



**HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ**

***HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING***

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/humder>

---

# **Genetik Programlama Yardımıyla Konut Tipi Yapıların Betonarme Karkas Maliyetlerinin Ön Tasarım Aşamasında Tahmin Edilmesi**

*Estimation of costs of reinforced concrete structural elements of residential buildings with the help of genetic programming in the preliminary design stage*

**Yazar(lar) (Author(s)):** Kasım MERMERDAŞ, İsmail GÜNEŞ, Sevde Nur BAĞYAPAN

**Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article):** Mermerdaş K., Güneş İ. ve Bağyapan S. N., “ Genetik Programlama Yardımıyla Konut Tipi Yapıların Betonarme Karkas Maliyetlerinin Ön Tasarım Aşamasında Tahmin Edilmesi”, ***Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi***, 3(3): 258-267, (2018).

**Erişim linki (To link to this article):** <http://dergipark.gov.tr/humder/archive>

## Genetik Programlama Yardımıyla Konut Tipi Yapıların Betonarme Karkas Maliyetlerinin Ön Tasarım Aşamasında Tahmin Edilmesi

Kasım MERMERDAŞ<sup>1</sup>, İsmail GÜNEŞ<sup>1,2</sup>, Sevde Nur BAĞYAPAN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İnşaat Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye

<sup>2</sup> Şanlıurfa Büyükşehir Belediyesi, Şanlıurfa, Türkiye

Geliş Tarihi: 27.11.2018

Kabul Tarihi: 30.12.2018

### Özet

*Bu çalışmanın amacı, konut tipi betonarme bir yapının taşıyıcı sistem maliyetini henüz proje detayları belirlenmemişken, ön tasarım aşamasında, tahmin etmeye yardım edecek matematiksel formüller bulmaktır. Formül elde etmek için beton sınıfı, zemin emniyet gerilmesi, yapının yüksekliği, alanı gibi parametreler kullanılmıştır. Ayrıca önemli bir maliyet parametresi olan temel tipi de yardımcı sayısal değişkenler sayesinde modellere dahil edilmiştir. Bu tahmin parametrelerine çeşitli değerler atanarak oluşturulan 162 adet betonarme proje ticari bir tasarım programı aracılığıyla çözümlenerek bir veri kümesi oluşturulmuştur. Oluşturulan bu veri kümesi genetik programlama esaslı bir esnek hesaplama yöntemiyle formülize edilmiştir. Beton, donatı ve kalıp metrajları için elde edilen formüllerin analiz sonucu elde edilen değerlere yakın sonuçlar verdikleri görülmüştür*

**Anahtar kelimeler:** Genetik programlama, Esnek hesaplama, Metraj Tahmin

## Estimation of costs of reinforced concrete structural elements of residential buildings with the help of genetic programming in the preliminary design stage

### Abstract

*The aim of this study is to generate mathematical formulations that help to estimate the cost of the structural system of a residential type reinforced concrete structure before project details are not yet determined. In order to obtain the formula, parameters such as concrete class, bearing capacity of soil, height and area of the building, were used. In addition, the foundation type, which is an important cost parameter, is included in the models with the help of dummy numerical variables. A total of 162 reinforced concrete projects were evaluated by assigning various values to these estimation parameters. A data set was obtained after running the designs through a commercial design program. This data set is introduced to a soft computing method based on genetic programming. It was observed that the formulas obtained for the concrete, reinforcement and mold quantity take off gave results close to the results obtained from the analysis.*

**Keywords:** Genetic programming, Soft computing, Quantity take off, Estimation.

### 1. Giriş

Esnek hesaplama, kompleks bir problemin incelenmesi, modellenmesi ve analizi için yapay zeka teknolojilerinden biri olan makine öğrenmesine dayalı matematiksel bir yöntemdir. Esnek hesaplamanın temelinde yatan fikir, insan zekâsının bilişsel yaklaşım modelini oluşturmaktır. Esnek hesaplama, kavramsal bilincin makinelerde kurulması yoluyla gerçekleştirilir. Esnek hesaplama,

belirsizlik, kesinlik göstermeyen durumlar, kısmi doğruluk ve yaklaşım konularında katı hesaplama yöntemlerinin aksine daha toleranslıdır. Esnek hesaplama, bulanık mantığın kurucusu Lotfi A. Zadeh tarafından önerilmiştir. [1]. "Esnek hesaplama, kolay işlenebilirlik, sağlamlık ve düşük çözüm maliyetleri elde etmek için belirsizlik ve kararsızlıkların toleransından faydalanan çeşitli yöntemlerin toplamıdır. Temel bileşenleri; bulanık mantık, sinirsel programlama ve olasılık teoremleridir. Esnek

hesaplamanın temelinde yatan fikir, insan zekâsının bilişsel yaklaşım modelini oluşturmaktır. Esnek hesaplamanın rol modeli ise insan zekâsıdır. [1].

Esnek hesaplama yöntemleri; bulanık mantık, genetik algoritma, koloni zekâsı, arı koloni optimizasyonu, sinir ağları ve makine öğrenme algoritmaları gibi bileşenlerinden oluşur.

Metraj, bir inşaat projesini tamamlamak için gerekli olan malzemelerin ve işçiliğin ayrıntılı bir şekilde hesaplanmasıdır. Yapım işinde maliyetlerin doğru şekilde hesaplanması süre ve bütçe gibi kaynakların yönetilmesi açısından çok büyük bir öneme sahiptir [2]. Bunların yanı sıra ön projelendirme aşamasında, fizibilite çalışması sürecinde maliyet ile ilgili elde edilebilecek veriler, iş sahibi, yüklenici ve tasarımcı açısından çok yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada genetik programlama esaslı bir esnek hesaplama yöntemi kullanılarak konut tipi yapıların taşıyıcı sistem maliyetlerinin ön tasarım aşamasında tahminini sağlayacak matematiksel bir model elde edilmesi amaçlanmıştır. Tahmin edilecek parametreler beton, kalıp ve donatı metrajı olarak belirlenmiştir. Tahmin faktörleri ise yapının yüksekliği (h), yapının alanı (A), kullanılacak temel tipi (T), beton sınıfı (f<sub>ck</sub>) ve zemin emniyet gerilmesi olarak belirlenmiştir. Bu parametrelerin çeşitli kombinasyonlarıyla 162 adet proje çözüm yapılmıştır. Betonarme çözümlerde güvenliği sağlayan en küçük kesit boyutları kullanılmıştır. Elde edilen çözümlerden bulunan veriler kullanılarak bir yazılım yardımıyla yukarıda bahsedilen metraj kalemlerini tahmin etmeye yarayan formüller elde edilmiştir.

## 2.Yöntem

Tahmin modelleri geliştirmek için kullanılan veri kümesi Tablo 1’de gösterilen parametrelerin kombinasyonu ile oluşan 162 adet projenin çözülmesiyle elde edilmiştir. Yapılan çözümlerlerde bütün taşıyıcı elemanların kesitleri her bir denemede aynı olmayıp, farklılık göstermektedir. Yapının kat yüksekliği, oturum alanı ve temel tipi, kullanılan beton sınıfı ve zemin emniyet gerilmesi değerlerinin değişkenliğinden ötürü bu farklılık ortaya çıkmıştır. Ayrıca bazı kombinasyonlarda projenin emniyetli çözümüne ulaşılamadığı için iptal edilmiştir (17 adet iptal) .

Böylelikle beton, donatı, ve kalıp metrajlarıyla ilgili 145’er adet veri elde edilmiştir.

Yapılan çözümlerlerde taşıyıcı sistemin en küçük kesitlerde olmasına dikkat edilerek analizler yapılmıştır. Analiz sonuçları en düşük maliyette güvenlik şartını sağlayan çözümlere elde edilene kadar deneme yanılmalar yapılmıştır. Çalışılan her bir projede, o proje için belirlenen parametreler programa işlendi. Programda mevcutta bulunmayan bazı parametreler “Yapı Ağacı” sekmesi yardımıyla programa işlenmiştir (Şekil 1).

Yapılan analizlerde Tablo 1’deki değişkenlerin dışında kalan parametreler sabit kullanılmıştır.

Bunlar;

- Tüm çalışmalarda deprem bölgesi 3 olarak seçilmiştir.
- Analiz tipi olarak “Mod Birleştirme Yöntemi” kullanılmıştır.
- Hedeflenen performans düzeyi “hemen kullanım” olarak seçilmiştir.
- Deprem aşılma olasılığı, 50 yılda aşılma olasılığı %10 (tasarım depremi) olarak seçilmiştir.
- Deprem yönetmeliği olarak “2007 Deprem Yönetmeliği” kullanılmıştır.
- “Idecad Betonarme 8” programının alt yapısında bulunan mevcut yönetmelikler kullanılmıştır.

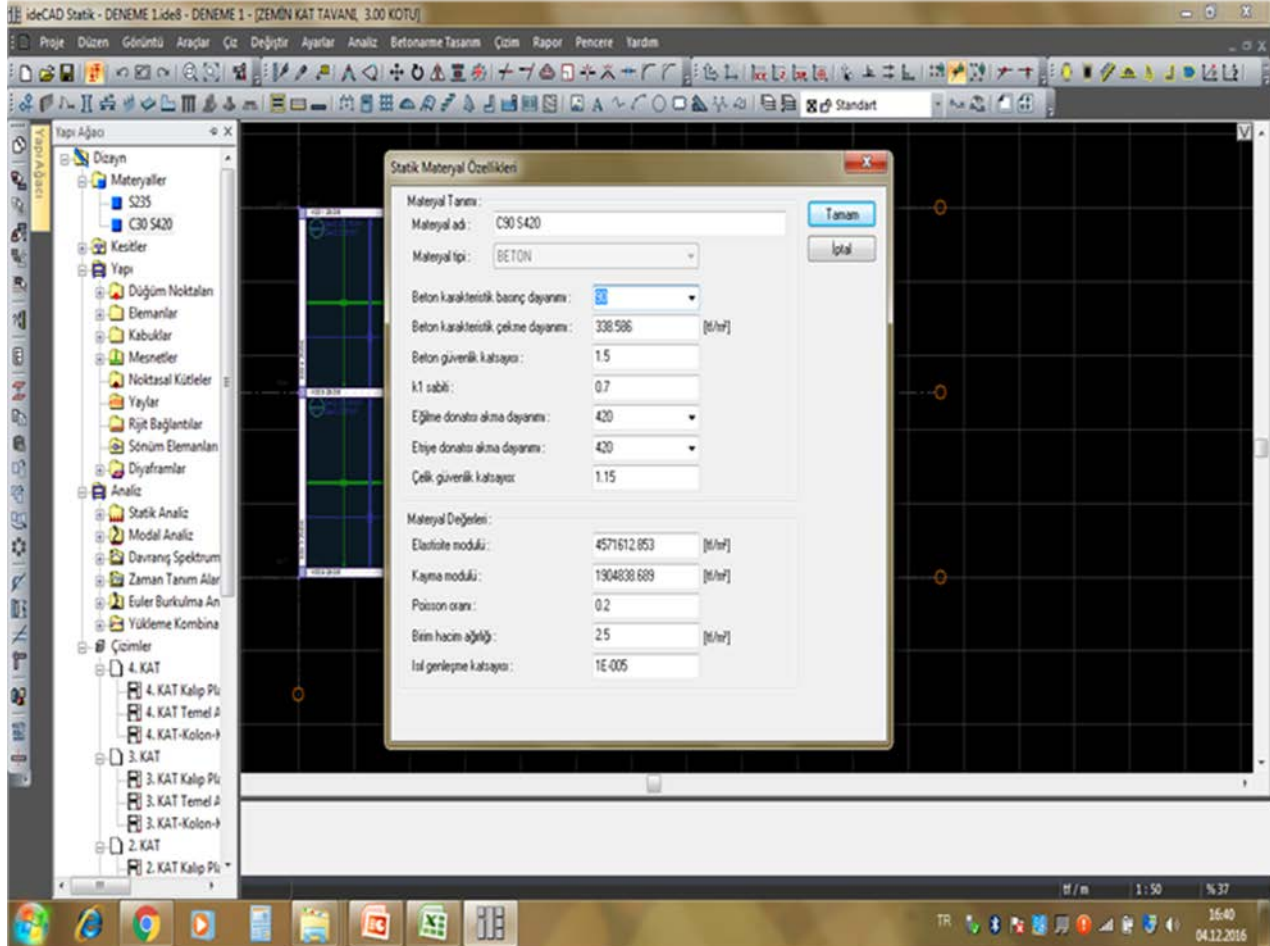
**Tablo 1.** Kullanılan Tahmin Parametreleri

Tahmin parametresi	Atanan değerler
T: Temel Tipi	Tekil temel için 1 Sürekli temel için 2 Radye temel için 3
A: Alan (m <sup>2</sup> )	200 300 400
h: Yapı yüksekliği (m)	15 30 45
σ <sub>z</sub> : Zemin emniyet gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	1.5 3.5
f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	30 60 90

Elde edilen 145 adet veri genetik programlama tabanlı esnek hesaplama yöntemi olan genetik ekspresyon programlama metodunu kullanan GeneXprotools.5.0 isimli yazılım yardımıyla modellenmiştir. GEP’te tahmin faktörleri öncelikle sabit uzunlukta tanımlanır daha sonra şekilleri ve

boyutları doğrusal olmayacak şekilde belirlenir [3]. GEP'in en önemli avantajı doğaları gereği açık bir yapıya sahip olmasıdır. Ancak bunların içerisinde en önemlileri; kromozomların, basit, lineer kompakt, nispeten küçük ve kolayca işlenebilir (yeniden birleşim, mutasyon ve çoğalma) olmasıdır [4].

kısma ayrılmıştır. Eğitim kümesindeki veriler modeli oluşturmak için kullanırken test kümesindeki veriler de modelin performansını kontrol etmiştir.



Şekil 1. Yapı Ağacı Sekmesinden Programa Parametre Tanımlama İşlemi

## 2.1 Veri kümesi

Formüller temel tipi, yapı yüksekliği, yapının alanı, kullanılacak olan betonunu sınıfı ve zemin emniyet gerilmesi kullanılarak geliştirilmiştir.

### 2.1.1 Temel tipinin maliyete etkisi

Yapı elemanlarından gelen yükleri zemine güvenli bir şekilde aktarmak amacıyla inşa edilen yapı elemanlarına temel denir. Temeller sığ ve derin olmak üzere çeşitlilik gösterir. Temel tipi; zemin Bunun yanında GEP modelinin diğer veri odaklı tekniklere göre güçlü yönlerinden birisi de fiziksel olayları yöneten ilişkiler arasındaki açık formülleri üretebilmesidir [5]. GEP'te bağıntı elde etmek için kullanılan veriler eğitim ve test kümesi olarak iki

elemanları, zemin parametrelerine ve yapının yükü gibi faktörlere bağlı olmaları beklenirken bir yandan da yeterli güvenlik ve uygun maliyetli olmaları gerekmektedir. Yapıya göre uygun güvenliğe sahip bir temel seçmenin önemli kriterlerinden biri maliyettir. Bu çalışmada önerilen formüllerde tekil, sürekli ve radye temel tanımlanmıştır. Radye temelli yapılar genellikle daha yüksek maliyetlere sahiptir.

### 2.1.2 Yapı yüksekliğinin maliyete etkisi

Yapının yüksekliği bodrum katlar, asma katlar ve çatı arası piyesler dahil olmak üzere arsa kotundan itibaren olan yüksekliktir. Yapının maliyeti dendiğinde akla gelen ilk sorulardan biri şüphesiz "kaç katlı bir yapı?" sorusu olacaktır. Yapı yüksekliği

doğrudan kullanılacak donatı ve beton miktarını etkilemektedir.

Kat yüksekliğinin artmasıyla; dış duvar alanı, binanın zemine aktardığı yük, düşey sirkülasyon elemanları, dış duvar alanı/brüt döşeme alanı oranı artar.

### 2.1.3 Yapı alanının maliyete etkisi

İnşaatı yapılacak bir yapının alanı imar durum belgesinde yer alan verilerden yola çıkılarak tahmin edilebilir. Bina alanı diğer bir deyişle bina oturum alanı yapının arsa üzerinde ne kadar alan üzerinde konumlandırılacağını belirtir. Bina alanı yapı yüksekliği gibi maliyeti doğrudan etkiler.

İnşaat maliyeti, binanın dıştan dışa yüz ölçümü ile metrekare normal inşaat maliyet bedelinin çarpılması halinde tespit edilir. Metrekare normal inşaat maliyet bedellerinin ortalamaları esas alınır.

### 2.1.4 Beton sınıfının maliyete etkisi

Kullanılacak betonun birim fiyatına göre maliyet değişir. Bu nedenle zemin düzeltmede grobeton yani daha ucuz betonlar tercih edilir. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ile en düşük dayanımlı kullanılabilir beton sınıfı C25 olarak belirlenmiştir.

2018 yılı 1 m3 hazır beton fiyatları;

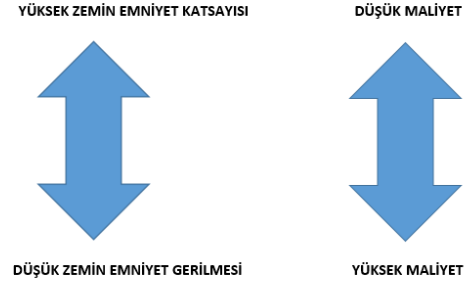
C14 betonu.....	170.00 TL
C16 betonu.....	178.00 TL
C20 betonu.....	185.00 TL
C25 betonu.....	188.00 TL
C30 betonu.....	190.00 TL
C35 betonu .....	200.00 TL
C40 betonu .....	230.00 TL 'dir.

Fiyatlar C45, C50 betonları için de artış göstermektedir. 150 Doz grobeton ve 200 Doz beton içinde fiyatlar değişmektedir. Görüldüğü gibi beton sınıfına göre fiyatlar bir hayli değişmektedir.

### 2.1.5 Zemin emniyet gerilmesinin maliyete etkisi

Zemin emniyet gerilmesi temel genişliği ve derinliği için basit hesaplar yapılarak tespit edilir. Temele aktarılan yüklere göre temel sistemi boyutu derinliği değişiklik göstermektedir. Genelde 1.5 ve 3.5

arasında değişiklik gösterebilirken bazen basit hesaplamalar için ortalama 2.5 da alınabilir veya güvenli tarafta kalması istenerek 4-6 arasında da alınabilir. Zemin emniyet gerilmesi temeli etkilediği gibi yapının maliyetini de etkiler. (Şekil 2)



Şekil 2. Zemin Emniyet Katsayısı Ve Yapı Maliyeti İlişkisi

## 3. Bulgular ve Tartışma

GEP programından beton, donatı ve kalıp metrajının tahmini için elde edilen bağıntılar sırasıyla Denklem 1, Denklem 2 ve Denklem 3'te gösterilmişlerdir. Bu formüllerle elde edilen değerlerin gerçek metraj verileriyle karşılaştırmaları Şekil 3, Şekil 4 ve Şekil 5 de gösterilmiştir. Grafikler çizilirken test ve eğitim setindeki örnekler birleştirilmiştir. Belirleyicilik katsayısı ( $R^2$ ) veri kümesinde bulunan bütün değerler için belirtilmiştir.

### Beton metrajı için elde edilen formül;

$$B = B_1 \times B_2 \times B_3 \quad (1)$$

$$B_1 = \sqrt{A} - \left( 3.346954 + \sqrt{\cos(T) + \sigma_z} \right) \quad (1a)$$

$$B_2 = \ln \left( \sqrt[3]{A + T \times h - f_{ck}} - 19.204468 \right) \quad (1b)$$

$$B_3 = \sin \left( \frac{A}{T} \right) + h \quad (1c)$$

### Donatı metrajı için elde edilen formül;

$$D = D_1 \times D_2 \times D_3 \times D_4 \times D_5 \quad (2)$$

$$D_1 = \frac{5.384155}{(18.470336 + h + A) \times \sqrt[3]{\frac{f_{ck}}{A}}} \quad (2a)$$

$$D_2 = \log\left(\ln(\log(A)) \times \sqrt[6]{f_{ck}}\right) \quad (2b)$$

$$D_3 = \sqrt[9]{\tan(\sqrt[3]{T})} \quad (2c)$$

$$D_4 = h - \sin(T) - \tanh(\sigma_z) - \tan(3.598908 \times h) \quad (2d)$$

$$D_5 = A - \frac{f_{ck}}{\tan(T) \times A + 1.763886} \quad (2e)$$

**Kalıp metrajı için elde edilen formül;**

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \quad (3)$$

$$K_1 = \sigma_z - \left(\sqrt{f_{ck}} - 6.632507 \times h\right) \times \cos(h + A) \quad (3a)$$

$$K_2 = -(8.643402 \times T + A + f_{ck}) \times \cos(A + 8.467102) - \quad (3b)$$

$$K_3 = 0.534501 \times h \times A \quad (3c)$$

Burada;

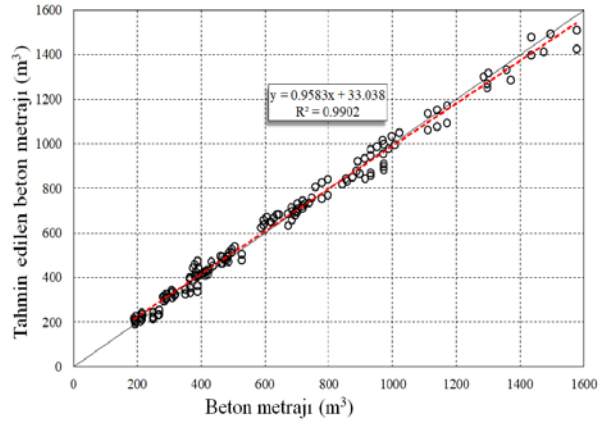
A: yapının alanı(m<sup>2</sup>)

T: temel tipi( radye temel, sürekli temel, tekil temel için katsayılar belirlenmiştir.)

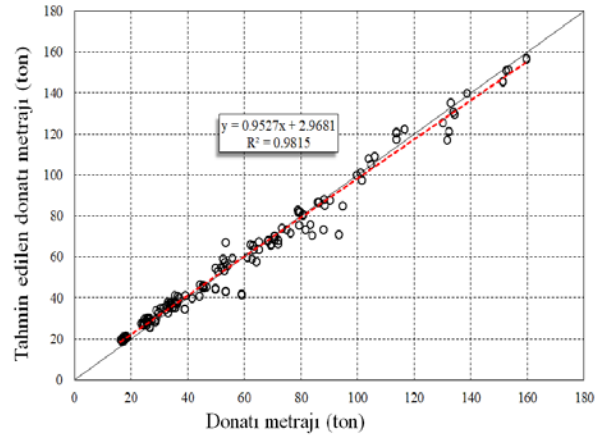
$\sigma_z$ : zemin emniyet gerilmesi

h: yapının yüksekliği(m)

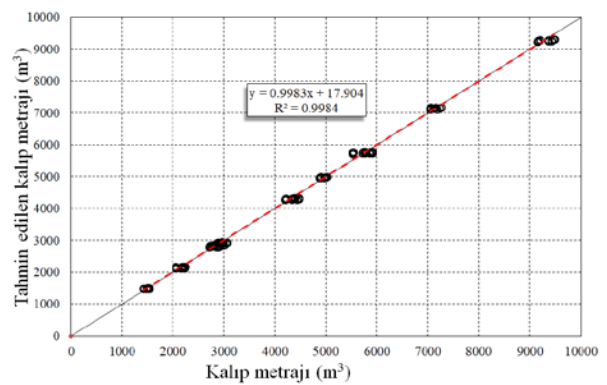
$f_{ck}$ : beton sınıfı (30,60,90 vs.)



**Şekil 3.** Hedef beton metrajı değerleri ile önerilen formülden elde edilen beton metrajı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 4.** Hedef donatı metrajı değerleri ile önerilen formülden elde edilen donatı metrajı değerlerinin karşılaştırılması



**Şekil 5.** Hedef kalıp metrajı değerleri ile önerilen formülden elde edilen kalıp metrajı değerlerinin karşılaştırılması

Kalıp, beton ve donatı metrajları için elde edilen R<sup>2</sup> değerleri 0.998, 0.990 ve 0.982 olarak belirlenmiştir. Bu değerler her ne kadar yüksek görünseler de önerilen tahmin modelinin performansını tek başına

değerlendirmede kullanılamayacakları aşıkardır. Nitekim donatı metraji verileri incelendiğinde (Şekil 4) yüksek belirleyicilik katsayısı değerine rağmen yer yer bazı veri değerlerinin dağınık oldukları ve açırtay doğrusundan uzakta oldukları görülmektedir. Bundan dolayı, ortalama mutlak yüzde hata (OMYH) değerleri hesaplanmıştır (Denklem 4). Bu değerler beton metraji için 5.52, donatı metraji için 7.62, kalıp için ise 1.92 olarak hesaplanmıştır. Yani, önerilen tahmin modelleri içerisinde Denklem 3 en güçlü tahmin modeli olarak belirlenmiştir.

$$OMYH = \frac{\sum_{i=1}^n \left( \frac{|X_{i,t} - X_{i,h}|}{X_{i,h}} \times 100 \right)}{n} \quad (4)$$

Burada  $X_{i,t}$ , formülden tahmin edilen değer,  $X_{i,h}$  hedef veya gerçek değer, n örnek sayısını göstermektedir.

Önerilen denklemler her ne kadar karmaşık görünseler de uygun bir programa aktarılarak veya kullanıcı dostu bir arayüz geliştirilerek pratik olarak faydalanılabilirler. Buna bir örnek olarak beton metrajının hesaplanması için kullanılan denklemin (Denk. 1) MS Excel sayfasındaki formülasyonu Şekil 3'de verilmiştir. Burada kullanıcı ilgili sütunlara 5 adet tahmin parametresini girerek beton metraji ile ilgili fikir sahibi olacaktır.

Bulunan denklemler Excel programına yazılarak yöntem daha pratik hale getirilmiştir. Kullanıcı sütunlarda belirtilen parametreleri girerek sonuca hızlı şekilde ulaşabilmektedir. Şekil 6'da formüllerin Excel'de yazılmış örneğini görüyoruz.

3,346954+KAREKÖK(COS(A2)+E2))\*LN((C2+((B2\*A2-9,602234)-(9,602234+D2)))^(1/3))\*(SIN(C2/A2)+B2)

F	G	H	I
BETON METRAJI	KALIP METRAJI	DONATI METRAJI	Beton
=((KAREKÖK(C2)-(3,346954+KAREKÖK(COS(A2)+E2)))*LN((C2+((B2*A2-9,602234)-(9,602234+D2)))^(1/3))*(SIN(C2/A2)+B2)			
244,9213051	1514,300174	20,62517587	213,92
211,4233231	1521,050487	19,0441419	194,3
232,6788982	1511,54986	25,79963303	263,28
226,9677657	1516,300174	20,47210807	193,24
216,6175134	1505,58497	19,79332466	212,91
246,6340468	1496,084343	28,6435032	247,36

Şekil 6. Önerilen beton metraji denkleminin MS Excel programı yardımıyla kullanılması örneği

Ayrıca önerilen tahmin modelinin güvenilirliğini analiz etmek için İdecad metraj değerleri ile arasındaki mutlak yüzde hata oranları da hesaplanmıştır. Yüzde

hata oranlarına bakılarak programın yaklaşık değerler bulunduğunu söyleyebiliriz.

Formüllerle elde edilen tahmin değerlerinin hangi durumlarda daha doğru sonuçlar verdiğini analiz etmek için parametrelerin değişimi ile hata oranlarının değişimi arasındaki ilişkiler Tablo2-Tablo6 da verilmiştir.

Tablo 2'de temel tipi dışındaki parametrelerin ortak olduğu sadece temel tipinin değiştiği beş farklı duruma yer verilmiştir. Burada kat yüksekliği 15 m olan yapı durumu dikkate alınarak örnekleme yapılmıştır. Bu durumlara ve diğer 145 projenin tümüne bakılarak yapı alanının küçük olduğu projelerde beton metraj değerlerinde sürekli temel daha fazla hata verirken; yapı alanı arttıkça radye temel daha fazla hata verdiği söylenebilir.

Temel tipinin kalıp tahmin hatalarını karşılaştırmak istendiğinde aynı durum için radye temelde genelde daha fazla hata oranı oluşmaktadır. Bu durumları karşılaştırırken kesin bir yargıya varamamakla beraber bu çalışmada değerlendirilen 145 ayrı metraj değeri için genel olarak bu durumun geçerli olduğu söylenebilir.

Donatı metraji için en fazla hata veren temel tipini çok net anlayamamakla birlikte genel olarak tekil ve sürekli temelde hata oranları daha fazla olmaktadır. Ancak, radye temel genel olarak diğer temel tiplerine oranla daha düşük hata oranı vermiştir.

**Tablo 2.** Temel Tipine Bağlı Mutlak Metraj Hata Oranlarının Değişimi

T:Temel Tipi	h:Yapı yükseklik (m)	A:Yapı alanı (m <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	σ <sub>z</sub> :zemin emniyet Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beton Hata Oranı(%)	Donatı Hata Oranı(%)	Kalıp Hata Oranı(%)
1	15	200	30	1,5	6,835	1,548	10,085
3	15	200	30	1,5	4,718	5,740	1,274
2	15	200	30	1,5	14,492	0,871	11,956
1	15	200	30	3,5	8,813	1,944	14,015
3	15	200	30	3,5	11,623	5,975	3,464
2	15	200	30	3,5	17,454	1,005	14,815
1	15	200	60	1,5	1,742	0,067	13,347
3	15	200	60	1,5	0,293	5,268	0,227
2	15	200	60	1,5	9,370	1,753	17,831
1	15	300	30	1,5	2,916	1,324	10,749
3	15	300	30	1,5	6,230	5,430	3,116
2	15	300	30	1,5	13,01	2,724	14,878
1	15	400	90	1,5	0,009	2,958	0,205
3	15	400	90	1,5	6,121	2,551	28,569
2	15	400	90	1,5	4,532	3,839	5,756

Tablo 3'te, temel tipi, yapı alanı beton sınıfı ve zemin emniyet gerilmesi değerlerini sabit tutarak yapı yüksekliğinin farklı değerleri için hata oranlarının analizine örnek teşkil edecek veri kümesi sunulmuştur. Tablo 3' te yapı yüksekliği dışındaki parametrelerin değiştiği 3 farklı duruma yer verilmiştir.

Öncelikle donatı metrajında yapı yüksekliğine bağlı ciddi değişiklikler görülmemiştir. Kalıp metrajı için de yapı yüksekliği 15 m olarak alındığında 30 m ve 45 m'ye göre daha fazla hatalar oluşmaktadır. Beton metrajındaki hata oranlarının yapı yüksekliğine bağlı orantılı bir artışı ve azalış gözlenmemiştir

**Tablo 3.** Yapı Yüksekliğine Bağlı Mutlak Metraj Hatalarının Değişimi

T:Temel Tipi	h:Yapı yükseklik (m)	A:Yapı alanı (m <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	σ <sub>z</sub> :zemin emniyet Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beton Hata Oranı(%)	Donatı Hata Oranı(%)	Kalıp Hata Oranı(%)
1	15	200	30	3,5	8,813	1,944	14,015
1	30	200	30	3,5	12,789	0,174	7,3445
1	45	200	30	3,5	1,760	0,111	7,239
1	15	400	90	3,5	8,679	1,569	10,632
1	30	400	90	3,5	2,330	0,530	4,925
1	45	400	90	3,5	3,233	1,208	8,137
3	15	400	90	1,5	6,122	2,551	28,569
3	30	400	90	1,5	5,145	3,437	3,015
3	45	400	90	1,5	3,158	0,935	3,413



**Tablo 4.** Yapı Alanına Bağlı Mutlak Metraj Hatalarının Değişimi

T:Temel Tipi	h:Yapı yükseklik (m)	A:Yapı alanı (m <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	σ <sub>z</sub> :zemin emniyet Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beton Hata Oranı(%)	Donatı Hata Oranı(%)	Kalıp Hata Oranı(%)
1	15	200	30	3,5	8,813	1,944	14,015
1	15	300	30	3,5	7,847	0,642	15,858
1	15	400	30	3,5	4,153	2,265	12,831
2	15	200	30	3,5	17,454	1,005	14,815
2	15	300	30	3,5	13,643	0,137	17,814
2	15	400	30	3,5	4,773	2,246	10,709
2	30	200	90	1,5	0,891	3,676	6,672
2	30	300	90	1,5	0,617	3,371	9,987
2	30	400	90	1,5	8,529	3,115	23,711
3	45	200	60	3,5	2,822	1,869	5,043
3	45	300	60	3,5	5,212	1,281	6,323
3	45	400	60	3,5	4,028	1,197	0,656

Program analizi için kullanılan proje kombinasyonları yapı alanı 200 m<sup>2</sup>, 300 m<sup>2</sup>, 400 m<sup>2</sup> olan projelerden elde edilmiştir. Tablo 4'te temel tipi, yapı yüksekliği, beton sınıfı ve zemin emniyet gerilmesinin sabit tutulduğu 4 farklı durumda yapı alanının değişen değerleri için programın verdiği hata oranları yer almaktadır.

Yapı alanı için değerlendirme yapacak olursak donatı hata oranları genelde birbirine yakın değerler olmakla beraber beton ve kalıp metrajlarında ciddi hata farkları görülmektedir. Oturum alanı küçük olan yapılarda önerilen formülasyonların doğru sonuç vereceği söylenemese de yapı yüksekliği ile beraber alanı küçük olan yapılarda hata oranı büyük olan yapılara oranla daha küçük olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Beton Sınıfının Değişimine Bağlı Metraj Hatalarının Mutlak Değerleri

T:Temel Tipi	h:Yapı yükseklik (m)	A:Yapı alanı (m <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	σ <sub>z</sub> :zemin emniyet Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beton Hata Oranı(%)	Donatı Hata Oranı(%)	Kalıp Hata Oranı(%)
1	15	400	30	3,5	7,276	3,099	16,113
1	15	400	60	3,5	10,456	2,716	17,802
1	15	400	90	3,5	8,679	1,569	10,632
3	15	400	30	3,5	8,585	4,480	10,809
3	15	400	60	3,5	2,378	3,627	19,053
3	15	400	90	3,5	0,328	2,625	29,069
1	15	200	30	1,5	6,835	1,548	10,086
1	15	200	60	1,5	1,741	0,067	13,347
1	15	200	90	1,5	1,783	0,126	12,063
1	30	200	30	1,5	9,535	0,332	2,663
1	30	200	60	1,5	4,608	1,275	8,883
1	30	200	90	1,5	4,357	0,488	5,556

Program analizi için 162 tane proje de C30, C60, C90 beton sınıfları kullanılmıştır. Beton sınıfı dışındaki parametreleri sabit tutarak farklı beton sınıflarında metraj hatalarının nasıl değiştiğini görebilmek için 145 (17 iptal) tane projenin metraj değerleri incelenmiştir ve Tablo 5’te sadece beton sınıfının değiştiği dört duruma yer verilmiştir. Tablo 5’de incelenen örneklerde beton sınıfının C30, C60, C90 olmasına bağlı standart bir azalış ve artış saptanamamıştır. Beton sınıfına bağlı kesin olarak metraj hatalarının artış veya azalış gösterdiğini söyleyemesek de beton sınıfının sadece beton metraj hesabını değil donatı ve kalıp metrajlarını da etkilediği söylenebilir.

anlaşılmaktadır. Fakat kalıp metraj hesaplarında zemin emniyet gerilmesinin etkisinin donatı ve beton metraj hesaplarına oranla daha az olduğu olarak belirlenmiştir. Çünkü 1.5 kgf/cm<sup>2</sup> ve 3.5 kgf/cm<sup>2</sup> değerleri için kalıp metraj hata yüzdelerinde fazla bir fark yoktur. Ancak kalıp metrajında zemin emniyet gerilmesinin etkisinin olmadığını söylemek yanlıştır. Çünkü kalıp metrajı formülünde “ $\sigma_z$ ” yani zemin emniyet gerilmesi yer almaktadır. Tablo 6’ da zemin emniyet gerilmesi değerlerine bağlı değişen sekiz duruma yer verilmiştir.

Tüm parametrelerinin kombinasyonu ile oluşan projelerde beton metraj hatalarının yüzde olarak değerleri incelenmiştir. Beton hata yüzdelerine genel olarak baktığımızda en fazla hata oranının %22 olduğunu görülmektedir. Fakat Şekil 5’teki toplam hata değerlerini kullanarak genel hata oranlarını değerlendirebilirsek;

**Tablo 6.** Zemin Emniyet Gerilmesine Bağlı Mutlak Metraj Hatalarının Değişimi

T:Temel Tipi	h:Yapı yükseklik (m)	A:Yapı alanı (m <sup>2</sup> )	f <sub>ck</sub> : Beton sınıfı	$\sigma_z$ :zemin emniyet Gerilmesi (kgf/cm <sup>2</sup> )	Beton Hata Oranı(%)	Donatı Hata Oranı(%)	Kalıp Hata Oranı(%)
1	15	200	30	1,5	6,835	1,548	10,086
1	15	200	30	3,5	8,813	1,944	14,015
2	15	200	60	1,5	9,370	1,753	17,831
2	15	200	60	3,5	15,995	0,108	22,862
3	15	300	60	1,5	1,962	4,451	0,072
3	15	300	60	3,5	8,396	4,548	0,771
1	15	400	90	1,5	0,009	2,958	0,205
1	15	400	90	3,5	8,679	1,569	10,632
2	30	200	90	1,5	0,891	3,676	6,672
2	30	200	90	3,5	19,425	0,199	11,970
1	30	300	90	1,5	6,203	0,873	1,435
1	30	300	90	3,5	6,503	0,745	5,123
2	30	400	90	1,5	8,529	3,115	23,712
2	30	400	90	3,5	7,123	2,088	15,551
3	45	400	30	1,5	4,044	1,06	1,687
3	45	400	30	3,5	1,561	1,845	0,938

Zemin emniyet gerilmesi için 1.5 ve 3.5 değerleri kullanılmıştır. Bu değerler için analiz yapılırken başta zemin emniyet gerilmesi 1.5 olan projelerde beton ve donatı hatalarının daha az olduğunu görülürken, proje alanı ve yüksekliği arttıkça emniyet gerilmesinin 3.5 olduğu projelerin daha az hata verdiği

Beton metrajı için hesaplanan ortalama mutlak yüzde hata %5,48 olarak hesaplanmıştır. Bu duruma dayanarak önerilen formülün tahmin açısından iyi sonuç verdiği söylenebilir. Benzer şekilde donatı ve kalıp için hesaplama yapıldığında sırasıyla 7,60 ve 1,94 değerleri elde edilir.

Donatı metrajında en fazla hata yüzdesi %28 değerine ulaşmıştır. Buradan donatı için elde edilen tahmin formülünün beton formülüne göre daha fazla sapma gösterdiği anlaşılmaktadır. Bununla birlikte, formül yüzde birin altına varan doğru hesaplamalar da yapmaktadır.

Kalıp metrajı tahmininde en fazla tahmin hatası % 5 'dir. Diğerlerine kıyasla en iyi tahmin sonucu veren formülün kalıp formülü olduğu aşikardır.

Bu anlamda, önerilen formüllerin tasarım aşamasında mühendisler veya uygulayıcılar tarafından taşıyıcı sistem maliyetleri ile ilgili fikir sahibi olmak amacıyla yardımcı araç olarak kullanılabilecekleri söylenebilir.

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmadan elde edilen bilgiler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılabilir

Bir esnek hesaplama yöntemi olan GEP ile konut tipi yapıların taşıyıcı sistem maliyeti yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Böylece proje henüz ön tasarım aşamasındayken bile taşıyıcı sistem maliyetleri ile ilgili fikir sahibi olunabilmektedir.

- Burada önerilen denklemler kullanılarak taşıyıcı sistem maliyeti, elde edilen metraj değerlerinin ilgili birim fiyatlarla çarpılarak toplanmasıyla yaklaşık olarak hesaplanabilir.
- Önerilen tahmin modelleri içerisinde en yüksek korelasyon ve en düşük OMYH değeri kalıp metrajı formülünden elde edilmiştir.
- Önerilen karmaşık denklemler bilgisayar yardımıyla kolaylıkla çözülebilmektedir.
- Burada sunulan yöntem, veri girişi yapılırken tahmin parametrelerinde herhangi bir işlem yapılmadığından kullanıcılar açısından oldukça basit bir araç olarak değerlendirilebilir

Yukarıdaki bulgulara ek olarak söz konusu yöntemin daha da faydalanılabilir bir hale gelmesi için şunlara dikkat edilebilir;

- Veri kümesi oluşturulurken kullanılan bazı kısıtlar kaldırılarak daha genel modeller elde edilebilir. Örneğin; bütün deprem bölgeleri için çözümlene yapmak.

- Döşeme veya perde gibi diğer yapısal parametreler de tahmin parametreleri olarak dikkate alınıp model geliştirilebilir.
- Mevcut tahmin parametrelerinde daha fazla ara değer alınarak çözümlene yapılabilir.

Kullanıcı dostu ara yüz geliştirilerek, kompleks gibi görünen bağıntıların uygulayıcılar ve araştırmacılar tarafından daha rahat kullanması sağlanabilir

#### **Not:**

Bu makale 6. Uluslararası GAP Mühendislik Kongresinde (8-10 Kasım 2018, Şanlıurfa) 130 no'lu bildiri olarak sunulmuştur.

#### **Kaynaklar**

- [1] Zadeh, L.A. 1994, Soft computing and fuzzy logic. IEEE Software, 11, 48–56
- [2] Türkmen M., Tekeli H., Kuyucular A., 2006, Betonarme Bina Maliyetlerinin Zemin Sınıfı – Kat Adedi Ve Düzensizlik İle Değişimi. S.Ü. Müh.-Mim. Fak. Dergisi 21(1-2), 57-65
- [3] Ferreira C., 2001, Gene expression programming; an adaptive algorithm for solving problems. Complex Syst;12(2)87-129.
- [4] Gümüş, V., Şimşek, O., Soydan, N. G., Aköz, M. S., Yenigün K., 2016, Adana istasyonunda buharlaşmanın farklı yapay zeka yöntemleri ile tahmini. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 7(2):309-318
- [5] Aytek A., 2009, Co-active neurofuzzy inference system for evapotranspiration modeling. Soft Computing, 13(7), 691-700