

# Prediction of Tensile Strength of Rocks by using Regression Analyses and Artificial Neural Networks and Comparison of the Models

Selçuk Alemdağ<sup>1</sup>, Zülfü Gürocak<sup>2</sup>, Musharraf M. Zaman<sup>3</sup> ve Pranshoo Solanki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye  
(E-mail: selcukalemdag@gmail.com)

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Elazığ, Türkiye

<sup>3</sup>School of Civil Engineering and Environmental Science, University of Oklahoma, Norman, OK 73019-1024, USA

Tensile strength of rocks is an important parameter used in engineering works. Although the tensile strength test is relatively simple, it is time-consuming and requires samples which are prepared according to standards. Therefore, indirect properties are often used to predict the tensile strength, such as Schmidt rebound number, point load strength index, unit weight and porosity. These tests are simpler, faster and more economical. These tests can also be carried out in the field.

The main objective of this study is to evaluate the indirect methods for estimating the tensile strength of rocks. A combined laboratory and modeling study was conducted to develop a database for predicting tensile strength of rocks. Six hundred eighty six rock samples from 24 different sites throughout eastern Turkey were collected and tested for the development of the database and evaluation of models. A total of 512 samples were used for developing the models and the remaining 174 were used to evaluate the dataset. The material parameters selected in the development of the models include tensile strength ( $\sigma_t$ ), point load strength index ( $I_{s(50)}$ ), Schmidt rebound number (N) and unit weight ( $\gamma$ ). A total of four, two regression models, namely, simple linear regression and multiple regression, and two feed forward-type artificial neural network (ANN) models, namely, Radial Basis Function Network (RBFN) and Multi-Layer Perceptrons Network (MLPN) were developed. Overall, the coefficient of correlation (r) of the MLPN model was found 0.91, while the r values obtained from the multiple regression and the RBFN models were found as 0.83 and 0.87, respectively. The MLPN model exhibited the highest performance. A sigmoid equation was suggested by using weight values obtained from the MLPN analyses to predict tensile strength of rocks. The performance of this equation was evaluated using the evaluation dataset and the r was found 0.84.

**Key words:** *Tensile strength, multiple regression, Eastern Turkey, artificial neural network*

## Kayaçların Çekme Dayanımının Regresyon Analizleri ve Yapay Sinir Ağları ile Tahmin Edilmesi ve Modellerin Karşılaştırılması

Kayaçların çekme dayanımı mühendislik çalışmalarında kullanılan önemli parametrelerden birisidir. Çekme dayanımı deneyi oldukça basit olmasına rağmen zaman alıcıdır ve standartlarda belirtilen boyutlara göre hazırlanmış karot örnekleri gerektirir. Bu nedenle çekme dayanımının tahmin edilmesinde Schmidt geri sıçrama sayısı, nokta yükü dayanım indeksi, birim hacim ağırlık ve porozite gibi dolaylı özellikler sıklıkla kullanılır. Bu deneyler daha basit, hızlı ve ekonomiktir. Bu deneyleri arazide de yapmak mümkündür.

Bu çalışmanın ana amacı, kayaçların çekme dayanımının dolaylı yöntemlerle belirlenmesini değerlendirmektir. Bu amaçla, veri tabanı oluşturmak için laboratuvar ve modelleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Veri tabanının oluşturulması ve modellerin geliştirilmesi için Doğu Türkiye'nin doğu kesiminde 24 farklı yerden toplam 686 örnek derlenmiş ve bu örneklerde laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Toplam 512 örnek modelleme için, diğer 174 örnek de değerlendirme için kullanılmıştır. Modelleme için seçilen parametreler çekme dayanımı ( $\sigma_t$ ), nokta yükü dayanım indeksi ( $I_{s(50)}$ ), Schmidt geri sıçrama sayısı (N) ve birim hacim ağırlığını ( $\gamma$ ) içermektedir. Basit doğrusal ve çoklu regresyon ile Radial Basis Function Network (RBFN) ve Multi-Layer

Perceptrons Network (MLPN) modelleri olmak üzere toplam dört model geliştirilmiştir. Sonuçta, çoklu regresyon ve RBFN modelinin korelasyon katsayıları sırasıyla 0.83 ve 0.87 olarak bulunurken, MLPN modelinin korelasyon katsayısı 0.91 olarak bulunmuştur. MLPN modeli en yüksek performansa sahip modeldir. Kayaçların çekme dayanımının tahmin edilmesi için MLPN analizlerinden ortaya çıkan ağırlık değerleri kullanılarak bir sigmoid eşitlik önerilmiştir. Bu eşitliğin performansı değerlendirme için ayrılmış olan veri tabanı kullanılarak değerlendirilmiş ve korelasyon katsayısı 0.84 olarak bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** *Çekme dayanımı, çoklu regresyon, Doğu Türkiye, yapay sinir ağı.*