

## Düşük, Orta ve Yüksek Dayanım için Karar Ağacı Algoritmasıyla Beton Karışım Tasarımı

Coşkun PARİM<sup>\*1</sup> ORCID 0000-0002-6412-1325

Mehmet Şamil GÜNEŞ<sup>1</sup> ORCID 0000-0001-5842-5181

Hasan DİLBAS<sup>2</sup> ORCID 0000-0002-3780-8818

<sup>1</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, İstatistik Bölümü, İstanbul

<sup>2</sup>Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Van

Geliş tarihi: 14.05.2022

Kabul tarihi: 27.12.2022

Atıf şekli/ How to cite: PARİM, C., GÜNEŞ, M.Ş., DİLBAS, H., (2022). Düşük, Orta ve Yüksek Dayanım için Karar Ağacı Algoritmasıyla Beton Karışım Tasarımı. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 37(4), 951-958.

### Öz

Bu makale çalışmasında, mineral katkılı (silis dumanı) ve katkısız betonların karışım tasarımı için karar ağacı algoritmasıyla karışım tasarımı parametreleri 470 adet betona ait 3760 veri derlenerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar üzerinde yorumlar ve irdelemeler yapılmıştır. Karar ağacı algoritması sonuçları incelendiğinde, beton karışımları üzerinde en etkili parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, her bir basınç dayanımı aralığı için en önemli parametre çimento dozajıdır ve diğer parametreler önem derecesine bağlı olarak daha sonra gelmektedir. Diğer yandan, yüksek basınç dayanımları arzulanması durumunda, ince madde içeriğinin belirtilen değerlere yakın olarak seçilmesi gerekli olup ince agreganın boşluk doldurucu etkisi ve sonucu olarak kompakt beton oluşumu/yüksek basınç dayanımı elde edilmesi ilişkisini göstermektedir denilebilir. Ayrıca elde edilen analiz sonucu farklı dayanım aralıkları için hangi karışım içeriğinden hangi miktarlarda seçilmesi gerektiğine %75 doğrulukla bir çözüm getirilmektedir. Böylelikle, beton karışım tasarımı için geliştirilmiş ilgili standartlardaki (örneğin, TS 802) detaylardan bağımsız olarak hangi dayanım için hangi beton içeriğinin seçilebileceği önerisi literatür verisi ile desteklenerek sağlanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Beton karışım tasarımı, Karar ağacı algoritması, Mineral katkı, Silis dumanı

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding author): Coşkun PARİM, [cparim@yildiz.edu.tr](mailto:cparim@yildiz.edu.tr)

## **Concrete Mixture Design with Decision Tree Algorithm for Low, Medium and High Strengths**

### **Abstract**

In this paper, the mixture design parameters for the mixture design of concretes with and without mineral additive (silica fume) were determined by compiling 3760 concrete data for 470 concrete series with the decision tree algorithm. Comments and analyzes were made on the results obtained. When the results of the decision tree algorithm were examined, the most effective parameters on the concrete mixtures were determined. Obtained results show that the most important parameter for each compressive strength range is cement dosage and other parameters come later depending on their importance. On the other hand, if high compressive strengths are desired, the fine matter content should be chosen close to the specified values, and it can be said that the gap-filling effect of the fine aggregate and the resultant compact concrete formation/high compressive strength relationship are shown. In addition, the result of the analysis obtained provides a solution with 75% accuracy to choose which mixture content and which amounts for different strength ranges. Thus, the suggestion that which concrete content can be selected for which strength, regardless of the details in the relevant standards developed for concrete mix design (for example, TS 802), is supported by the literature data.

**Keywords:** Concrete mix design, Decision tree algorithm, Mineral admixture, Silica fume

### **1. GİRİŞ**

Beton karışım tasarımı, bilindiği üzere, genellikle ülkelerin beton karışım tasarımına yönelik olarak geliştirdikleri standartlarca tariflenmektedir. Söz konusu standartlarda, karışım tasarım adımları herhangi bir ilgili tarafından takip edilerek istenen hedef basınç dayanımı veya hedef kalıcılık parametresi (korozyon, karbonatlaşma, donma çözünme, vb.) için beton karışım tasarımı kolayca yapılabilmektedir [1–4]. Farklı araştırmacılarca oluşturulmuş beton karışım tasarımı yaklaşımları da ilgili literatürde birçok araştırmaya konu olmuştur [5–10]. İkili karışım yöntemi ve parçacık paketleme yöntemi bunlardan sadece bazılarıdır. Standartlarca belirtilen yaklaşımlar birçok makale çalışmasında kullanılmış ve bu yaklaşımların sonuçları güncel literatürün büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır.

Mevcut literatürdeki sonuçlar hassas şekilde incelendiğinde, betonların ayrıca mineral katkı, fiber katkı, kimyasal katkı gibi bazı bileşenleri de içerdikleri görülmektedir ki bu bileşenler betonları özelleştirip kullanımda bazı beton özelliklerini güçlendirmek maksatlı olarak kullanılmaktadır.

Örneğin, mineral katkıları betonda serbest halde bulunan kireci ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) bağlayarak ek etrenjit (kalsiyum-silika-hidrate diğer tabirle C-S-H jeli) oluşturmada ve incelikleri sebebiyle boşlukları da tıkararak betonu daha kompakt yapıp daha geçirimsiz hale getirerek betonun hem dayanımını hem de dayanıklılığını artırmaktadır [11]. Bu noktada söz konusu etkilerin araştırıldığı ve sonuçların paylaşıldığı birçok çalışma ilgili literatürde bulunmaktadır. Adil ve arkadaşları tarafından yürütülen çalışmada 2903 adet mineral katkılı ve katkısız beton verisi derlenmiş ve oluşturulan bilgi bankası üzerinde çeşitli irdelemelerde bulunulmuştur [12]. Yapılan çalışmada, derlenen veri kümesi üzerinde yapay sinir ağları ile irdelemeler yapılmış ve yapay sinir ağı nöron sayısı-hidden layer optimizasyonu yapılarak yapay sinir ağı parametreleri optimizasyonu yapılmıştır. Çalışmada ana hedef kazanılacak zaman ve ekonomi üzerinedir.

İstatistikî yaklaşımlar incelendiğinde, karar ağacı yönteminin çeşitli karmaşık problemleri incelemede ve sonuca varmada iyi bir çözüm olduğu rapor edilmektedir [13,14]. Karar ağacı algoritması ayrıca incelenen değişkenlerin önem sırasına göre birinciden sonuncuya kadar karar

adımlarını sıralamakta ve adım adım hangi parametrelerin ne şekilde/oranda/miktarda seçileceği detaylarını da göstermektedir.

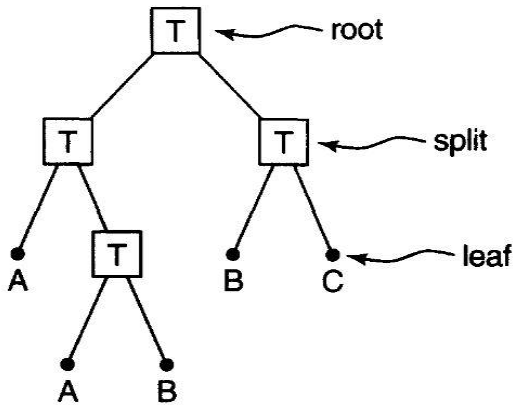
Bu makale çalışmasında, literatürde sonuçları rapor edilen makalelerin derlenmesiyle elde edilmiş mineral katkı (silis dumanlı) ve katkısız betonların karışım parametreleri ile basınç dayanım değerleri bilgi bankası kullanılarak basınç dayanım aralıklarına göre beton karışım tasarımı adımları karar ağacı yöntemiyle incelenmiştir.

## 2. MALZEME VE YÖNTEM

### 2.1. Karar Ağacı Yöntemi ve Kullanılan Veri Seti

Karar ağacı yöntemi, sınıflama ve karar alma süreçlerinde sıklıkla kullanılan bir tekniktir [15]. Bir karar ağacında karar düğümleri ve yaprak düğümleri olmak üzere iki tür düğüm vardır. Bu analiz yöntemi grafiği içerisinde yer alan her düğüm bir özneliği temsil eder ve karar ağacında yer alan her yaprak düğümü ise sınıflandırmayı gösterir. Kategorik veya numerik değişkenleri içerebilir.

Karar ağaçları yöntemi, doğrusal yöntemlerin iyi performans göstermediği durumlarda yaygın olarak kullanılan alternatif bir tekniktir. Bu yöntem çalışmada kullanılan etki değişkenlerinin önem derecesi hakkında bilgi verir ve karar alma mekanizmasını oluşturur [16].



Şekil 1. Karar ağacı örneği

Şekil 1'de her kutu (T), verileri art arda daha küçük gruplara özyinelemeli olarak bölen düğümdür. Her yaprak düğümündeki etiketler (A, B ve C), her gözleme atanan sınıf etiketini temsil eder [17]. Genel olarak karar ağaçları yöntemi, giriş verilerini ana etki özellikleri olarak kullanarak sınıflama işlemi yapar. Karar alma grafiği çıktısı oluştuktan sonra giriş ve hedef etki değişkenleri arasındaki ilişkiler daha iyi oluşturulabilir [18,19]. Bu makale çalışmasında, karar ağacı yöntemi literatürden elde edilen veri seti üzerinde uygulanarak, farklı dayanım aralıklarında bulunan silis dumanlı betonlar için karışım tasarım parametresi önerisi oluşturulmuştur. Dayanım aralıkları için Sojibi ve arkadaşları [20] tarafından belirtilen beton dayanım sınıflaması dikkate alınmıştır. Buna göre, 0-19 MPa aralığı düşük dayanım, 20-39 MPa aralığı normal dayanım, 40-69 MPa aralığı orta dayanım, 70-119 MPa aralığı yüksek dayanım ve 120-1000 MPa aralığı ultra-yüksek dayanım olarak tariflenmiştir.

Karar ağacı yöntemi giriş verileri, Adil ve arkadaşları [12] tarafından sunulan mineral katkı betonlara ait detaylara dayanmakta olup silis dumanı içeren betonlara ait detaylar bu makale çalışmasında incelenmiştir. Toplamda 470 adet betona ait 7 karışım parametresi (su içeriği ( $\text{kg/m}^3$ ), çimento dozajı ( $\text{kg/m}^3$ ), su/çimento oranı (%), silis dumanı içeriği ( $\text{kg/m}^3$ ), hava içeriği (%), iri agregat/tüm hacim ve ince agregat/tüm hacim (%) ile basınç dayanımı (MPa) parametresi dikkate alınmış ve 3760 adet veri bu makale çalışmasında kullanılmıştır.

Bu makale çalışmasında dikkate alınan Karar ağacı analizi için R istatistiksel yazılımında 'Rpart' ve 'rpart.plot' fonksiyonları kullanılmış [21] ve karar ağacı analizinde basınç dayanımlarının aralığına göre her bir düğüm sırasıyla A: Orta (turuncu), B: Yüksek (sarı) ve C: Çok Yüksek (yeşil) olmak üzere üç orana sahiptir (Şekil 2). Elde edilen sonuçlarda her bir düğümde olasılık değeri hangi basınç dayanım aralığında yüksek ise, düğüm o renk ile renklendirilmektedir. Olasılıkların altındaki değerler ise o durum ile karşılaşılma yüzdesini göstermektedir. Karar ağacında düğüm altındaki koşul sağlanırsa, sol tarafa (evet),

sağlanmaz ise sağ tarafa (hayır) ilerlenir. Ayrıca, kök düğüm değişkenler arasında en baskın olanını göstermektedir. Silis dumanı katkılı beton örnekleme kullanılan bu çalışmada, verinin %70'i eğitim ve %30'u da test verisi olarak kullanılmıştır. Literatürde yapılan çalışmalar referans alınarak eğitim verisi %70, test verisi ise %30 olarak alınmıştır [22-24]

### 3. BULGULAR

Makale kapsamında 3760 adet beton verisi karar ağacı yöntemi ile analiz edilmiş ve Şekil 2'de belirtilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 2 ve Çizelge 1, silis dumanı katkılı betonların karışımlarında kullanılacak detayları adım adım göstermektedir. Şekil 2'de oluşan dallanma farklı beton dayanım aralığı değerleri için yöntem tarafından oluşturulmuş yapılarıdır. 470 adet betona ait 3760 adet parametreyi içeren örneklemin kullanıldığı bu çalışmada, silis dumanı içeren betonlara ait basınç dayanımının %75 oranında doğru sınıflandırılabilirdiği tespit edilmiştir.

Karar ağacında kök düğüme bakıldığında, kullanılan silis dumanlı veri setinde basınç dayanımlarının orta, yüksek ve çok yüksek olması olasılıklarının sırasıyla %24, %57 ve %19 olduğu görülmektedir. Beton karışımlarında, 440 kg/m<sup>3</sup> altında çimento dozajı kullanılması durumunda basınç dayanımının %91 olasılıkla orta dayanım aralığında yer alacağı söylenebilir. Bu durumda, çok yüksek dayanım aralığında olma olasılığı neredeyse sıfırdır. Diğer bir yönden bakıldığında, çimento dozajı 440 kg/m<sup>3</sup>'ten az olduğunda diğer içeriklerin hiçbirinin basınç dayanımına etki edemediği görülmektedir. Elde edilen bu durum, basınç dayanımı için çimento içeriğinin önemini göstermektedir.

Sonuçlardan hareketle çimento içeriği 440 kg/m<sup>3</sup>'ün üzerindeyken, hava içeriği %3,7'nin üzerinde olduğunda çok yüksek basınç dayanımına sahip beton üretmek mümkün olmamaktadır. Teoride elde edilen bu durum, pratikte boşluk etkisinin basınç dayanımını azalttığına dair rapor veren çalışmalarla yakın sonuçlar vermiştir [11, 25-27]. Ayrıca, elde edilen analiz sonuçlarına göre, ince agrega/tüm agrega konsantrasyonu %13'ün

üzerinde iken %86 olasılıkla ve bu konsantrasyon %22'nin üzerinde iken %75 olasılıkla yüksek basınç dayanımına sahip beton elde edilebilmektedir.

İri agrega/tüm hacim oranı %38'den fazla olduğunda, çimento içeriği 586 kg/m<sup>3</sup>'ün üzerine çıkarılıp su içeriği 163 kg/m<sup>3</sup>'ün altına düşürülüp hava içeriği de %1,7-3,7 aralığında tutularak su-çimento oranı da 0,24'ten az olacak şekilde ayarlanırsa %61 olasılıkla çok yüksek basınç dayanımına (120-1000 MPa) sahip beton üretmenin mümkün olabileceği tespit edilmiştir. Burada çok yüksek basınç dayanımına (120-1000 MPa) sahip beton için, elde edilen veriler incelendiğinde, beton karışımında çimento içeriği 440 kg/m<sup>3</sup>'ten fazla hava içeriği %3,7'den az iri agrega/tüm hacim oranı %38'den az ve su içeriği de 179 kg/m<sup>3</sup>'ü geçmeyecek şekilde ayarlanması durumunda %45 olasılıkla yüksek ve aynı zamanda %52 olasılıkla da çok yüksek basınç dayanımına sahip beton elde etmek mümkün olabilmektedir. Bu karışımda %23'ü geçmeyecek şekilde ince agrega/tüm hacim oranı olması durumunda ise, betonun çok yüksek basınç dayanımına sahip olma olasılığı %52'den %79'a yükselmektedir. İnce agrega kullanımının, boşlukları doldurarak daha kompakt ve yüksek dayanımlara sahip beton elde edilmesinde kullanıldığı yapılan çalışmalarda belirtilmektedir [11,25-28] [11,28-31]. Eğer ince agrega/tüm hacim oranının %23'ü geçmesi durumunda ise su içeriği 141 kg/m<sup>3</sup>'ün altına düşürülerek yine %70 olasılıkla yüksek basınç dayanımına sahip beton tasarımı yapılabilmektedir.

#### 3.1. Örnek Uygulama

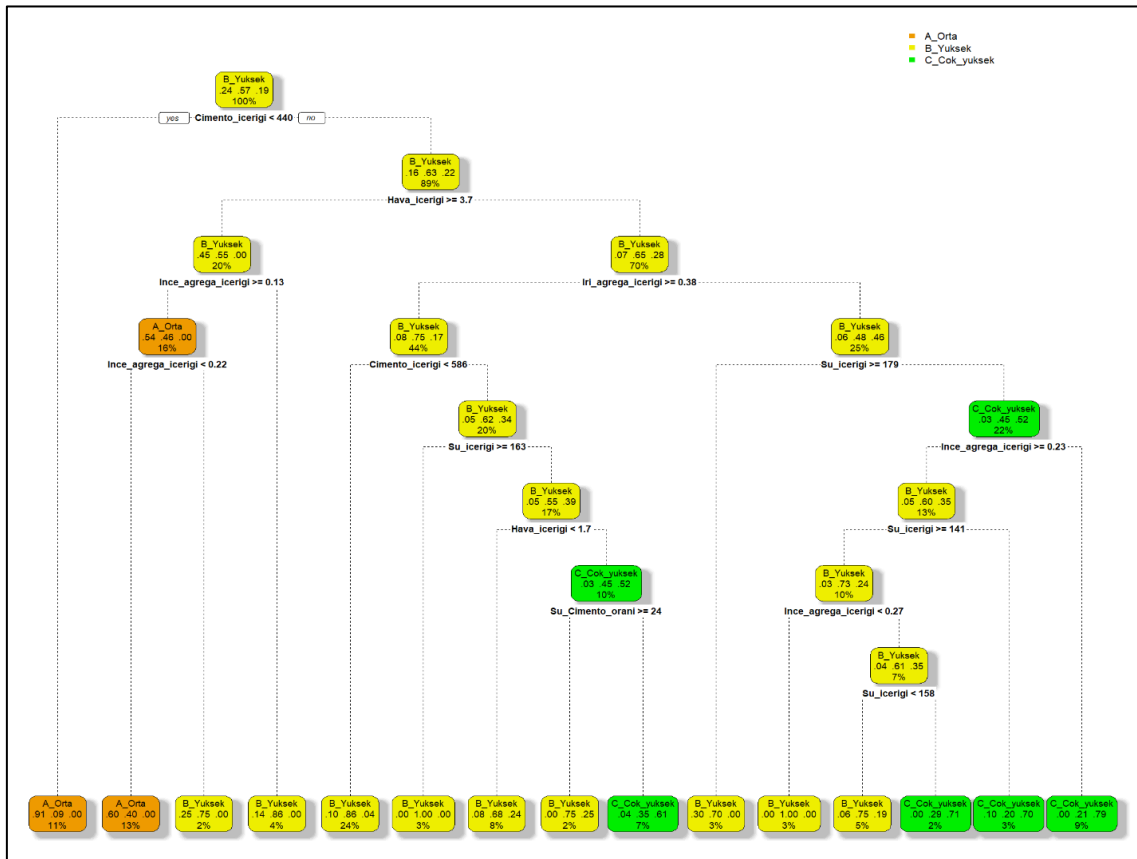
Literatürde yapılan silis dumanı içerikli bir çalışmada, çeşitli çimento dozajlarında, su/bağlayıcı oranlarında ve çeşitli dayanımlarda betonlar üretilmiştir [32]. Atış ve arkadaşları [32] çalışmasındaki parametreler ile Çizelge 1 karşılaştırıldığında; önerilen silis dumanı içerikli beton parametresi tasarım aralıklarının orta ve yüksek basınç dayanımı değerlerini sağladığı görülmüştür. Örneğin, SD-400-0,5-10 ve SD-450-0,3-20 için basınç dayanımı değerleri sırasıyla 62,3 MPa ve 101,0 MPa basınç dayanımı değerlerine sahiptir. Bu betonlardan SD-400-0,5-10 betonunda

çimento dozajı 400 kg, su/bağlayıcı oranı 0,5, hava içeriği %0,325, iri agrega/toplam hacim oranı 37,0 ve ince agrega/toplam hacim oranı 30'dur. Diğer yönden, SD-450-0,3-20 betonunda çimento dozajı 450 kg, su/bağlayıcı oranı 0,3, hava içeriği %1,83, iri agrega/toplam hacim oranı 37,1 ve ince agrega/toplam hacim oranı 30,1'dir.

#### 4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu makale çalışmasında, literatürden derlenen 3760 adet beton karışım parametresi (su/çimento oranı, su içeriği, çimento içeriği, mineral katkı içeriği, hava içeriği, iri ve ince agrega içerikleri) ve beton basınç dayanımı verisi kullanılmış, elde edilen sonuçlar üzerinde yorumlamalarda bulunulmuştur. Karar ağacı algoritması

sonuçlarına dayanarak bazı çıkarımlarda bulunulmuştur. Elde edilen sonuçlar göstermektedir ki, her bir basınç dayanımı aralığı için en önemli parametre çimento dozajıdır ve diğer parametreler önem derecesine bağlı olarak daha sonra gelmektedir. Diğer yönden, yüksek basınç dayanımları arzulanması durumunda, ince madde içeriğinin belirtilen değerlere yakın olarak seçilmesi gerekli olup ince agreganın boşluk doldurucu etkisi ve sonucu olarak kompakt beton oluşumu/yüksek basınç dayanımı elde edilmesi ilişkisini göstermektedir denilebilir. Ayrıca elde edilen analiz sonucu farklı dayanım aralıkları için hangi karışım içeriğinden hangi miktarlarda seçilmesi gerektiğine %75 doğrulukla bir çözüm getirmektedir.



Şekil 2. Silis dumani içerikli betonların dayanım esaslı (orta dayanım (turuncu), yüksek dayanım (sarı) ve çok yüksek dayanım (yeşil)) tasarımı için Karar Ağacı Yöntemi sonuçları (dallanmalardaki kistaslarda doğru ise sol, yanlış ise sağ tarafa devam edilmesi gerekir)

**Çizelge 1.** Silis dumanı içerikli betonların dayanım esaslı tasarımı için Karar Ağacı Yöntemi ile elde edilmiş karışım içeriği değer aralıkları ve önerilen değer aralıkları

KARAR AĞACI YÖNTEMİ SONUÇLARI								
Beton Dayanım Aralığı	Bağlayıcı, kg/m <sup>3</sup>	Su, kg/m <sup>3</sup>	Su/bağlayıcı oranı	İri agrega/toplam hacim	İnce agrega/toplam hacim	Hava, %		
Orta Dayanım (40-69 MPa)	X<440	-	-	-	-	-	-	
	X>440	-	-	-	0,13≤X<0,22	3,7≤X		
Yüksek Dayanım (70-119 MPa)	X>440	-	-	-	0,13<X	3,7<X		
		X≥179	-	-	0,13<X			
		179>X≥141	-	X<0,38	0,23≤X<0,27	X<3,7		
		-	-	0,23≤X<0,27				
	586>X>440	-	-	-	-	3,7<X		
	X>440	X≥163	-	-	X≥0,38	-		
		X<163	-	-	-	-		
		X<163	X≥0,24	-	-	X<3,7		
Çok Yüksek Dayanım (120-1000 MPa)	586>X>440	X<163	X<0,24	X≥0,38	-			
	X>440	179>X≥141	-	-	X≥0,23	X<3,7		
		-	-	X<0,38	-			
		X<179	-	-	X<0,23			
ÖNERİ								
Beton Dayanım Aralığı	Bağlayıcı, kg/m <sup>3</sup>	Su, kg/m <sup>3</sup>	Su/bağlayıcı oranı	İri agrega/toplam hacim	İnce agrega/toplam hacim	Hava, %	Silis dumanı, %	
Orta Dayanım (40-69 MPa)	300≤X≤440	150≤X≤190	0,35≤X≤0,50	0,15≤X≤0,40	0,10≤X≤35	X≤4	5≤X≤15	
Yüksek Dayanım (70-119 MPa)	440≤X≤550	110≤X≤190	0,25≤X≤0,35	0,10≤X≤0,35	0,15≤X≤35	X≤3	5≤X≤20	
Çok Yüksek Dayanım (120-1000 MPa)	440≤X≤550	110≤X≤130	X≤0,25	0,05≤X≤0,25	0,20≤X≤40	X≤2	10≤X≤20	
X, herhangi bir beton karışım parametresidir								

## 5. KAYNAKLAR

1. TS 802, 2016. Turkish Standards Institution, Design of Concrete Mixes, Ankara.
2. TS EN 206-1, 2019. Concrete- Specification, Performance, Production and Conformity, Ankara.
3. ACI, ACI-318M-05, 2004. Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary, Farmington Hills, MI, USA.
4. SEAONC, 2013. Construction Quality Assurance Committee, Guidelines for Reviewing Concrete Mix Designs in Accordance with the 2010 CBC.
5. Li, N., Shi, C., Zhang, Z., Wang, H., Liu, Y., 2019. A Review on Mixture Design Methods for Geopolymer Concrete, Composites Part B: Engineering. 178, 107490.
6. Dave, S., Bhogayata, A., 2020. The Strength Oriented Mix Design for Geopolymer Concrete Using Taguchi Method and Indian Concrete Mix Design Code. Construction and Building Materials Mat. 262, 120853.
7. Omary, S., Ghorbel, E., Wardeh, G., Nguyen, MD., 2018. Mix Design and Recycled Aggregates Effects on the Concrete's Properties. International Journal of Civil Engineering, 16, 973–992.
8. Kupaei, RH., Alengaram, UJ., Bin Jumaat, MZ., Nikraz, H., 2013. Mix Design for Fly Ash Based Oil Palm Shell Geopolymer Lightweight Concrete. Construction and Building Materials, 43 490–496.
9. Junaid, M., Kayali, O., Khennane, A., Black, J., 2015. A Mix Design Procedure for Low Calcium Alkali Activated Fly Ash-Based

- Concretes. *Construction and Building Materials*, 79, 301–310.
10. Wardeh, G., Ghorbel, E., Gomart, H., 2015. Mix Design and Properties Of Recycled Aggregate Concretes: Applicability of Eurocode 2. *International Journal of Concrete Structures and Materials*, 9, 1–20.
  11. Erdoğan, T., 2007. *Beton*. METU Press, Ankara, 741.
  12. Adil, M., Ullah, R., Noor, S., Gohar, N., 2020. Effect of Number of Neurons and Layers in an Artificial Neural Network for Generalized Concrete Mix Design. *Neural Computing and Applications*, 1-9.
  13. Nowozin, S., Rother, C., Bagon, S., Sharp, T., Bangpeng Y., Kohli, P., 2011. Decision Tree Fields. 2011 International Conference on Computer Vision, IEEE, 1668–1675.
  14. Myles, AJ., Feudale, RN., Liu, Y., Woody, NA., Brown, S., 2004. An Introduction to Decision Tree Modeling. *Journal of Chemometrics*, 18, 275–285.
  15. Kumar, R., Verma, R., 2021. Classification Algorithms for Data Mining: A Survey. *Journal of Innovations in Engineering and Technology*, 1, 7–14.
  16. Güçlüer, K., Özbeyaz, A., Göymen, S., Günaydın, O., 2021. A Comparative Investigation Using Machine Learning Methods for Concrete Compressive Strength Estimation. *Materials Today Communications*, 27, 102278.
  17. Friedl, M., Brodley, C., 1997. Decision Tree Classification of Land Cover From Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 61, 399–409.
  18. Rokach, L., Maimon, O., 2005. *Decision Trees, Data Mining and Knowledge Discovery Handbook*, Springer-Verlag. New York, 165–192.
  19. Karbassi, A., Mohebi, B., Rezaee, S., Lestuzzi, P., 2014. Damage Prediction for Regular Reinforced Concrete Buildings Using the Decision Tree Algorithm. *Computers and Structures*, 130, 46–56.
  20. Sojobi, A., Aladegboye, O., Awolusi, T., 2018. Green Interlocking Paving Units. *Construction and Building Materials*, 173, 600–614.
  21. Milborrow, S., 2017. R Part. Plot: Plot' rpart' Models: An Enhanced Version of 'plot.rpart'. R Package Version 2.1.2.
  22. Joseph, VR., 2022. Optimal Ratio for Data Splitting. *Statistical Analysis and Data Mining: The ASA Data Science Journal*, 15, 531-538.
  23. Gholamy, A., Kreinovich, V., Kosheleva, O., 2018. Why 70/30 Or 80/20 Relation between Training and Testing Sets: A Pedagogical Explanation. Technical Report: UTEP-CS-18-09.
  24. Al-Haidari, H., Al-Haydari, IS., 2022. Artificial Intelligence-based Compressive Strength Prediction of Medium to High Strength Concrete. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 46(2), 951-964.
  25. Dilbas, H., Çakır, Ö., 2021. Physical and Mechanical Properties of Treated Recycled Aggregate Concretes: Combination of Mechanical Treatment and Silica Fume. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33, 04021096.
  26. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H., 2010. *Beton ve Betonarme Yapılarda Kalıcılık Durabilite*. THBB, 318.
  27. Çakır, Ö., Dilbas, H., 2021. Durability Properties of Treated Recycled Aggregate Concrete: Effect of Optimized Ball Mill Method. *Construction and Building Materials*, 268, 121776.
  28. Ren, M., Wen, X., Gao, X., Liu, Y., 2021. Thermal and Mechanical Properties of Ultra-High Performance Concrete Incorporated with Microencapsulated Phase Change Material. *Construction and Building Materials*, 273, 121714.
  29. Liu, Y., Zhang, Z., Shi, C., Zhu, C., Li, N., Deng, N., 2020. Development of Ultra-High Performance Geopolymer Concrete (UHPCG): Influence of Steel Fiber on Mechanical Properties. *Cement and Concrete Composites*, 112, 103670.
  30. Arunothayan, AR., Nematollahi, B., Ranade, R., Bong, Sh., Sanjayan, J., 2020. Development of 3D-printable Ultra-High Performance Fiber-Reinforced Concrete for

- Digital Construction. Construction and Building Materials, 257, 119546.
31. Jiao, Y., Zhang, Y., Guo, M., Zhang, L., Ning, H., Liu, S., 2020. Mechanical and Fracture Properties of Ultra-High Performance Concrete (UHPC) Containing Waste Glass Sand as Partial Replacement Material. Journal Of Cleaner Production, 277, 123501.
  32. Atış, C., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U., Demir, A., 2004. Silis Dumanı Kullanımının Beton Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi. Türkiye Mühendislik Haberleri, 426, 54-59.