

Türkiye’de Yabancılara Konut Satışının Mars Yöntemi ile Tahmin Edilmesi

Ufuk AKYOL¹ , Murat GÜL^{2*} 

Öz

Türkiye ekonomisinin itici güçlerinden biri olan inşaat sektöründe, 2012 yılında yapılan yasal düzenlemelerle yabancılara konut satışı mümkün hale gelmiştir. Bu satışlar, ülkeye önemli bir döviz girdisi sağlamakta ve inşaat sektörünün canlı kalmasına katkıda bulunmaktadır. Yabancılara konut satışlarını etkileyen faktörlerin belirlenmesi ve bu satışların tahmin edilmesi, hem sektör hem de ülke ekonomisi açısından oldukça önemlidir. Bu çalışma, Türkiye’de yabancılara yapılan konut satışlarını, ekonomik ve sektörel değişkenler kullanarak MARS (Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları) yöntemiyle tahmin etmeyi amaçlamaktadır. Çalışmanın sonuçları, MARS modelinin yüksek açıklayıcılık gücüne sahip olduğunu (Adjusted R-squared: 0.9736) ve gerçek değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki Pearson korelasyon katsayısının 0.9906 olduğunu göstermektedir. Ayrıca, MARS modeli, geleneksel çok değişkenli regresyon modeline kıyasla tahmin performansını (MSE) %95 oranında iyileştirmiştir. Bu sonuç, modelin yabancılara konut satışlarını oldukça başarılı bir şekilde tahmin edebildiğini göstermektedir. Çalışma, MARS yönteminin karmaşık ilişkileri modellemede etkili bir araç olduğunu ve yabancılara konut satışının tahmini için uygun bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur. Sonuç olarak elde edilen bilgiler, karar alıcılar ile sektör paydaşları açısından önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yabancılara Konut Satışı, MARS, Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları.

Predicting of House Sales to Foreigners with Mars Method in Türkiye

Abstract

In the construction sector, which is one of the driving forces of the Turkish economy, it has become possible to sell housing to foreigners with the legal regulations made in 2012. These sales provide a significant foreign currency inflow to the country and contribute to the vitality of the construction sector. Determining the factors affecting housing sales to foreigners and estimating these sales is very important for both the sector and the country's economy. This study aims to estimate housing sales to foreigners in Turkey by MARS (Multivariate Adaptive Regression Extensions) method using economic and sectoral variables. The results of the study show that the MARS model has a high explanatory power (Adjusted R-squared: 0.9736) and that the Pearson correlation coefficient between the actual values and the predicted values is 0.9906. Furthermore, the MARS model improved predictive performance (MSE) by 95% compared to the traditional multivariate regression model. This result shows that the model can predict housing sales to foreigners quite successfully. The study revealed that the MARS method is an effective tool in modeling complex relationships and is a suitable method for estimating housing sales to foreigners. As a result, the information obtained provides important data for decision makers and sector stakeholders.

Key Words: Housing Sales to Foreigners, MARS, Multivariate Adaptive Regression Spline

^{1,2}Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Giresun, Türkiye, akyolufuk@gmail.com murat.gul@giresun.edu.tr

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author

1. Giriş

İnşaat sektörü, hem istihdam yaratması hem de ihracatı artırmasındaki payı ile Türkiye ekonomisi için lokomotif sektörlerin başında gelir. 200' den fazla alt sektörü de beslemektedir. 1,5 milyona yakın insanımızın geçimini sağlayan, bu sektöre girdi sağlayan ve faaliyetlerini bu sektördeki gelişmelere bağlı olarak devam ettiren diğer sektörlerle katkısı da dikkate alındığında inşaat sektörünün GSMH içindeki payının yaklaşık % 30 seviyesinde olduğu görülmektedir. Bu da diğer ülkelerde olduğu gibi gelişimin ana eksenini kaçınılmaz olarak inşaat sektörünün oluşturmakta olduğunu gözler önüne sermektedir (URL-1).

Türkiye'de yabancılara konut satışına 1980'li yıllara kadar güvenlik sorunu olarak bakılmış, bu yıllarda yabancılara konut sahibi olabilmesi için çıkarılan 5 yasal değişikliğin dördü Anayasa Mahkemesi'nce Anayasa'ya aykırı bulunmuş ve iptal edilmiştir.

Araştırmanın yöntemini oluşturan Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları (Multivariate Adaptive Regression Splines - MARS) ise son yıllarda, karmaşık veri yapılarındaki ilişkileri modellemek ve tahminlerde bulunmak amacıyla pek çok istatistiksel ve makine öğrenmesi yöntemi geliştirilmiştir, bu yöntemlerden biri olan Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları (Multivariate Adaptive Regression Splines - MARS), özellikle non-lineer ilişkilerin ve etkileşimlerin var olduğu durumlarda etkili bir modelleme aracı olarak öne çıkmaktadır. (Al-Sudani ve ark., 2019).

Bu yöntem, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal olmayan ve etkileşimli doğasını esnek bir şekilde ele alabilme kapasitesine sahiptir. MARS yöntemi, özellikle doğrusal olmayan ilişkilerin ve etkileşimlerin var olduğu durumlarda, parametrik regresyon modellerinin yetersiz kaldığı alanlarda tercih edilmektedir. Bu yöntemin avantajları arasında, modelin anlaşılabilirliği, yüksek tahmin doğruluğu ve karmaşık ilişkileri etkili bir şekilde saptayabilme yeteneği bulunmaktadır. Ayrıca, değişken seçimi yapabilme, değişkenlerin modeldeki katkılarını otomatik olarak belirlediğini, doğrusal olmayan ilişkileri etkin bir şekilde modelleyebilme ve birden fazla bağımlı değişken durumunda dahi uygulanabilir olması yer alır. Bu özellikler, MARS'ı tahmin ve sınıflandırma problemlerinde popüler bir seçenek haline getirmiş ve gelişmiş bir istatistiksel teknik olarak öne çıkarmaktadır (Friedman, 1991, Friedman ve Roosen ,1995).

MARS'ın sağladığı avantajlar ve uygulama kolaylıkları, bu yöntemi özellikle veri bilimi, mühendislik, ekonomi ve sağlık bilimleri gibi çeşitli disiplinlerde değerli bir araç haline getirmektedir. Bu çalışmanın amaçlarından biri MARS yönteminin anlaşılması ve uygulanması için bir kaynak sunmaktır. MARS yönteminin avantajları arasında, parametrik olmaması, herhangi bir fonksiyonel formun varsayılmaması, veriler arasındaki karmaşık ilişkileri otomatik olarak belirleyebilmesi ve değişkenler arası etkileşimleri dikkate alabilmesi yer almaktadır.

MARS yöntemi, Friedman (1991) tarafından geliştirilmiş olup, modelin karmaşıklığını otomatik olarak ayarlayabilme ve veri setindeki non-lineer ilişkileri ile etkileşimleri tanıma yeteneği sayesinde birçok alanda tercih edilmektedir. Bu alanlara ait çalışmalardan bazıları özetlenmiştir.

Kartal ve ark. (2018) tarafından gerçekleştirilen araştırma, MARS yönteminin Türkiye'deki döviz kurlarını etkileyen makroekonomik göstergelerin belirlenmesindeki etkinliğini incelemiştir. Bu çalışma, 2006:1-2017:6 dönemine ait aylık verileri kullanarak, ABD Doları ve Euro kurlarının çeşitli makroekonomik faktörlerden nasıl etkilendiğini araştırmıştır. Analizde bütçe açığı, cari açık, iç borç, ihracat, ithalat, yabancı yatırımlar, enflasyon, ham petrol ithalatı, işsizlik, faiz oranları, para arzı, ve rezervler gibi değişkenler dikkate alınmıştır. Araştırmanın bulguları, para arzı, bütçe açığı, yabancı yatırımlar, işsizlik ve iç borcun, Türkiye'de döviz kurlarını en çok etkileyen makroekonomik göstergeler olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışma, MARS yönteminin ekonomik veri analizindeki potansiyelini ve karmaşık ekonomik ilişkileri modellemedeki etkinliğini vurgulamaktadır. Ayrıca, araştırma, döviz kurlarının yönetimi ve politika yapım süreçleri için önemli bilgiler sunarak, ekonometrik modelleme literatürüne önemli bir katkıda bulunmuştur.

Diğer taraftan, Bağcı ve Çıtak (2020), MARS modelini kullanarak Türkiye İstanbul Borsa Endeksi (XU100) fiyatlarını etkileyen makroekonomik belirleyicileri tahmin etmeyi amaçlamıştır. Araştırma, iç borç stoku, kredi hacmi, döviz kuru ve diğer makroekonomik değişkenlerin XU100 fiyatları üzerinde önemli etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışma, MARS yönteminin makroekonomik değişkenler ve hisse senedi fiyatları arasındaki ilişkileri efektif bir şekilde modelleyebildiğini ve yüksek yorumlanabilirlik sunarak finansal tahminlerde etkili bir araç olabileceğini ortaya koymuştur.

Türkçe literatürde MARS yönteminin sınırlı kullanımı olmasına rağmen, uluslararası literatürde MARS yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. MARS yönteminin analitik yetenekleri sayesinde ileri regresyon tekniklerini etkili bir şekilde uygular ve bilimsel araştırmalar alanında araştırmacılara önemli avantajlar sunar. Ayrıca, normallik varsayımı gerektirmemesi ve birden fazla bağımlı değişken durumlarında da kullanılabilmesi gibi önemli özellikleri dikkat çeker. MARS'ı pratikte uygulamak isteyen araştırmacılar için R-Project veya Salford Üniversitesi tarafından geliştirilen SPM yazılımı gibi araçlarını kullanabilirler (URL-2).

Bose ve arkadaşları (2024) tarafından yapılan çalışma, hisse senedi fiyat tahminleri için MARS ve Derin Öğrenme (DL) yöntemlerinin hibrit bir modelini önermiştir. Bu çalışma, MARS'ın finansal göstergeleri etkili bir şekilde seçebilme ve DL ile birleştirildiğinde yüksek doğrulukta tahminler üretebilme kapasitesine odaklanmıştır. Araştırmanın sonuçları, MARS ve DL kombinasyonunun, hisse senedi fiyat tahminlerinde üstün performans sergilediğini göstermiştir.

Yüksek boyutlu verilerin analizi, çağımızın en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Özellikle, büyük veri çağında, karmaşık veri setlerini etkili bir şekilde analiz edebilmek ve

anamlı sonuçlar çıkarabilmek için gelişmiş istatistiksel yöntemlere olan ihtiyaç artmıştır. Bu bağlamda, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) yöntemi, Friedman (1991) tarafından geliştirilen ve yüksek boyutlu veri setlerinde esnek regresyon modellemesi yaparak ilişkileri ve etkileşimleri keşfetmeye yönelik güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, rekürsif bölme yaklaşımıyla regresyon ve spline modelleme kavramlarını başarılı bir şekilde birleştirir ve istatistik ile veri bilimi alanlarında yeni ve esnek regresyon modelleme teknikleri geliştirme ihtiyacına odaklanır. MARS yöntemi, veriye duyarlı bir yaklaşım sunarak, lineer olmayan ilişkiler ve yüksek dereceli etkileşimler dahil olmak üzere karmaşık yapıları modelleyebilmektedir (Friedman, 1991).

Bu çalışmalar, MARS'ın ilgili alanlardaki araştırmacılar ve uygulayıcılar için değerli bir araç olduğunu kanıtlamaktadır. Bu yöntem, özellikle non-lineer ilişkilerin ve değişkenler arası etkileşimlerin varlığında, geleneksel regresyon tekniklerine kıyasla üstün performans sergileyebilmektedir. Çok değişkenli uyarlamalı regresyon eğrileri (MARS), geleneksel regresyon yöntemlerine göre çeşitli avantajlar sunar. MARS, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri geleneksel regresyon yöntemlerinden daha etkili bir şekilde modelleyebilir. Regresyon yöntemine yönelik bir diğer eleştiri ise, bu yöntemlerin dayandığı güçlü model varsayımlarının olmasıdır. Bu özellik, özellikle karmaşık veri kümeleriyle çalışırken önemlidir (Lu ve ark., 2021).

MARS, değişkenler arasındaki etkileşimleri otomatik olarak belirleyip modelleyebilirken, geleneksel regresyon yöntemleri genellikle bu etkileşimlerin manuel olarak belirtilmesini gerektirir (López ve Kholodilin, 2023).

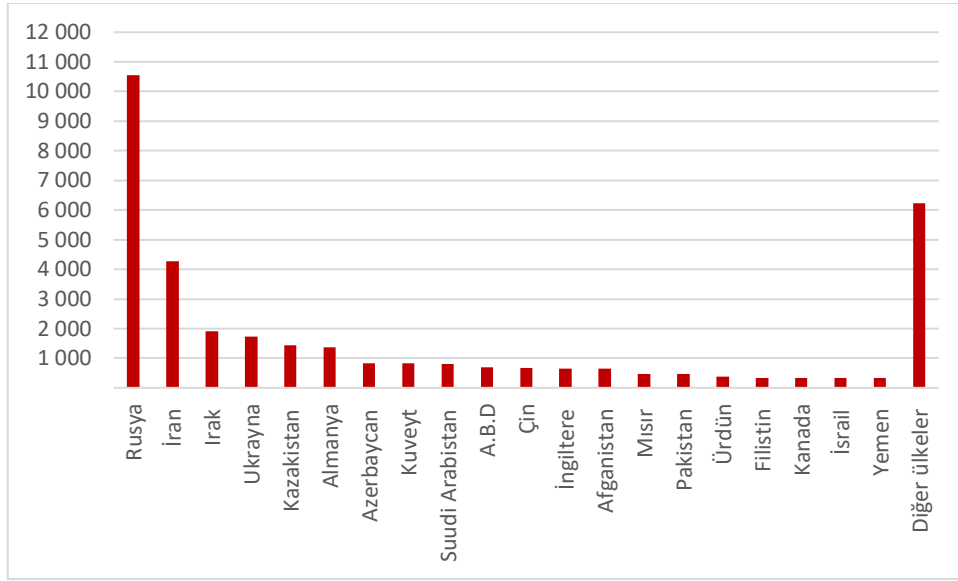
MARS, hem kategorik hem de sürekli değişkenleri işleyebilen esnek bir algoritmadır. Bu özellik, gerçek dünya verilerinin genellikle hem sayısal hem de kategorik değişkenler içermesi nedeniyle önemli bir avantajdır. Geleneksel regresyon modelleri ise genellikle sürekli değişkenler için tasarlanmıştır ve kategorik değişkenleri dahil etmek için genellikle bu değişkenlerin dönüştürülmesi veya kukla değişkenler oluşturulması gerekir. MARS, bu dönüştürme ihtiyacını ortadan kaldırarak modelleme sürecini basitleştirir ve potansiyel bilgi kaybını önler. Bu, özellikle değişkenler arasındaki ilişkilerin doğrusal olmadığı durumlarda önemlidir (Nisbet ve ark., 2018; Çanga ve ark., 2021).

MARS, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri ve değişkenlerin etkileşimlerini modele katması nedeniyle, yabancılara konut satışlarını etkileyen birçok dinamik faktörü birlikte ele almayı mümkün kılmıştır. Geleneksel regresyon yönteminin bu etkileri göz ardı etmesi, MARS yöntemine dayalı çalışmaları daha cazip hale getirmektedir.

1.1. Yabancılara Yapılan Konut Satış İstatistikleri

Tapu kanunundaki değişikler sonucunda yabancılar Türkiye’ de konut edinme hakkına sahip olmuşlardır. Konut edinebilen ülke vatandaşlarının çeşitliliği konut satışı yapılan bölgelerin de değişiklik göstermesine neden olmuştur.

Konut satışları 2023 yılında bir önceki yıla göre % 17 azalarak 1 milyon 225 bin 926 olmuş yabancılara yapılan konut satışları 2023 yılında bir önceki yıla göre % 48 azalmış ve 35.005 adet olarak kayıtlara geçmiştir (URL-3).



Şekil 1. Ülke uyruklarına göre yabancılara yapılan konut satış sayıları (2023)

Yabancılara yapılan konut satışı sayısı ilk beş (2023)

Rusya	10.560 adet
İran	4.272 adet
Irak	1.917 adet
Ukrayna	1.720 adet
Kazakistan	1.440 adet

Şekil 1’de 2023 yılında, genel konut satışları %17 azalırken, yabancılara yapılan satışlar daha sert bir düşüş göstererek %48 azalmış ve 35.005 adede gerilemiştir. Rusya’dan gelen talep devam etmiş ve 10.560 adet ile ilk sırada yer almıştır. İran ve Irak uyruklularının satın almalarında önceki yıllara göre azalma gözlenirken, Ukrayna ve Kazakistan’dan gelen alıcılar ilk beşte yer almıştır. Bu değişim, 2022 yılında başlayan Rusya-Ukrayna savaşının etkileriyle ilişkilendirilebilir.

Orta doğudan gelen talep devam etmesine rağmen, 2022 yılında başlayan Rusya Ukrayna savaşının etkisi ile Rusya birinciliğe oturmuştur. Bu veriler, Türkiye’nin yabancı yatırımcılar için

popüler bir gayrimenkul pazarı olduğunu göstermektedir. Bu durum, Türkiye'nin coğrafi konumu, kültürel bağları, gayrimenkul fiyatlarındaki rekabetçilik ve yabancı yatırımcılara tanınan çeşitli teşvikler gibi faktörlere bağlı olabilir. Yabancı uyruklulara yapılan konut satışlarının, ülke ekonomisine ve inşaat sektörüne katkı sağladığı ve bu satışların demografik yapı, yerel ekonomi ve gayrimenkul piyasası üzerinde etkileri olabileceği düşünülebilir.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde çalışmamızda kullanılan MARS yönteminin matematiksel ve teorik özellikleri hakkında bilgi verilmiştir.

2.1. Mars Yöntemi

Çok değişkenli uyarlamalı regresyon çizgileri (MARS), ilk olarak 1991'de Friedman tarafından tanıtılmıştır. Bu yöntem, neredeyse toplamsal olan veya daha az değişken içeren etkileşimlerle ilişkileri düzenleme konusunda esnek bir yöntemdir. MARS, girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki temel fonksiyonel ilişki hakkında herhangi bir varsayıma sahip değildir (Friedman, 1991; Samui, 2012). MARS'ın bir ana avantajı, temel fonksiyonların katkılarını, toplamsal ve etkileşimli öngörücülerin etkilerinin yanıt değişkenini belirlemesine izin verecek şekilde tahmin edebilmesidir (Cheng ve Cao, 2014). MARS tekniği esnek regresyon modelleri üretir. Bu modellerde, çözüm alanı, öngörücü değişkenlerin çeşitli aralıklarına bölünür ve her aralığa bireysel çizgiler uydurulur (Friedman, 1991). Her çizgi fonksiyonu, belirli bir aralıkta tanımlanır ve aralığın bitiş noktalarına düğümler denir. MARS iki adımlı bir prosedürden oluşur. İleri adımda, fazla sayıda ekstra düğümlü, aşırı uyumlu bir model geliştirilir. Geri adımda, gereksiz düğümleri çıkarmak için bir budama işlemi kullanılır. Fonksiyon, aşağıdaki iki fonksiyonu kullanarak X değişkenini Y yeni bir değişkene dönüştürür (Sharda ve ark., 2006).

$$\begin{aligned} Y &= \max(0, X - c) \\ Y &= \max(0, c - X) \end{aligned} \quad (2.1)$$

c, seçilen bazı eşik değerini belirtir. Temel fonksiyonların sürekliliğini korumak için, iki bitişik eğri bir düğümden birbirini keser. Böylece fonksiyon her bir girdi değişkenine ileri ve geri adımlı yöntemle uygulanarak fonksiyon değerinin değiştiği düğüm noktalarının yerini belirlemek için kullanılır (Adamowski ve ark., 2012).

MARS yöntemi şu şekilde tanımlanabilir.

$$\hat{Y} = \beta_0 + \sum_{m=1}^M \beta_m \prod_{k=1}^{K_m} h_{km}(X_{v(k,m)}) \quad (2.2)$$

Burada;

\hat{Y} : Bağımlı değişkenin tahmin değerini,

β_0 : Modeldeki sabit terimi,

β_m : m inci temel fonksiyon katsayısı

$h_{km}(X_{v(k,m)})$: Temel fonksiyonu,

k. çarpanın m. component bakımından bağımsız değişkene ait indeksi,

K_m : İnteraksiyon derecesini sınırlayan parametre değerini göstermektedir

Temel fonksiyonlar, h_{km} , birinci dereceden kırılmış güç eğrileridir :

$h_{km}(x) = \pm(x - t_{km})_+$, t_{km} girdi değişkeninin düğüm noktasıdır.

$$(x - t)_+ = \begin{cases} 0, & x \leq t \\ x - t, & x > t \end{cases} \quad (2.3)$$

Aslında, $(x - t)_+ = \max(0, x - t)$.

$K_m = 1$ için model toplamsaldır.

$K_m = 2$ için model çiftli etlileşimlere izin verir.

Kullanıcı, modelde izin verilen temel fonksiyonların maksimum sayısı olan M 'yi belirler. Yöntemin kurulumu iki aşamada gerçekleşir.

1.aşamada sabit terimle başlayan MARS yöntemi bağımsız değişkenleri kullanarak tüm muhtemel fonksiyonları üretir. Temel fonksiyon sayısı maksimum seviyeye ulaşıncaya kadar ilave devam eder. Temel fonksiyonların sürekli ilave edilmesi hem karmaşık hem de esnek bir model oluşturur.

2.aşamada uyum optimizasyonu bulunana kadar her adımda yonteme etkisi en az olan temel fonksiyonlardan biri geriye doğru adım algoritması ile çıkarılır bağımsız değişkenlerin yöntem için etkili olanları ve etkileşimde olduğu değişkenler belirlenerek hata kareleri toplamı en uygun yöntem oluşturulur. MARS yöntemi için Friedman (1991) tarafından geliştirilen Genelleştirilmiş Çapraz

Doğrulama (GCV) modeli ile budama algoritması yapılır . Genelleştirilmiş Çapraz Doğrulama (GCV) şu şekilde tanımlanabilir;

$$GCV(\lambda) = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_{ip})^2}{\left[1 - \frac{M(\lambda)}{n}\right]^2} \quad (2.4)$$

Burada,

n : Veri sayısını ,

y_i : i . bağımlı değişken değerini,

y_{ip} : i . bağımlı değişkenin tahmin değerini,

$M(\lambda)$: λ terimlerini içeren modelin karmaşıklığına ilişkin ceza fonksiyonunu göstermektedir.

Model, λ temel fonksiyon içerir.

Klasik splinelarda, düğümler önceden belirlenmiş ve eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. MARS'ta ise, düğümler bir arama prosedürü ile bulunur. Sonuç olarak, modele sadece gereksinim duyulan kadar düğüm kullanılır. Daha sonra, genel uyuma en az katkıda bulunan düğümler, geriye doğru budama adımı sırasında çıkarılır. MARS'ta, düğümlerin çok boyutlu olarak aranmasını genelleştirmek için temel fonksiyonlar kullanılır. Temel fonksiyonlar, öngörücü ve yanıt değişkeninin ilişkisini yeniden ifade eder (Friedman ve Roosen, 1995).

MARS'ı diğer parametrik olmayan regresyon tekniklerine tercih etmenin iki ana avantajı, büyük sayıda tahmin edici değişkeni (genellikle yanıtla doğrusal olmayan) etkin bir şekilde ele alabilmesi ve çok yönlü etkileşimleri esnek bir şekilde yönetebilmesidir. Bu verimlilik, regresyon eğrilerini temel fonksiyonlar olarak kullanan ve en küçük kareler yaklaşımıyla bir model seçimi/uyarlama algoritmasına dayanır.

Orijinal MARS algoritması (Friedman ve Roosen, 1995), Gaussian varsayımını esnetmek amacıyla birkaç açıdan geliştirilmiştir. MARS modellemesi için en tanınmış R paketi, earth (Milborrow 2017a, 2017b)'dir. Bu paket, genelleştirilmiş doğrusal model (GLM) kullanarak, orijinal MARS algoritmasıyla önceden seçilmiş temel fonksiyonları üzerinden normal olmayan yanıtlar için model uyarlama yeteneğine sahiptir. Korelasyona sahip tahminciler, modelin performansını dramatik şekilde etkilemese de, modelin yorumlanmasını zorlaştırabilir. (Kuhn ve Johnson, 2013).

MARS güçlü model varsayımları olmadan değişkenler arasındaki karmaşık doğrusal olmayan ilişkileri modelleyebilir. Diğer yandan, sinir ağlarının aksine, MARS birçok potansiyel bağımsız değişken göz önünde bulundurulduğunda bağımsız değişkenlerin bağımlı değişkene olan göreceli önemini yakalayabilir. Üçüncü olarak, MARS uzun bir eğitim sürecine ihtiyaç duymaz ve bu da

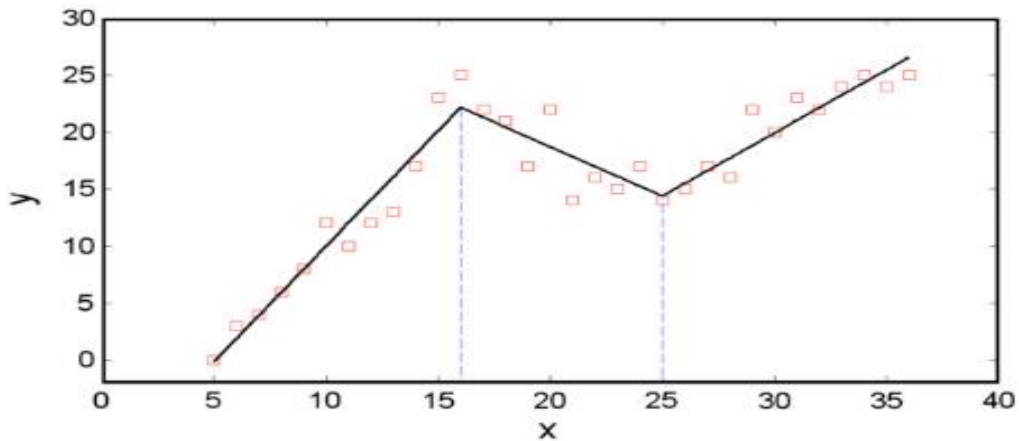
özellikle veri seti büyük olduğunda model oluşturma süresinden çok tasarruf sağlar. (Lee ve Chen, 2005).

MARS, tahmin ve sınıflandırma problemleri alanlarında modelleme problemlerinde yaygın olarak kullanılmıştır (De Gooijer ve ark., 1998; Friedman ve Roosen, 1995; Griffin ve ark., 1997; Kuhnert ve ark., 2000; Lewis ve Stevens, 1991; Nguyen ve ark., 1996; Ohmann ve ark., 1996).

Girdiler ile hedef değişken arasındaki ilişkiler üzerine varsayımlar yapmadan (Friedman, 1991; Butte ve ark., 2010) araştırır. Aksine, MARS, eğitim verilerinden elde edilen ilişkiler temelinde tahminler oluşturur ve bu veriler, eşit aralıklarla bölünmüş spline'lara ayrılır (Friedman, 1991). Her spline için, girdiler, x , alt gruplara ve düğümlere ayrılır, bu düğümler x ile aralık arasında yer alarak alt grupları ayırır (Friedman, 1991; Sephton, 2001). Düğümler, baz fonksiyonlarının sayısının üç ila dört katı kadardır (Sharda ve ark., 2008).

En düşük GCV değerine sahip "en iyi" modeli belirlemek amacıyla, budama aşamasında bazı temel fonksiyonlar çıkarılır (Samui, 2012; Kisi, 2015).

Etkili tahmin yapmak için böl ve yönet stratejisini kullanır. Böl ve yönet stratejisi, eğitim veri setinin farklı parçalı doğrusal regresyon fonksiyonlarına sahip birkaç doğrusal parçalı segmente bölüldüğü şekilde uygulanır ve bunlar MARS modelini oluşturmak üzere bir araya getirilir. Doğrusal parçalı segment regresyon fonksiyonları, temel fonksiyonlar (BF'ler) olarak bilinir. MARS modelinin vazgeçilmez bir parçası olan BF'ler, MARS modelinin fonksiyonu Y 'yi geliştirmek için bir araya getirilir.

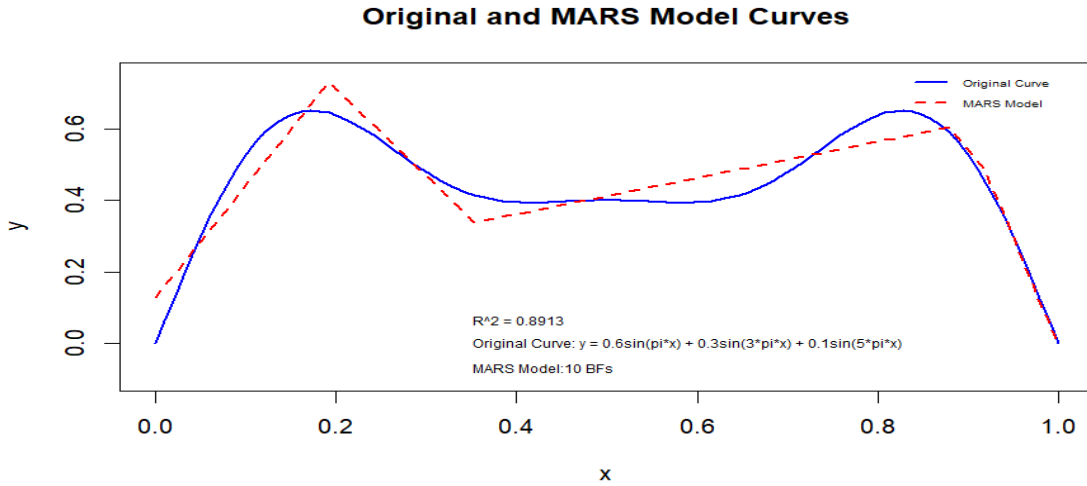


Şekil 2. Basit bir MARS örneği için düğümler ve doğrusal eğriler (splines).

Şekil 2, Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) yönteminin basit bir örneğini göstermektedir. X eksenindeki bağımsız değişkenin Y eksenindeki bağımlı değişken üzerindeki etkisini modellemek için kullanılan doğrusal eğriler (spline) ve düğümler (knots) gösterilmektedir.

Eğriler, bağımsız değişkenin farklı aralıklarındaki değişimleri yakalamak için farklı eğimlere sahiptir ve düğümler bu aralıkların sınırlarını belirlemektedir. Grafikteki kareler, gerçek veri noktalarını temsil etmektedir ve çizilen eğriler, bu veri noktalarına en iyi uyan modeli göstermektedir. MARS yöntemi, verilerin doğrusal olmayan ilişkilerini ve karmaşık etkileşimlerini modellemek için kullanılan esnek bir regresyon tekniğidir.

MARS modelinin orijinal eğrilere yaklaşımını göstermek için 2 grafik oluşturulmuştur.



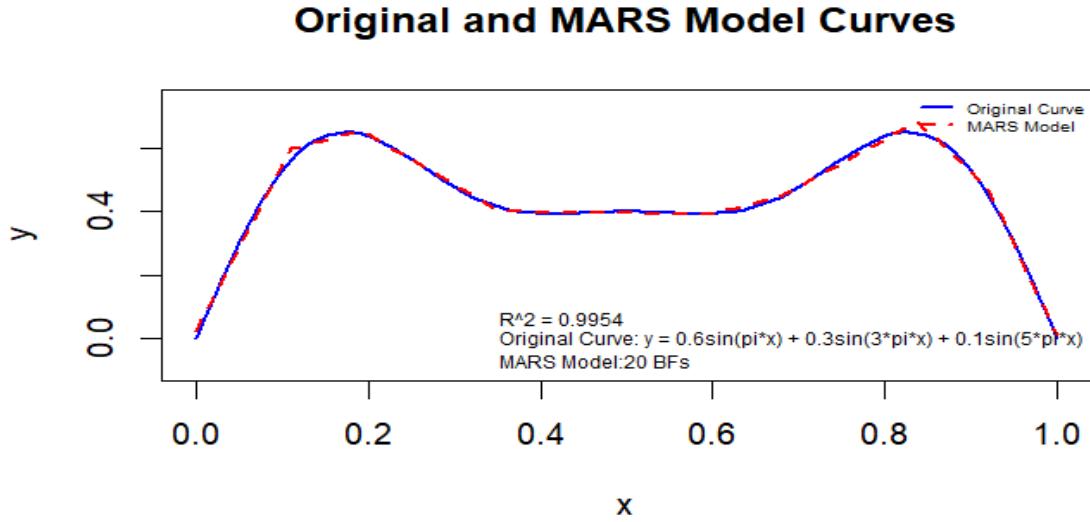
Şekil 3. $y=0.6\sin(\pi*x)+0.3\sin(3*\pi*x)+0.1\sin(5*\pi*x)$ fonksiyonuna MARS yöntemi ile yaklaşımı BF=10

Şekil 3'deki grafikte mavi renkli çizgi orijinal eğriyi temsil ederken kırmızı renkli kesikli çizgi MARS modelini temsil etmektedir.

Veri setinin doğrusal olmayan özellikleri, model tarafından otomatik olarak seçilen knot noktaları ile tanımlanan parçalı doğrusal fonksiyonların birleştirilmesi yoluyla ele alınmıştır. Grafikte, MARS yönteminin ürettiği tahmin eğrisinin orijinal veri noktalarını genel eğilimleri koruyarak takip ettiği gözlenmektedir. Bu, modelin yüksek öngörü gücüne ve genellemeye olan yeteneğine işaret eder. Ayrıca, MARS modelinin, verinin doğrusal olmayan ve etkileşimli yapıları içindeki düğüm noktalarını (knots) ve eğim değişikliklerini doğru bir şekilde tespit ettiği ve bu sayede veri setinin yerel varyasyonlarını da kapsayabilecek esnek bir model oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Orijinal eğri, üç farklı sinüs fonksiyonunun toplamı olarak ifade edilmiştir ($y = 0.6\sin(\pi*x) + 0.3\sin(3*\pi*x) + 0.1\sin(5*\pi*x)$) ve bu fonksiyonlar grafikte mavi renkli çizgi ile gösterilmiştir. MARS modeli ise 10 adet temel fonksiyon (BFs) kullanılarak oluşturulmuş ve kırmızı renkli kesikli çizgi ile gösterilmiştir. R2 değeri 0.8913 olarak belirtilmiş olup, bu değer modelin uyumunu göstermektedir. Grafikte, her iki eğrinin de genel olarak birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Ancak, x ekseninde 0.2 ile 0.4 arasında ve 0.6 ile 0.8 arasında MARS modelinin

orijinal eğriden biraz sapma gösterdiği görülmektedir. Bu sapmalar, MARS modelinin bu bölgelerde orijinal eğriyi tam olarak takip edemediğini göstermektedir. Ancak orijinal eğri ve MARS model eğrisi arasında bazı farklılıklar olsa da, genel olarak MARS modeli orijinal eğriyi iyi bir şekilde taklit ediyor gibi görünmektedir. Şimdi MARS modeli 20 adet temel fonksiyon (BFs) kullanılarak oluşturulur ise aşağıdaki grafik elde edilir.



Şekil 4. $y=0.6\sin(\pi x)+0.3\sin(3\pi x)+0.1\sin(5\pi x)$ fonksiyonuna MARS yöntemi ile yaklaşımı BF=20

Şekil 4'deki grafikte mavi renkli çizgi orijinal eğriyi temsil ederken kırmızı renkli kesikli çizgi MARS modelini temsil etmektedir.

Orijinal eğri, üç farklı sinüs fonksiyonunun toplamı olarak ifade edilmiştir ($y = 0.6\sin(\pi x) + 0.3\sin(3\pi x) + 0.1\sin(5\pi x)$) ve bu fonksiyonlar grafikte mavi renkli çizgi ile gösterilmiştir. MARS modeli ise 20 adet temel fonksiyon (BFs) kullanılarak oluşturulmuş ve kırmızı renkli kesikli çizgi ile gösterilmiştir. R2 değeri 0.9954 olarak belirtilmiş olup, bu değer modelin uyumunun ne kadar iyi olduğunu göstermektedir. R2 değeri 1'e ne kadar yakınsa, modelin verilere o kadar iyi uyduğu anlamına gelir. Bu durumda, R2 değeri oldukça yüksek olduğu için MARS modelinin verilere iyi uyduğu söylenebilir.

Bu grafikler MARS yönteminin zor eğrileri bile takip etme yeteneğini olduğunu göstermektedir. MARS, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasındaki fonksiyonel ilişkiler hakkında herhangi bir varsayımda bulunmaz. Genel olarak, spline'lar pürüzsüz bir şekilde birbirine bağlanır ve bu parçalı eğriler (polinomlar), aynı zamanda temel fonksiyonlar (BF'ler) olarak da bilinir, hem lineer hem de doğrusal olmayan davranışları ele alabilen esnek bir model sonucunu doğurur. Parçalar arasındaki bağlantı/arayüz noktalarına düğümler denir. Bir veri bölgesinin sonunu ve bir diğerinin

başlangıcını işaretleyen, aday düğümler her girdi değişkeninin aralığı içinde rasgele pozisyonlara yerleştirilir.

MARS, tüm olası tek değişkenli aday düğümleri ve tüm değişkenler arasındaki etkileşimleri adım adım arayarak BF'leri (Basis Functions - Temel Fonksiyonlar) oluşturur. Düğüm konumlarını otomatik olarak seçmek için uyarlamalı bir regresyon algoritması benimsenmiştir. MARS algoritması, ileri bir faz ve geri bir faz içerir. İleri faz, her bir öngörücü değişkenin aralığı içinde rastgele pozisyonlara aday düğümler yerleştirilerek bir çift BF tanımlar. Her adımda, model, kareler toplamı residual hatasında maksimum azalmayı sağlayacak şekilde düğümü ve karşılık gelen BF çiftini adapte eder. BF'lerin eklenmesi süreci, genellikle çok karmaşık ve aşırı uyumlu bir modelin oluştuğu maksimum sayıya ulaşana kadar devam eder. Geri faz, en az katkıda bulunan gereksiz BF'leri silmeyi içerir.

Sonuç olarak, çok sayıda değişkeni bir arada bağımsız ve etkileşimli olarak modele dahil edebilen, güçlü algoritmalarla parametre tahminlemesine olanak sağlayan parametrik olmayan yeni yöntemlerden biri de Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları (Multivariate Adaptive Regression Splines; MARS)' dır.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu bölümde, Türkiye'de yabancılara yapılan konut satışlarının sayısını tahmin etmek amacıyla Mars yöntemi kullanıldı. Ocak 2013'ten Ağustos 2023'e kadar olan dönemi kapsayan 128 aylık veri seti üzerinde çalışıldı. Bağımlı değişken olarak yabancılara yapılan konut satış sayısı belirlenmiştir. Bağımsız değişkenler ise konut faiz oranı, satış fiyatları beklentisi, inşaat ciro endeksi, işsizlik oranı, dolar satış fiyatı, alınan kayıtlı sipariş endeksi, tüketici fiyat endeksi (TÜFE) ve inşaat faaliyetleri endeksi olarak seçilmiştir (URL-3). Ayrıca, dolar satış fiyatındaki aylık artış ve azalış yüzdesi de analize dahil edilmiştir (URL-4). Bağımsız değişkenlerin seçimi için bağımlı değişkenimiz olan yabancılara yapılan konut satışı değişkeni ile ilişkili değişkenler olabilmeleri göz önüne alınmıştır. Bu değişkenlerin yabancılara yapılan konut satışları üzerindeki etkisi Mars yöntemiyle incelenecek ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Kullanılan Bağımsız Değişkenler (aylık)

1. Konut faiz oranı
2. Satış fiyatları beklentisi
3. İnşaat ciro endeksi
4. İşsizlik
5. Dolar satış fiyatı azalış/artış yüzdesi

6. Alınan Kayıtlı Sipariş Endeksi
7. Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE)
8. İnşaat Faaliyetleri Endeksi

Bağımlı Değişken : Yabancı Konut Satış Sayısı

Tablo 1. MARS Yöntemi ile Bulunan Katsayılar

	Katsayılar	Tahmin	Std.Hata	Pr(> t)	
	Sabit	13530	1667	2,37e-12	***
B1	h(tufe-604.84)	35,60	8,656	8,63e-05	***
B2	h(inscirend-525.162)	16,90	2,185	1,44e-11	***
B3	h(525.162-inscirend)	-23,20	4,325	6,28e-07	***
B4	h(dolar--3.11)	36,69	5,126	2,14e-10	***
B5	h(-3.11-dolar)	272,3	49,14	3,35e-07	***
B6	h(tufe-904.79)	-24,06	2,274	2,0e-16	***
B7	h(20.14-konutfaiz)	-126,1	22,15	1,56e-07	***
B8	h(inscirend-172.765)*h(604.84-tufe)	-0,04798	0,01386	0,000825	***
B9	h(172.765-inscirend)*h(604.84-tufe)	0,07685	0,01633	9,09e-06	***
B10	h(fiybeklen-86.3935)	-442,4	95,10	1,12e-05	***
B11	h(fiybeklen-86.3935)*h(kayitsiparis-78.4538)	-31,86	7,694	7,80e-05	***
B12	h(fiybeklen-86.3935)*h(78.4538-kayitsiparis)	-53,68	9,580	2,26e-07	***
B13	h(kayitsiparis-65.8046)	302,9	92,29	0,001466	**
B14	h(65.8046-kayitsiparis)	-92,12	22,56	9,62e-05	***
B15	konutfaiz*h(fiybeklen-86.3935)*h(78.4538-kayitsiparis)	2,823	0,5463	1,42e-06	***
B16	h(11.425-konutfaiz)*h(fiybeklen-86.3935)	-29,12	5,121	1,59e-07	***
B17	h(525.162-inscirend)*h(tufe-310.61)	0,1115	0,01773	1,13e-08	***
B18	h(525.162-inscirend)*h(310.61-tufe)	-0,0681	0,01325	1,59e-06	***
B19	h(525.162-inscirend)*h(tufe-446.45)	-0,163	0,01672	9,41e-16	***
B20	h(tufe-604.84)*insendeks	-0,5861	0,0745	7,68e-12	***
B21	h(konutfaiz-11.425)*h(fiybeklen-86.3935)*h(kayitsiparis-79.5471)	3,339	0,3531	3,90e-15	***
B22	h(inscirend-220.375)*h(kayitsiparis-65.8046)	-0,7376	0,1387	7,58e-07	***
B23	h(13.5725-konutfaiz)*h(fiybeklen-86.3935)*h(kayitsiparis-78.4538)	4,382	0,5064	1,81e-13	***
B24	h(fiybeklen-86.3935)*h(tufe-336.48)*h(89.8599-insendeks)	0,0169	0,01959	2,03e-13	***
B25	h(525.162-inscirend)*h(tufe-310.61)*h(88.6279-insendeks)	0,001529	0,00020	4,60e-11	***
B26	h(fiybeklen-98.6324)*h(kayitsiparis-65.8046)	30,51	7,66	0,000138	***
B27	h(98.6324-fiybeklen)*h(kayitsiparis-65.8046)	-28,15	7,344	0,000234	***
B28	h(fiybeklen-86.3935)*h(kayitsiparis-79.1852)*h(tufe-336.48)	0,06597	0,00786	6,59e-13	***

B29	h(fiybeklen-86.3935)*h(79.1852-kayitsiparis)*h(tufe-336.48)	0,1088	0,01138	2,38e-15	***
B30	h(fiybeklen-122.95)	347,9	43,63	4,61e-12	***
B31	h(kayitsiparis-65.8046)*h(tufe-446.45)	6,525	0,6528	2,92e-16	***
B32	h(fiybeklen-86.3935)*h(10.7-issizlik)	27,21	5,006	4,64e-07	***
B33	h(tufe-260.85)	-25,41	5,221	4,79e-06	***
B34	h(konutfaiz-11.545)*h(kayitsiparis-65.8046)	-9,787	2,958	0,001350	**
B35	h(kayitsiparis-65.8046)*h(tufe-472.61)	-3,091	0,5357	1,10e-07	***
B36	h(fiybeklen-86.3935)*h(10.7-issizlik)*h(kayitsiparis-81.1989)	-4,606	1,232	0,000325	***
B37	h(13.9575-konutfaiz)*h(issizlik-10.3)*h(kayitsiparis-65.8046)	-5,705	1,013	2,00e-07	***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.9813, Adjusted R-squared: 0.9736 p-value: < 2.2e-16

MARS yöntemi ile elde edilen denklem :

$$Y = 13530 + 35,60*B1 + 16,90*B2 - 23,20*B3 + 36,69*B4 + 272,30*B5 - 24,06*B6 - 126,1*B7 - 0,04798*B8 + 0,07685*B9 - 442,4*B10 - 31,86*B11 - 53,68*B12 + 302,9*B13 - 92,12*B14 + 2,823*B15 - 29,12*B16 + 0,1115*B17 - 0,0681*B18 - 0,163*B19 - 0,5861*B20 + 3,339*B21 - 0,7376*B22 + 4,382*B23 + 0,0169*B24 + 0,001529*B25 + 30,51*B26 - 28,15*B27 + 0,06597*B28 + 0,1088*B29 + 347,9*B30 + 6,525*B31 + 27,21*B32 - 25,41*B33 - 9,787*B34 - 3,091*B35 - 4,606*B36 - 5,705*B37$$

MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) modelinin sonuçlarına göre, yabancılara konut satışını etkileyen birçok faktör olduğu görülmektedir. Model, 37 bağımsız değişken (B1'den B37'ye) kullanarak yabancılara konut satışını tahmin etmeye çalışmaktadır. Modelin açıklayıcılığı oldukça yüksektir (Adjusted R-squared: 0.9736), yani bağımsız değişkenler bağımlı değişkendeki (yabancılara konut satışı) varyansın büyük bir kısmını açıklamaktadır.

Modeldeki önemli bulgular şunlardır: TÜFE (Tüketici Fiyat Endeksi), inşaat cirolarındaki değişim, dolar kuru, konut faiz oranları, fiyat beklentileri, kayıtlı siparişler, işsizlik oranı ve inşaat endeksi gibi faktörler yabancılara konut satışını etkilemektedir. Bazı değişkenler arasında etkileşimler (interaksiyonlar) olduğu görülmektedir. Örneğin, konut faiz oranları, fiyat beklentileri ve kayıtlı siparişler arasındaki etkileşimler modelde yer almaktadır.

Modeldeki tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır , yani bu değişkenlerin yabancılara konut satışı üzerinde gerçek bir etkisi olduğu söylenebilir.

Sonuç olarak, MARS modeli, yabancılara konut satışını etkileyen birçok faktörü başarılı bir şekilde belirleyebilmiş ve aralarındaki karmaşık ilişkileri yakalayabilmiştir. Bu model, politika yapıcılara ve sektör paydaşlarına, yabancılara konut satışını artırmak için hangi faktörlere

odaklanmaları gerektiği konusunda fikir verebilir.

Sonuçlara göre, gerçek yabancılara konut satışı ve tahmin edilen değerler arasında çok güçlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon vardır. Pearson korelasyon katsayısı 0.9906021 olarak hesaplanmıştır. Bu, neredeyse mükemmel bir pozitif doğrusal ilişkiyi gösterir. p-değeri $2.2e-16$ 'dan küçüktür, bu da sonucun istatistiksel olarak son derece anlamlı olduğunu gösterir. Başka bir deyişle, gözlemlenen güçlü korelasyonun şans eseri olma olasılığı çok düşüktür. %95 güven aralığı 0.9866819 ile 0.9933722 arasındadır. Bu dar aralık, gerçek korelasyon katsayısının bu aralıkta olduğundan %95 emin olabileceğimizi gösterir. Sonuç olarak, tahmin modelinizin yabancılara konut satışını oldukça başarılı bir şekilde tahmin ettiği söylenebilir. Model tahminleri ile gerçek değerler arasında çok güçlü bir ilişki vardır

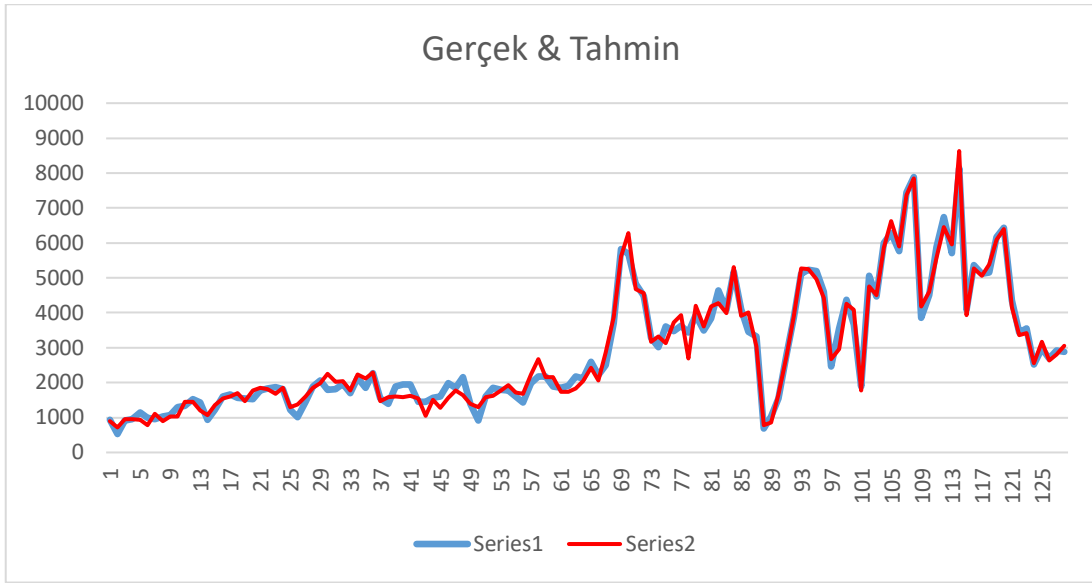
MARS yöntemi kullanılarak yapılan yabancılara konut satışı tahmininde elde edilen sonuçları şu şekilde yorumlayabiliriz:

MARS modeli için Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) değeri 56745.78 olarak hesaplanmıştır. Bu değer, tahmin edilen değerler ile gerçek değerler arasındaki farkların karelerinin ortalamasını ifade eder.

Tablo 2. MARS Yöntemi ile Değişkenlerin Önem Sıralaması

	nsubsets	gcv	Rss
Tufe	36	100	100
İncirend	35	58,2	63,0
Dolar	33	49,7	54,5
Konutfaiz	30	43,3	47,1
Fiybeklen	27	63,4	65,4
kayitsiparis	24	37,2	37,9
İnsendeks	19	31,5	30,6
İssizlik	12	12,5	17,9

TÜFE, modelde en etkili değişken olarak öne çıkıyor. İnşaat sektörü ile ilgili değişkenler (incirend, konutfaiz, insendeks) modelde önemli rol oynuyor. Ekonomik göstergeler (dolar, fiybeklen) de modelde önemli etkiye sahip. İşsizlik oranı, bu model bağlamında diğer faktörlere göre daha az etkili görünüyor. R programında earth paketi içindeki evimp fonksiyonu, MARS (Multivariate Adaptive Regression Splines) modellerinde değişkenlerin önem sırasını belirlemek için kullanılır.



Seri1: Tahmin ; Seri2 : Gerçek

Şekil 5. Gerçek değerler (yabancılara konut satışı) ve Mars yöntemi ile tahmin edilen değerler

Şekil 5'deki grafik, MARS yöntemi kullanılarak yabancılara konut satışı için yapılan tahminler ile gerçekleşen satış değerlerini karşılaştırmaktadır. Grafikte mavi çizgi (Seri1) tahmin edilen değerleri, kırmızı çizgi (Seri2) ise gerçekleşen değerleri göstermektedir. Genel olarak, tahmin edilen değerler ile gerçekleşen değerler arasında oldukça yakın bir ilişki vardır. Bu, MARS yönteminin yabancılara konut satışını tahmin etmede etkili olduğunu göstermektedir.

Zaman içinde satış rakamlarında belirgin dalgalanmalar görülmektedir. Özellikle grafiğin son üçte birlik kısmında büyük artış ve azalışlar dikkat çekmektedir. Bazı noktalarda tahmin ve gerçek değerler arasında küçük sapmalar olsa da, genel trendin doğru bir şekilde yakalandığı görülmektedir. Grafiğin başlangıcında satış rakamları nispeten düşük ve istikrarlı seyrederken, zaman içinde daha yüksek ve dalgalı bir yapıya bürünmüştür. En yüksek satış rakamları grafiğin son bölümünde görülmektedir, ancak bu yükselişi keskin bir düşüş takip etmiştir. MARS yöntemi, ani yükseliş ve düşüşleri genel olarak başarılı bir şekilde tahmin etmiş gibi görünmektedir.

Sonuç olarak, MARS yöntemi yabancılara konut satışını tahmin etmede oldukça başarılı görünmektedir. Aynı değişkenler kullanarak Çok değişkenli regresyon analizi yapılırsa

Tablo 3. Yabancılara Konut Satışının Regresyon Analizi Sonuçları

Katsayılar	Tahmin	Std.Hata	t değeri	Pr(> t)	
(Intercept)	-6385.986	2270.342	-2.813	0.005747	**
Konutfaiz	123.391	34.000	3.629	0.000420	***
Fiybeklen	74.763	14.397	5.193	8.65e-07	***
İncirend	3.379	1.067	3.166	0.001964	**
İssizlik	359.289	86.835	4.138	6.58e-05	***
Dolar	29.070	17.233	1.687	0.094254	.
Kayıtsiparis	-79.989	22.546	-3.548	0.000557	***
Tufe	-2.914	1.023	-2.850	0.005159	**
İnsendeks	28.407	16.598	1.711	0.089603	.

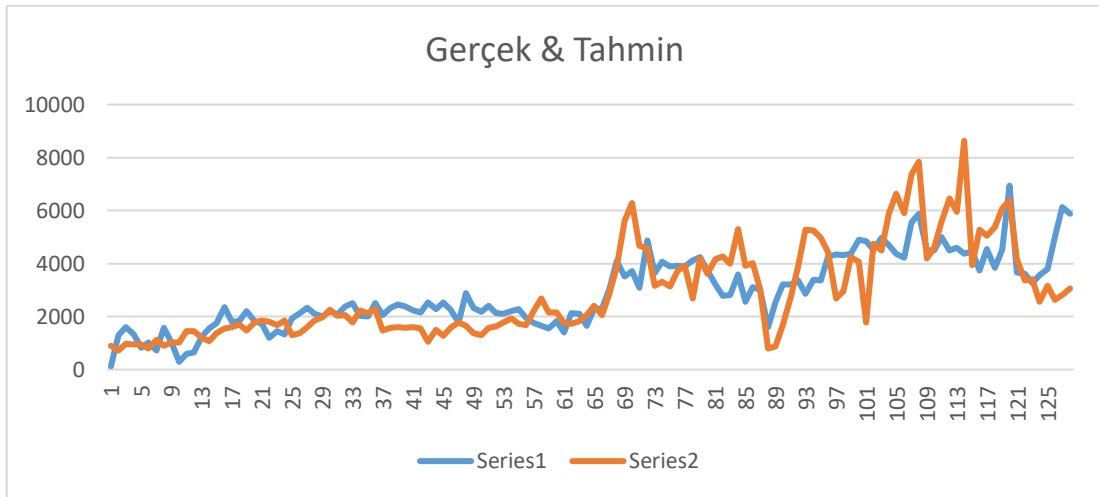
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Multiple R-squared: 0.5899, Adjusted R-squared: 0.5623 p-value: < 2.2e-16

Model Anlamlılığı: F-istatistiği (21.39) ve p-değeri (< 2.2e-16) modelin genel olarak anlamlı olduğunu gösteriyor. Açıklayıcı Güç: Düzeltilmiş R-kare değeri 0.5623, yani model bağımlı değişkendeki varyansın yaklaşık %56'sını açıklıyor. Bu orta düzeyde bir açıklayıcı güç olarak değerlendirilebilir.

Anlamlı Değişkenler: Konut faizi, fiyat beklentisi, inşaat ciro endeksi, işsizlik ve kayıtlı sipariş miktarı 0.001 düzeyinde anlamlı. TÜFE 0.01 düzeyinde anlamlı. Dolar kuru ve inşaat endeksi 0.1 düzeyinde anlamlıdır.

Artıklar (Residuals): Minimum -3338.1 ve Maksimum 4254.3 değerleri, bazı tahminlerin gerçek değerlerden oldukça uzak olabileceğini gösteriyor. Sonuç olarak, model istatistiksel olarak anlamlı ve orta düzeyde açıklayıcı güce sahip.



Seri1: Tahmin ; Seri2: Gerçek

Şekil 6. Gerçek değerler (yabancılara konut satışı) ve Regresyon yöntemi ile tahmin değerleri

Şekil 6’da verilen grafik yabancılara konut satışı için yapılan regresyon analizi sonuçlarını göstermektedir. Seri1 (mavi çizgi) tahmin değerlerini, Seri2 (kırmızı çizgi) ise gerçek değerleri temsil etmektedir.

Grafikten gözlemlediğimiz kadarıyla, tahmin ve gerçek değerler arasında genel olarak bir uyum olduğu görülmektedir, ancak bazı noktalarda önemli sapmalar da mevcuttur. Zaman içinde hem gerçek hem de tahmin değerlerinde dalgalanmalar ve artış trendi gözlemlenmektedir. Bazı dönemlerde tahminler gerçek değerlerden oldukça uzaklaşmaktadır, özellikle grafiğin son kısmında büyük sapmalar göze çarpmaktadır. Çok değişkenli regresyon analizi için

Maksimum hata: 4254.34 , Minimum hata: -3338.08, MSE (regresyon): 1244087.06 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler, tahminlerin gerçek değerlerden ne kadar saptığını göstermektedir. Maksimum ve minimum hata değerleri, tahminlerin en çok ve en az ne kadar saptığını belirtir. MSE (Ortalama Kare Hata) değeri ise tahminlerin genel doğruluğunu ölçmek için kullanılır.

MARS yöntemi ile yapılan tahminlerin daha iyi olduğu ve MSE’de %95’lik bir iyileşme sağladığı görülmüştür. Bu, MARS yönteminin:

Tahmin doğruluğunu önemli ölçüde artırdığını, Hata oranını büyük oranda düşürdüğünü, Modelin performansını ciddi şekilde iyileştirdiğini göstermektedir. Bu iyileşme, MARS yönteminin bu veri seti için daha uygun olduğunu ve değişkenler arasındaki karmaşık ilişkileri daha iyi modelleyebildiğini göstermektedir. Bu durum, yabancılara konut satışı tahminlerinde daha güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye’de yabancılara yapılan konut satışlarının tahmini, Çok Değişkenli Uyarlanabilir Regresyon Uzanımları (MARS) yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan bağımsız değişkenler arasında konut faiz oranı, inşaat ciro endeksi, tüketici fiyat endeksi (TÜFE), döviz kuru, işsizlik oranı ve diğer ekonomik göstergeler yer almaktadır.

Kullanılan MARS modelinin Adjusted R-kare değeri 0.9736 olup, modeldeki değişkenlerin yabancılara konut satışlarındaki varyansın büyük bölümünü açıklayabildiğini göstermektedir. ve modeldeki tüm katsayılar istatistiksel olarak anlamlıdır (p-değeri < 0.05).

Pearson korelasyon katsayısı ise 0.9906 olarak hesaplanmış ve bu, MARS modelinden elde edilen tahmin değerleri ile gerçek değerler arasında çok güçlü bir ilişki olduğunu ortaya koymuştur. MSE değerlerine bakılarak, MARS modeli geleneksel regresyon yöntemine göre tahmin performansını %95 oranında iyileştirmiştir.

MARS yöntemi ile yapılan analizde, TÜFE, inşaat ciroları, döviz kuru, konut faiz oranları, fiyat beklentileri gibi faktörlerin yabancılara konut satışını etkilediği belirlenmiştir. Özellikle TÜFE’nin

modelde en etkili değişken olduğu görülmüştür. Modelde öne çıkan diğer önemli bulgular, bazı değişkenler arasındaki etkileşimlerin doğrusal olmayan ve karmaşık ilişkilerinin de önemli olduğunu ve bu etkileşimlerin modelin tahmin doğruluğunu artırmada önemli rol oynadığını göstermektedir. MARS yöntemi, sektör ve ekonomik değişkenler arasındaki karmaşık etkileşimleri modellemede etkili bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, özellikle non-lineer ilişkilerin ve değişkenler arası etkileşimlerin varlığında, geleneksel regresyon tekniklerine kıyasla üstün performans sergileyebilmektedir. Bu yüzden MARS, değişkenler arasındaki doğrusal olmayan ilişkileri geleneksel regresyon yöntemlerinden daha etkili bir şekilde modelleyebilir.

Ayrıca gelecek çalışmalar için aynı değişkenler kullanarak karmaşık ve doğrusal olmayan problemleri çözüme kapasitesi olan Yapay sinir ağlarının (Baş ve Eğrioğlu, 2023) performansı ile MARS yönteminin performansı karşılaştırılabilir.

Kullanılan MARS modeli başarılı bir şekilde tahmin yapmasına rağmen MARS modelinin daha doğru tahminler yapabilmesi için, kullanılan veri setinin genişletilmesi, farklı değişkenlerin dahil edilmesi veya modelin hiperparametrelerinin optimize edilmesi gibi adımlarda atılabilir.

Teşekkür

Bu çalışmanın veri analizi Giresun Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi İstatistik Bölümü Bilgisayar laboratuvarlarında gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışma Giresun Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nde tamamlanan “Yabancılarla Konut Satışının Mars Yöntemi ile Tahmin edilmesi” başlıklı Yüksek Lisans Tezi esas alınarak hazırlanmıştır.

Yazarların Katkısı

Murat GÜL : Fikir/Kavram, Danışmanlık, Analiz ve Yorum, Literatür Taraması

Ufuk AKYOL : Tasarım, Kaynaklar

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Adamowski, J., Chan, H. F., Prasher, S. O., & Sharda, V. N. (2012). Comparison of multivariate adaptive regression splines with coupled wavelet transform artificial neural networks for runoff forecasting in Himalayan micro-watersheds with limited data. *Journal of hydroinformatics*, 14(3), 731-744.
- Al-Sudani, Z. A., Salih, S. Q., Sharafati, A., & Yaseen, Z. M. (2019). Development of multivariate adaptive regression spline integrated with differential evolution model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 573, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.004>
- Bağcı, B., & Çıtak, F. (2020). Forecasting Turkish stock market price with macroeconomic variables from the multivariate adaptive regression splines (MARS) model. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 15(60), 759-771.
- Baş, E., & Eğrioğlu E. (2023). "A new recurrent pi-sigma artificial neural network inspired by exponential smoothing feedback mechanism," *Journal of Forecasting*, John Wiley & Sons, Ltd., vol. 42(4), pages 802-812, July
- Bose, A., Hsu, C. H., Roy, S. S., Lee, K. C., Mohammadi-Ivatloo, B., & Abimannan, S. (2021). Forecasting stock price by hybrid model of cascading multivariate adaptive regression splines and deep neural network. *Computers and Electrical Engineering*, 95, 107405.
- Butte, N. F., Wong, W. W., Adolph, A. L., Puyau, M. R., Vohra, F. A., & Zakeri, I. F. (2010). Validation of cross-sectional time series and multivariate adaptive regression splines models for the prediction of energy expenditure in children and adolescents using doubly labeled water. *The Journal of nutrition*, 140(8), 1516-1523.
- Cheng, M. Y., & Cao, M. T. (2014). Accurately predicting building energy performance using evolutionary multivariate adaptive regression splines. *Applied Soft Computing*, 22, 178-188.
- Çanga, D., Yavuz, E., & Efe, E. (2021). Prediction of Egg Weight Using MARS Data Mining Algorithm Through R. *KSU J. Agric Nat* 24 (1): 242-251, 2021. <https://doi.org/10.18016/ksutarimdogavi.716880>
- De Gooijer, J. G., Ray, B. K., & Kräger, H. (1998). Forecasting exchange rates using TSMARS. *Journal of International Money and Finance*, 17(3), 513-534.
- Friedman, J. H. (1991). Multivariate adaptive regression splines. *The annals of statistics*, 19(1), 1-67.
- Friedman, J. H., & Roosen, C. B. (1995). An introduction to multivariate adaptive regression splines. *Statistical methods in medical research*, 4(3), 197-217.
- Griffin, W. L., Fisher, N. I., Friedman, J. H., & Ryan, C. G. (1997). Statistical techniques for the classification of chromites in diamond exploration samples. *Journal of Geochemical Exploration*, 59(3), 233-249.
- Kartal, M., Depren, S. K., & Depren, Ö. (2018). Türkiye’de döviz kurlarını etkileyen makroekonomik göstergelerin belirlenmesi: MARS yöntemi ile bir inceleme. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 7(1), 209-229.
- Kisi, O. (2015). Pan evaporation modeling using least square support vector machine, multivariate adaptive regression splines and M5 model tree. *Journal of Hydrology*, 528, 312-320.
- Kuhn, M., & Johnson, K. (2013). *Applied predictive modeling* (Vol. 26, p. 13). New York: Springer.
- Kuhnert, P. M., Do, K. A., & McClure, R. (2000). Combining non-parametric models with logistic regression: an application to motor vehicle injury data. *Computational Statistics & Data Analysis*, 34(3), 371-386.
- Lee, T. S., & Chen, I. F. (2005). A two-stage hybrid credit scoring model using artificial neural networks and multivariate adaptive regression splines. *Expert Systems with applications*, 28(4), 743-752.
- Lewis, P. A., & Stevens, J. G. (1991). Nonlinear modeling of time series using multivariate adaptive regression splines (MARS). *Journal of the American Statistical Association*, 86(416), 864-877.
- Lu, R., Duan, T., Wang, M., Liu, H., Feng, S., Gong, X., ... & Ma, J. (2021). The application of multivariate adaptive regression splines in exploring the influencing factors and predicting the prevalence of HbA1c improvement. *Annals of Palliative Medicine*, 10(2), 1296–1303. <https://doi.org/10.21037/apm-19-406>
- López, F., & Kholodilin, K. (2023). Putting MARS into space: Non-linearities and spatial effects in hedonic models. *Papers in Regional Science*, 102(4), 871–897. <https://doi.org/10.1111/pirs.12738>
- Milborrow, S., Hastie, T., Tibshirani, R., Miller, A., & Lumley, T. (2017a). earth: Multivariate adaptive regression splines. *R package version*, 5(2).
- Milborrow, S. (2017b). Notes on the earth package. Retrieved October, 31, 2017.
- Nguyen-Cong, V. G. V. D., Van Dang, G., & Rode, B. M. (1996). Using multivariate adaptive regression splines to QSAR studies of dihydroartemisinin derivatives. *European journal of medicinal chemistry*, 31(10), 797-803.
- Nisbet, R., Miner, G., & Yale, K. (2018). *Handbook of Statistical Analysis and Data Mining Applications* (2nd ed.). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/C2012-0-06451-4>

- Ohmann, C., Moustakis, V., Yang, Q., Lang, K., & Acute Abdominal Pain Study Group. (1996). Evaluation of automatic knowledge acquisition techniques in the diagnosis of acute abdominal pain. *Artificial Intelligence in Medicine*, 8(1), 23-36.
- Samui, P. (2012). Slope stability analysis using multivariate adaptive regression spline. *Metaheuristics in Water, Geotechnical and Transportation Engineering*, 14, 327-342.
- Sephton, P. (2001). Forecasting recessions: can we do better on MARS. *Federal Reserve Bank of St. Louis Review*, 83(March/April 2001).
- Sharda, V. N., Patel, R. M., Prasher, S. O., Ojasvi, P. R., & Prakash, C. (2006). Modeling runoff from middle Himalayan watersheds employing artificial intelligence techniques. *Agricultural water management*, 83(3), 233-242.
- Sharda, V. N., Prasher, S. O., Patel, R. M., Ojasvi, P. R., & Prakash, C. (2008). Performance of Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) in predicting runoff in mid-Himalayan micro-watersheds with limited data/Performances de régressions par splines multiples et adaptives (MARS) pour la prévision d'écoulement au sein de micro-bassins versants Himalayens d'altitudes intermédiaires avec peu de données. *Hydrological sciences journal*, 53(6), 1165-1175.
- Stoklosa, J., & Warton, D. I. (2018). A generalized estimating equation approach to multivariate adaptive regression splines. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 27(1), 245-253.
- URL-1: <https://intes.org.tr/dergi/insaat-sanayi-dergisi-175-ocak-subat-mart-nisan/>, (Erişim Tarihi: 8 Mart 2024).
- URL-2: <https://www.istmer.com/regresyon-analizi-ve-mars-yontemi/>, (Erişim Tarihi: 05 Eylül 2023).
- URL-3: <https://data.tuik.gov.tr/>, (Erişim Tarihi: 18 Şubat 2024).
- URL-4: <https://tr.investing.com/currencies/usd-try-historical-data>, (Erişim Tarihi: 21 Mart 2024).