

Hafif Beton Üretimi İçin Gerekli Olan Hafif Agreganın Miktarının Yapay Sinir Ağı ile Tahmin Edilmesi

Rabia Nur SAĞLAM^{1*}, Merve AÇIKGENÇ ULAŞ², Kürşat Esat ALYAMAÇ³
^{1,3} İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
² Mimarlık, Mimarlık Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye
^{1*} rabianaydin@gmail.com , ² merveacikgenc@firat.edu.tr , ³ kealyamac@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 21/06/2022;

Kabul/Accepted: 07/09/2022)

Öz: Bu çalışmanın amacı hafif beton üretilirken hedef mukavemet için gerekli olan hafif agreganın miktarının tayin edilmesi ve gelecek çalışmalarda üretilecek hafif betonlar için pratik bir karışım tasarımı sunmaktır. Bu amaçla literatürde yer alan hafif beton ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalarda bulunan hafif betonlara ait veriler sınıflandırılmış ve listelenmiştir. Literatürden hafif betonlara ait karışım bileşenleri ve hedef basınç dayanımı değerleri alınmıştır. Literatürden alınan deneysel veriler ile bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Bu modelde su, çimento, normal agregası, toz, kimyasal katkı, hedef basınç mukavemet ve hafif agregası tipi giriş olarak kullanılmıştır. Modelin çıkışı ise hafif agregası miktarı olarak belirlenmiştir. Düzenlenen veriler geliştirilen YSA modeli kullanılarak hafif beton bileşimindeki hafif agregası miktarının tahmininde kullanılmıştır. Geliştirilen model çıktıları ile literatürden alınmış deneysel veriler karşılaştırılmıştır. Geliştirilen YSA modeli ile elde edilen sonuçlar ile deneysel veriler arasındaki farklar uygun sınırlar içerisinde bulunmuştur. Sonuç olarak geliştirilen YSA modelinin hedeflenen çıkışı başarılı bir şekilde ve yüksek doğrulukta tahmin ettiği görülmektedir. Böylece hedef basınç dayanımı belirlenmiş olan bir hafif beton karışımı için hafif agregası miktarı hızlı, pratik ve yüksek doğrulukta tahmin edilmiş olacaktır.

Anahtar kelimeler: Hafif beton, hafif agregası, hedef basınç dayanımı, yapay sinir ağı

Prediction of the Amount of Lightweight Aggregate Required for Lightweight Concrete Production by Artificial Neural Network

Abstract: The aim of this study is to determine the amount of lightweight aggregate required for target strength while producing lightweight concrete and to present a practical mix design for lightweight concrete to be produced in future studies. For this purpose, the studies on lightweight concrete in the literature were examined in detail. The data of lightweight concretes found in these studies are classified and listed. Mixture components and target compressive strength values of lightweight concretes were taken from the literature. An ANN model was developed with experimental data from the literature. In this model, water, cement, normal aggregate, powder, chemical additive, target compressive strength and lightweight aggregate type are used as inputs. The output of the model was determined as the amount of lightweight aggregate. The arranged data were used to estimate the amount of lightweight aggregate in the lightweight concrete composition by using the developed ANN model. The developed model outputs were compared with the experimental data taken from the literature. The differences between the results obtained with the developed ANN model and the experimental data were found within appropriate limits. As a result, it is seen that the developed ANN model predicts the targeted output successfully and with high accuracy. Thus, the amount of lightweight aggregate will be estimated quickly, practically and with high accuracy for a lightweight concrete mixture for which the target compressive strength has been determined.

Key words: Lightweight concrete, lightweight aggregate, target compressive strength, artificial neural network

1. Giriş

Beton, inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan bir yapı malzemesidir [1]. Her malzemede olduğu gibi betonun da avantajlarının yanında dezavantajları bulunmaktadır ve teknolojinin gelişimi ile bu dezavantajların giderilmesi mümkün olabilmektedir. Zamanla betondan beklenen farklı ihtiyaçlar da hesaba katıldığında, ortaya birçok farklı tipte özel beton türleri çıkmıştır. Sözü edilen bu özel betonlar türlerinden biri de Hafif Betonlardır (HA) [2]. Hafif beton teknik, ekonomik ve çevresel bazı faydalarından ötürü son yıllarda kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır[3].

* Sorumlu yazar: rabianaydin@gmail.com. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0003-3015-0766, ² 0000-0001-8986-7791, ³ 0000-0002-3226-4073

Hafif beton, çimento, su, agrega ve hafif agrega kullanılarak üretilen bir beton türüdür. Geleneksel betonda olduğu gibi kimyasal ve mineral katkıları da içerebilmektedir [2]. TS EN 206-1'e [4] göre ise etüv kurusu yoğunluğu 800-2000 kg/m³ arasında olan betonlar hafif beton olarak adlandırılır. Hafif Beton üretiminde kullanılan hafif agregalar, doğal ve yapay agrega olmak üzere iki çeşittir. Yapay hafif agrega üretimi maliyetli olduğundan Hafif Beton üretiminde, genellikle doğal agrega kullanımı tercih edilir. Doğal hafif agregalar volkanik kayaların veya tortul taşların kırılmasıyla elde edilen agregalardır. Yapay hafif agregalar ise doğal taşların ısı işlem görmesi sonucunda veya endüstriyel atıklar sonucunda elde edilen agregalardır. Pomza, volkanik tüf, volkanik cüruf gibi agregalar doğal hafif agregalara örnek olarak verilebilir. Genleştirilmiş kil, perlit, vermikülit gibi agregalar ise yapay hafif agregalar olarak kullanılmaktadır. Ayrıca hafif agregalar fonksiyonlarına göre de sınıflandırılırlar. Perlit ve vermikülit hafif agregaları kullanılarak yalıtım hafif betonu elde edilir. Pomza ve volkanik cüruf gibi hafif agregalar kullanılarak yarı taşıyıcı hafif beton, genleştirilmiş kil, şist ve arduvaz gibi hafif agregalar kullanılarak ise taşıyıcı hafif beton üretilir [2].

Hafif Beton gibi özel betonların üretim sürecinde istenilen taze ve sertleşmiş özelliklere sahip beton karışımını oluşturmak için fazla sayıda deneme karışımı üretmek gerekmektedir. Bu şekilde talep edilen özelliklerdeki beton karışımını tasarlama süreci zaman ve maliyet açısından dezavantajlı olmaktadır. Tasarım sürecindeki bu dezavantajı azaltabilecek pratik karışım hesaplarına ihtiyaç vardır. Bu ihtiyaca binaen, bu çalışmada, hafif beton karışım hesabında kullanılacak bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Bu çalışmada geliştirilen YSA modeli ile Hafif Beton üretimi sürecinde hedef basınç dayanımı ve kullanılacak hafif agrega tipi belirli ise karışımında ihtiyaç duyulacak hafif agrega miktarının tahmin edilmesi amaçlanmaktadır.

YSA inşaat mühendisliğinde özellikle yapı malzemesi alanında çeşitli problemleri çözmek için sürekli olarak kullanılmaktadır. YSA'nın özellikle beton basınç dayanımını tahmin eden modellerin yer aldığı çalışmalara, literatürde sıkça rastlanmaktadır [6]. Waris vd. [7] çalışmalarında betonun basınç dayanımını (f_c) tahmin etmek için YSA kullanılması yaklaşımı önerilmiştir. Farklı parametre kombinasyonları kullanarak betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişler ve modellerinin başarılı olduğunu gözlemlemişlerdir. Nagarajan vd. [8] çalışmalarında yapay hafif agregalardan olan sinterlenmiş uçucu kül kullanılmıştır. Bu çalışmada betonun mekanik özelliklerinden basınç dayanımını belirlemek için YSA kullanılmıştır. Bu sayede laboratuvar ortamında çok sayıda deneme yapmadan geliştirilen formülasyonla zamandan ve maliyetten tasarruf sağlanacağını savunmuşlardır. Danial Jahed ve Panagiotis G. [9] çalışmalarında çimento esaslı harçların basınç dayanımını tahmin etmek için YSA seçmiş ve önermişlerdir. YSA'nın basınç dayanımını tahmin etmede başarılı olduğunu savunmuşlardır. Bingol vd. [10] yüksek sıcaklık altındaki süngertaşı agregasıyla üretilmiş hafif betonların basınç dayanımını tahmin etmek için YSA yaklaşımını kullanmışlardır. YSA girişleri hedef sıcaklık, süngertaşı agrega oranı ve ısıtma süresi iken hedef çıkış basınç dayanımı olarak belirlendi. Modellerinin yüksek doğrulukta ve başarılı olduğunu savunmuşlardır. Çalış vd. [11] bazalt elyaf takviyeli hafif betonun daha iyi anlaşılmasını sağlamak için YSA tabanlı bir sistem geliştirmişlerdir. YSA modelinde giriş olarak topraklanmış kalsiyum karbonat (GCC), bazalt lifi (BF), Çimento (C), ince agrega (FA), pomza agregası (PA) giriş olarak kullanılırken, basınç dayanımı (CS) eğilme mukavemeti (FS) hedef çıkış olarak belirlemişlerdir. Bu çalışma sonucunda R² değerinin %84 ve %86 olduğu ve oldukça güvenilir bir sonuç elde edildiği savunulmuştur. Pranamika vd. [12] çalışmalarında MRA ve YSA kullanarak hafif betonun mekanik özelliklerini doğru bir şekilde tahmin etmeyi amaçlamışlardır. Çalışmalarında 3, 7, 14, 28 günde basınç ve kayma gerilmelerini karşılaştırmışlardır. Nagarajan vd. [8] çalışmalarında sinterlenmiş uçucu kül agregasından yapılmış hafif agregalı betonun basınç dayanımı, yarma çekme dayanımı ve eğilme dayanımını tahmin etmek için YSA modeli geliştirmişlerdir. Giriş olarak çimento, sinterlenmiş uçucu kül, ince agrega, süper akışkanlaştırıcı, su/çimento oranı kullanılırken hedef çıkış basınç, kayma, eğilme dayanımı olarak belirlenmiştir. Geliştirdikleri model ile veriler kıyaslandığında korelasyon katsayılarının 0,90'ın üzerinde olduğunu gözlemlemişlerdir. Young Yoon vd. [13] çalışmalarında hafif betonun basınç dayanımı ve elastik modülü için başarılı bir YSA tabanlı tahmin modelini sunmuşlardır.

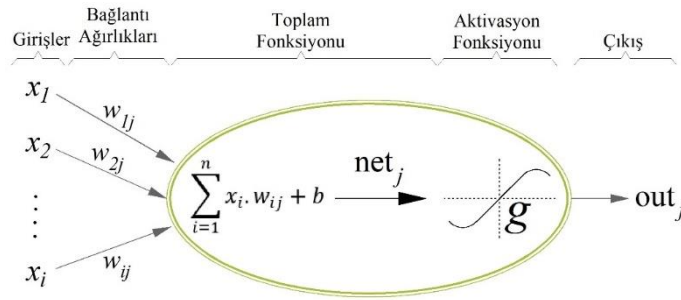
Literatür incelendiğinde YSA metodu kullanılan çalışmalarda genelde beton basınç dayanımının tahmin edilmeye çalışıldığı görülmüştür. Bu çalışmada ise literatürden farklı olarak hedef çıkış, hafif beton bileşiminde yer alan hafif agrega miktarı olarak belirlenmiştir. Böylece hedeflenen özelliklere uygun Hafif Beton karışımında ihtiyaç duyulacak hafif agrega miktarı, 4 tip hafif agrega için tahmin edilebilecektir.

Bu çalışmanın temel amacı, hafif betonlar için pratik bir karışım hesabı modeli geliştirmek olduğundan, bu çalışmada sunulan metod ile Hafif Betonların kullanımının artırılmasına katkı sağlanacaktır. Çalışmada literatürde yer alan 4 tip farklı hafif agrega kullanılarak üretilmiş hafif beton karışımlarına ait deneysel veriler sınıflandırılmış ve listelenmiştir. Literatürden elde edilmiş 180 farklı örnekten oluşan bir veri seti YSA ile Hafif Beton bileşimindeki hafif agrega miktarını tahmin etmek için kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinde çimento, su, normal agrega, toz, kimyasal katkı miktarlarının yanında hafif agrega tipi ve beton hedef basınç dayanımı girişleri oluşturmuştur. Sonuçta, bütün bu girişlere karşılık geliştirilen YSA modeli hafif agrega miktarını tahmin etmekte

başarılı olmuştur. Çalışmada ayrıca YSA modelinin ağırlıklarından yola çıkılarak model matematiksel formüller haline getirilmiştir. Böylece hafif beton karışımlarının tasarım sürecinde kullanıcıların bir yazılıma ihtiyaç duymaksızın bu formüller ile hızlı, pratik ve ekonomik bir şekilde üretim yapabilmesi mümkün olacaktır.

2. Yapay Sinir Ağı modelinin geliştirilmesi

Yapay Sinir Ağı (YSA), insan beyninin nörofiziksel yapısından yararlanılarak ortaya çıkarılan ve beyindeki biyolojik sinir ağları ile benzer özellikte olan yapay bilgi işleme sistemleridir [14]. YSA'nın insan beyninin çalışma işlevini örnek olarak mevcut verilerden öğrenme ve çok sayıda farklı değişkenle işlem yapabilme gibi pek çok sayıda önemli özellikleri vardır. YSA'nın temel yapı taşı yapay sinir hücresidir. Çok sayıda yapay sinir hücresi YSA'nın katmanlarında bir araya gelip birbirleri ile bağlantı kurarak YSA'yı oluştururlar [5]. Şekil 1 de basit bir yapay sinir hücresi görülmektedir.

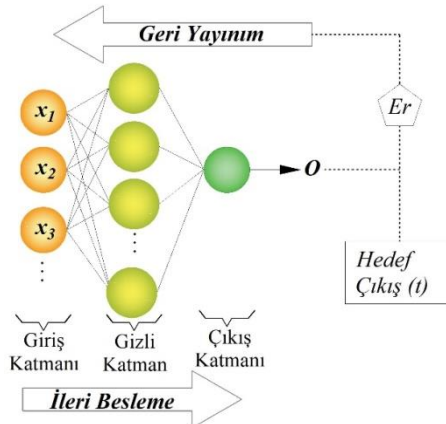


Şekil 1. Yapay sinir hücresi

Basit bir yapay sinir hücresi Şekil 1'de görüldüğü gibi 5 temel bileşenden meydana gelir. Bu bileşenler girişler (x_i), bağlantı ağırlıkları (w_i), toplam fonksiyonu (net_j), aktivasyon fonksiyonu (g) ve çıkış (out_j) olarak görülmektedir. Yapay sinir hücresine gelen girişler bağlantı ağırlıkları ile çarpılarak toplam fonksiyonu ile toplanır. Toplam fonksiyonunun sonucu aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek hücre çıkışı oluşturulur. Yapay sinir hücreleri, yapay sinir ağının katmanlarında belirli sayılarda bir araya gelir, bir hücrenin çıkışı diğer hücrenin girişi olur ve bağlantı ağırlıkları yardımıyla yapay sinir hücreleri birbirlerine bağlanırlar. Bu şekilde yapay sinir hücrelerinin bir araya geldiği sisteme ise yapay sinir ağı denir [5].

Yapay sinir hücrelerinde Gauss, sigmoid, rampa vb. birçok farklı aktivasyon fonksiyonu kullanılabilir. Bu fonksiyonlar problemin tipine göre seçilebilirken, deneme yanılma yolu ile de veriye uygun çıkışı üretebilecek fonksiyon belirlenebilir. Bu çalışmada geliştirilen YSA modelinin hücrelerinde, Denklem 1'de görülen tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonu tercih edilmiştir.

$$g(x) = \frac{2}{1 + \exp(-2*x)} - 1 \quad (1)$$



Şekil 2. İleri beslemeli örnek bir YSA modeli

YSA modelinin geliştirilmesi sürecindeki ilk adım, YSA mimarisinin belirlenmesidir. [15]. YSA mimarisi, bir giriş katmanı, bir veya birden çok gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşur. Giriş ve çıkış katmanlarındaki nöronların sayısı sırasıyla giriş ve çıkış değişkenlerinin sayısı ile aynıdır. Şekil 2’de ileri beslemeli tipik bir YSA mimarisi verilmiştir. İleri beslemeli bir YSA’nın katmanlarındaki nöronlar, sadece sonraki katmandakilere bağlanır. Aynı veya önceki katmanlardaki nöronlar arasında bir bağlantı yoktur. Bir katmanın çıkışları, bir sonraki katmanın girişleri olur. Katmanlardaki yapay sinir hücreleri, bir sonraki katmanın hücrelerine bağlantı ağırlıkları ile bağlıdır. İleri beslemeli YSA’nın bir diğer özelliği ise ağ çıkışı ile hedef değer arasındaki hata değerine göre ağırlıkların güncellenmesidir. Bu işleme geri besleme denir. Böylece hata miktarı belirli bir değerin altına düşene kadar geri besleme YSA’nın eğitimi sürecinde devam eder. YSA çıkışı, hedef değere yeterince yaklaştığında eğitim tamamlanıp, YSA yeni veri ile test edilir. Test sürecinde de başarılı çıkışlar üretebilen YSA problemi öğrenmiş olur [5].

Bu çalışmada uluslararası literatürde yer alan deneysel Hafif Beton verileri toplanmıştır. Geliştirilen YSA modeli için toplamda 180 farklı örnekten oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Tablo 1’de veriler her bir referanstan gelen veri setinin değişim aralığını gösterecek şekilde özet olarak düzenlenmiştir. Su (S), çimento (Ç), normal ağırlıklı agregası (NA), toz malzeme (T), kimyasal katkı (KK), beton basınç dayanımı (f_c), Hafif agregası Tipi (Tip) ve hafif agregası (HA) deneysel verilerinin minimum ve maksimum değerleri, literatürden alınan her bir kaynak için Tablo 1’de görülmektedir. Çalışmada kullanılan hafif agregası tipleri sırasıyla genişletilmiş kil, ops (palmiye kabuğu), eps (genişletilmiş polistren) ve volkanik tüf’ür. Bu tipleri sayısal olarak ifade edebilmek için numara verilmiştir. Buna göre tip 1 genişletilmiş kil, tip 2 ops (palmiye kabuğu), tip 3 eps (genişletilmiş polistren) ve tip 4 volkanik tüf olarak numaralandırılmıştır. Tablo 2’de ise bütün veri setinin istatistiksel özellikleri görülmektedir. Su (S), çimento (Ç), normal ağırlıklı agregası (NA), toz malzeme (T), kimyasal katkı (KK), beton basınç dayanımı (f_c), Hafif agregası Tipi (Tip) ve hafif agregası (HA) bütün deneysel verilerinin maksimum, ortalama, minimum ve standart sapma değerleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. YSA modelinin geliştirilmesi için kullanılan deneysel Hafif Beton verileri

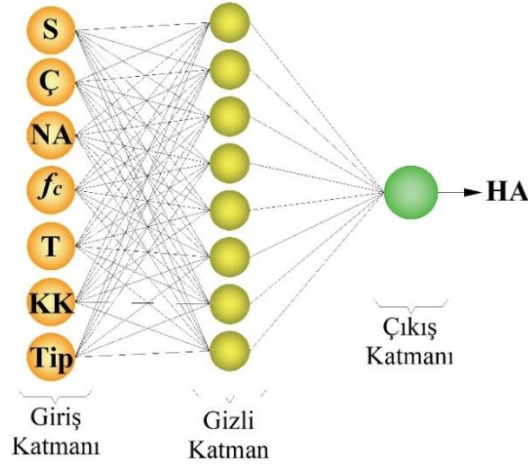
Kaynak No:	Su, S (kg/m ³)	Çimento, Ç (kg/m ³)	Normal Agregası, NA (kg/m ³)	Toz, T (kg/m ³)	Kimyasal Katkı, KK (kg/m ³)	Beton Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	Hafif Agregası Tipi, Tip	Hafif Agregası, HA (kg/m ³)
[18]	180	415	850	0	2.05	40.8	1	400
[19]	133.3	369	703	154	5.3	25	1	300
[20]	175-262	460-741	12.3-793	40-65	2.5-11.5	62-63	1	335-409
[21]	143	443	660	49	0	90	1	646
[22]	163.8-220	400-470	672-714.4	0-47	0	34.2-55.8	1	456-484.1
[23]	195-200	280-480	345-570	28-48	3-5.5	38-49.5	1	700-726
[24]	198.44-288.97	440-710	185.49-251.94	44-71	6.6-10.65	39.5-51.9	1	432.8-587.9
[25]	120-160	250-350	500	0	0	15.5-29	1	290-310
[26]	230-250	420-450	0	0	2.6	29.19-42.95	1	1057-1270
[27]	159	318-530	265	0-212	0	43.4-58.6	1	400
[28]	157.5-351	450-705	676-1403	0	0	26.8-75	1	350
[29]	192.5	350	825	0	0	19.2-43.7	1	350
[30]	155-163	586-640	0	0	0	46.1-72.3	1	1194-1227.5
[31]	260.88-288.97	440-710	191.7-250.8	44-71	0	39.5-53.6	1	447.3-585.2
[32]	175	450	624-755	0	1.37-1.96	32-47	1	477
[33]	177-234	480-550	746-1050	0	5.5-9.36	42.75-48.33	2	273-420
[34]	161.3-192.5	360-550	726-1033	0	0	34.29-53.05	2	333-435
[35]	175	150-500	780	0	1.5-5	23-34.8	2	420
[36]	187.2-378	370-675	446.9-1010.1	0	0-3.5	6.3-20.25	2	264.6-502.85
[37]	161-192	360-550	713-891	0	4.4-6.5	34.29-53.05	2	333-588
[38]	190	500	490-980	0	7.5	31-37	2	310-687
[39]	158.4-176	275-550	978-1226	0-275	5.5	30.04-46.08	2	78-326
[40]	172-201.6	400-420	722.4-764	0	4-8.4	16.3-21.8	2	394.8-412
[41]	241.1-302.3	450	0	0	0	12-32.6	3	1211-1284
[42]	246.6-250	320-400	197.3-200	0-80	1--4	22.5-39	4	887.9-900

Tablo 2. Giriş ve çıkış verilerinin istatistik özellikleri

	Girişler							Çıkış
	Su, S (kg/m ³)	Çimento, Ç (kg/m ³)	Normal Agregası, NA (kg/m ³)	Toz, T (kg/m ³)	Kimyasal Katkı, KK (kg/m ³)	Beton Basınç Dayanımı, f_c (MPa)	Hafif Agregası Tipi, Tip	Hafif Agregası, HA (kg/m ³)
Maksimum	351	741.00	1050	275.00	11.25	90.00	4	1284
Ortalama	212.66	469.16	563.91	26.27	2.56	37.19	1.64	524.32

Minimum	120.00	150.00	0.00	0.00	0	6.30	1	78
Std. Sapma	51.01	112.14	355.73	51.20	3.19	15.78	0.81	287.45

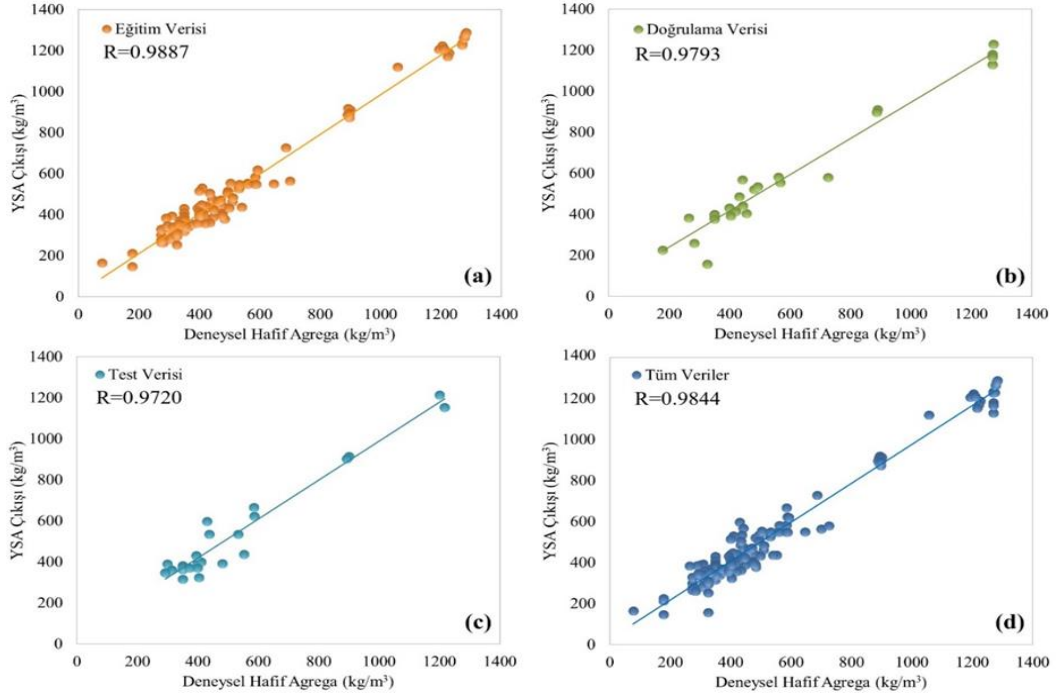
Geliştirilen YSA modelinde hafif beton bileşiminde ihtiyaç duyulabilecek Hafif Agregâ (HA) miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla geliştirilen YSA modelinin girişleri ise hafif beton bileşimindeki su miktarı (S), çimento miktarı (Ç), normal agregâ miktarı (NA), toz malzeme miktarı (T), kimyasal katkı miktarı (KK), 28 günlük hedef beton basınç dayanımı (f_c) ve hafif agregâ tipi (Tip)'dir. (Şekil 3) Şekil 3'de görülen YSA modeli, bir giriş katmanı, bir gizli katman ve bir çıkış katmanından oluşmaktadır. YSA modeli, 7 adet giriş, gizli katmanında 8 adet yapay sinir hücresi ve 1 adet çıkışa sahiptir. Giriş katmanında ve gizli katmandaki tüm hücrelere aktivasyon fonksiyonu olarak tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonu (Denklem 1) uygulanmıştır. Çıkış katmanındaki yapay hücrede ise doğrusal bir aktivasyon fonksiyonu ($g(x)=x$) kullanılmıştır.



Şekil 3. Bu çalışmada geliştirilen YSA modeli

3. Bulgular ve tartışma

Bu çalışmanın amacı, hedef basınç dayanımı belirlenmiş hafif betonlar üretirken karışımda ihtiyaç duyulabilecek hafif agregâ (HA) miktarının tahmin edilmesidir. Bu amaçla, çalışmada geliştirilen YSA'nın girişleri, beton bileşiminde yer alan su (S), çimento (Ç), normal agregâ (NA), toz (T), kimyasal katkı (KK) miktarları ile betonun hedef basınç dayanımı (f_c) ve kullanılacak hafif agregânın tipidir (Tip). Çıkış ise HA miktarıdır.

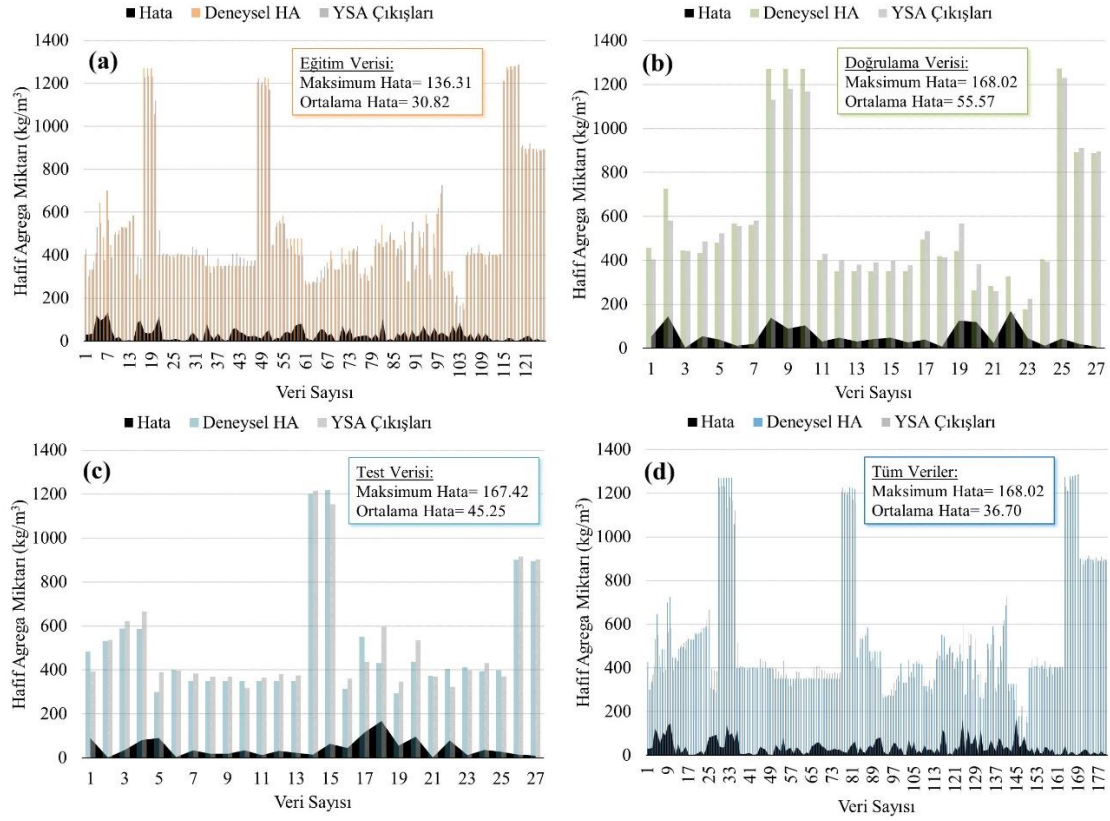


Şekil 4. ANN çıktıları ile deneysel HA miktarları arasındaki doğrusal ilişki:

a) eğitim, b) doğrulama, c) test ve d) tüm veri kümeleri

Literatürden elde edilen 180 adet deney verisi kullanılarak bir YSA modeli geliştirilmiştir. Verilerden rastgele seçilen 126 adet veri YSA modelini eğitmek için kullanılmıştır. Daha sonra rastgele seçilen 27 adet veri doğrulama aşamasında kullanılmış ve geriye kalan 27 adet veri de test aşamasında kullanılmıştır. Geliştirilen YSA modelinin eğitim, doğrulama ve test süreçleri sonunda verdiği HA çıktıları ile deneysel HA verileri arasındaki doğrusal korelasyonlar Şekil 4'te verilmiştir. Eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümelerinin korelasyon değerleri sırasıyla 0.9887, 0.9797, 0.9720 ve 0.9844'tür (Şekil 4a, 4b, 4c ve 4d). Eğitim veri kümesine yüksek doğrulukta çıktılar üreten YSA modelinin, doğrulama ve test veri kümelerine de %97 oranında doğru sonuçlar üretebildiği görülmektedir. Geliştirilen YSA modelinin eğitim aşamasından geçip doğrulama ve test aşamasındaki veri kümelerine de oldukça yüksek doğrulukla çıktı üretebilmesi, YSA'nın bu problemi öğrenmekte başarılı olduğunu göstermiştir. Geliştirilen YSA, hedef basınç dayanımı ve beton bileşimi parametrelerinden Hafif Beton karışımı için gerekli HA miktarını %95'in üzerinde doğru tahmin edebilmektedir.

Şekil 5'te ise Deneysel HA ile YSA modelinin çıktıları karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Aynı zamanda Şekil 5'de, deneysel veriler ile YSA çıktıları arasında hesaplanan farklar da hata grafikleri şeklinde görülmektedir. Ortalama hata değerleri eğitim, doğrulama, test ve tüm veri kümeleri için sırasıyla 30.82, 55.57, 45.25 ve 36.70 kg/m^3 'tür (Şekil 5a, 5b, 5c, 5d). Bu deneysel veri ile YSA çıkışı arasındaki farklar, tahmin edilen HA için oldukça düşüktür. Şekil 5'teki düşük hata değerleri de geliştirilen YSA modelinin bu problemde başarılı çıktılar üretebildiğini göstermektedir.



Şekil 5. ANN çıktıları ile deneysel HA miktarları arasındaki hata miktarlarının değişimi: eğitim, b) doğrulama, c) test ve d) tüm veri kümeleri

Behnood ve Golafshani [43] ve Açıkgenç Ulaş [44], YSA'nın bağlantı ağırlıklarını kullanarak YSA modelini matematiksel bir denkleme çevirmeyi başarmışlardır. Bu denklemler sayesinde kullanıcılar, YSA yazılımına ihtiyaç duymaksızın tahmin yapabilmeye olanağına sahiptirler. Bu çalışmada da geliştirilen YSA modelinin bağlantı ağırlıklarından geliştirilen denklemler aşağıdaki gibi ifade edilmiştir:

$$net_1 = -0.00888 S - 0.00147 C + 0.006532 NA + 0.02992 TOZ - 0.34285 KK - 0.00957 f_c - 0.95784 TIP + 3.048227 \quad (2)$$

$$net_2 = 0.000468 S + 0.000294 C + 0.002697 NA + 0.00735 TOZ + 0.13556 KK - 0.03336 f_c + 0.134686 TIP - 3.80424 \quad (3)$$

$$net_3 = 0.009971 S + 0.002316 Ç - 0.00214 NA - 0.01583 TOZ + 0.169673 KK + 0.002397 f_c - 0.78201 TIP - 0.60855 \quad (4)$$

$$net_4 = -0.00198 S - 0.00394 Ç + 0.002031 NA + 0.004992 TOZ + 0.098636 KK + 0.035379 f_c + 0.091259 TIP + 1.10088 \quad (5)$$

$$net_5 = 0.013242 S - 0.0026 Ç - 0.00164 NA - 0.01316 TOZ + 0.409167 KK + 0.048985 f_c - 0.18495 TIP - 2.87549 \quad (6)$$

$$net_6 = -0.00276 S + 2.28E - 05 Ç + 0.000985 NA - 0.00995 TOZ + 0.15787 KK + 0.051859 f_c + 0.662918 TIP - 3.27051 \quad (7)$$

$$\text{net}_7 = -0.0068 S - 0.00426 \text{ Ç} - 0.00095 \text{ NA} + 0.004815 \text{ TOZ} - 0.19729 \text{ KK} - 0.01728 f_c - 1.44778 \text{ TIP} + 9.384726 \quad (8)$$

$$\text{net}_8 = -0.01302 S - 0.00529 \text{ Ç} - 0.00095 \text{ NA} + 0.004815 \text{ TOZ} - 0.19729 \text{ KK} - 0.01728 f_c - 1.44778 \text{ TIP} + 9.384726 \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \text{HA (kg/m}^3\text{)} = & [-354.021 \times g(\text{net}_1)] - [122.904 \times g(\text{net}_2)] \\ & - [47.595 \times g(\text{net}_3)] - [274.527 \times g(\text{net}_4)] \\ & + [157.058 \times g(\text{net}_5)] - [18.836 \times g(\text{net}_6)] \\ & + [224.101 \times g(\text{net}_7)] + [361.363 \times g(\text{net}_8)] + 399.9378 \end{aligned} \quad (10)$$

Denklem 2-9'daki net_1 , net_2 , net_3 , net_4 , net_5 , net_6 , net_7 ve net_8 gizli katmandaki nöronların toplam fonksiyonlarıdır. YSA'nın da girişleri olan S, Ç, NA, T, KK, f_c ve Tip ise başta da ifade edildiği gibi sırasıyla su, çimento, normal agregası, toz, kimyasal katkı miktarları, hedef basınç dayanımı ve hafif agreganın tipidir. Denklem 10'daki HA, hafif agregası miktarıdır. Ayrıca $g(\text{net})$ fonksiyonu ise Denklem 1 ile aynı olan tanjant hiperbolik sigmoid aktivasyon fonksiyonudur. Hafif Beton bileşimindeki gerekli HA tahmini yapan bu formüllerin, Tablo 2'de verilen istatistiksel aralıklarda geçerli ve güvenilir olduğunun da unutulmaması gerekir.

4.Sonuçlar

Bu çalışmanın amacı hedef basınç dayanımı belli olan hafif beton üretiminde kullanılması gereken hafif agregası miktarının tahmin edilmesidir. Bu amaçla literatürde yer alan hafif beton ile ilgili çalışmalar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu amaçla girişleri su, çimento, normal agregası, toz, kimyasal katkı miktarları ile hedef basınç dayanımı ve hafif agregası tipi olan bir YSA modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen modelin sözü edilen giriş parametrelerinden hafif agregası miktarını tahmin etmesi sağlanmıştır. Geliştirilen model sayesinde bu çalışmaya ait elde edilen sonuçlar aşağıda şu şekilde özetlenebilir:

- Geliştirilen YSA modelinin başarılı ve yüksek doğrulukta sonuçlar elde ettiği gözlemlenmiştir. YSA modeli, hedef basınç dayanımı belli olan hafif beton üretiminde kullanılması gereken hafif agregası miktarını tahmin etme problemini başarılı bir şekilde öğrenmiştir. Geliştirilen YSA modelinde eğitim, doğrulama ve test aşamasında korelasyon değerlerinin %95'in üzerinde olduğu görülmüştür.
- Genel olarak YSA tabanlı bir modeli oluşturulurken paket yazılımlar gerekmektedir. Fakat bu çalışmada bağlantı aralıkları kullanılarak YSA'nın matematiksel bir denklemi ortaya çıkarılmıştır. Geliştirilen denklem sayesinde kullanıcılar, yazılıma ihtiyaç duyulmaksızın gerekli hafif agregası miktarını kolaylıkla tahmin edilebilecektir.
- Özellikle ortaya koyulan denklemler sayesinde hafif betonlar için pratik bir karışım tasarımı geliştirildiği düşünülmektedir. Bu sayede hafif beton üretimi sürecinde deneme karışımlarının sayılarının minimize edileceği düşünülmektedir. Böylece işçilik, zaman ve maliyetten tasarruf sağlanacaktır.
- Sonuç olarak farklı tür agregalarla oluşturulmuş dağınık veri kümelerinden YSA metodu kullanılarak pratik ve yüksek doğrulukta karışım tasarımının elde edilebilmesinin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmada literatürdeki sınırlı sayıda veri kullanılarak analiz yapılmış ve başarılı cevaplar elde edilmiştir. İleride yapılacak çalışmalarda veri sayısının artmasıyla YSA'nın hafif beton karışım tasarımlarında daha güvenilir ve başarılı sonuçlar elde edeceği düşünülmektedir. Geliştirilen denklem sayesinde özel betonlar sektöründe olan hafif beton araştırma çalışmalarının artacağı, bu sayede kullanım alanlarının genişlemesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Teşekkür

Makalenin yazarlarından Rabia Nur SAĞLAM YÖK 100/2000 bursiyeridir. Katkılarından dolayı YÖK'e teşekkür ederiz. Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Fonu tarafından, MF.19.38 proje numarası ile desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] B. Baradan, *Yapı Malzemesi II*. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Basım Ünitesi, 2000.
- [2] S. (Satish) Chandra and L. Berntsson, *Lightweight aggregate concrete : science, technology, and applications*. 2002.
- [3] V. Khonsari, E. Eslami, and A. Anvari, "Effects of expanded perlite aggregate (EPA) on the mechanical behavior of lightweight concrete," in *Proceedings of the 7th international conference on fracture and mechanics of concrete & concrete structure (FraMCoS-7)*, Jeju, Korea, 2010, pp. 1354–1361.
- [4] "TS EN 206-1," 2002, vol. 13535, no. 1998.
- [5] M. Açıkgenç, M. Ulaş, and K. E. Alyamaç, "Using an Artificial Neural Network to Predict Mix Compositions of Steel Fiber-Reinforced Concrete," *Arab. J. Sci. Eng.*, vol. 40, no. 2, pp. 407–419, 2015, doi: 10.1007/s13369-014-1549-x.
- [6] H.-G. Ni and J.-Z. Wang, "Prediction of compressive strength of concrete by neural networks," *Cem. Concr. Res.*, vol. 30, no. 8, pp. 1245–1250, 2000.
- [7] M. I. Waris, J. Mir, V. Plevris, and A. Ahmad, "Predicting compressive strength of CRM samples using Image processing and ANN," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 899, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/899/1/012014.
- [8] D. Nagarajan, T. Rajagopal, and N. Meyappan, "A comparative study on prediction models for strength properties of LWA concrete using artificial neural network," *Rev. la construcción*, vol. 19, no. 1, pp. 103–111, 2020.
- [9] D. J. Armaghani and P. G. Asteris, *A comparative study of ANN and ANFIS models for the prediction of cement-based mortar materials compressive strength*, vol. 4. Springer London, 2020.
- [10] A. F. Bingöl, A. Tortum, and R. Gül, "Neural networks analysis of compressive strength of lightweight concrete after high temperatures," *Mater. Des.*, vol. 52, pp. 258–264, 2013.
- [11] G. Calis, S. A. Yıldız, and U. S. Keskin, "Application of an artificial neural network for predicting compressive and flexural strength of basalt fiber added lightweight."
- [12] R. Pranamika, "Predictive study on Mechanical strength of Lightweight concrete using MRA and ANN," *Turkish J. Comput. Math. Educ.*, vol. 12, no. 10, pp. 7774–7792, 2021.
- [13] J. Y. Yoon, H. Kim, Y.-J. Lee, and S.-H. Sim, "Prediction model for mechanical properties of lightweight aggregate concrete using artificial neural network," *Materials (Basel)*, vol. 12, no. 17, p. 2678, 2019.
- [14] H. Ergezer, M. Dikmen, and E. Özdemir, "Yapay sinir ağları ve tanıma sistemleri," *PiVOLKA*, vol. 2, no. 6, pp. 14–17, 2003.
- [15] R. Hecht-Nielsen, "Theory of the backpropagation neural network," in *Neural networks for perception*, Elsevier, 1992, pp. 65–93.
- [16] T. Gupta, K. A. Patel, S. Siddique, R. K. Sharma, and S. Chaudhary, "Prediction of mechanical properties of rubberised concrete exposed to elevated temperature using ANN," *Measurement*, vol. 147, p. 106870, 2019.
- [17] E. M. Golafshani, A. Behnood, and M. Arashpour, "Predicting the compressive strength of normal and High-Performance Concretes using ANN and ANFIS hybridized with Grey Wolf Optimizer," *Constr. Build. Mater.*, vol. 232, p. 117266, 2020.
- [18] S. C. Kou, G. Lee, C. S. Poon, and W. L. Lai, "Properties of lightweight aggregate concrete prepared with PVC granules derived from scraped PVC pipes," *Waste Manag.*, vol. 29, no. 2, pp. 621–628, 2009, doi: 10.1016/j.wasman.2008.06.014.
- [19] S. Yang, X. Yue, X. Liu, and Y. Tong, "Properties of self-compacting lightweight concrete containing recycled plastic particles," *Constr. Build. Mater.*, vol. 84, pp. 444–453, 2015, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.03.038.
- [20] K. M. A. Sohel, K. Al-Jabri, M. H. Zhang, and J. Y. R. Liew, "Flexural fatigue behavior of ultra-lightweight cement composite and high strength lightweight aggregate concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 173, pp. 90–100, 2018, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.276.
- [21] R. V. Balendran, F. P. Zhou, A. Nadeem, and A. Y. T. Leung, "Influence of steel fibres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete," *Build. Environ.*, vol. 37, no. 12, pp. 1361–1367, 2002, doi: 10.1016/S0360-1323(01)00109-3.
- [22] K. S. Chia and M. H. Zhang, "Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 32, no. 4, pp. 639–645, 2002, doi: 10.1016/S0008-8846(01)00738-4.
- [23] M. N. Haque, H. Al-Khaiat, and O. Kayali, "Strength and durability of lightweight concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, no. 4, pp. 307–314, 2004, doi: 10.1016/S0958-9465(02)00141-5.
- [24] J. A. Rossignolo and M. V. C. Agnesini, "Durability of polymer-modified lightweight aggregate concrete," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 26, no. 4, pp. 375–380, 2004, doi: 10.1016/S0958-9465(03)00022-2.
- [25] J. Alduaij, K. Alshaleh, M. Naseer Haque, and K. Ellaithy, "Lightweight concrete in hot coastal areas," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 21, no. 5–6, pp. 453–458, 1999, doi: 10.1016/S0958-9465(99)00035-9.
- [26] T. Y. Lo, H. Z. Cui, and Z. G. Li, "Influence of aggregate pre-wetting and fly ash on mechanical properties of lightweight concrete," *Waste Manag.*, vol. 24, no. 4, pp. 333–338, 2004, doi: 10.1016/j.wasman.2003.06.003.
- [27] B. Chen and J. Liu, "Experimental application of mineral admixtures in lightweight concrete with high strength and workability," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 6, pp. 1108–1113, 2008, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.001.
- [28] J. A. Bogas and A. Gomes, "A simple mix design method for structural lightweight aggregate concrete," pp. 1919–1932, 2013, doi: 10.1617/s11527-013-0029-1.

- [29] J. A. Bogas, J. De Brito, and J. M. Figueiredo, "Mechanical characterization of concrete produced with recycled lightweight expanded clay aggregate concrete," *J. Clean. Prod.*, vol. 89, pp. 187–195, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.11.015.
- [30] K. S. Youm, J. Moon, J. Y. Cho, and J. J. Kim, "Experimental study on strength and durability of lightweight aggregate concrete containing silica fume," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 517–527, 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.165.
- [31] J. A. Rossignolo, M. V. C. Agnesini, and J. A. Morais, "Properties of high-performance LWAC for precast structures with Brazilian lightweight aggregates," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 25, no. 1, pp. 77–82, 2003, doi: 10.1016/S0958-9465(01)00046-4.
- [32] B. Zhang and C. S. Poon, "Use of Furnace Bottom Ash for producing lightweight aggregate concrete with thermal insulation properties," *J. Clean. Prod.*, vol. 99, pp. 94–100, 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.03.007.
- [33] P. Shafiqh, M. Z. Jumaat, and H. Mahmud, "Oil palm shell as a lightweight aggregate for production high strength lightweight concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 4, pp. 1848–1853, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.11.075.
- [34] P. Shafiqh, M. Z. Jumaat, H. Bin Mahmud, and U. J. Alengaram, "A new method of producing high strength oil palm shell lightweight concrete," *Mater. Des.*, vol. 32, no. 10, pp. 4839–4843, 2011, doi: 10.1016/j.matdes.2011.06.015.
- [35] P. Shafiqh, M. Z. Jumaat, H. Bin Mahmud, and U. J. Alengaram, "Oil palm shell lightweight concrete containing high volume ground granulated blast furnace slag," *Constr. Build. Mater.*, vol. 40, pp. 231–238, 2013, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.10.007.
- [36] M. A. Mannan and C. Ganapathy, "Mix design for oil palm shell concrete," *Cem. Concr. Res.*, vol. 31, no. 9, pp. 1323–1325, 2001, doi: 10.1016/S0008-8846(01)00585-3.
- [37] P. Shafiqh, H. Bin Mahmud, and M. Z. Jumaat, "Oil palm shell lightweight concrete as a ductile material," *Mater. Des.*, vol. 36, pp. 650–654, 2012, doi: 10.1016/j.matdes.2011.12.003.
- [38] P. Shafiqh, H. Bin Mahmud, M. Z. Bin Jumaat, R. Ahmmad, and S. Bahri, "Structural lightweight aggregate concrete using two types of waste from the palm oil industry as aggregate," *J. Clean. Prod.*, vol. 80, pp. 187–196, 2014, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.05.051.
- [39] P. Shafiqh, U. Johnson Alengaram, H. Bin Mahmud, and M. Z. Jumaat, "Engineering properties of oil palm shell lightweight concrete containing fly ash," *Mater. Des.*, vol. 49, no. 2013, pp. 613–621, 2013, doi: 10.1016/j.matdes.2013.02.004.
- [40] M. A. Mannan and C. U. Ganapathy, "Engineering-properties-of-concrete-with-oil-palm-shell-as-coarse-aggregate_2002_Construction-and-Building-Materials," *Constr. Build. Mater.*, vol. 16, pp. 29–34, 2002.
- [41] F. K. Alqahtani, G. Ghataora, M. I. Khan, and S. Dirar, "Novel lightweight concrete containing manufactured plastic aggregate," *Constr. Build. Mater.*, vol. 148, pp. 386–397, 2017, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2017.05.011.
- [42] M. J. Shannag, "Characteristics of lightweight concrete containing mineral admixtures," *Constr. Build. Mater.*, vol. 25, no. 2, pp. 658–662, 2011, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2010.07.025.
- [43] Behnood A. Golafshani EM.2018, Predicting the compressive strength of silica fume concrete using hybrid artificial neural network with multi-objective grey wolves. *J Clean Prod.*;202:54–64.
- [44] Acikgenc Ulas M,2022,. Development of an artificial neural network model to predict waste marble powder demand in eco-efficient self-compacting concrete. *Structural Concrete*, doi: 10.1002/suco.202200043.