

## **Denetimli Makine Öğrenmesi Kullanılarak Veri Odaklı Mekanik Analiz ve Tasarım Süreci: Çelik Konsol Kiriş Çalışması**

### **ÖZET**

Yapısal mühendislikte Yapay Zeka (AI) ve Makine Öğrenmesi (ML) kullanımı, tahmin doğruluğunun artırılması, zaman ve maliyet verimliliği sağlanması ve tasarım süreçlerinin optimize edilmesi gibi önemli avantajlar sunmaktadır. Veri odaklı içgörüler sağlayarak, bu teknolojiler daha gelişmiş yük tahmini, gerçek zamanlı yapısal sağlık izleme ve sürdürülebilir, kaynak verimli tasarımların gerçekleştirilmesine imkân tanır. Ancak, bu avantajların elde edilmesi; yüksek kaliteli ve güvenilir verilerin sağlanması ve karmaşık modellerin hesaplama taleplerinin yönetilmesi gibi bazı zorlukları da beraberinde getirir. Ayrıca, yapay zekanın geleneksel mühendislik iş akışlarına entegrasyonu, model yorumlanabilirliği, farklı yapısal türlere genelleme yapabilme ve mühendislerin yeni teknolojiler konusunda eğitilmesi gibi sorunların aşılmasını gerektirir. Bu engellere rağmen, yapay zekadaki ilerlemeler, yapısal analizlerde entegrasyonunu giderek daha uygulanabilir hâle getirmekte, böylece daha güvenli ve yenilikçi tasarımların önünü açmaktadır.

Bu tezin temel amacı, makine öğrenmesi tekniklerinin – özellikle Doğrusal Regresyon (Linear Regression), Karar Ağacı Regresörü (Decision Tree Regressor), Rastgele Orman Regresörü (Random Forest Regressor) ve Karar Ağacı Sınıflayıcısı (Decision Tree Classifier) – çelik konsol kirişlerde I-kesit tasarımı ve düşey yer değiştirme gibi anahtar yapısal parametreleri tahmin etmedeki etkinliğini değerlendirmektir. I-kesit tasarımının (W-profil) elastisite modülü, kiriş uzunluğu ve yük gibi giriş parametrelerine dayanarak, düşey yer değiştirmenin ise kiriş uzunluğu, yük, elastisite modülü ve W-profil gibi parametreler üzerinden tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Bu modellerin tahmin doğruluğu ve performansı değerlendirilerek, makine öğrenmesinin yapısal tasarım süreçlerine entegrasyonunun uygulanabilirliği ve avantajları belirlenmeye çalışılmıştır. Nihai amaç, yapısal mühendislikte verimliliği, doğruluğu ve veri odaklı karar alma süreçlerini geliştirmektir.

Çalışma üç ana adımdan oluşmaktadır. İlk adımda, bağımsız parametreler (elastisite modülü, uzunluk, yük) rastgele seçilerek ETABS yazılımına girilmiş, I-kesit tasarlanmış ve uygun W-profil belirlenmiştir. W-profil belirlendikten sonra, ETABS'ten düşey yer değiştirme (U3) verileri alınmıştır. İkinci adımda, oluşturulan bu veri seti kullanılarak makine öğrenmesi modelleri – özellikle Doğrusal Regresyon, Karar Ağacı Regresörü ve Rastgele Orman Regresörü – eğitilmiş ve düşey yer değiştirme tahmini yapılmıştır; Karar Ağacı Sınıflayıcısı ise I-kesit tasarımını tahmin etmek için kullanılmıştır. Son adımda ise, eğitilen modeller Ortalama Kare Hata (MSE) ve R-Kare Skoru ( $R^2$ ) gibi performans ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiş ve bu makine öğrenmesi yöntemlerinin yapısal analiz ve tasarım uygulamalarındaki potansiyelleri analiz edilmiştir.

Tezin hedeflerini doğrulamak amacıyla bir vaka çalışması yapılmıştır. Bu çalışma iki temel adımdan oluşmaktadır: İlk olarak, I-kesit seçimini tahmin etmek için Karar Ağacı Sınıflayıcısı kullanılmış, ardından düşey yer değiştirme (U3) tahmini için regresyon analizi uygulanmıştır. Bu yaklaşım, makine öğrenmesi modellerinin performans kriterlerine dayalı olarak optimize tasarım parametreleri önermedeki etkinliğini değerlendirmiş ve yapısal verimlilik ile doğruluğu artırmadaki potansiyelini ortaya koymuştur.

Veri seti toplam 2.601 veri çiftinden oluşmaktadır. Model performansını değerlendirmek için veri seti eğitim ve test setlerine bölünmüş, %20'lik test oranı kullanılmıştır. Bu araştırma, inşaat mühendisliğinde yapısal analiz yöntemlerinin geliştirilmesine önemli bir katkı sunmaktadır. Özellikle, makine öğrenmesi modelleri, konsol kirişlerin farklı koşullar altında gösterdiği davranışları doğru şekilde tahmin etmede umut verici performans sergileyerek değerli içgörüler sağlamıştır.

**Anahtar Kelimeler:** *Yapısal analizde makine öğrenmesi, yapısal tasarımda makine öğrenmesi, konsol kirişler, çelik, tahmine dayalı modelleme, düşey yer değiştirme, tasarım optimizasyonu.*

**Data-Driven-Based Mechanical Analysis and Design Process Using Supervised  
Machine Learning: Steel Cantilever Study Case**

**ABSTRACT**

The use of AI and ML in structural engineering offers significant benefits, including improved prediction accuracy, time and cost efficiency, and optimized design processes. By enabling data-driven insights, these technologies allow for enhanced load prediction, real-time structural health monitoring, and sustainable, resource-efficient designs. However, achieving these benefits also presents challenges, such as ensuring high-quality, reliable data and managing the computational demands of complex models. Additionally, integrating AI into traditional engineering workflows requires overcoming issues related to model interpretability, generalization to diverse structural types, and training engineers in new technologies. Despite these obstacles, advancements in AI continue to make its integration in structural analysis more feasible, paving the way for safer and more innovative designs.

The primary aim of this thesis is to evaluate the effectiveness of machine learning techniques -specifically Linear Regression, Decision Tree Regressor, Random Forest Regressor, Decision Tree Classifier- in predicting key structural parameters, such as I-section design and vertical displacement of steel cantilever beams. Predicting I-section design (W-shape) based on input parameters like modulus of elasticity, length and load while predicting vertical displacement based on input parameters like beam length, load, modulus of elasticity, and W-shape. By assessing the predictive accuracy and performance of these models, this research seeks to determine the feasibility and benefits of integrating machine learning into structural design processes, ultimately aiming to enhance efficiency, accuracy, and data-driven decision-making in structural engineering.

The study consists of three main steps. First, the dataset was prepared which contained pairs of data, independent parameters (modulus of elasticity, length, load) were arbitrarily selected and input into ETABS to design the I-section and determine the appropriate W-shape. Once the W-shape was identified, the vertical displacement ( $U_3$ )

was retrieved from ETABS. Second, this dataset is used to train machine learning models -specifically, Linear Regression, Decision Tree Regressor, and Random Forest Regressor- aimed at predicting vertical displacement while Decision Tree classifier used to predict I-section design. Lastly, the trained models are evaluated using Mean Squared Error (MSE) and R- Squared Score ( $R^2$ ) to assess their predictive accuracy and effectiveness, providing insights into the applicability of these machine learning methods in structural analysis and design.

To validate the aims of this thesis, one case study was conducted. It consists of two main steps: first, the Decision Tree Classifier is applied to predict the I-section selection; second, regression analysis is used to predict vertical displacement ( $U_3$ ). This approach assessed the machine learning model's effectiveness in recommending optimized design parameters based on performance criteria, demonstrating their potential in enhancing structural efficiency and accuracy.

The dataset consists of 2601 rows of data pairs. The datasets were divided into training and testing sets to evaluate model performance. Testing size of 20% was utilized to train and assess model accuracy. This research contributes to the advancement of structural analysis methodologies in civil engineering. Notably, machine learning models exhibit promising performance in accurately predicting displacement, thereby offering insights into the behavior of cantilever beams under different conditions.

**Keywords:** *Machine learning in structural analysis, machine learning in structural design, cantilever beams, steel, predictive modeling, vertical displacement, design optimization*