3350 (Online)

URL: <https://dergipark.org.tr/ij3dptdi>

**POLİMER BETONLARIN MEKANİK
PERFORMANSLARININ VERİ MADENCİLİĞİ
KULLANARAK BELİRLENMESİ**

DETERMINATION OF MECHANICAL PERFORMANCE
OF POLYMER CONCRETES USING DATA MINING

Yazarlar (Authors): Ali Nadi Kaplan^{ID}, Cengiz Özel^{ID}

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Kaplan A.N., Özel C., "Polimer Betonların Mekanik Performanslarının Veri Madenciliği Kullanarak Belirlenmesi" *Int. J. of 3D Printing Tech. Dig. Ind.*, 6(3): 500-510, (2022).

DOI: 10.46519/ij3dptdi.1138626

Araştırma Makale/ Research Article

Erişim Linki: (To link to this article): <https://dergipark.org.tr/en/pub/ij3dptdi/archive>

POLİMER BETONLARIN MEKANİK PERFORMANSLARININ VERİ MADENCİLİĞİ KULLANARAK BELİRLENMESİ

Ali Nadi Kaplan ^a *, Cengiz Özel ^a 

^aIsparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, TÜRKİYE

* Sorumlu Yazar: nadikaplan@isparta.edu.tr

(Received: 30.06.2022; Revised: 10.11.2022; Accepted: 21.12.2022)

ÖZ

Gelişen teknoloji ile birlikte artan yapı malzemeleri çeşitliliğinde kendilerine özgü yapıları ile yer bulan polimer betonların kullanımı, yüksek dayanımlarının yanı sıra çevresel etkilere karşı dayanıklılık özelliklerinden dolayı her geçen gün artmaktadır. Bu doğrultuda çeşitli amaçlar için kullanılan polimer betonları üretmek için kullanılacak malzemeleri, bu malzemelerin karışım oranlarını, polimer betonların fiziksel ve mekanik özellikleri gibi kendine özgü mühendislik özelliklerini bilmek kullanımları için büyük öneme sahiptir. Özellikle basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerin betonun sahip olduğu diğer özelliklerle yakından ilişkili olması sertleşmiş beton için önemli bir durum olarak ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle betonun mekanik özelliklerinin önceden belirlenmesine yönelik birçok çalışma son zamanlarda yoğun olarak yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, farklı polimer reçine türleri ve farklı agregaların hacimce %0, %15, %30 ve %45 oranlarında karıştırılmasıyla üretilen polimer betonların; fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel olarak belirlenmiştir. Elde edilen deneysel veriler kapsamında; üretilen numunelerin bileşenlerinin, karışım oranlarının, fiziksel özelliklerinin ve mekanik özelliklerinin aralarındaki ilişkiler alternatif bir metot olarak veri madenciliği kullanılarak ele alınmıştır. Çalışma sonucunda tüm modellemeler için korelasyon katsayıları (R^2) 0.9489 ile 0.9992 aralıklarında bulunmuş ve betonların mühendislik özelliklerinin modellenmesinde veri madenciliğinin başarılı bir şekilde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Fiziksel ve Mekanik Özellikler, Modelleme, Polimer Beton, Veri Madenciliği.

DETERMINATION OF MECHANICAL PERFORMANCE OF POLYMER CONCRETES USING DATA MINING

ABSTRACT

Polymer concretes find a place in the developing variety of building materials due to their unique structures. The use of polymer concretes is increasing day by day due to their high strength and resistance to environmental effects. Understanding the components to be used to produce polymer concretes for use in a variety of applications, their mixing ratios, and their special engineering properties, such as the polymer concretes' physical and mechanical properties, is crucial in this direction. The relationship between mechanical properties like compressive and flexural strength and other characteristics of concrete emerges as a crucial requirement for hardened concrete. Therefore, many studies have been conducted recently to determine the mechanical properties of concrete beforehand. Within the scope of this study, the physical and mechanical properties of polymer concretes produced by mixing different polymer resin types and different aggregates at 0%, 15%, 30% and 45% by volume were determined experimentally. The relationships between the components, mixing ratios, physical properties and mechanical properties of the samples produced within the scope of the experimental data obtained were discussed using data mining as an alternative method. As a result of the study, correlation coefficients (R^2) for all models were found in the range of 0.9489 and 0.9992 and it was concluded that data mining could be used successfully in modeling engineering properties of concretes.

Keywords: Physical and Mechanical Properties, Modelling, Polymer Concrete, Data Mining.

1. GİRİŞ

Beton var olan pek çok özelliği sebebiyle, inşaat mühendisliği alanında kullanılan en yaygın malzemelerden biridir. Geleneksel olarak üretilen betonlar sektörün temel ihtiyaçlarını karşılama da günümüzdeki teknolojik gelişmelerle birlikte beton kompozitlerin performansları geliştirilmeye muhtaçtır. Geleneksel betonlar düşük çekme ve eğilme dayanımları, yüksek gözeneklilik ve çevresel etkilere zayıf dayanıklılık gibi eksikliklere sahiptir [1]. Günümüz ihtiyaçlarını karşılamak adına ve geleneksel betonlardaki bilinen eksiklikle yeni bir alternatif sunması açısından polimerik malzemelerin betonda spesifik etkilere sahip olacağı fikriyle bu alan üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmıştır [2].

Polimerler günden güne gelişim gösteren ve birçok farklı sektörde kullanım alanları olan malzemelerdir. İnşaat mühendisliği alanı da bu alanlardan bir tanesidir. Polimer, monomer denilen kimyasal ürünlerin birbirine kovalent bağ ile bağlanarak oluşturdukları zincir şeklinde bir yapıya sahip olan sentetik malzemelerdir [3,4].

Polimerlerin betonda kullanılması fikri hala tazeliğini korumakta, araştırılmakta ve geliştirilmektedir. Polimer betonlar, polimerlerin beton üretiminde kullanılan çimento bağlayıcısının tümü veya bir kısmı yerine kullanılması ile elde edilir [5]. Polimer beton kompozitleri de diğer kompozit malzemelerde olduğu gibi faz ve matristen oluşmaktadır. Burada matris malzeme olarak polimer reçineler faz malzeme olarak ise agrega ve/veya fiber malzemeler kullanılır. Bunlara ek olarak sertleştirici (plastikleştirici) ve hızlandırıcı (katalizör) olarak kimyasal katkı maddeleri de ilave edilir. Yani polimer beton, faz malzeme ile polimerin belli oranlarda karıştırılıp, daha sonra katalizör ve hızlandırıcı ilavesini takiben oda sıcaklığında polimerizasyon işleminin gerçekleşmesi sonucu, sertleşmesi ile elde edilen kompozit bir yapı malzemesidir [6,7]. Polimer betonlar geleneksel betona kıyasla yüksek mekanik dayanımları, geliştirilmiş durabilite özellikleri, esneklik, hafiflik, çevresel koşullara ve agresif kimyasallara direnç, geçirimsizlik kabiliyetleri ve üstün sağlamlık derecesi ile çelik ve beton

yüzeyler için inşaat ve onarım çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir [8-10].

Tüm bu anlatılanların ışığında polimer betonların inşaat mühendisliği alanında kullanımını daha da geliştirmek için üretim yöntemlerini ve teknik özelliklerini iyi belirlemek esastır [11]. Bu bağlamda, polimer betonların fiziksel, mekanik ve diğer mühendislik özelliklerinin birbirleri ile ilişkilerini ortaya çıkarmak önemli olmaktadır. Bu sebeple polimer betonların performansları üzerindeki etken parametrelerin bulunması ve bu parametrelerin optimizasyonu ile polimer betonların mühendislik özelliklerinin bu parametrelere bağlı olarak karışım öncesinde belirlenmesi mümkün olabilecektir [12].

Laboratuvar deneylerinde elde edilen veriler ve bu verilerin aralarındaki ilişkiler her zaman doğrusal ve kolay anlaşılabilir olmayabilir. Bu ilişkilerin belirlenmesinde, özellikle de veri sayısının çok fazla olduğu durumlarda veriler arasında sağlıklı ilişkiler kurabilmek için istatistiksel programlardan ve yapay zekâ tekniklerinden yararlanılmaktadır. Bu tekniklerden en yaygın olarak kullanılanlara yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma, veri madenciliği, derin öğrenme ve makine öğrenmesi örnek olarak verilebilir [13-15].

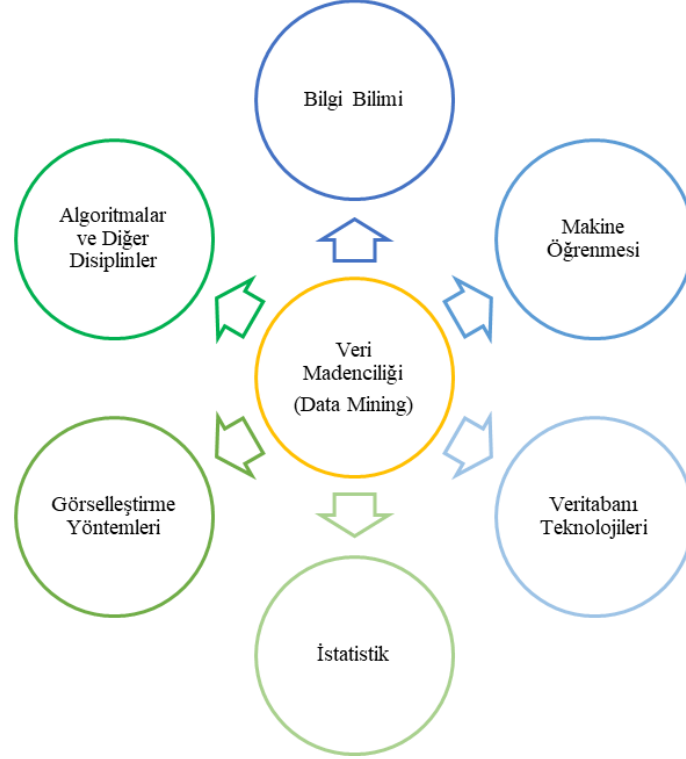
İçerisindeki malzemelerin özelliklerine göre polimer beton performanslarındaki değişkenlikler polimer betonlarını araştırma ihtiyacına en büyük zemini oluşturmuştur. Bu çalışmada halen araştırma ve geliştirme süreci devam eden, optimum üretim yöntemleri belirlenmeye çalışılan polimer betonlar üzerinde deneysel ve teorik analizler yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen yoğunlukların, ultrasonik ses geçiş hızlarının, basınç, eğilme ve çekme dayanımlarının polimer reçine tipi, agrega tipi, malzeme yoğunlukları ve karışım oranlarına bağlı olarak veri madenciliği kullanılarak belirlenmesi, mühendislik özellikleri üzerinde bu parametrelerin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2. VERİ MADENCİLİĞİ

Veri madenciliği (data mining) karmaşık ve fazla sayıdaki verilerden anlamlı bilgiler üretmek için kullanılan bir yöntemdir. Başka bir açıdan bakılacak olursa, büyük miktardaki verilerden gizli kalmış bilgileri ve korelasyonları elde etme bilimine veri madenciliği denilmektedir. Veri madenciliğinin amacı, elimizdeki verilerin analizi ile

gelecekteki kararların tahminine yönelik karar verme modelleri oluşturmaktır [16].

Temel olarak veri madenciliği bilgisayar destekli bir bilgi çözümleme işlemidir ve birçok disiplin ile ilişkili bir alandır. Veri madenciliğinin etkileşimde olduğu disiplinler Şekil 1’de gösterilmiştir [17].



Şekil 1. Veri madenciliğinin etkileşimde olduğu disiplinler.

Bir süreç olan veri madenciliğinde birbirini izleyen aşamalar bulunmaktadır. Bunlar; çeşitli kaynaklardan elde edilen uygun verilerin temin edilmesi aşaması, tutarsız ve gereksiz verilerin sistemden çıkarıldığı ve filtrelendiği ön işleme aşaması, verilerin normalize edilerek uygun hale getirildiği dönüştürme aşaması, uygun hale getirilen verilerin yapay zeka yöntemleri

aracılığıyla anlamlı ilişkilerin ortaya çıkarılma aşaması, çıkarılan modellerce elde edilen örüntülerden faydalı olanların belirlenmesi, değerlendirilmesi ve elde edilen bilginin görüntülenmesi aşamalarıdır [16]. Veri madenciliğinin süreçleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Veri madenciliğinin süreçleri.

Veri madenciliğinde kullanılan bazı analiz metotları aşağıda maddeler halinde verilmiştir [12].

1. Sınıflama ve Regresyon
2. Kümeleme
3. Birliktelik Kuralları
4. Bellek Tabanlı Yöntemler
5. Yapay Sinir Ağları
6. Karar Ağaçları

Veri madenciliği uygulamaları bugüne kadar geliştirilen çeşitli bilgisayar yazılımları ile yapılmaktadır. Bu yazılımlardan biri Yeni Zelanda Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilen “Waikato Environment for Knowledge Analysis” (WEKA) yazılımıdır. Java tabanlı açık kaynak kodlu WEKA yazılımında, oluşturulan veri kümeleri üzerinde ön işleme, sınıflandırma, kümeleme, dönüştürme, birliktelik kuralı çıkarımları, özellik seçimi ve görselleştirme işlemleri gerçekleştirilmektedir [18].

Bu çalışmada kapsamında polimer betonların bazı fiziksel ve mekanik özelliklerinin polimer reçine tipi, agrega tipi, malzeme yoğunlukları ve karışım oranlarına bağlı olarak belirlenmesi

için WEKA yazılımında bulunan algoritmalar kullanılarak model geliştirilmiş, bu kapsamda deneysel olarak elde edilen veriler arasındaki ilişkiler veri madenciliği ile değerlendirilmiştir.

3. DENEYSEL BULGULAR VE MODELLEME

3.1. Deneysel Verilerin Elde Edilmesi

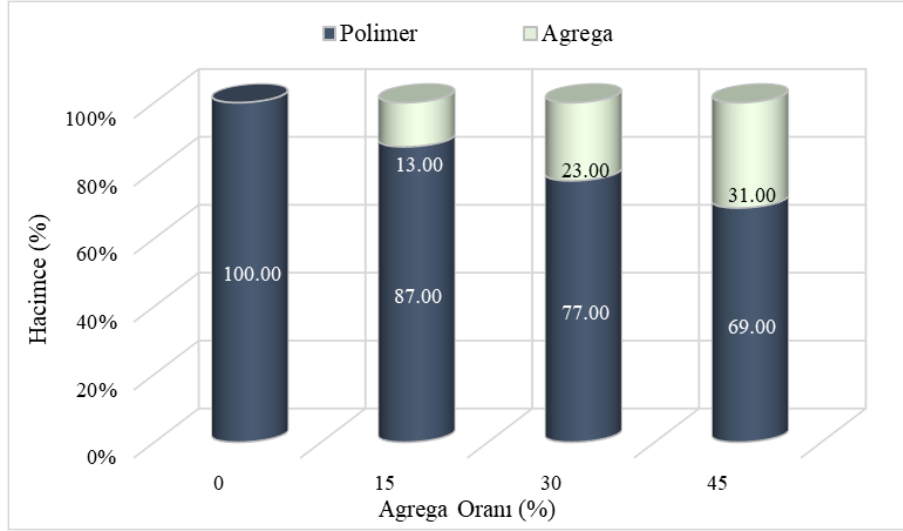
Deneysel çalışmada polimer beton bileşenlerinden agrega olarak en büyük tane boyutu 150 mikron olan 7 farklı agrega kullanılmıştır. Bunlar; Standart CEN kumu, pomza, perlit, diatomit, barit, hematit ve kolemanittir. Polimer malzeme olarak ise polyester ve vinilester reçineler tercih edilmiştir. Bu seçimin altındaki ana sebep her iki polimer reçinenin de yüksek kimyasal ve mekanik dayanımlara sahip olması ve gıda temasına da uygun olduğu için insan sağlığına olumsuz etkide bulunmamalarıdır. Ayrıca yardımcı malzeme olarak polimer betonların polimerizasyon işlemi sırasında gerekli olan reaksiyon hızlandırıcı kobalt oktoat ile sertleştirici metil etil keton peroksit (MEKP) malzemeleri de kullanılmıştır. Kullanılan polimer reçineler ve agregaların yoğunlukları deneysel olarak belirlenmiş ve Tablo 1’de gösterilmektedir [19].

Tablo 1. Polimer beton bileşenlerinin yoğunlukları.

Malzeme	Polyester	Vinilester	S.CEN Kumu	Pomza	Perlit	Diatomit	Barit	Hematit	Kolemanit
Yoğunluk (g/cm ³)	1.353	1.044	2.317	2.086	1.211	2.014	3.718	4.025	2.271

Laboratuvar deneylerinde kullanılan polimer beton numuneleri üretilirken tüm polimer reçineler için optimum agrega karışım oranları hacimce %0 – %15 – %30 – %45 şeklinde belirlenmiştir. Bu hacimce oranlar reçineye göre oranlar olarak ifade edilmiş olup, toplam karışım miktarına göre oranlar hesaplandığında

ise yaklaşık %0 – %13 – %23 – %31 oranlarına karşılık gelmektedir. Belirlenen hacimce karışım oranları bileşenlerin yoğunluklarındaki farklılıklar nedeniyle her seri için ağırlıkça farklı oranlara karşılık gelmektedir. Polimer betonların hacimce karışım oranları Şekil 3’te gösterilmektedir.



Şekil 3. Polimer betonların hacimce karışım oranları.

Optimum karışım oranlarına göre hazırlanmış olan 44 adet karışım laboratuvar ortamında oda sıcaklığında sıvı formda kalıplara dökülmüştür. Bu karışımların sertleşmelerinden sonra kalıplardan çıkarılmasıyla numuneler üretilmiştir. Numuneler yoğunluk deneyi için 80x80x10 mm, ultrasonik ses geçiş hızı deneyi için 70x70x70 mm, eğilme ve basınç

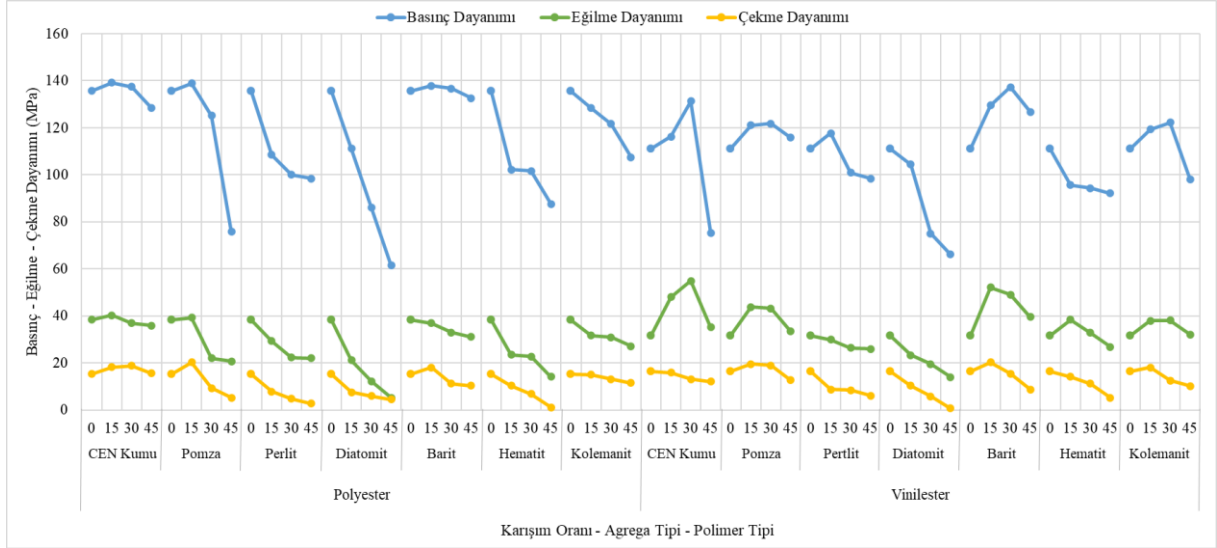
için 40x40x160 mm, çekme deneyi için ise kemik formunda hazırlanmış kalıplara dökülerek üretilmişlerdir [20-24]. Üretilen polimer beton numuneleri (Şekil 4) üzerinde bir dizi deneysel program uygulanmıştır. Deneysel analizler her karışım için 3'er adet üretilen beton örnekleri ile yapılmış ve daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi sağlanmıştır.



Şekil 4. Üretilen polimer beton numunelerinden örnekler.

Polimer reçine tipi, agregat tipi ve karışım oranlarındaki değişimlere göre eğilme, basınç

ve çekme dayanımları gibi mekanik testlerden elde edilen veriler Şekil 5'te gösterilmiştir.

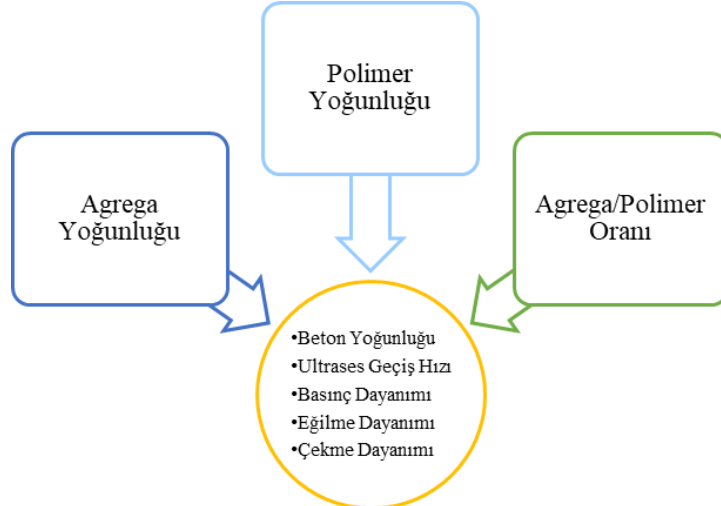


Şekil 5. Deneysel çalışmalardan elde edilen veriler.

Şekil 5'te görüldüğü gibi karışım oranlarındaki değişime bağlı olarak tüm numunelerin eğilme ve çekme dayanımlarının uyum içerisinde olduğu görülmüştür. Basınç dayanımlarında ise birçok numune için %15 agrega oranında kritik değişimler elde edilmiştir.

3.2. Verilerin Modellenmesi ve Analizi

Veri madenciliğinin modelleme sürecinde deneysel olarak elde edilen veriler aynı aralıkta olması için normalize edilmiştir. Normalize edilen veriler Şekil 6'da gösterilen şekilde girdi ve çıktı parametreleri olarak düzenlenmiştir.



Şekil 6. Modellemede kullanılan girdi ve çıktı parametreleri.

Tüm veriler gruplara ayrılarak eğitim ve analiz seti olarak kullanılmış ve modeller oluşturulmuştur. Modeller oluştururken analiz setleri "Cross-Validation (Folds 25)" (Çapraz-Doğrulama) tekniği ile modellenmiştir. Bu sayede model oluşturulmasında kullanılan tüm veriler hem girdi hem de çıktı olarak kullanılmıştır.

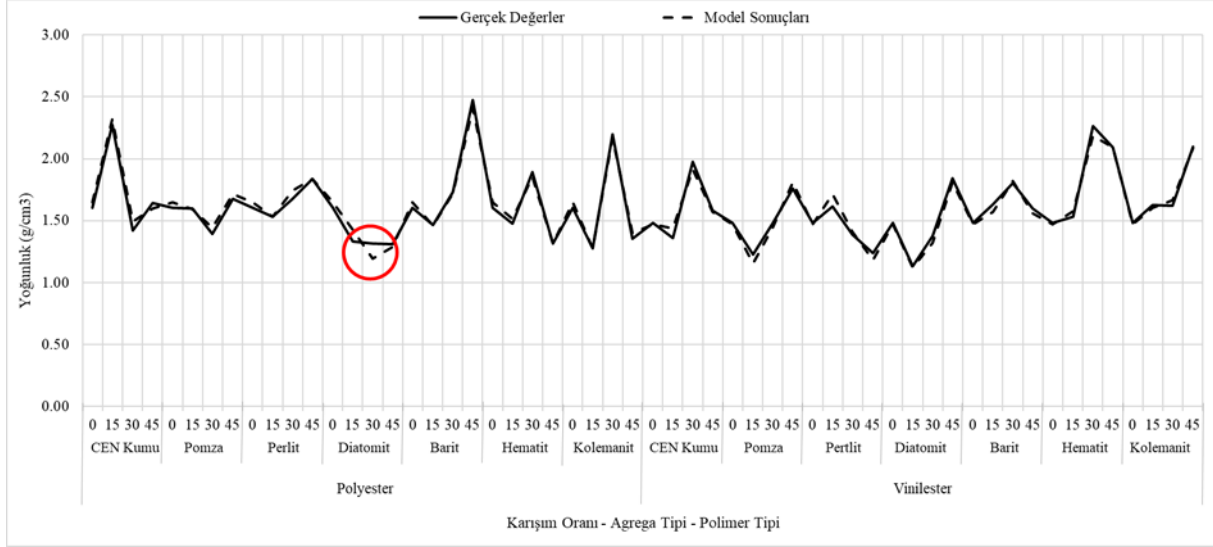
WEKA yazılımı içerisinde bulunan aşağıda belirtilen tüm algoritmalar veri havuzu için çalıştırılmış ve en uygun korelasyon katsayısını veren algoritmalar değerlendirmeye alınmıştır.

1. LinearRegression
2. MultilayerPerceptron
3. SMOReg
4. AdditiveRegression
5. Bagging
6. RandomCommittee
7. RegressionByDiscretization
8. M5Rules
9. M5P
10. RandomForest
11. RandomTree

3.3. Modellerin Sonuçları

Yapılan modelleme sonucunda farklı girdi parametrelerine göre polimer betonların yoğunlukları analiz edilmiştir. Modellemede en iyi korelasyon katsayısı “LinearRegression”

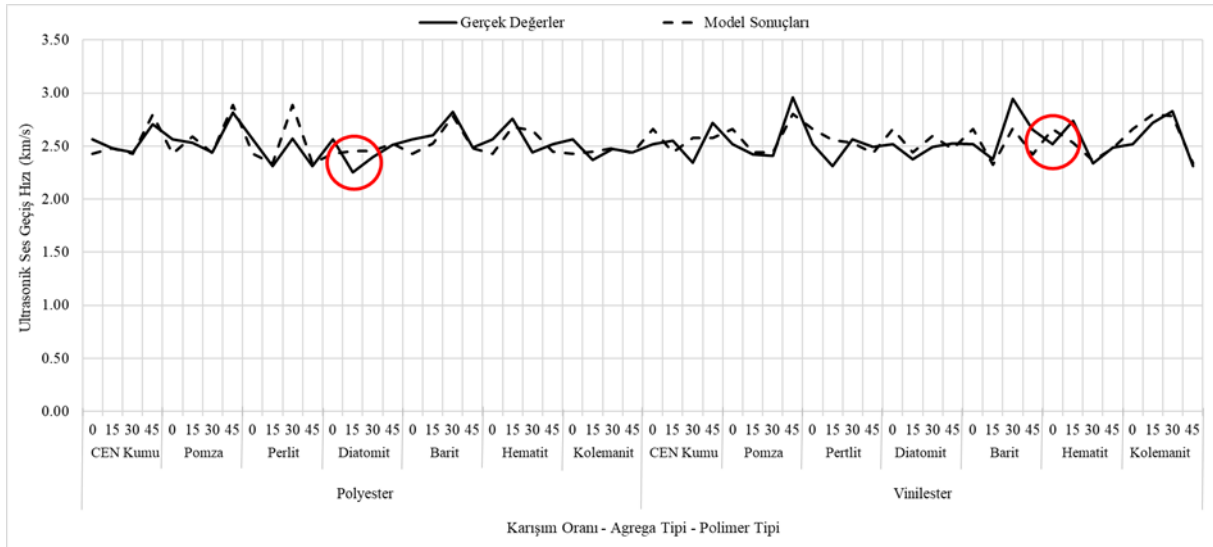
algoritmasından elde edilmiştir. Şekil 7’de de görüldüğü üzere gerçek değerlerin ve model sonuçlarının birbirleri ile uyum içerisinde olduğu ortaya çıkmıştır.



Şekil 7. Polimer beton yoğunluğu model sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması.

Şekil üzerinde kırmızı renk ile işaretli bölge polimer beton üretiminde zorluklar yaşanan diatomit agregalı karışımlara karşılık gelmektedir. Söz konusu numunelerde üretim sırasında polimerizasyon reaksiyonunda gecikmeler görülmüş ve beton numuneleri diğer numunelere oranla daha uzun sürede sertleşmiştir.

Polimer betonların ultrasonik ses geçiş hızı değerleri de veri madenciliği modellemesine tabi tutulmuştur. Bu kapsamda farklı girdi parametrelerine göre model sonuçları Şekil 8’de gösterilmiştir. Ultrasonik ses geçiş hızı değerlerinin modellenmesinde en uygun sonuçlar “M5Rules” algoritmasından elde edilmiştir.



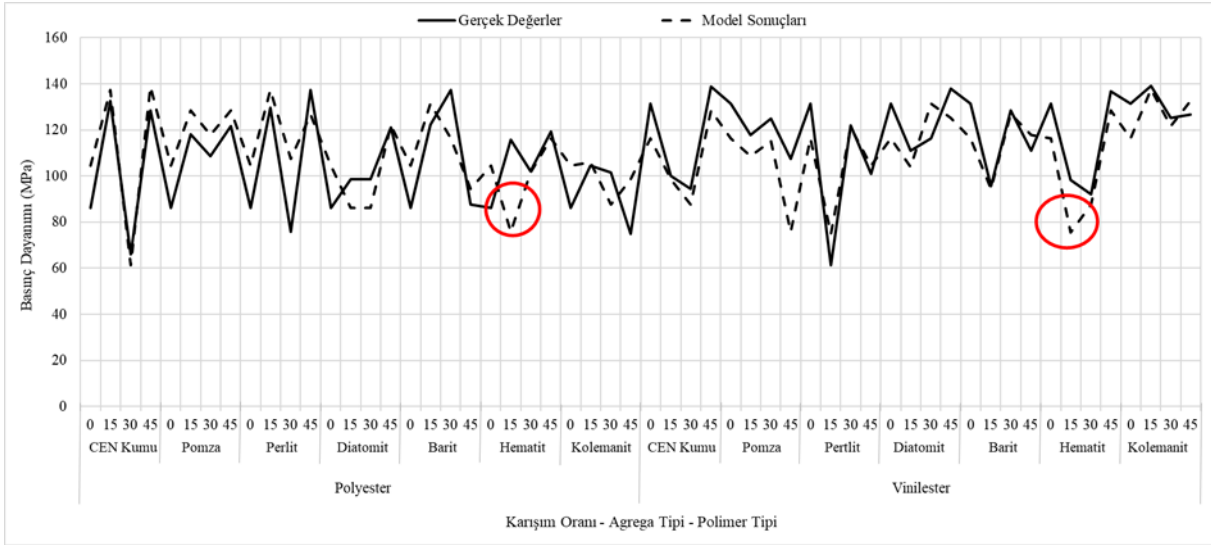
Şekil 8. Ultrasonik ses geçiş hızı model sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması.

Şekil 8 üzerinde kırmızı renk ile işaretli bölgeler soldan sağa polimer beton üretiminde zorluklar yaşanan diatomit agregalı karışımlara ve

yoğunluk değerleri en yüksek seviyede olan hematit agregalı numunelere karşılık gelmektedir. Daha önce açıklandığı şekilde

sertleşme problemi yaşadığımız diatomit agregalı karışımlara gibi hematit agregalı numunelerde de üretim aşamasında benzer sorunlarla karşılaşmıştır. Model ve deneysel verilerdeki uyumsuzluğun bu sebeple ortaya çıktığı düşünülmektedir. Girdi parametreleri ile

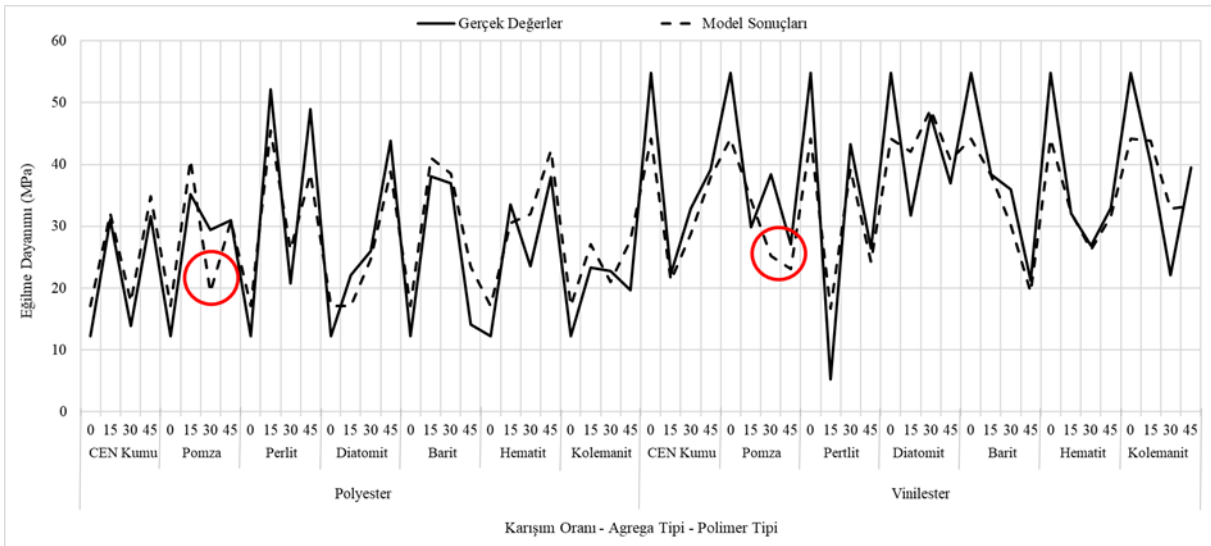
basınç dayanımı arasındaki modelde ise en uygun sonuçlar “RandomTree” algoritmasından elde edilmiştir. Bu algoritmaya göre gerçek değerler ve model sonuçları arasındaki ilişki Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9. Basınç dayanımı model sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması.

Şekil 9’da görülen model sonuçlarına göre kırmızı işaret ile gösterilen uyumsuz kısımlar hem polyester hem de vinilester reçineli polimer betonların hematit agregası kullanılarak üretilen numuneleri olarak göze çarpmaktadır. Bu durumun hematit agregalı serilerin üretim aşamasındaki olumsuzluklardan kaynaklandığı tahmin edilmektedir.

Yapılan modellemeler sonucunda farklı girdi parametrelerine göre eğilme dayanımının analizinde ise en uygun sonuçlar “AdditiveRegression” algoritmasından elde edilmiştir. En iyi korelasyon katsayısı değerinin elde edildiği “AdditiveRegression” algoritmasının gerçek değerler ve model sonuçları arasındaki ilişki Şekil 10’da gösterilmiştir.



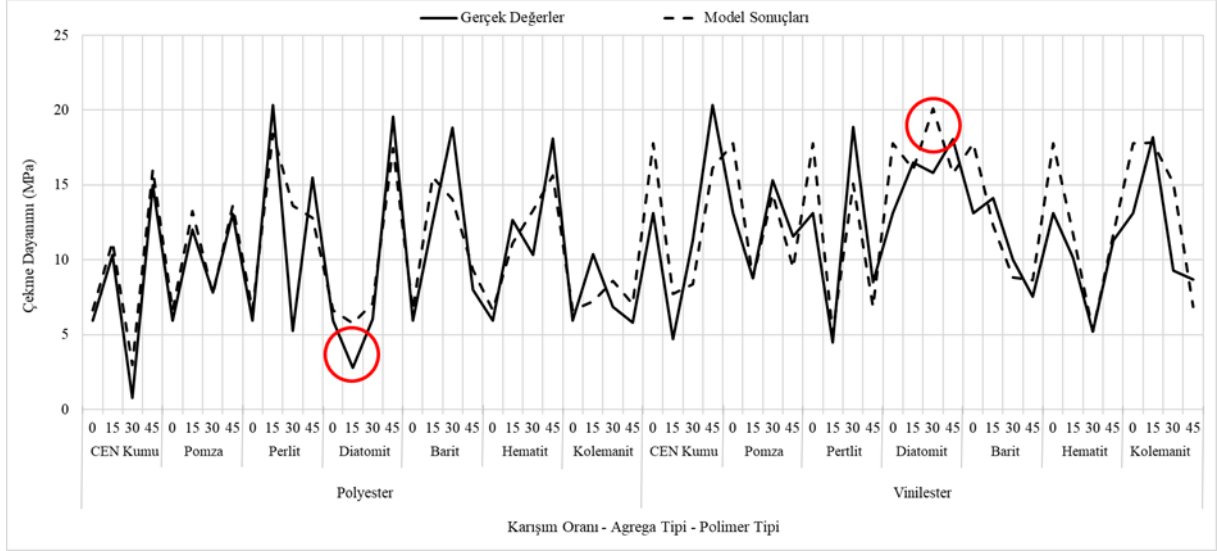
Şekil 10. Eğilme dayanımı model sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması.

Şekil 10’da görüldüğü gibi model sonuçları gerçek değerlere benzer eğilimde olsa da bazı verilerde küçük uyumsuzluklar görülmüştür. Bu

uyumsuzluklar her iki polimer türü ile üretilen betonlarda da yoğunluğu düşük seviyede olan pomza agregalı serilerde meydana gelmiştir. Bu

durumun deneysel çalışmanın numune üretim aşamasında betonların işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilediği için ortaya çıktığı düşünülmektedir. Söz konusu olumsuz örnekler deneysel analiz aşamasında da en zayıf mekanik sonuçları vermiştir.

Çekme dayanımı modellenmesinde ise en uygun sonuçlar eğilme dayanımına benzer şekilde AdditiveRegression” algoritmasından elde edilmiştir. Çekme dayanımı için ortaya çıkan model sonuçları Şekil 11’de gösterilmiştir.

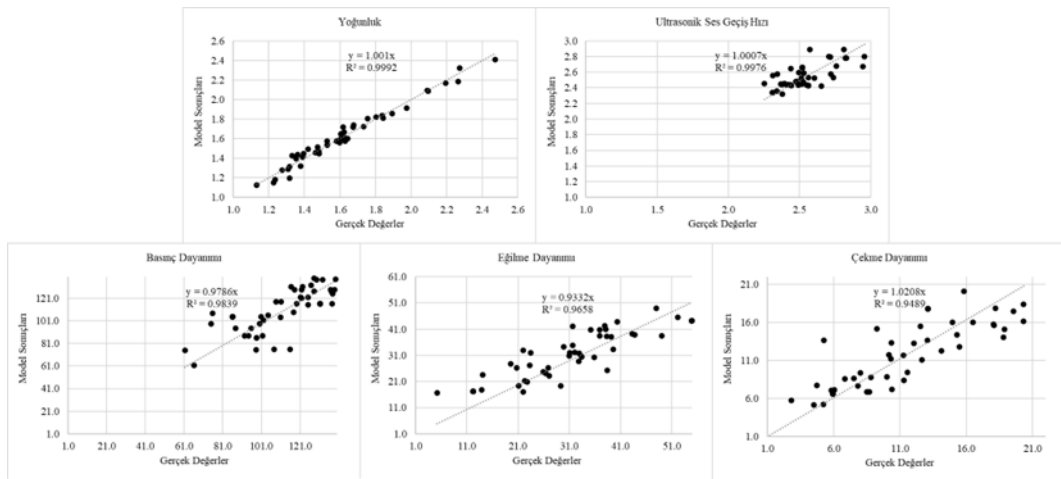


Şekil 11. Çekme dayanımı model sonuçlarının deneysel sonuçlar ile karşılaştırması.

Şekil 11’de görüldüğü üzere model sonuçları gerçek değerler arasında küçük uyumsuzluklar görülse de genellikle benzer eğilimdedir. Şekil üzerinde kırmızı renk ile işaretli bölge diğer modellemelerde de ortaya çıktığı gibi diatomit agregalı karışımlara karşılık gelmektedir. Diatomit agregalı karışımların üretimi sırasında zorluklar yaşanmış ve polimerizasyon reaksiyonundaki gecikmelerle birlikte beton numuneleri diğer numunelere oranla daha uzun sürede sertleşmiştir.

Ayrıca Şekil 5’te deneysel sonuçlarının uyum içerisinde olduğu gösterilen eğilme ve çekme dayanımı değerlerinin modelleme sonucunda da aynı algoritmada en iyi korelasyon katsayısını verdiği görülmüştür.

Diğer yandan tüm modellemeler ile ilgili korelasyon katsayısı grafikleri Şekil 12’de gösterilerek modellerin gücü bir kez daha ortaya konulmuştur.



Şekil 12. Tüm modeller için model sonuçları ile deney sonuçları arasındaki ilişkiler

Şekil 12’de görüldüğü üzere tüm modellemelerde korelasyon katsayıları (R^2) 0.9489 ile 0.9992 aralıklarında çıkmış ve ciddi bir başarı elde edilmiştir. Bununla beraber korelasyon katsayısı değerinin 1 olmamasının, bazı örneklerde üretim güçlüğü çekilmesiyle beraber ortaya çıkan problemlerden kaynaklandığı düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE YORUMLAR

- Çalışma sonucunda Veri Madenciliğinin polimer betonların mühendislik özelliklerinin tahmininde ve İnşaat Mühendisliği uygulamalarında başarılı olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.
- Kullanılan girdi parametrelerine göre her modelleme için “AdditiveRegression”, “RandomTree”, “M5Rules” ve “LinearRegression” gibi farklı algoritmalarda uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.
- Modelleme analizlerine göre uyumsuz çıkan sonuçlar için modelin öğrenme kabiliyetinin geliştirilmesi adına farklı parametreler eklenerek veri havuzunun geliştirilmesiyle daha olumlu sonuç alınacağı düşünülmektedir.
- Mekanik özelliklerin agrega oranı artışına bağlı olarak azalışa geçeceği bilgisi farklı agrega çeşitlerinde değişkenlik göstermiştir. Bu durum içeriğindeki malzemelerin özelliklerine göre polimer betonların araştırılması ihtiyacının ne denli önemli olduğunu ortaya koymuştur. Ayrıca, bu durumun kimyasal bir reaksiyon olan polimerizasyon sürecinden kaynaklandığı varsayımı düşünülerek hem polimer hem de agrega malzemelerinin kimyasal yapıları, polimerizasyon süreleri ve polimerizasyon sıcaklıkları gibi değişkenlerinin de girdi parametresi olarak modellemeye dahil edilmesi önerilmektedir.
- Fiziksel özelliklerden ultrasonik ses geçiş hızı değerleri için geleneksel betonlardaki gibi katı oranı artışına bağlı olarak bir artış beklenmekteyken bu durum polimer betonlar için ortaya çıkmamıştır. Bu sebeple modelleme aşamasında analiz bileşenlerin ağırlıklarına göre değil yoğunluklarına göre gerçekleştirilmiştir.
- Polimer betonların yoğunluk değerlerinin model sonuçlarında ise en yüksek korelasyon değerleri ($R^2 = 0.9992$) elde edilmiştir.
- Özellikle polimer kökenli malzemelerin modellemelerde daha sağlıklı bir şekilde analiz edilebilmeleri için fiziksel ve mekanik analizlere ek olarak kimyasal analizlerinin de yapılması gerektiği ve bu analizlerin neticesinde farklı kimyasal özelliklerin de veri havuzuna dahil edilmesi gerektiği önerilmektedir.
- Son olarak yapay zekâ yöntemlerinin kullanılmasıyla karmaşık veriler için zamanın ve maliyetin optimum olacağı modeller geliştirilerek, güvenilir yapılar gelecek nesillere daha kolay bir şekilde aktarılabilir.

KAYNAKLAR

1. Toufigh, V., Hosseinali, M., Shirshorshidi, S.M., “Experimental study and constitutive modeling of polymer concrete’s behavior in compression”, Construction and Building Materials, Vol. 112, Issue 1, Pages 183-190, 2016.
2. Şimşek, B., Uygunoğlu, T., “Multi-response optimization of polymer blended concrete: a toposis based taguchi application”, Construction and Building Materials, Vol. 117, Issue 1, Pages 251-262, 2016.
3. Özel, C., Koru, M., Bayram, Y., “Mineral ve fiber içeren polimer betonların plaka sıcaklıklarına bağlı ısı iletkenlik katsayılarının incelenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Cilt 19, Sayı 1, Sayfa 27-33, 2015.
4. Gençel, O., Uygunoğlu, T., Köksal, F., Durgun, M.Y., “Hafif agregalı polimer betonların özellikleri”, Bartın Üniversitesi Mühendislik ve Teknoloji Bilimleri Dergisi, Cilt 3, Sayı 2, Sayfa 42-50, 2015.
5. Özden, Ç.A., “Polimer betonların donma - çözülme etkisine dayanıklılığı”, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 2010.
6. Baydar, U., “Polimer betonların yüzey yapışma özelliklerinin incelenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2016.

7. Soykan, O., Öcal, C., Özel, C., Eren, A., Çelik, O., “Deprem sonrası betonarme elemanların polimer beton ile onarım ve güçlendirilmesi”, Uluslararası Burdur Deprem ve Çevre Sempozyumu, Sayfa 227-232, Burdur, 2015.
8. Douba, A., Genedy, M., Matteo, E.N., Kandil, U.F., Stormont, J., Reda Taha, M.M., “The significance of nanoparticles on bond strength of polymer concrete to steel”, International Journal of Adhesion and Adhesives, Vol. 74, Issue 1, Pages 77-85, 2017.
9. Topsakal, A., “Polimer betonların bazı durabilite özelliklerinin incelenmesi”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta, 2013.
10. Özturan, T., “Özel betonlar”, Hazır Beton Dergisi, Cilt 118, Sayı 1, Sayfa 70-82, 2013.
11. Kaplan, A.N., “Agrega ve reçine tipinin polimer betonun performansı üzerine etkileri”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 2021.
12. Özel, C., Topsakal, A., “Veri madenciliği kullanarak beton basınç dayanımının belirlenmesi”, Cumhuriyet Üniversitesi Fen Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 35, Sayı 1, Sayfa 43-57, 2014.
13. Yücel, K.T., Özel, C., “Modeling of mechanical properties and bond relationship using data mining process”, Advances in Engineering Software, Vol. 45, Issue 1, Pages 54–60, 2012.
14. Aksoy, B., Koru, M., “Estimation of casting mold interfacial heat transfer coefficient in pressure die casting process by artificial intelligence methods”, Arabian Journal for Science and Engineering, Vol. 45, Pages 8969-8980, 2020.
15. Aksoy B., “Estimation of energy produced in hydroelectric power plant industrial automation using deep learning and hybrid machine learning techniques”, Electric Power Components and Systems, Vol. 49, Pages 213-232, 2021.
16. Işık, A., Ulusoy, S.K., “Determining the factors that affect the production time in metal industry utilizing data mining methods”, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol. 36, Issue 4, Pages 1949-1962, 2021.
17. Kaya, H., Köymen, K., “Veri madenciliği kavramı ve uygulama alanları”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, Cilt 1, Sayı 1, Sayfa 159-164, 2008.
18. Keleş, A.E., Keleş, M.K., “Adana inşaat sektörü çalışanlarının verimlilikleri üzerine bir araştırma”, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, Sayfa 605-609, 2018.
19. TS EN 1097-6, “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2013.
20. TS EN 12390-5, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
21. TS EN 12390-3, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
22. TS EN 12504-4, “Beton Deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2012.
23. TS EN 12390-7, “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2019.
24. ASTM C1275 – 16, “Standard Test Method for Monotonic Tensile Behavior of Continuous Fiber-Reinforced Advanced Ceramics with Solid Rectangular Cross-Section Test Specimens at Ambient Temperature”, International American Society for Testing and Materials Standards, USA, 2016.