

# URBAN TRANSFORMATION FORECASTS WITH ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED ALGORITHMS

Hacı Abdullah UÇAN-Tayfun DEDE-Sinan NACAR

## ABSTRACT

Urban transformation is a design practice at the focus point of modern urban life. This phenomenon provides the purpose of human life improvement by organizing it on an urban-based. Urban areas that were established and developed depending on time, geographical features, and historical processes usually have built against the engineering approaches, especially for economic excuses and follow an uncontrolled and inadequate course, and progress in a physical, social, and economic environment which is inappropriate for human life. To improve such cities and to design future cities that include sustainable structures, urban transformation interventions are becoming inevitable. In addition, the risk factor caused by millions of inappropriate buildings against disaster risk is an essential topic that should take place in the concept of urban transformation planning and engineering studies in Turkey. Because an essential reason that urban transformation practices can affect the economic indicators of the future of Turkey. It is emphasized how making very realistic predictions is quite important. Using the periodic economic data of the urban transformation applications in our country, estimation models were created for the urban transformation process using regression and artificial intelligence-based algorithms. Thus, by processing the predicted data as input, it will be possible to make predictions of the urban transformation process in Turkey. In general, the ANN method gave better estimates than the classical regression methods. When the prediction models are examined in detail for the training, validation and test data sets, some models obtained by adding gray wolf optimization to the ANN yielded better results than the models established with other methods. The best estimation model was obtained by using the TreeNet method, with NS values of 0.62 for the number of flats, 0.70 for the number of licenses and 0.67 for the surface area, according to the average evaluation for the training, test and validation sets.

**Keywords:** Urban transformation, Regression Analysis, Artificial Intelligence-Based Algorithms, Optimization, Prediction Models

Dr., T.C. Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Tabiat Varlıklarını Koruma Genel Müdürlüğü  
Mail: habdullah.ucan@csb.gov.tr

 ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9049-8858>

Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümü  
Mail: dtayfun@ktu.edu.tr

 ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0001-9672-2232>

Dr. Öğr. Üyesi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği bölümü  
Mail: sinannacar@hotmail.com

 ORCID ID : <https://orcid.org/0000-0003-2497-5032>

Makale Atıf Bilgisi: Uçan, H. A. - Dede, T. ve Nacar, S. (2023). "Yapay Zekâ Tabanlı Algoritmalar ile Kentsel Dönüşüm Tahminlerinin Yapılması". *Çevre, Şehir ve İklim Dergisi*. Yıl: 2. Sayı: 4. ss. (38-69)

Makale Türü: Araştırma  
Geliş Tarihi: 27.04.2023  
Kabul Tarihi: 19.06.2023  
Yayın Tarihi: 31.07.2023  
Yayın Sezonu: Temmuz 2023

# YAPAY ZEKÂ TABANLI ALGORİTMALAR İLE KENTSEL DÖNÜŞÜM TAHMİNLERİNİN YAPILMASI

Hacı Abdullah UÇAN-Tayfun DEDE-Sinan NACAR

## ÖZ

Kentsel dönüşüm, çağımızda modern şehir hayatının odak noktasında yer alan bir tasarım pratiğidir. Bu olgu, insan hayatının şehir bazında düzenlenerek iyileştirilmesi amacıyla hizmet etmektedir. Zaman, coğrafya ve tarihi süreç içerisinde kurulan ve gelişen şehirler, özellikle ekonomik gerekçelerle mühendislik yaklaşımından uzak, kontrolsüz ve yetersiz bir seyir izlemekte ve insan hayatına uygun olmayan fiziki, sosyal ve ekonomik bir meca içerisinde süregelmektedir. Bu tür şehirlerin iyileştirilmesi ve sonradan tasarlanan şehirlerin sürdürülebilir bir iyileşme yapısında kalması için kentsel dönüşüm müdahaleleri kaçınılmaz hale gelmektedir. Ayrıca afet riski altında bulunan milyonlarca yapının oluşturduğu risk faktörü, Türkiye’de kentsel dönüşüm kavramının şehirleşme, planlama ve mühendislik çalışmalarının odağında yer alması gereken elzem bir konu başlığıdır. Bu mücbir sebebin, kentsel dönüşüm uygulamalarının Türkiye’nin gelecekteki ekonomik göstergelerini etkileyebilecek seviyede olduğu göz önüne alındığında, bu konuda gerçeğe çok yakın tahminlerde bulunabilmenin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada ülkemizdeki kentsel dönüşüm uygulamalarının dönemsel ekonomik verileri ışığında regresyon ve yapay zekâ tabanlı algoritmalar kullanılarak kentsel dönüşüm süreci için tahmin modelleri oluşturulmuştur. Böylece öngörülen verilerin girdi olarak işlenmesiyle Türkiye’nin kentsel dönüşüm sürecinin geleceği hakkında tahmin yürütülebilecektir. Genel olarak bakıldığında YSA yöntemi klasik regresyon yöntemlerine göre daha iyi tahminler vermiştir. Tahmin modellerine eğitim, doğrulama ve test veri setleri için detaylı bakıldığında ise YSA’ya gri kurt optimizasyonunun eklemesi ile elde edilen bazı modellemelerde diğer yöntemler ile kurulan modellere göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Eğitim, test ve doğrulama setleri için ortalama değerlendirmeye göre daire sayısı için 0.62, ruhsat sayısı için 0.70 ve yüz ölçümünü için 0.66 NS değerleri ile en iyi tahmin modeli TreeNet yöntemi kullanılarak elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kentsel Dönüşüm, Regresyon Analizleri, Yapay Zekâ Tabanlı Algoritmalar, Optimizasyon, Tahmin Modelleri

## Giriş

Bu çalışmada, ülkemizin gelecekteki kentsel dönüşüm stratejisine yönelik çıkarımlar ve tahminler yapabilmek adına, 2002-2020 zaman aralığında ne kadar inşaat yapıldığı, kaç metrekare inşaat izni verilip imalat yapılmış olduğu, gayrisafi milli hâsıla, kişi başına düşen milli gelir, enflasyon rakamları, kredi kullanımına esas reel faiz rakamları vb. ekonomik veriler kullanılmıştır. Ülkedeki hukuki düzenlemelerle birlikte, inşaat ve kentsel dönüşüm hızını etkileyen en önemli etkenin ekonomi olduğu göz önünde bulundurularak, bu ekonomik dönemsel veriler ışığında, yapay sinir ağları (YSA) tabanlı algoritmalar ile geçmiş veriler analiz edilerek, Türkiye'nin kentsel dönüşüm sürecinin geleceğinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Elde edilen bulgular ile ülkemizde kentsel dönüşüm ve inşaat sektörü ile ilgili verilerden, geçmiş deneyimlerden istifade edilerek kentsel dönüşüm süreci ve bu süreç tamamlanıncaya kadar ülkede kentsel dönüşümün geleceğinin modellenmesi sağlanabilecek ve buna göre politika belirlenmesine yardımcı olunabilecektir. Çalışmada bağımsız değişken olarak, kentsel dönüşüm uygulamalarını doğrudan veya dolaylı etkileyen sosyal ve ekonomik göstergeler, belirli bir döneme ait olmak kaydıyla girdi olarak kullanılmıştır. Bu girdilerin çalışmada kullanılacak yazılımda işleme tabi tutulmasıyla çıktı olarak elde edilen veriler karşılaştırılarak, yapılan işleme elde edilen tahmin modellerinin doğruluğu saptanmıştır. Elde edilen tahmin modelleri, gelecekte yapılması düşünülen kentsel dönüşüm uygulamasının kendine özgü sosyal ve ekonomik maliyetinin hesaplanmasında kullanılabilir. Kentsel dönüşüm sürecine ait tahmin modelleri klasik regresyon tabanlı ve YSA tabanlı modellemeler ile incelenmiştir. YSA tabanlı modellemelerden daha etkin sonuçlar alabilmek için güncel ve popüler olan Gri Kurt Algoritması eklenmiştir.

## Literatür Taraması

Dünyada kentsel dönüşüm uygulamaları stratejisi belirlenirken birçok unsur göz önünde bulundurulmaktadır. Nüfus, ekonomik durum, eğitim, kültürel yapı gibi etmenler kentsel dönüşüm sürecine etki etmektedir. Kentsel dönüşüm planlamasının YSA bilgi işlem teknolojisi kullanılarak modellenmesi ile ilgili bazı bilimsel çalışmalar aşağıda belirtilmektedir.

Yeh ve Li (2003) tarafından arazi kullanımı planlaması için YSA hücrenel otomasyon kullanılarak kentsel simülasyon yapılmış, sonuçlara göre kentsel planlama coğrafi bilgi sistemleri tabanlı gösterilmiştir. Bu simülasyon karar verici ve planlamacılara akıllı ve sürdürülebilir kentsel gelişim konusunda katkı sağlamaktadır. Çin'in Dongguan şehri için yedi adet değişkenin kullanıldığı simülasyon ile geçmiş gelişim trendi, tek merkezli ve çok merkezli gelişimlerin seçimi, tarımsal koruma bazlı gelişimin seçimi şeklinde planlama amaçlarına göre sonuçlar gösterilmiştir.

Pijanowski vd. (2005) Ortabatı Amerika'nın yukarısında bulunan iki metropol bölge için (Detroit ve Twin Şehirleri) YSA tabanlı kentsel değişimin simülasyon ve kalibrasyonu yapılmıştır. Söz konusu çalışmada daha önceden geliştirilen Coğrafi Bilgi Sistemli ve YSA tabanlı arazi kullanım değişimini simule eden arazi dönüşüm modeli kullanılmıştır.

Özcan (2008) tarafından İstanbul ilinin kentsel gelişimi YSA ile belirlenmiş ve gelecek tahminleri yapılmıştır. 1995 nazım planı ile iller 0,25x0,25 km çözünürlüğe sahip sayısal ağlara bölünmüş, ekolojik ve jeolojik açıdan riskli bölgeler, 1.,2. ve 3. derece şehir merkezine uzaklık, ana ulaşım akslarına uzaklık, orman arazisi, nüfus, geçmiş yayılma oranı, eğimi %20'nin üzerindeki alanlar yaşama etkisinin olduğu varsayılmıştır. Elde edilen veriler Statistica üzerinden değerlendirilerek, üç katmanlı çok katmanlı YSA ile kurgulanmıştır. ARCGIS üzerinde gösterilen model sonuçlarına göre İstanbul'daki kentsel yayılma Anadolu yakasında Tuzla ve Maltepe ilçelerinde, Avrupa yakasında ise Esenler, Küçükçekmece, Güngören ve Silivri ilçelerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir.

Maithani (2009) tarafından Hindistan'da yer alan Saharanpur şehri için 1993-2001 yılları arasındaki üretilen yapılaşma ve yapılaşma olmamış alan verileri (havza fotoğrafları, Hindistan Uzaktan Algılama Uydusunun (IRS)-1C ürettiği uzaktan algılama verileri ve PAN sensör verileri) ile YSA tabanlı kentsel gelişme modeli kullanılmıştır. Altyapı olanakları, yol ve kent merkezine ulaşılabilme olanakları önemli faktörler olarak model girdilerini oluşturmaktadır. Modellenen 12 farklı YSA mimarisine göre model eğitim doğruluğunda % 90,56 ve test doğruluğunda %87,83 e kadar ulaşmıştır.

Mohammady vd. (2014) tarafından İran'nın Sanandaj şehri için YSA kullanılarak kentsel gelişim modeli geliştirilmiştir. Söz konusu çalışmada 2000-2006 arasındaki Landsat uydusunun verileri kullanılmıştır. Temel olarak çalışmanın amacı arazi kullanımı ve örtüsünün değişimini tespit edilmesi, kentsel büyümenin farklı senaryolar altında simülasyonu ve kentsel planlama ve arazi gelişimi için bir referans bilgi sağlamaktır. Çok katmanlı YSA'nın kullanıldığı modelde, bir adet giriş ve çıkış katmanı ve 13 adet gizli katman yer almaktadır. Yüzde doğru eşleştirme (PCM) ve başarımlı ölçüsü (FoM) yöntemleri ile yapılan modelin değerlendirmelerinde sırasıyla % 90,1 ve % 43,75 değerlendirme oranı bulunmuştur.

Guan vd. (2015) tarafından YSA, hücrel otomasyon, kısıtlı hücrel otomasyonunu entegrasyonu ile kentsel büyüme simülasyonu yapılmıştır. Söz konusu çalışmada Çin'in Beijing şehri için 2001-2005, 2006-2010 ve 2011-2015 yılları arasındaki periyotlarda coğrafi, mekânsal bazlı arazi kullanım dataları (kot, eğim, şehir merkezine, demir yollarına, otoyollara, ulusal otoyollara uzaklık, hücrel kentsel alanların sayısı) kullanılmıştır. Sosyoekonomik tabanlı üç adet tahmin senaryosu çalışmasında kentsel büyüme tahmininin simülasyonu yapılmıştır.

Triantakostas ve Stathakis (2015) tarafından YSA ile Yunanistan'ın Atina şehri için kentsel alanların büyümesinin tahmini yapılmıştır. 1990-200 yılları arasındaki arazi değişimi verileri (CORINE), rakım, eğim, yola uzaklık, kentsel alanlara uzaklık verileri modelin girdileri olarak kullanılmıştır. Cramer'in V değeri ile 2000 yılı kentsel arazi kullanım haritaları için arazi kullanım sınıflarının değerlendirilmesi için kullanılmıştır. Markov Zincir tahmin süreci ile 2006 yılı kentsel tahmin haritasının hesaplanması için doğrulama aşamasında kullanılmıştır.

Yılmaz vd. (2018) tarafından Eskişehir ili için konutların alanı, kat sayısı, ısıtma sistemi ve kullanışı gibi unsurlar göz önünde bulundurularak konut fiyatları YSA ile tahmin edilmiştir. WEKA 3.8.0 programı ile makine öğrenme algoritması oluşturulmuş, eğitim algoritması olarak geri yayılım algoritması ve gizli ve sonuç katmanlarında sigmoid fonksiyonu kullanılmıştır. 2-20 adet nöron sayısına göre 19 model oluşturularak en yüksek Model 4 ile 0,9219 korelasyon katsayısı (R), 0,192 ortalama karesel hataların karekökü (RMSE) ve 0,1441 ortalama mutlak hata (MAE) değerleri bulunmuştur. Çalışmanın il bazında Türkiye'de yapılan araştırmalar içerisinde 5556 örneklem büyüklüğü ile en büyük örnekleme sahip olduğu belirtilmektedir.

Purevtseren vd. (2019) Moğolistan'ın Erdenet şehri için kentsel gelişimin senaryo bazlı olarak YSA kullanımı ile 2046 yılı için gelecekteki imar projeleri için tahminlerde bulunmuştur. Uzaktan algılama tabanlı arazi kullanım verileri ve uydu haritaları modelin girdileri olarak kullanılmıştır. Çok katmanlı YSA'nın kullanıldığı çalışmada birer giriş ve çıkış, çoklu gizli katmana sahiptir. 10.000 tekrar seviyesinde %81,2 doğruluk oranına kadar ulaşılmıştır. Erdenet şehri için 2026, 2036 ve 2046 yılları için anlık gelişen senaryo, çevre korumalı senaryo ve kaynak koruma temelli senaryolara göre mekânsal tahminler tespit edilmiştir.

İlhan ve Öz (2020) tarafından gayrimenkullerin toplu olarak değerlendirilmesi YSA yöntemi ile yapılarak Ankara İli Gölbaşı ilçesinde bir pilot çalışma yapılmıştır. 2017 yılı için Gölbaşı ilçesinde satışı gerçekleştirilmiş arsa vasıflı arazi verileri için 13 parametre (konum, KAKS, plan işlevi, parsel şekli, parsel alanı, manzara, altyapı, Özel Çevre Koruma sınırında olma, mülkiyet durumu (tam/hisseli), eğim, yol cephe, köşe parsel olma, satışın gerçekleştirildiği ilgili mevzuat) girdi değişkeni, arsa birim fiyatı tahmin değeri ise çıkış değişkeni olarak belirlenmiştir. Çalışma kapsamında çoklu regresyon analizi ve YSA yöntemleri kullanılmıştır. Sonuçlara göre YSA'da belirleme katsayısı ( $r^2$ ) %94 ile %89 olarak hesaplanan çoklu regresyon analizin üstünde çıkarak daha başarılı olduğu tespit edilmiştir.

Benzer çalışma Ankara ili için Güner (2021) tarafından yapılmıştır. Söz konusu çalışmada 2013-2019 yılları arasındaki 82 ay için konut fiyatları, döviz kuru, faiz oranları, tüketici güven endeksi, sanayi üretim endeksi, inşaat güven endeksi gibi ekonomik veriler göz önünde bulundurularak YSA kullanılmıştır. Sonuçlara

göre ileri beselemenin belirleme katsayısı ( $r^2$ ) 0,9955 iken, Elman sinir ağında bu değer 0,9863 bulunmuştur. Sonuçlara göre ileri beslemeli sinir ağının kullanımında yüksek doğruluk elde edilmiş, konut fiyatlarını tahmin etmede iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Wan ve Shi (2021) evrimsel sinirsel ağ modeli tabanlı yöntemlerle kentsel restorasyon kamu alanı dizaynı üzerinde çalışma yapmıştır. Bu çalışma ile yapay zekâ öğrenimi, derin öğrenme ve diğer ilgili algoritmaların kullanımının fizibilitesi araştırılmıştır. Kentsel trafik yolu ağı, kentsel mahalle mekânsal bilgi ve kentsel yapı fonksiyon bilgilerinin kullanıldığı modelde kentlerde boş alanlar için uygun kentsel alanlar ve optimum yol ağının oluşturulması bakımından örnek çalışma teşkil etmektedir.

Sipahioğlu ve Çağdaş (2022) senaryo tabanlı hücreli otomasyon ve YSA yöntemlerini kullanarak kentsel büyüme modellemesi yapmıştır. Arazi kullanımı ve itici faktör verilerinin simülasyon için kullanıldığı modelde altı farklı gelişim senaryosu İzmir İli Stratejik Planına göre formüle edilmiş, gelecekteki kentsel planlama stratejilerinin etkileri belirlenmiştir.

Sonuç olarak literatürde YSA yöntemi kentsel gelişimin planlaması, dönüşümün modellenmesi çalışmalarında sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Ancak, Türkiye’de söz konusu çalışmalar sadece konut fiyatı tahminlerinde ve bölgesel olarak gerçekleştirilmiştir. Ekonomik veriler göz önünde bulundurularak kentsel dönüşümün ulusal ölçekte modellenmesi ve geleceğe yönelik tahminler bu çalışma ile ortaya koyulmuş ve literatürdeki bu açık bu çalışma ile giderilmeye çalışılmıştır.

## **Kullanılan Veriler, Yöntemler ve Tahmin Model Çalışmaları**

Bu çalışma kapsamında Türkiye’de kentsel dönüşüm sürecine ait tahmin modelleri oluşturabilmek için 2002 yılından itibaren 2020 yılına kadar üçer aylık dönemler şeklinde daire sayısı, ruhsat sayısı, yüz ölçümü bağımlı değişkenleri ile gayri safi milli hasıla (GSYH), enflasyon oranı (%), faiz oranı (%) ve nüfus bağımsız değişkenleri ilgili kurum ve kuruluşlardan tedarik edilmiştir. Kullanılan bu veriler Uçan, 2022 çalışmasından elde edilebilir. Kentsel dönüşüm sürecine ait tahmin modelleri regresyon tabanlı ve YSA tabanlı modellemeler ile incelenmiştir. Regresyon analizlerinde KRA: Klasik Regresyon Analizi, MARS: Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Eğrileri (Friedman, 1991), TreeNet Gradyan Artırma Makinesi (Friedman, 2001) kullanılmış olup YSA modelinde ise GWO: Gri kurt optimizasyon algoritması (Mirjalili vd. 2014) MATLAB programlama dilinde kodlanarak YSA’ya eklenmiştir.

Daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü bağımlı değişkenlerini tahmin etme çalışmalarına başlarken bu değişkenleri en fazla etkileyebilecek bağımsız değişkenler belirlenmiştir. Bu aşamada etkili bağımsız değişkenlerin

hangilerinin daha etkili olduğuna yönelik tüm olası regresyon analizleri gerçekleştirilmiş ve tüm değişkenlerin kullanıldığı modelin en yüksek performansa sahip olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda gayri safi milli hasıla (GSYH), enflasyon oranı (%), faiz oranı (%) ve nüfus bağımsız değişkenler olarak belirlenmiştir. Bu değişkenlerin yanı sıra her bir yıl içerisindeki dönem sayısı da bir diğer bağımsız değişken olarak bağımsız değişkenlere eklenmiştir. Bu bağımsız değişkenler her üç bağımlı değişken için değiştirilmeden kullanılmıştır. Toplamda beş bağımsız değişkene karşılık üç farklı bağımlı değişken kullanılarak modelleme çalışmalarına başlanmıştır. Modelleme çalışmalarında kurulan modellerin doğruluklarının test edilebilmesi için veri setleri eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ayrılmıştır. Bu sayede eğitim ve doğrulama veri setleri ile kurulan modellerin doğrulukları test verisi kullanılarak değerlendirilebilmiştir. Modellere ait performanslar ortalama karesel hatanın karekökü (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE), ve Nash-Sutcliffe (NS) performans istatistikleri aşağıda verilen eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır.

$$RMSE = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (t_i - td_i)^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |t_i - td_i| \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (t_i - td_i)^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \quad (3)$$

Verilen eşitliklerde;  $t_i$  ölçüm değerlerini,  $td_i$  tahmin değerlerini, ölçüm değerlerinin ortalamasını ve  $n$  veri sayısını göstermektedir. RMSE ve MAE değerlerinden küçük olanın performansı yüksek olarak değerlendirilirken, NS değeri  $-\infty$  ile 1 arasındadır. NS=1 olması, kullanılan yöntemin mükemmel olduğunu belirtmektedir.

Verileri eğitim, doğrulama ve test setlerine ayırma aşamasında iki farklı senaryo denenmiştir. Bunlardan ilkinde veriler seri şeklinde ayrılmıştır. Bir başka ifadeyle toplamda 19 yıllık veri setinin ilk 13 yılı modellerin eğitiminde, sonraki üç yıllık veri modellerin doğrulanmasında ve kalan üç yıllık veri seti ise modellerin test edilmesi aşamasında kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Yapılan ön analizler neticesinde verilerin özellikle son yıllarda pik değerlere ulaşmasından kaynaklı test veri setinden istenen doğrulukta sonuçlar elde edilememiştir. İkinci senaryoda ise verilerin karma olarak seçilmesi yoluna gidilmiştir. Bu senaryoda tüm yılların eğitim, doğrulama ve test veri setlerinde temsil edilebilmesi amacıyla ilk yılın ilk üç dönemi eğitim, son dönemi doğrulama ve bir sonraki yılın ilk dönemi test veri setinde kalacak şekilde seçim yapılmıştır. Bu seri devam ettirilerek her yıldan farklı dönemler eğitim doğrulama ve test veri takımlarında yer alması sağlanmıştır. Yapılan analizler neticesinde kabul edilebilir sonuçların

elde edildiği belirlenmiştir. İkinci senaryo durumu için verilerin eğitim, doğrulama ve test verilerine nasıl ayrıldığı farklı vurgular ile Tablo 1’de sunulmuştur. Tabloda yer alan veriler 2021-2022 yılları arasında aşağıda web adresleri verilen Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti Merkez Bankası’nın web sayfasından alınmıştır.

Tablo 1.Verilerin eğitim, doğrulama ve test setlerine ayrılması

Yıllar	Dönem Sayısı	GSYH (Dolar)	Enflasyon (%)	Faiz (%)	Nüfus (kişi)	Daire-Sayısı (Adet)	Ruhsat-Sayısı (Adet)	Yüz Ölçümü (Dekar)
Bağımsız değişkenler					Bağımlı değişkenler			
2002	1	45301324	78	53	64218179	20891	7123	5145
2002	2	47439134	47	45	64336061	46398	10011	10272
2002	3	56361790	41	47	64453942	41654	11412	8964
2002	4	57446317	31	44	64729000	52977	18548	11804
2003	1	51790485	35	46	64947500	26162	8236	6374
2003	2	65581641	30	43	65166000	49885	8831	10860
2003	3	84459948	19	38	65384500	57089	8955	12494
2003	4	77059665	14	30	65603000	69718	15320	15787
2004	1	78423366	8	26	65802500	58981	11316	14122
2004	2	78072083	7	31	66002000	71307	7063	14627
2004	3	94225432	8	30	66201500	84145	8288	16626
2004	4	96371724	9	26	66401000	116013	14125	24342
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.
2017	1	157956129	8	11	80063785	237871	27215	46773
2017	2	184788107	9	12	80312698	427352	28325	85422
2017	3	213145766	10	13	80561612	533805	27788	108180
2017	4	203788112	11	14	80810525	197863	35474	45219
2018	1	181159782	11	15	81108864	140603	28913	31902
2018	2	170356330	11	13	81407204	218655	29058	45167
2018	3	143069477	14	25	81705543	137888	30642	31061
2018	4	171599757	16	28	82003882	164735	38504	39794
2019	1	172698321	20	20	82291661	249937	31535	19410
2019	2	175490119	16	16	82579440	145826	19454	11393
2019	3	204135097	9	9	82867218	147991	19395	14051
2019	4	208039896	12	12	83154997	195135	23507	28506
2020	1	175898686	12	12	83269838	80834	18550	17472
2020	2	151487883	13	13	83384680	137889	14458	27397
2020	3	196100277	12	12	83499521	141119	21098	27799
2020	4	193903944	15	15	83614362	195485	23592	39675

<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Yapi-Izin-Istatistikleri-IV.-Ceyrek:-Ekim---Aralik,-2021-45828>

<http://www.sbb.gov.tr/buyume/>

<http://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatları>

<https://evds2.tcmb.gov.tr/index.php?/evds/dashboard/341>

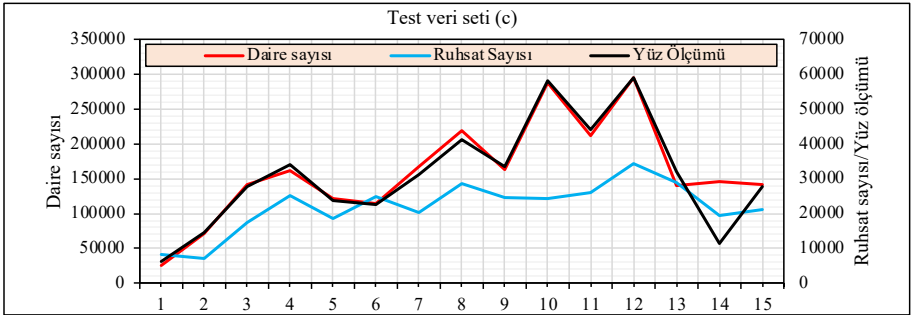
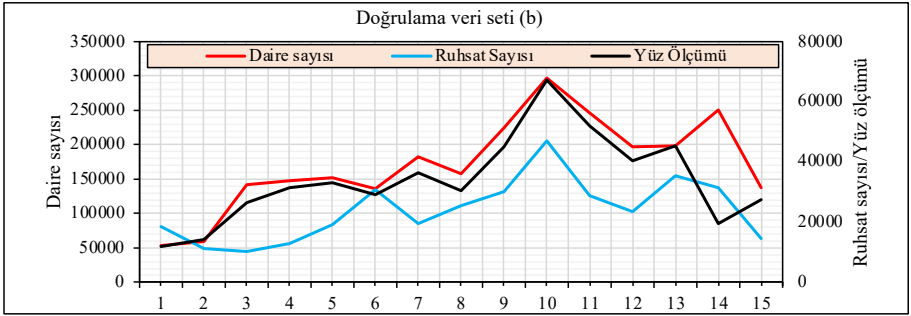
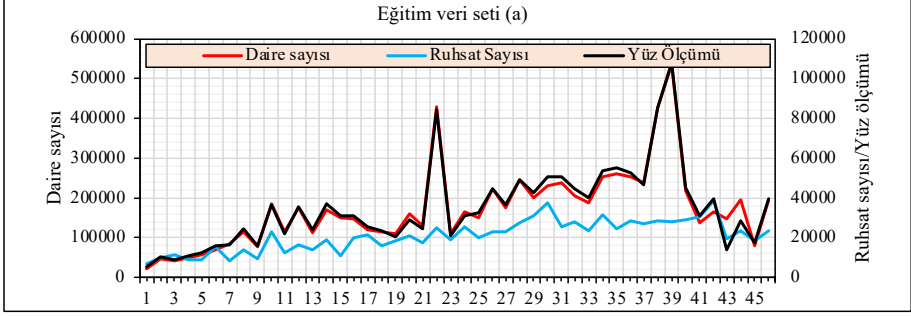
<https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatları>

<http://www.muhasebenews.com/ortalama-doviz-kuru-programi/>

<https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>



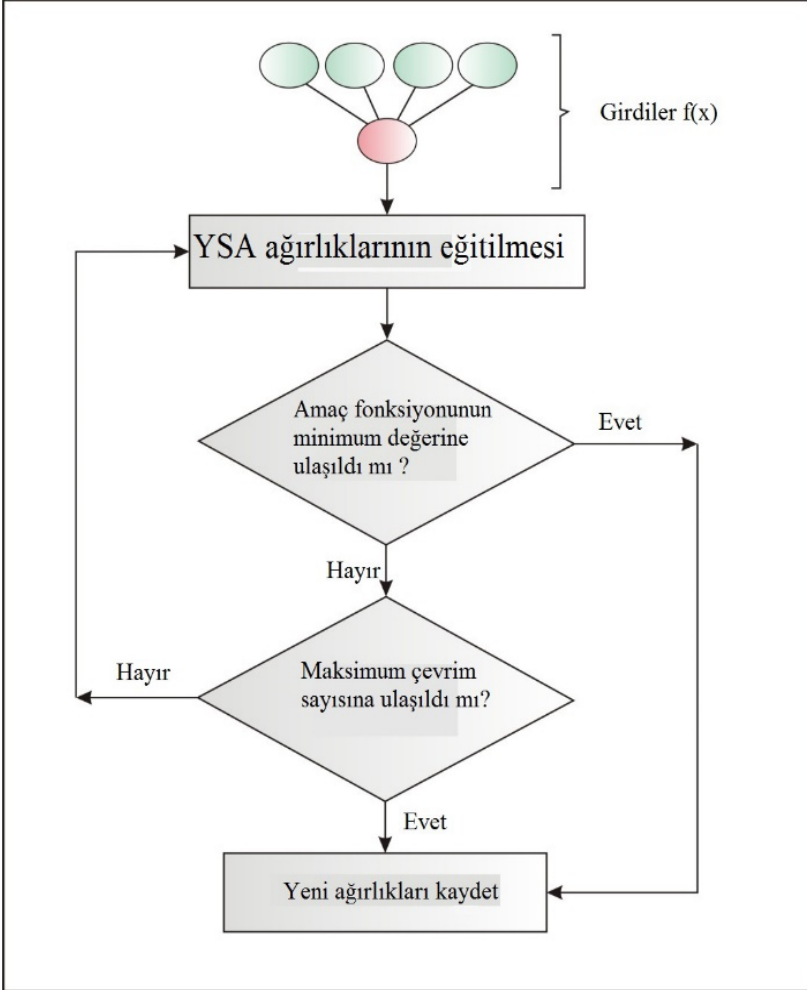
Gri renk ile vurgu yapılanlar eğitim, kırmızı tonlarında olanlar doğrulama ve yeşil renk tonunda olanlar test veri setine dâhil edilmiştir. Karma seçim senaryosu için daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü bağımlı değişkenlerinin eğitim (a), doğrulama (b) ve test (c) veri setlerine ait zaman serileri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Karma seçim senaryosu için daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü değişkenleri için eğitim (a), doğrulama (b) ve test (c) veri setlerine ait zaman serileri

## YSA-GWO Modeli

GWO ya da diğer algoritmalar YSA ağırlıklarının eğitilmesi kısmında ağırlıkları optimize etmekte yani en uygun değerleri bulmaktadır. YSA'nın optimizasyonundaki temel amaç en uygun ağırlık değerlerini ve ağ mimarisini belirlemektir. YSA ile GWO optimizasyon tekniğinin beraber çalışmasını temsil eden görsel Şekil 2'de verilmektedir. Tahmin modelleri için kurulan bu modelin kodlaması MATLAB programlama dilinde yazılmıştır.



Şekil 2. YSA ile GWO tekniğinin kullanımı

## Tahmin Modellerine İlişkin Bulgular

Karma seçim veri setleri kullanılarak geliştirilen modellere ait bulgular ve irdelemeler daire sayısı, yüz ölçümü ve ruhsat sayısı olmak üzere alt başlıklar altında incelenmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan senaryolara ait veri setleri kullanılarak daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü değişkenlerine ait model bulguları ve veri setlerinin farklı seçilmesi durumları için her bir değişkene ait model performansları en iyi modeller için karşılaştırmalı olarak yapılan detaylı incelemeler Uçan (2022) çalışmasından ulaşılabilir.

## Daire Sayısına İlişkin Sonuçlar

Karma seçim veri setleri kullanılarak daire sayısı değişkenini tahmin etmek için kurulan regresyon tabanlı klasik regresyon analizi (KRA), MARS ve TreeNet yöntemlerinden eğitim, doğrulama ve test veri setleri için elde edilen performans istatistikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Daire sayısı değişkeni için geliştirilen regresyon tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

Eğitim	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	74728	74235	74565	57020	67946	65507
MAE (adet)	47777	46577	46969	39392	42630	25786
NS	0,44	0,45	0,44	0,67	0,54	0,57
Doğrulama	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	46254	53487	47512	69126	37824	39377
MAE (adet)	36579	41567	38250	55432	31454	33492
NS	0,49	0,32	0,46	-0,14	0,66	0,63
Test	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	47737	44430	46062	96007	48943	40256
MAE (adet)	38703	34161	35286	80720	43746	34778
NS	0,52	0,59	0,56	-0,93	0,50	0,66

Lin: Lineer, Üs: Üstel, Eks: Ekspansiyel, Kua: Kuadratik

Tablo 2 incelendiğinde eğitim veri seti için en düşük RMSE ile en yüksek NS değerlerinin KRA\_Kua modelinden elde edildiği ve en düşük MAE değerinin ise TreeNet modelinden elde edildiği görülmektedir. Ancak doğrulama ve test veri setlerine bakıldığında KRA\_Kua modeline ait performansların diğer modellere göre kötü olduğu anlaşılmaktadır. Bunun yanında doğrulama ve test veri setleri

dikkate alındığında doğrulama veri seti için en yüksek performansın MARS yönteminden elde edildiği, test veri takımı için ise en yüksek performans genellikle TreeNet yönteminden elde edildiği görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa TreeNet yönteminin her üç veri seti için yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği söylenebilir. KRA yönteminde ise lineer, üssel ve eksponansiyel fonksiyonlarına ait model performanslarının birbirine yakın olduğu, bunlar arasından en yüksek doğruluğa sahip olanın eksponansiyel fonksiyon olduğu belirlenmiştir. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonları ile geliştirilen modellere ait katsayılar Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonlarının daire sayısı değişkeni için kurulan modellere ait katsayılar

Katsayılar	Lineer (KRA_Lin)	Üstsel (KRA_Üs)	Eksponansiyel (KRA_Eks)	Kuadratik (KRA_Kua)
w0	0,2238	0,2690	-0,0902	0,3731
w1	0,0696	0,1028	-1,0844	1,2254
w2	0,1750	0,1508	0,1408	-1,8826
w3	0,2069	-0,1142	0,4197	4,5466
w4	-0,3623	-0,2324	0,1306	-2,2260
w5	0,0772	0,2281	-0,8738	0,1282
w6			0,1974	0,4098
w7				4,4706
w8				-2,9981
w9				-1,6732
w10				7,8743
w11				0,5851
w12				6,7322
w13				-17,4932
w14				-14,5465
w15				6,2970
w16				-0,5071
w17				-2,3704
w18				9,2444
w19				5,2115
w20				-2,4945

Kullanılan fonksiyonlara ait eşitlikler Uçan, (2022)'den elde edilebilir.

MARS yönteminden elde edilen temel fonksiyonlar ve daire sayısı değişkeninin elde edildiği denklem Tablo 4'te verilmiştir. Tablonun son satırında daire sayısı değişkenini elde etmek için kullanılan denklem yer almaktadır. Ayrıca MARS ve TreeNet yöntemlerinden elde edilen denklemlerde kullanılan bağımsız değişkenlerin göreceli önemleri de Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 4. MARS yönteminden elde edilen temel fonksiyonlar ve daire sayısı değişkeninin elde edildiği denklem

Temel fonksiyonlar
$BF1 = \max(0, N - 0,774089);$
$BF2 = \max(0, 0,774089 - N);$
$BF4 = \max(0, 0,753556 - N);$
$BF6 = \max(0, 0,82127 - N);$
$BF8 = \max(0, 0,148466 - F) * BF4;$
$BF9 = \max(0, Y - 0,1) * BF8;$
$BF11 = \max(0, F - 0,229717) * BF6;$
$F\_daire\_sayısı = 0,429926 - 0,636509 * BF1 - 0,0996053 * BF2 - 0,101585 * BF4 - 0,0854713 * BF6 + 35,7033 * BF9 - 0,161584 * BF11;$

Tablo 5. Daire sayısı değişkeninin tahmini için kullanılan bağımsız değişkenlerin MARS ve TreeNet yöntemlerinden elde edilen göreceli önemleri

MARS		TreeNet	
N	100	G	100
Y	57,37	F	94,97
F	51,17	N	87,19
		E	85,44
		Y	68,46

Bu tablolarda, N, Y, F, G ve E sırasıyla nüfus, yıl içerisindeki dönem, faiz, gayri safi yurtiçi hasıla ve enflasyon değerlerini temsil etmektedir. Tablo 5 incelendiğinde MARS yöntemi için elde edilen denklemlerde bağımsız değişkenlerden nüfus, yıl içerisindeki dönem ve faiz değişkenleri etkin olurken TreeNet yöntemi için elde edilen denklemde tüm değişkenler etkin olmuştur. MARS yöntemi için göreceli önemi en yüksek olan değişken nüfus değişkeni olurken TreeNet yönteminde göreceli önemi en yüksek olan değişken gayri safi yurtiçi hasıla olmuştur.

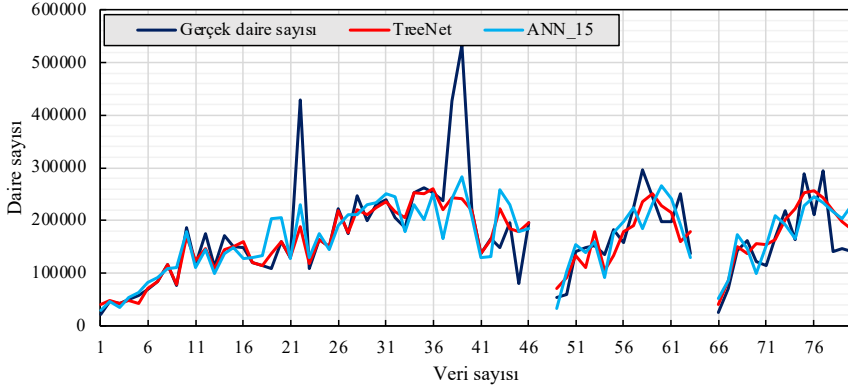
Daire sayısı değişkenini tahmin etmek için kurulan YSA tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setleri için elde edilen performans istatistikleri dört farklı nöron sayısı (5, 10, 15 ve 20) için Tablo 6'da verilmiştir. Tabloda verilen nöron sayıları için deneme yanılma yoluyla denemeler yapılmış ve tez kapsamında en yüksek performans değerlerini veren modellere ait sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 6. Daire sayısı değişkeni için geliştirilen YSA tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

Eğitim	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (adet)	74931	64988	64879	59652	81611	87071	78289	87232
MAE (adet)	44457	38363	37021	35852	52583	57431	50380	57639
NS	0,44	0,58	0,58	0,64	0,33	0,24	0,38	0,23
Doğrulama	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMS (adet)	44271	44074	43927	34199	28646	28585	37752	28630
MAE (adet)	34159	30602	32474	24951	22800	23421	29689	22486
NS	0,53	0,54	0,54	0,72	0,80	0,80	0,66	0,80
Test	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (adet)	46223	47434	46344	55893	64557	65821	49846	66778
MAE (adet)	36249	37890	39994	41621	56257	58059	39870	59211
NS	0,55	0,53	0,55	0,35	0,13	0,09	0,48	0,07

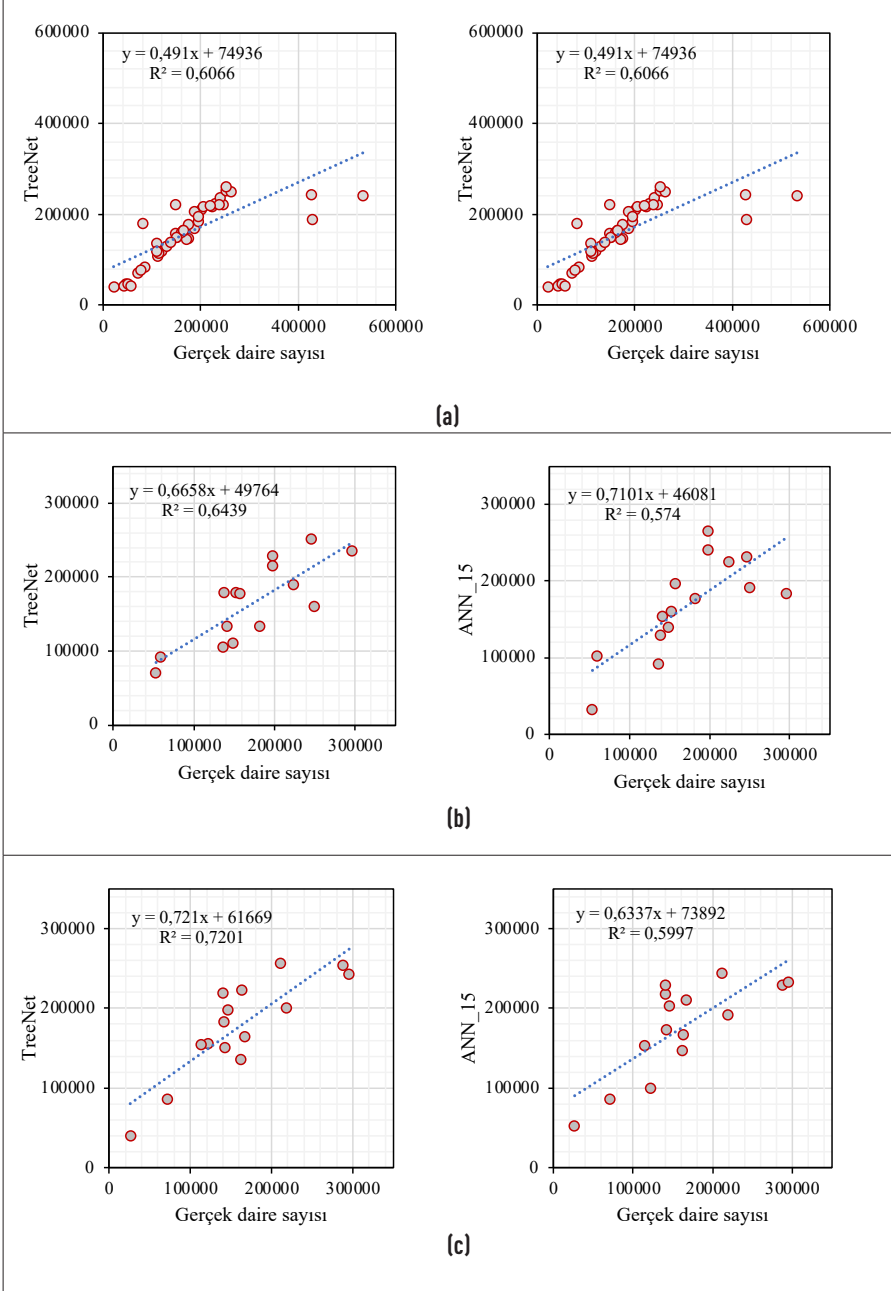
Bu tabloda, örnek olarak, ANN\_5 modeli 5 nöronlu YSA modelini ve GWO\_5 ise YSA modelinin GWO tekniği ile etkileşimli kullanılmış modelinin 5 nöronlu modelini temsil etmektedir. Tablo 6 incelendiğinde GWO algoritması kullanılarak kurulan modellere ait performans istatistiklerinin herhangi bir optimizasyon algoritması kullanılmadan geliştirilen YSA modellerine kıyasla eğitim ve test veri setleri için düşük olduğu, doğrulama veri seti için YSA'ya kıyasla ise çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak genel bir değerlendirme yapıldığında YSA\_GWO'nun YSA modellerine ait performansları iyileştirmediği görülmektedir. Farklı nöron sayıları kullanılarak geliştirilen modellerden ise en yüksek doğruluğa sahip modelin 15 nöron

kullanılarak kurulan ANN\_15 modeli olduğu belirlenmiştir. ANN\_15 modeline ait performans değerleri eğitim ve test veri setleri için ANN\_20 modeline kıyasla daha düşük olsa da test veri seti de dikkate alındığında genel olarak daha yüksek doğruluğa sahip olduğu söylenebilir. Regresyon tabanlı modeller ile YSA tabanlı modeller karşılaştırıldığında TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen modelin YSA modeline kıyasla daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Bu karşılaştırmanın daha net görülebilmesi için daire sayısı değişkenine ait zaman serileri hazırlanmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Daire sayısı değişkenine ait zaman serileri

Hazırlanan zaman serisinde ilk bölüm eğitim veri setini, ikinci bölüm doğrulama veri setini ve son olarak üçüncü bölüm test veri setini temsil etmektedir. Hazırlanan grafik incelendiğinde eğitim veri setinde yer alan üç adet pik değerinin her iki yöntemde de yeterli doğrulukta tahmin edilemediği görülmektedir. Bunun yanında doğrulama ve test veri setlerinde tahmin edilen daire sayılarının gerçek daire sayılarına yakın olduğu görülmektedir. Tahmin modellerinden elde edilen daire sayıları ile gerçek daire sayıları sırasıyla eğitim, doğrulama ve test veri setleri için saçılım grafikleri hazırlanarak karşılaştırılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. TreeNet ve YSA modelleri kullanılarak tahmin edilen daire sayıları ile gerçek daire sayılarının (a) eğitim, (b) doğrulama ve (c) test veri setleri için hazırlanan saçılım grafikleri



Hazırlanan saçılım grafikleri incelendiğinde verilerin TreeNet yönteminde köşegene daha fazla yakın olduğu görülmektedir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen model YSA yöntemi kullanılarak geliştirilen modele kıyasla gerçek daire sayılarına daha yakın sonuçlar vermiştir.

## Ruhsat Sayısına İlişkin Sonuçlar

Karma seçim veri setleri kullanılarak ruhsat sayısı değişkenini tahmin etmek için kurulan regresyon tabanlı KRA, MARS ve TreeNet yöntemlerinden eğitim, doğrulama ve test veri setleri için elde edilen performans istatistikleri Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Ruhsat sayısı değişkeni için geliştirilen regresyon tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

Eğitim	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	4293	4110	4294	3035	2621	1708
MAE (adet)	3207	3102	3208	2374	1964	649
NS	0,69	0,72	0,69	0,84	0,88	0,95
Doğrulama	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	8762	9057	8761	7741	7129	7677
MAE (adet)	6265	6739	6263	5569	4375	5481
NS	0,21	0,16	0,21	0,39	0,48	0,40
Test	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (adet)	4657	4564	4658	3919	3980	3472
MAE (adet)	3812	3871	3812	3177	2922	2864
NS	0,56	0,58	0,56	0,69	0,68	0,76

Tablo 7 incelendiğinde eğitim ve test veri setleri için en düşük RMSE, MAE değerleri ile en yüksek NS değerlerinin TreeNet modelinden elde edildiği görülmektedir. Doğrulama veri setlerine bakıldığında ise en düşük RMSE, MAE değerleri ile en yüksek NS değerlerinin MARS modelinden elde edildiği görülmektedir. Bir diğer deyişle, eğitim ve test verileri için en yüksek performans değerleri TreeNet modelinden ve doğrulama veri seti için en yüksek performans değerleri MARS yönteminden elde edilmiştir. KRA analizleri ruhsat sayısı için diğer tahmin modellerine göre iyi sonuçlar vermemiştir. Genel bir değerlendirme yapılacak olursa TreeNet yöntemi eğitim, doğrulama ve test kısımları olmak üzere her üç veri seti için yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği

söylenbilir. KRA yönteminde ise lineer, üssel ve eksponansiyel fonksiyonlarına ait model performanslarının birbirine yakın olduğu, bunlar arasından en yüksek doğruluğa sahip olanın kuadratik fonksiyon olduğu belirlenmiştir. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonları ile geliştirilen modellere ait katsayılar Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonlarının ruhsat sayısı değişkeni için kurulan modellerine ait katsayılar

Katsayılar	Lineer (KRA_Lin)	Üstsel (KRA_Üs)	Eksponansiyel (KRA_Eks)	Kuadratik (KRA_Kua)
w0	0,0405	0,4476	-67,5267	0,8565
w1	0,0921	0,1035	4,2131	0,3935
w2	0,2375	0,1548	0,0014	-1,7117
w3	-0,0226	-0,3719	0,0035	2,9116
w4	0,0166	0,1943	-0,0004	-3,6190
w5	0,2987	0,5615	0,0003	0,0962
w6			0,0044	-0,3438
w7				0,2374
w8				-0,5154
w9				-0,3047
w10				-4,3699
w11				2,4133
w12				0,6263
w13				-3,3887
w14				-1,2037
w15				3,0303
w16				0,1359
w17				1,4540
w18				0,2358
w19				3,1793
w20				-0,4257

MARS yönteminden elde edilen temel fonksiyonlar ve ruhsat sayısı değişkeninin elde edildiği denklem Tablo 9’da verilmiştir. Tablonun son satırında ruhsat sayısı değişkenini elde etmek için kullanılan denklem yer almaktadır. MARS ve TreeNet yöntemlerinden elde edilen denklemlerde kullanılan bağımsız değişkenlerin göreceli önemleri de Tablo 10’da verilmiştir.

Tablo 9. MARS yönteminden elde edilen temel fonksiyonlar ve ruhsat sayısı değişkeninin elde edildiği denklem

Temel fonksiyonlar	
BF1	$= \max(0, N - 0,808965);$
BF2	$= \max(0, 0,808965 - N);$
BF3	$= \max(0, Y - 0,633333);$
BF5	$= \max(0, G - 0,644563) * BF2;$
BF11	$= \max(0, Y - 0,366667) * BF2;$
BF13	$= \max(0, G - 0,1) * BF11;$
$F_{\text{ruhsat\_sayısı}} = 0,524018 - 2,71245 * BF1 - 0,533989 * BF2 + 0,594553 * BF3 + 2,71546 * BF5 - 1,00556 * BF13;$	

Tablo 10. Ruhsat sayısı değişkeninin tahmini için kullanılan bağımsız değişkenlerin MARS ve TreeNet yöntemlerinden elde edilen göreceli önemleri

MARS		TreeNet	
N	100	G	100
Y	35,24	E	97,3
G	15,28	F	96,8
		N	83,5
		Y	66,96

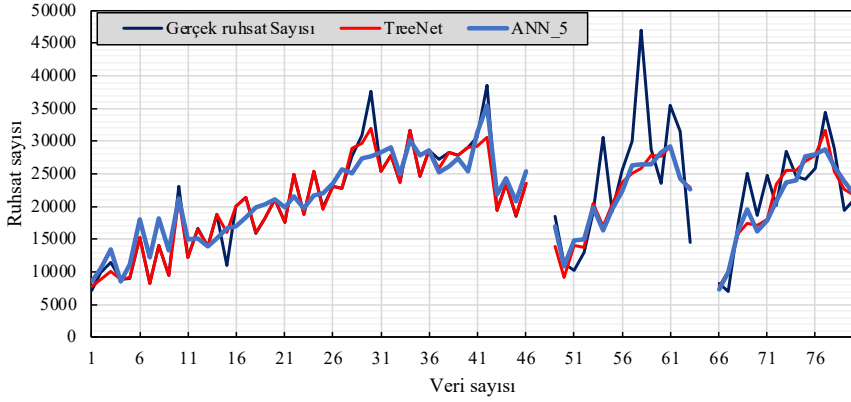
Tablo 10 incelendiğinde MARS yöntemi için elde edilen denklemlerde bağımsız değişkenlerden nüfus, yıl içerisindeki dönem ve gayri safi yurtiçi hasıla etkin olurken TreeNet yöntemi için elde edilen denklemde tüm değişkenler etkin olmuştur. MARS yöntemi için göreceli önemi en yüksek olan değişken nüfus değişkeni olurken TreeNet yönteminde göreceli önemi en yüksek olan değişken gayri safi yurtiçi hasıla olmuştur.

Karma seçim veri seti kullanılarak geliştirilen ve ruhsat sayısı değişkenini tahmin etmek için kurulan YSA tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setleri için elde edilen performans istatistikleri dört farklı nöron sayısı için Tablo 11'de verilmiştir. Tabloda verilen nöron sayıları için deneme yanılma yoluyla denemeler yapılmış ve tez kapsamında en yüksek performans değerlerini veren modellere ait sonuçlar sunulmuştur.

Tablo 11. Ruhsat sayısı değişkeni için geliştirilen YSA tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

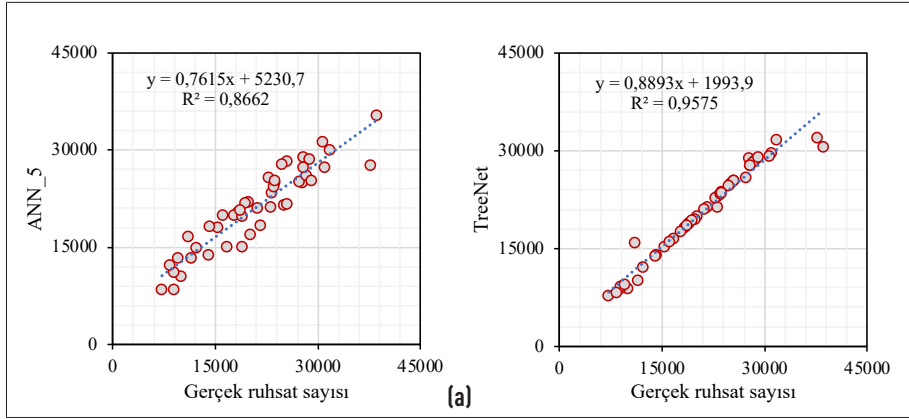
Eğitim	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (adet)	2956	2858	2908	2929	9939	15480	5800	9309
MAE (adet)	2404	2252	2287	2337	7444	12485	4509	7070
NS	0,85	0,86	0,86	0,86	-0,67	-3,04	0,43	-0,46
Doğrulama	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (adet)	7589	7918	7949	7890	5300	16887	7498	5441
MAE (adet)	5325	5526	5762	5451	4346	12880	5256	4444
NS	0,41	0,36	0,35	0,36	0,71	-1,92	0,42	0,70
Test	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (adet)	3599	3534	3628	3620	9537	15428	5758	9311
MAE (adet)	2997	2887	3152	2896	8242	11055	4847	8096
NS	0,74	0,75	0,74	0,74	-0,83	-3,79	0,33	-0,74

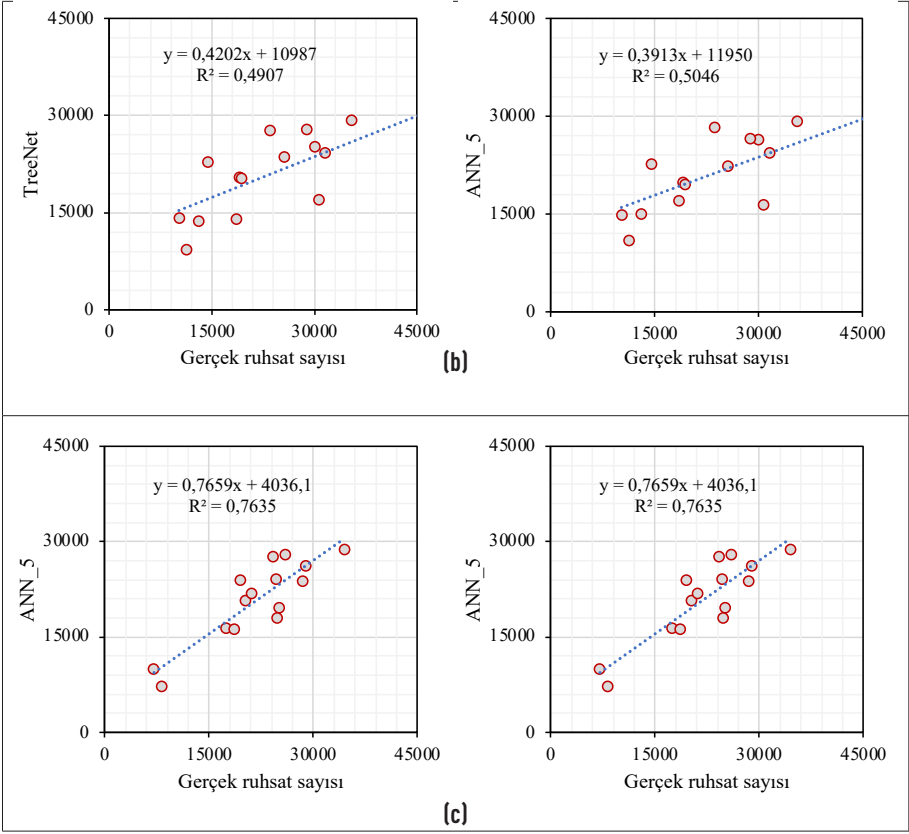
Tablo 11 incelendiğinde GWO algoritması kullanılarak kurulan modellere ait performans istatistiklerinin doğrulama veri setlerinde iyi sonuçlar verdiği, ancak eğitim ve test veri setleri açısından bakıldığında ise yalın YSA modellerinin daha iyi performanslar sergilediği görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapıldığında YSA\_GWO'nun YSA modellerine ait performansları iyileştirmede olduğu görülmektedir. Farklı nöron sayıları kullanılarak geliştirilen modellerden ise en yüksek doğruluğa sahip modelin 5 nöron kullanılarak kurulan ANN\_5 modeli olduğu belirlenmiştir. Regresyon tabanlı modeller ile YSA tabanlı modeller karşılaştırıldığında TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen modelin YSA modellerine kıyasla daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Bu karşılaştırmanın daha net görülebilmesi için ruhsat sayısı değişkenine ait zaman serileri hazırlanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Ruhsat sayısı değişkenine ait zaman serileri

Hazırlanan grafik incelendiğinde doğrulama veri setinde yer alan üç adet pik değerinin her iki yöntemle ait modelde de yeterli doğrulukta tahmin edilemediği görülmektedir. Bunun yanında eğitim ve test veri setlerinde tahmin edilen ruhsat sayılarının gerçek ruhsat sayılarına yakın olduğu görülmektedir. Tahmin modellerinden elde edilen ruhsat sayıları ile gerçek ruhsat sayıları sırasıyla eğitim, doğru ve test veri setleri için saçılım grafikleri hazırlanarak karşılaştırılmıştır (Şekil 6).





Şekil 6. TreeNet ve YSA modelleri kullanılarak tahmin edilen ruhsat sayıları ile gerçek ruhsat sayılarının (a) eğitim, (b) doğrulama ve (c) test veri setleri için hazırlanan saçılım grafikleri

Hazırlanan saçılım grafikleri incelendiğinde verilerin TreeNet yönteminde köşegene daha fazla yakın olduğu görülmektedir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen model YSA yöntemi kullanılarak geliştirilen modele kıyasla gerçek ruhsat sayılarına daha yakın sonuçlar vermiştir.

## Yüz Ölçümüne İlişkin Sonuçlar

Yüz ölçümü verilerinin pik değerlerin dahil olduğu veri setleri kullanılarak tahmin etmek için kurulan regresyon tabanlı KRA, MARS ve TreeNet yöntemlerinden eğitim, doğrulama ve test veri setleri için elde edilen performans istatistikleri Tablo 12'de verilmiştir.

Tablo 12. Yüz ölçümü değişkeni için geliştirilen regresyon tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

Eğitim	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (dekar)	15903	15875	15903	12222	12358	12981
MAE (dekar)	10033	10046	10029	8570	8091	5057
NS	0,39	0,39	0,39	0,64	0,63	0,59
Doğrulama	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (dekar)	10625	10475	10606	19547	9083	7577
MAE (dekar)	7649	7642	7649	14444	7113	5433
NS	0,43	0,44	0,43	-0,94	0,58	0,71
Test	KRA_Lin	KRA_Üs	KRA_Eks	KRA_Kua	MARS	TreeNet
RMSE (dekar)	11800	11275	11779	21921	11475	8062
MAE (dekar)	8753	8456	8706	17717	9213	7072
NS	0,35	0,41	0,35	-1,24	0,39	0,70

Tablo 12 incelendiğinde doğrulama ve test veri setleri için en düşük RMSE, MAE değerleri ile en yüksek NS değerlerinin TreeNet modelinden elde edildiği görülmektedir. Eğitim veri setlerine bakıldığında ise en düşük RMSE değerinin KRA kuadratik modelinden, en düşük MAE değerinin TreeNet modelinden ve en yüksek NS değerlerinin ise KRA kuadratik modelinden elde edildiği görülmektedir. Tabloya genel olarak bakıldığında ise TreeNet yöntemi eğitim, doğrulama ve test kısımları olmak üzere her üç veri seti için yüksek doğrulukta sonuçlar verdiği görülmektedir. Aynı bakış açısı ile değerlendirildiğinde MARS yöntemi TreeNet'ten sonra gelen en yüksek performanslı model olmuştur. KRA yönteminde ise lineer, üssel ve eksponansiyel fonksiyonlarına ait model performanslarının birbirine yakın olduğu, bunlar arasından genel olarak bakıldığında en yüksek doğruluğa sahip olanın üstel fonksiyon olduğu belirlenmiştir. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonları ile geliştirilen modellere ait katsayılar Tablo 13'de verilmiştir.

Tablo 13. Lineer, üssel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonlarının yüz ölçümü değişkeni için kurulan modellerine ait katsayılar

Katsayılar	Lineer (KRA_Lin)	Üstsel (KRA_Üs)	Eksponansiyel (KRA_Eks)	Kuadratik (KRA_Kua)
w0	0,1624	0,3376	-5,5852	0,2687
w1	0,0453	0,0680	1,7492	1,0849
w2	0,2663	0,3641	0,0075	-1,7927
w3	0,0984	-0,1514	0,0452	3,6997
w4	-0,2002	-0,0598	0,0155	-1,4081
w5	0,0544	0,1834	-0,0337	0,1635
w6			0,0092	0,9007
w7				4,6247
w8				-2,9568
w9				-2,1729
w10				7,1165
w11				-0,2446
w12				7,5253
w13				-16,3430
w14				-11,7764
w15				6,7731
w16				-0,4795
w17				-2,6567
w18				8,9522
w19				4,3104
w20				-3,2528

MARS yönteminden elde edilen temel fonksiyonlar ve yüz ölçümü değişkeninin elde edildiği denklem Tablo 14'te verilmiştir. Tablonun son satırında yüz ölçümü değişkenini elde etmek için kullanılan denklem yer almaktadır. MARS ve TreeNet yöntemlerinden elde edilen denklemlerde kullanılan bağımsız değişkenlerin göreceli önemleri de Tablo 15'de verilmiştir.

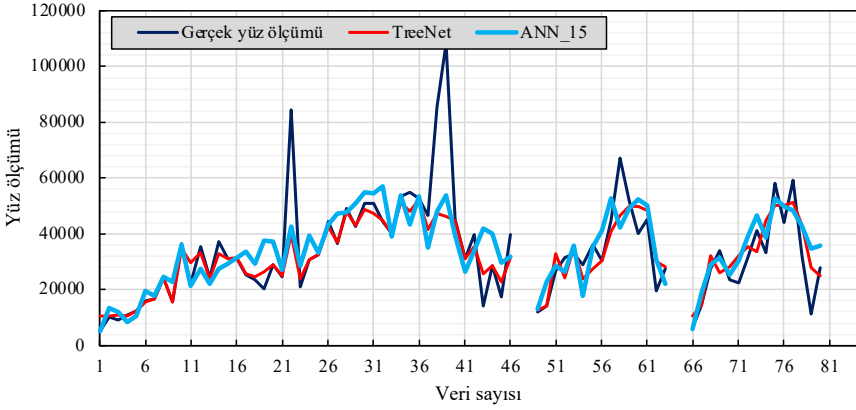




Tablo 16. Yüz ölçümü değişkeni için geliştirilen YSA tabanlı modellerin eğitim, doğrulama ve test veri setlerine ait performans istatistikleri

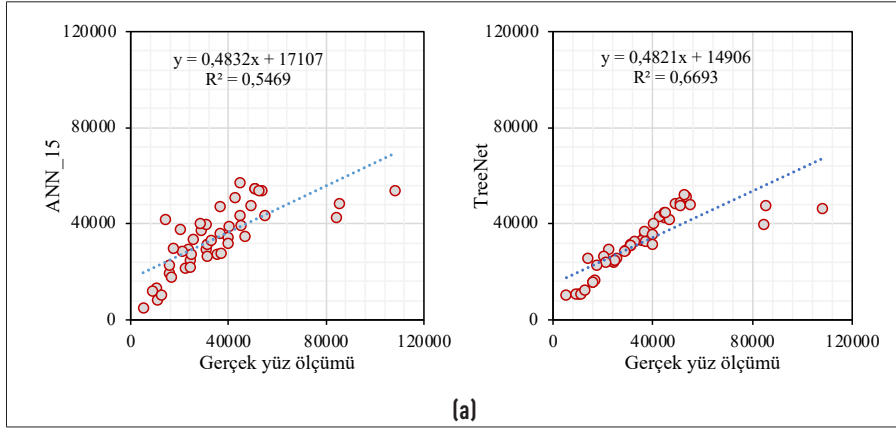
Eğitim	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (dekar)	14806	14209	13832	12221	28593	43188	16110	17356
MAE (dekar)	8755	8783	8290	7794	25664	39532	10895	11129
NS	0,47	0,51	0,54	0,64	-0,98	-3,51	0,37	0,27
Doğrulama	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (dekar)	9908	10123	9578	10224	28095	42245	8423	9892
MAE (dekar)	6629	8533	7455	8247	25601	38626	5846	7214
NS	0,50	0,48	0,54	0,47	-3,00	-8,04	0,64	0,50
Test	ANN_5	ANN_10	ANN_15	ANN_20	GWO_5	GWO_10	GWO_15	GWO_20
RMSE (dekar)	9954	10239	8548	10706	30266	43342	10804	11642
MAE (dekar)	7610	7608	6651	7803	27093	40588	8745	9773
NS	0,54	0,51	0,66	0,47	-3,27	-7,75	0,46	0,37

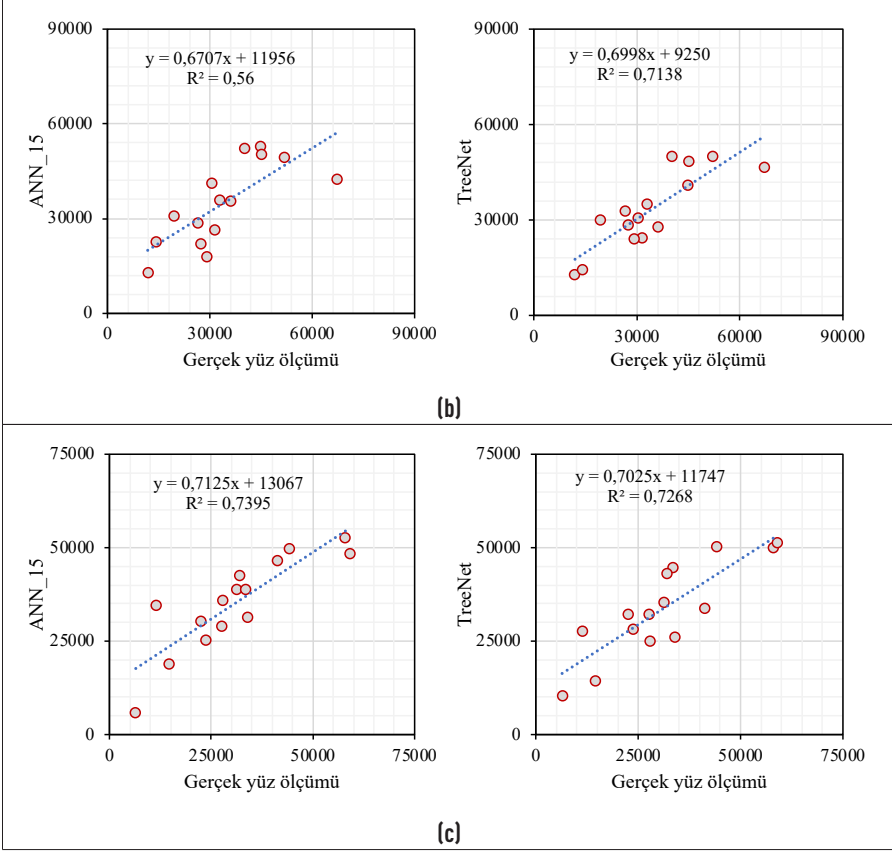
Tablo 16 incelendiğinde GWO\_15 modeline ait performans istatistiklerinin doğrulama veri setlerinde iyi sonuçlar verdiği, ancak eğitim ve test veri setleri açısından bakıldığında ise yalın YSA modellerinin daha iyi performanslar sergilediği görülmektedir. Farklı nöron sayıları kullanılarak geliştirilen modellerden ise en yüksek doğruluğa sahip modelin 15 nöron kullanılarak kurulan ANN\_15 modeli olduğu belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde regresyon tabanlı modeller ile YSA tabanlı modeller karşılaştırılınca TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen modelin YSA modellerine kıyasla daha yüksek performans gösterdiği görülmektedir. Bu karşılaştırmanın daha net görülebilmesi için yüz ölçümü değişkenine ait zaman serileri hazırlanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Yüz ölçümü değişkenine ait zaman serileri

Hazırlanan grafik incelendiğinde eğitim veri setinde yer alan iki adet pik değer her iki yonteme ait modelde de yeterli doğrulukta tahmin edilemediği görülmektedir. Bunun yanında doğrulama ve test veri setlerinde tahmin edilen yüz ölçümü değerlerinin gerçek yüz ölçümü değerlerine yakın olduğu görülmektedir. Tahmin modellerinden elde edilen yüz ölçümleri ile gerçek yüz ölçümleri sırasıyla eğitim, doğru ve test veri setleri için saçılım grafikleri hazırlanarak karşılaştırılmıştır (Şekil 8).





Şekil 8. TreeNet ve YSA modelleri kullanılarak tahmin edilen yüz ölçümleri ile gerçek yüz ölçümleri (a) eğitim, (b) doğrulama ve (c) test veri setleri için hazırlanan saçılım grafikleri

Hazırlanan saçılım grafikleri incelendiğinde verilerin TreeNet yönteminde köşegene daha fazla yakın olduğu görülmektedir. Bu grafiklerden de anlaşılacağı üzere TreeNet yöntemi kullanılarak geliştirilen model YSA yöntemi kullanılarak geliştirilen modele kıyasla gerçek yüz ölçümü değerlerine daha yakın sonuçlar vermiştir.

## Sonuçlar

Tahmin modelleri için 2002-2020 yılları arası istatistiki değerler ilgili kurumlardan tedarik edilmiştir. Tahmin modellerinin performanslarının yeterli derecede olabilmesi için yapılan çalışmalarda anlatıldığı düzende veri setlerinde karma seçim yapılmıştır. Klasik regresyon tabanlı modellerde lineer, üstel, eksponansiyel ve kuadratik fonksiyonlar ile TreeNet ve MARS yöntemleri

kullanılmıştır. YSA tabanlı modellerde ise farklı nöron sayılarında yalın halde YSA ve katsayıları optimize etmek için sürü zekasına dayalı meta-sezgisel algoritma olan gri kurt optimizasyon (GWO) algoritması kullanılmıştır. Yapılan tahmin modellerinin performans değerlerinin ölçülmesi sonucu iyi derecede tahminler yapıldığı belirlenmiştir.

Daire sayısını tahmini için yapılan modellemelerde TreeNet yöntemi gerçek değerlere en yakın tahminleri vermiştir. Tahmin modellerinin performans değerlerine göre TreeNet modeli iyi derecede ve YSA modeli çok iyi derecede sonuçlar vermiştir. YSA tabanlı model regresyon tabanlı modellemelerden elde edilen en iyi tahminden %27 oranında bir iyileştirme ile daha iyi tahminler yapmıştır.

Ruhsat sayısını tahmini için yapılan modellemelerde TreeNet yöntemi gerçek değerlere en yakın tahminleri vermiştir. Tahmin modellerinin performans değerlerini ölçen tabloya göre MARS yöntemi için de iyi derecede sonuçlar elde edilmiştir. MARS yöntemi, TreeNet yöntemi ile yapılan modellemelerden elde edilen en iyi tahminden %10 oranında bir iyileştirme ile daha iyi tahminler yapmıştır.

Yüz ölçümü tahmini için yapılan modellemelerde TreeNet yöntemi gerçek değerlere en yakın tahminleri vermiştir. Tahmin modellerinin performans değerlerini ölçen tabloya göre TreeNet modeli iyi derecede ve YSA modeli çok iyi derecede sonuçlar vermiştir. Yapar sinir ağları tabanlı model regresyon tabanlı modellemelerden elde edilen en iyi tahminden %24 oranında bir iyileştirme ile daha iyi tahminler yapmıştır.

Daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü için yapılan tahmin modellerine genel olarak bakıldığında YSA yöntemi klasik regresyon yöntemlerine göre daha iyi tahminler vermiştir. Tahmin modellerine eğitim, doğrulama ve test veri setleri için detaylı bakıldığında ise YSA'ya gri kurt optimizasyonunun eklenmesi ile elde edilen bazı modellemelerde diğer yöntemler ile kurulan modellere göre daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

YSA'ya gri kurt optimizasyonunun eklenmesi ile elde edilen modelin analizlerinde popülasyon sayısı 100, maksimum iterasyon sayısı 1000 ve alt-üst sınır değerler -5 ile +5 olarak dikkate alınmıştır. Bu tip modelin daha iyi tahmin sonuçları verebilmesi için popülasyon sayısı, iterasyon sayısı ve sınır değerlerin dahil edileceği bir parametre çalışması yapılabilir. Benzer çalışma daha güncel ve etkin optimizasyon tekniklerinin dahil edilmesi ile çalışılabilir.

Bu çalışmadan elde edilen tahmin modelleri kullanılarak, ilgili kuruluşlardan geleceğe yönelik alınabilecek veri setlerinin kullanılması ile kentsel dönüşüm maliyetleri hesabı için daire sayısı, ruhsat sayısı ve yüz ölçümü değerleri tahmin çalışmaları yapılabilir.

## Kaynakça

- Friedman, J. H. (1991). "Multivariate adaptive regression splines". *The annals of statistics*. 19(1), 1-67.
- Friedman, J.H. (2001) "Greedy function approximation: a gradient boosting machine". *The Annals of Statistics*. 29, 1189-1232. <https://doi.org/10.1214/aos/1013203451>
- Guan, Q., Wang, L. and Clarke, K. (2015). "An Artificial-Neural-Network-based, Constrained CA Model for Simulating Urban Growth". *Cartography and Geographic Information Science*. 32(4), pp.369-380.
- Güner, Ş.N. (2021). "Yapay Sinir Ağları Yöntemiyle Konut Satışlarının İncelenmesi: Ankara İli Örneği". *Fiscaoeconomia*. 5(1), 359-371.
- İlhan, A.T. and Öz, N.S. (2020). "Yapay Sinir Ağlarının Gayrimenkullerin Toplu Değerlemesinde Uygulanabilirliği: Gölbaşı İlçesi Örneği". *Hacettepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*. Cilt 2/Sayı 2/2020
- Maithani, S. (2009). "A neural network based urban growth model of an Indian city". *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 37(3), pp.363-376.
- Mirjalili, S., Mirjalili, S. M., and Lewis, A. (2014). "Grey Wolf Optimizer. *Advances in Engineering Software*". 69, 46–61. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.12.007>
- Mohammady, S., Delavar, M.R., Pahlavani, P. (2014). "Urban Growth Modeling Using An Artificial Neural Network A Case Study Of Sanandaj City, Iran, *The International Archives of the Photogrammetry*". *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-2/W3
- Özşahin, E. (2015). "Kent Planlaması ve Jeomorfoloji". *Kent Çalışmaları II*. (Editörler: Mehmet Karakayu, Artif Keçeli, Şaban Çelikoğlu). Pegem Akademi, Ankara 2015,
- Pijanowski, B., Pithadia, S., Shellito, B. and Alexandridis, K., (2005). "Calibrating a neural network-based urban change model for two metropolitan areas of the Upper Midwest of the United States". *International Journal of Geographical Information Science*. 19 (2), pp.197-215.
- Purevtseren, M., Choimaa, L., Dashlegtseg, G, Indra M., Tsegmid, B. (2019). "Urban Expansion Scenarios Based On Artificial Neural Network (Case Of Erdenet City, Mongolia)". *The 40th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS 2019)* October 14-18, 2019 / Daejeon Convention Center (DCC), Daejeon, Korea
- Sipahioğlu, N., and Çağdaş, G. (2022). "Scenario-Based Cellular Automata and Artificial Neural Networks in Urban Growth Modeling". *Gazi University Journal of Science*. 36(2)

Triantakonstantis, D., and Stathakis. D. (2015) "Urban Growth Prediction in Athens, Greece, Using Artificial Neural Networks, World Academy of Science". *Engineering and Technology International Journal of Architectural and Environmental Engineering* Vol:9, No:3, 2015.

Uçan, H.A. (2022). "Türkiye Kentsel Dönüşüm Uygulamaları ve Yapay Zeka Tabanlı Algoritmalar Kullanarak Kentsel Dönüşüm Sürecinin İncelenmesi" Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.

Wan, J. and Shi, H. (2021). "Research on Urban Renewal Public Space Design Based on Convolutional Neural Network Model". *Security and Communication Networks*. 2021, pp.1-9.

Yeh, A. and Li, X. (2003). "Simulation of Development Alternatives Using Neural Networks, Cellular Automata, and GIS for Urban Planning". *Photogrammetric Engineering andamp; Remote Sensing*. 69(9), pp.1043-1052.

Yılmazel, Ö., Afşar, A., Yılmazel, S. (2018). "Konut Fiyat Tahmininde Yapay Sinir Ağları Yönteminin Kullanılması, International Journal of Economic and Administrative Studies". *UIIID-IJEAS*, 2018 (20):285-300 ISSN 1307-9832