

T.C.

KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARİDES SÜRÜSÜ ALGORİTMASI YAKLAŞIMINI KULLANARAK ZEMİN  
SIVILAŞMASININ BELİRLENMESİ

Lütfü Kerim BAŞARIR

1888061007

OCAK 2021

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında** Lütfü Kerim BAŞARIR tarafından hazırlanan KARİDES SÜRÜSÜ ALGORİTMASI YAKLAŞIMINI KULLANARAK ZEMİN SIVILAŞMASININ BELİRLENMESİ adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Orhan DOĞAN

Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin Yüksek Lisans Tezi olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Y. Bülent SÖNMEZER

Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi Ersin KORKMAZ

Üye(Danışman) : Doç. Dr. Y.Bülent SÖNMEZER

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Zeynep Huri ÖZKUL BİRGÖREN

..... /..... /.....

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Recep ÇALIN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



*Desteklerini hiç esirgemeyen sevgili Aileme...*

## ÖZET

### KARİDES SÜRÜSÜ ALGORİTMASI YAKLAŞIMINI KULLANARAK ZEMİN SIVILAŞMASININ BELİRLENMESİ

BAŞARIR, Lütfü Kerim

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Y. Bülent SÖNMEZER

Ocak 2021, 98 sayfa

Zemin sıvılaşması, suya doygun ve kohezyonsuz zeminlerin deprem dalgaları etkisiyle sıvı gibi akışkan özellikleri göstermesidir. Zemin, sıvılaşma esnasında taşıma kapasitesini kaybeder. Zeminde büyük hareketler meydana gelir ve bu durum zemin üzerindeki yapılarda ciddi deformasyonlara yol açar. Zemin sıvılaşması, binalarda devrilme, köprülerde asimetrik oturmalar sonucunda oluşan çökme, yapılarda zemin içerisine gömülme ve yer altı yapılarında meydana gelen yer değiştirmeler gibi çeşitli kalıcı hasarlara yol açar. Bu sebeple zemin sıvılaşması iyi analiz edilmesi gereken bir konudur. Zemin sıvılaşmasının yol açtığı hasarları, ülkemizdeki ve dünya çapındaki büyük depremlerde görebiliriz. Yeni bir deprem anında sıvılaşmadan kaynaklı oluşabilecek hasarları önlemek adına zemin sıvılaşmasını önceden tahmin edilmesi oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, deprem anında meydana gelebilecek zemin sıvılaşmasının önceden tahmin edilmesi hedeflenmiştir. Zeminin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için, geçmişte gerçekleşen depremler ve bu depremlere maruz kalan zeminlerin sıvılaşma durumlarını içeren 222 adet veri kullanılmıştır. Bu veriler literatürde yapılan kapsamlı

## ÖZET(devam ediyor)

araştırmalar sonucunda belirlenen, geniş bir aralığa sahip deprem ve zemin verileridir.

Verilerdeki parametreler WEKA yardımıyla sıvılaşmaya olan etkileri bakımından önem sırasına göre sıralanmıştır. Sıvılaşmaya en çok etki eden ve aynı zamanda bu çalışmada kullanılan parametreler şöyledir; maksimum yer ivmesi ( $a_{maks}$ ),  $N_{1(60)}$  değeri, efektif gerilme ( $\sigma'$ ), ince tane oranı (%) ve depremin büyüklüğüdür ( $M$ ). Bu 5 parametre kullanılarak zeminin sıvılaşma olasılığını belirleyen analitik bir denklem modeli oluşturmak bu çalışmadaki temel amaçtır. Bu aşamada 222 adet verinin 163 tanesi çalışma için, kalan 59 tanesi ise çalışma sonucunda elde edilen denklemi sınamak için ayrılmıştır.

Denklem için gereken katsayılar optimizasyon yöntemiyle bulunmuştur. Uygulanan optimizasyon yöntemi, denklemdeki katsayıların hangi değerler için daha yüksek doğrulukla sonuçlar verdiğini iterasyonlar ile bulmaya dayalıdır. Veriler daha önce bu alanda kullanılmamış olan “Karides Sürüsü Algoritması” kullanılarak optimize edilmiştir. Optimizasyon aşamasında doğruluğu artırmak adına 5 farklı denklem modeliyle çalışılmıştır. Bunlar önceki çalışmalara bakıldığında kabul görmüş denklem modelleridir ve şöyledir; exponential model, linear model, power model, quadratic model ve semi quadratic modeldir. Her bir model için ana 5 parametre ile denklemler oluşturulmuştur. Oluşturulan 5 farklı denklem modeli ayrı ayrı Karides Sürüsü Algoritması’yla optimize edilmiştir. Yapılan denemeler sonucunda zemin sıvılaşmasını en yüksek doğrulukla tahmin eden model “Power Model” olmuştur. Power model’den yola çıkılarak oluşturulan denklem zeminin sıvılaşma olasılığını maksimum %87,12 doğruluk payıyla tahmin etmektedir. Bu denklem, inşaatların zemin etüdü aşamasında kullanılabilecek, 5 parametreye bağlı, uygulanması kolay bir denklemdir. Bu denklem sayesinde zemin analizi aşamasında farklı büyüklüklere sahip deprem senaryoları için zeminde oluşabilecek sıvılaşma durumları önceden tahmin edilebilmektedir.

## ÖZET(devam ediyor)

Denklemin sonuçlarına göre sıvılaşma ihtimalleri üç bölgeye ayrılmıştır. Bunlar; sıvılaşmanın beklendiği, risk faktörünün yüksek olduğu bölge; sıvılaşmanın beklenmediği, risk faktörünün düşük olduğu bölge ve son olarak zemin sıvılaşması ihtimalinin %50'ye çok yakın olduğu, güvenli tarafta kalınmak adına önlemlerin alınmasının gerektiği, risk faktörünün orta boyutta olduğu bölgedir. Sonuçlar bu üç duruma indirildiğinde, zeminin sıvılaşma ihtimalinin belirlenmesi oldukça kolay bir şekilde yapılabilmektedir.

Zemin sıvılaşmasının önceden tahmin edilmesi sıvılaşma kaynaklı kalıcı hasarların önlenmesi açısından oldukça gereklidir. Zemin sıvılaşması, deprem kuşağında yer alan ülkemiz ve diğer deprem bölgesine sahip ülkeler için göz ardı edilmemesi gereken bir husustur.

**Anahtar Sözcükler:** Zemin Sıvılaşması, Optimizasyon, Karides Sürüsü Algoritması, Efektif Gerilme, Maksimum Yer İvmesi, N160, İnce Tane Oranı

## **ABSTRACT**

### **DETERMINATION OF SOIL LIQUEFACTION USING THE KRILL HERD ALGORITHM APPROACH**

**BAŞARIR, Lütfü Kerim**

**Kırıkkale University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Civil Engineering, M. Sc. Thesis**

**Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Y. Bülent SÖNMEZER**

**January 2021, 98 pages**

Soil liquefaction is the fact that water-saturated and cohesionless soils show fluid properties such as liquid under the effect of earthquake waves. The soil loses its bearing capacity during liquefaction. Large movements occur on the ground, which leads to devastating deformations in the structures on the ground. Soil liquefaction caused to various permanent damages such as overturning in buildings, collapse caused by asymmetric seating on bridges, sinking of the buildings into the soil and displacements occurring in underground structures. For this reason, soil liquefaction is an issue that needs to be thoroughly analyzed. Damage caused by soil liquefaction can be seen in major earthquakes in our country and around the world. Estimating soil liquefaction before a new earthquake is very important to prevent damage due to soil liquefaction.

In this study, it is aimed to predict the soil liquefaction that may occur during an earthquake. 222 pieces of data were used to determine the liquefaction potential of the soil, including past earthquakes and the liquefaction states of the soils that were exposed to these earthquakes. These data are earthquake and soil data contained and determined as a result of research conducted in the literature. Parameters in the datas are listed in order of importance in terms of their effect on soil liquefaction with using WEKA. The parameters that affect most the soil liquefaction and which are also used in this study are as follows:  $N_{1(60)}$  value, effective stress ( $\sigma'$ ), fine grain ratio (%) and

## **ABSTRACT (continue)**

earthquake magnitude (m). The main purpose of this study is to create an analytical equation model that determines the probability of soil liquefaction by using 5 parameters shown. At this stage, 163 of the 222 data are reserved for the study, and the remaining 59 are reserved for testing the equation obtained as a result of the study.

The coefficients required for the equation were found by optimization method. The optimization method applied here is based on finding out, for which values the coefficients in the equation give results with higher accuracy by iterations. The data has been optimized using the “Krill Herd Algorithm”, which has not been used in this field before. 5 different equation models were used to get the accuracy higher during the optimization phase. These are accepted equation models and are as follows; exponential model, linear model, power model, quadratic model and semi quadratic model. Equations are created with the main 5 parameters for each model. The 5 different equation models that were created are separately optimized with the krill herd algorithm. As a result of experiments with different iteration numbers, the model that predicted soil liquefaction with the highest accuracy is the “Power Model”. Based on the Power model, the equation created estimates the probability of liquefaction of the soil with a maximum accuracy of 87.12%. This equation is an easy-to-apply equation that depends on 5 parameters that can be used in the ground survey phase of construction. Thanks to this equation, liquefaction situations that may occur in the soil can be predicted in advance for earthquake scenarios with different magnitudes during the ground survey phase.

According to the results of the equation, the possibilities of liquefaction are divided into three regions. These are; the region where liquefaction is expected, the risk factor is high; the region where liquefaction is not expected, the risk factor is low; the region where the probability of soil liquefaction is very close to 50% and precautions should be taken to stay on the safe side, the risk factor is medium. When the results are reduced to these three situations, the probability of liquefaction can be easily determined.



## **ABSTRACT (continue)**

Predicting soil liquefaction in advance is quite necessary in terms of preventing permanent damage caused by liquefaction. Soil liquefaction is an issue that needs to be carefully considered for our country and other countries located in the earthquake zone.

**Key Words:** Soil Liquefaction, Optimization, Krill Herd Algorithm, Effective Stress  
Maximum Ground Acceleration, N160, Fine Grain Ratio

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın fikir sahibi olan, çalışmanın her aşamasında mesleki bilgi ve birikimlerini, önerilerini benden esirgemeyen, genç araştırmacıların her zaman daha bilgili bireyler olması için çaba gösteren danışman hocam Sayın Doç. Dr. Y. Bülent SÖNMEZER'e,

Optimizasyon ve algoritmaların işleyişi konularında bu tez çalışmasına yön veren, tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen, çalışmanın veri işleme konularında her zaman desteklerini gördüğüm Sayın Dr. Öğretim Üyesi Ersin KORKMAZ'a ve Sayın Öğr. Görevlisi Volkan ATEŞ'e

Tüm yaşamım boyunca olduğu gibi bu çalışmanın ortaya çıkma sürecinde de bana olan desteklerini hiç esirgemeyen sevgili aileme

Sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

|                                                                   |      |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET .....                                                        | i    |
| ÖZET(devam ediyor).....                                           | ii   |
| ÖZET(devam ediyor).....                                           | iii  |
| ABSTRACT.....                                                     | iv   |
| TEŞEKKÜR.....                                                     | vii  |
| İÇİNDEKİLER DİZİNİ .....                                          | viii |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....                                              | x    |
| TABLolar DİZİNİ .....                                             | xii  |
| SİMGE VE KISALTMALAR DİZİNİ .....                                 | xiii |
| 1 GİRİŞ.....                                                      | 1    |
| 1.1 Zemin Sıvılaşması .....                                       | 3    |
| 1.2 Literatür Özetleri .....                                      | 6    |
| 2 MATERYAL VE YÖNTEM .....                                        | 11   |
| 2.1 Materyal .....                                                | 11   |
| 2.2 Yöntem.....                                                   | 20   |
| 2.2.1 WEKA .....                                                  | 20   |
| 2.2.2 Normalizasyon.....                                          | 23   |
| 2.2.3 Karides Sürüsü Algoritması .....                            | 32   |
| 2.2.3.1 Diğer Karideslerin Tetiklediği Hareket ( <b>Ni</b> )..... | 34   |
| 2.2.3.2 Yiyecek arama hareketi ( <b>Fi</b> ) .....                | 35   |
| 2.2.3.3 Rastgele Yayılma Hareketi ( <b>Di</b> ) .....             | 36   |
| 2.2.3.4 Hareketlerin İşleyişi .....                               | 37   |
| 2.2.3.5 Başlangıç Parametreleri.....                              | 37   |
| 2.2.3.6 Karides Sürüsü Algoritmasının İşleyişi.....               | 38   |

|         |                                       |    |
|---------|---------------------------------------|----|
| 2.2.4   | Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi ..... | 39 |
| 2.2.5   | Hata Payı Ölçümü.....                 | 40 |
| 2.2.6   | Optimizasyonun Uygulanması .....      | 42 |
| 2.2.6.1 | Linear Model .....                    | 45 |
| 2.2.6.2 | Power Model .....                     | 47 |
| 2.2.6.3 | Exponential Model .....               | 50 |
| 2.2.6.4 | Quadratic Model.....                  | 52 |
| 2.2.6.5 | Semi-Quadratic Model .....            | 55 |
| 3       | ARAŞTIRMA BULGULARI .....             | 58 |
| 3.1     | Test Aşaması .....                    | 61 |
| 3.2     | Uygulama Akış Sırası.....             | 65 |
| 3.3     | Örnek Çözümler .....                  | 66 |
| 3.3.1   | Örnek 1 .....                         | 66 |
| 3.3.2   | Örnek 2 .....                         | 70 |
| 3.4     | Karşılaştırma .....                   | 73 |
| 4       | SONUÇLAR .....                        | 75 |
|         | KAYNAKÇA.....                         | 78 |
|         | EKLER.....                            | 83 |

## ŞEKİLLER DİZİNİ

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Şekil 1.1</i> Alaska (1964) depreminde oluşan ağır hasar[9].....                        | 3  |
| <i>Şekil 1.2</i> Niigata (1964) depreminde oluşan tipik zemin sıvılaşması hasarı[11] ..... | 4  |
| <i>Şekil 1.3</i> 17 Ağustos 1999 depremi devrilen bir yapı .....                           | 4  |
| <i>Şekil 1.4</i> Sıvılaşmanın basit gösterimi[13] .....                                    | 5  |
| <i>Şekil 2.1</i> WEKA girdileri .....                                                      | 21 |
| <i>Şekil 2.2</i> WEKA çıktısı – 1 .....                                                    | 22 |
| <i>Şekil 2.3</i> WEKA çıktısı - 2.....                                                     | 22 |
| <i>Şekil 2.4</i> Efektif gerilme normalizasyon grafiği .....                               | 30 |
| <i>Şekil 2.5</i> İnce tane oranı normalizasyon grafiği.....                                | 30 |
| <i>Şekil 2.6</i> $N_{1(60)}$ normalizasyon grafiği.....                                    | 31 |
| <i>Şekil 2.7</i> Depremin büyüklüğü normalizasyon grafiği .....                            | 31 |
| <i>Şekil 2.8</i> Maksimum yer ivmesi normalizasyon grafiği .....                           | 32 |
| <i>Şekil 2.9</i> Antarktika Karidesi[30] .....                                             | 33 |
| <i>Şekil 2.10</i> Karışıklık matrisi şeması.....                                           | 42 |
| <i>Şekil 2.11</i> Linear model 200 iterasyon – I.....                                      | 45 |
| <i>Şekil 2.12</i> Linear model 200 iterasyon - II .....                                    | 46 |
| <i>Şekil 2.13</i> Linear model 200 iterasyon – III .....                                   | 46 |
| <i>Şekil 2.14</i> Linear model 200 iterasyon - IV.....                                     | 47 |
| <i>Şekil 2.15</i> Power model 200 iterasyon – I .....                                      | 48 |
| <i>Şekil 2.16</i> Power model 200 iterasyon - II .....                                     | 48 |
| <i>Şekil 2.17</i> Power model 200 iterasyon – III .....                                    | 49 |
| <i>Şekil 2.18</i> Power model 200 iterasyon – IV.....                                      | 49 |
| <i>Şekil 2.19</i> Exponential model 200 iterasyon – I .....                                | 50 |
| <i>Şekil 2.20</i> Exponential model 200 iterasyon – II.....                                | 51 |
| <i>Şekil 2.21</i> Exponential model 200 iterasyon – III.....                               | 51 |
| <i>Şekil 2.22</i> Exponential model 200 iterasyon – IV.....                                | 52 |
| <i>Şekil 2.23</i> Quadratic model 200 iterasyon – I .....                                  | 53 |
| <i>Şekil 2.24</i> Quadratic model 200 iterasyon – II.....                                  | 53 |
| <i>Şekil 2.25</i> Quadratic model 200 iterasyon – III .....                                | 54 |
| <i>Şekil 2.26</i> Quadratic model 200 iterasyon – IV.....                                  | 54 |
| <i>Şekil 2.27</i> Semi-Quadratic model 200 iterasyon – I .....                             | 55 |

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| <i>Şekil 2.28</i> Semi-Quadratic model 200 iterasyon – II.....   | 56 |
| <i>Şekil 2.29</i> Semi-Quadratic model 200 iterasyon – III ..... | 56 |
| <i>Şekil 2.30</i> Semi-Quadratic model 200 iterasyon – IV .....  | 57 |
| <i>Şekil 3.1</i> Bulguların doğruluk grafiği.....                | 59 |
| <i>Şekil 3.2</i> Zemin sıvılaşması analiz grafiği .....          | 60 |
| <i>Şekil 3.3</i> Zemin sıvılaşması analiz grafiği 2 .....        | 65 |
| <i>Şekil 3.4</i> Örnek 1 zemin sıvılaşması analiz grafiği.....   | 69 |
| <i>Şekil 3.5</i> Örnek 2 zemin sıvılaşması analiz grafiği.....   | 73 |



## TABLÖLER DİZİNİ

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 2.1</b> Çalışmada kullanılan veri seti.....                                | 11 |
| <b>Tablo 2.2</b> Çalışmada kullanılan veri seti 2.....                              | 15 |
| <b>Tablo 2.3</b> Normalize edilmiş çalışma verileri.....                            | 26 |
| <b>Tablo 3.1</b> Çalışma bulgularının hata payı tablosu .....                       | 58 |
| <b>Tablo 3.2</b> Çalışma bulgularının doğruluk tablosu.....                         | 58 |
| <b>Tablo 3.3</b> Katsayılar .....                                                   | 59 |
| <b>Tablo 3.4</b> Test verilerinin analiz sonuçları.....                             | 62 |
| <b>Tablo 3.5</b> Test verilerinin $t_1 < 0,45$ ve $0,55 < t_1$ için sonuçları ..... | 64 |
| <b>Tablo 3.6</b> Örnek Çözüm Verileri.....                                          | 66 |

## SİMGİ VE KISALTMALAR DİZİNİ

|              |                                    |
|--------------|------------------------------------|
| A            | : Maksimum Yer İvmesi              |
| $a_{maks}$   | : Maksimum Yer İvmesi              |
| CPT          | : Konik Penetrasyon Deneyi         |
| CRR          | : Çevrimsel Kayma Mukavemeti Oranı |
| D50          | : Ortalama Tane Boyutu             |
| Dr           | : Rölatif Sıkılık                  |
| DT           | : Karar Ağacı                      |
| EFF          | : Efektif Gerilme                  |
| Em           | : Exponential Model                |
| FC           | : İnce Tane Oranı                  |
| g            | : Yerçekimi ivmesi ( $9,81m/s^2$ ) |
| KHA          | : Karides Sürüşü Algoritması       |
| $K_{\sigma}$ | : Aşırı Yük Düzeltme Faktörü       |
| Lm           | : Linear Model                     |
| M            | : Deprem Büyüklüğü                 |
| MI           | : İterasyon Sayısı                 |
| Mw           | : Moment Magnitüd                  |
| N            | : $N_{1(60)}$ değeri               |
| NK           | : Karides Sayısı                   |
| NR           | : Çalışma Sayısı                   |
| Pm           | : Power Model                      |
| Qm           | : Quadratic Model                  |
| Sm           | : Semi-Quadratic Model             |
| SPT          | : Standart Penetrasyon Deneyi      |
| TE           | : Test Verisi                      |
| TR           | : Çalışma Verisi                   |
| $\sigma$     | : Toplam Gerilme                   |
| $\sigma'$    | : Efektif Gerilme                  |



## 1 GİRİŞ

Zemin sıvılaşması, deprem dalgalarının etkisiyle meydana gelen, büyük hasarlara ve kalıcı deformasyonlara yol açabilecek tehlikeli bir zemin olayıdır. Deprem, zemin üzerinde tekrarlı ve yatay yüklemeler meydana getirir. Tekrarlı ve yatay yüklemeler zemin içerisinde sıkışma ve yeniden yerleşmeyi tetikler. Bu yüklemelere maruz kalan zeminlerde çökme, zemin kayması gibi çeşitli deformasyonlar gerçekleşir. Bu aşamada zemin tanelerinin cinsine ve zemin taneleri arasında hava boşluklarının varlığına göre zeminde farklı davranışlar gözlemlenir. Kil gibi kohezyonlu zeminlerde deprem anında sıvılaşma gözlenmez. Bunun sebebi killi zemin yapısının bünyesindeki suyu tutmasıdır. Kum, silt gibi kohezyonsuz zeminlerde ise bu durum tam tersidir. Kum, silt gibi zeminlere geçirimsizliği yüksek, kohezyonsuz zeminler denir.

Deprem anında kohezyonsuz zeminlerde sıkışma ve yeniden yerleşme başlar. Bu aşamada, zemin tanelerinin arasında hava boşluğu bulunan zeminlerde sıkışma ve yeniden yerleşme gözlenirken içerisinde hava boşluğu bulunmayan yani suya doygun zeminlerde durum farklıdır. İçerisindeki tüm boşluk hacminin su molekülleri ile dolu olduğu ve içerisinde hava boşluğu bulunmayan zeminler deprem dalgalarının etkisiyle sıkışmaya çalışırlar ancak taneler arasındaki su molekülleri bu kısa süre zarfında ortamdaki uzaklaşacak fırsat bulamazlar. Bu aşamada su moleküllerine baskı yapan zemin taneleri, su moleküllerinin bulundukları hacmi azaltmaya yönelik bir hareket yapar. Bu da boşluk suyu basıncının artmasına yol açar. Boşluk suyu basıncı zeminin normal gerilmesine eşit olduğu anda efektif gerilme sıfıra eşit olur ve sıvılaşma başlar. Zemin taneleri boşluk suyu basıncının etkisiyle hareket eder. Zemin, sıvı gibi viskoz bir davranış sergiler ve bu durum zeminin taşıma kapasitesini kaybetmesiyle sonuçlanır.

Plansız olarak inşa edilen yapılar, arazinin uygunluk şartları, acil durum ihtiyaçlarını karşılamak adına alınan kararlar gibi çeşitli etkenler şehirlerde düzensiz kentleşme sorununu ortaya çıkarmıştır. Yapıların birbirine çok yakın olması, zemin şartlarının tahkik edilmeden projelendirilmesi, eski yönetmeliklerdeki bazı eksikler gibi nedenler

yapıların doğal afetler esnasındaki davranışını olumsuz yönde etkilemektedir. Bu doğal afetler arasında deprem, yapılara verdiği hasarlar açısından daha detaylı analiz edilmesi gereken bir konudur.

Yapıların deprem esnasındaki davranışı, projelendirme aşamasında belirli sınır şartlara göre tahkik edilen bir konudur. Bu bağlamda yapıda oluşabilecek deprem kaynaklı sorunlar için projelendirme aşamalarına bakılabilir. Ancak depremden dolayı meydana gelen zemin sıvılaşması gibi konularda yapının projelendirme aşaması ne kadar iyi yapılırsa yapılsın zemin taşıma gücünü tamamen kaybedeceğinden dolayı kalıcı hasarlar kaçınılmaz olacaktır. Bu doğrultuda bakıldığında zemin sıvılaşmasının her türden yapı için mutlaka tahkik edilmesi gereken bir konu olduğu açıkça görülmektedir.

Zemin sıvılaşması, binalarda devrilme, köprülerde asimetrik oturmalar sonucunda oluşan çökme, yapılarda zemin içerisine gömülme ve yer altı yapılarında meydana gelen yer değiştirmeler gibi çeşitli kalıcı hasarlara yol açar. Yapılarda meydana gelebilecek bu hasarları en aza indirmek adına zemin sıvılaşmasının önceden tahmin edilmesi oldukça önemlidir. Bu çalışmanın amacı meydana gelebilecek depremlerden önce zeminin sıvılaşma ihtimalini belirlemektir. Bu sebeple farklı deprem büyüklüklerine göre sıvılaşmayı önceden tahmin eden analitik bir yöntem geliştirmek hedeflenmiştir. Bu analitik yöntemi bir denkleme indirgersek, bir denklem sonucuna göre zeminin sıvılaşma ihtimalinin belirlenmesi uygulanabilirlik açısından oldukça elverişlidir.

Zemin sıvılaşması ihtimalini belirleyen bir denklem ortaya çıkarmak için geçmiş depremlerde sıvılaşan zeminlere ait veriler kullanılmıştır. Gerçek saha şartlarından alınmış deprem ve zemin parametrelerini içeren 222 adet veri kaydı Bölüm 2.1’de detaylı olarak gösterilmiştir. Veri grubundaki parametreler ile bir denklem oluşturmak için 5 farklı denklem modeli kurulmuştur. Bu denklemler şöyledir; exponential model, linear model, power model, quadratic model ve semi quadratic modeldir. Her bir denklemin kendisine ait farklı sayıdaki parametrelerini bulmak için optimizasyon

yöntemi seçilmiştir. Optimizasyon aşamasında Karides Sürüsü Algoritması [8] kullanılmıştır. Uygulanan optimizasyon yöntemi, denklemdeki katsayıların hangi değerler için daha yüksek doğrulukla sonuçlar verdiğini iterasyonlar ile bulmaya dayalıdır.

Karides Sürüsü Algoritması'nın [8] seçilme sebebi geçmiş çalışmalarda [9] Karides Sürüsü Algoritma tabanının genel kullanımda olan diğer algoritmalarından daha yüksek doğrulukla sonuçlar vermesidir. Bu konudan Bölüm 2.2.3'te detaylı olarak bahsedilmiştir.

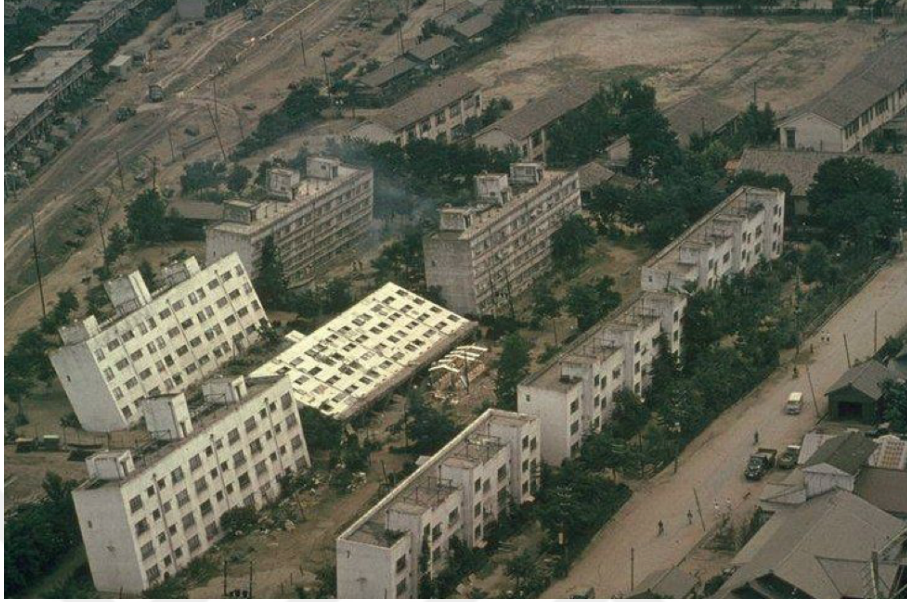
## 1.1 Zemin Sıvılaşması

Yakın geçmişe bakıldığında zemin sıvılaşmasının ağır hasarlara yol açtığı büyük depremler vardır. 1964 yılında Alaska[10]'da meydana gelen 9,2 Mw büyüklüğündeki deprem ABD tarihindeki en büyük deprem[11] olarak kayıtlara geçmiştir. Şekil 1.1'de görüldüğü üzere bu depremde zemin sıvılaşmasının yol açtığı hasarlar açıkça gözükmetedir.



*Şekil 1.1 Alaska (1964) depreminde oluşan ağır hasar[12]*

Yine aynı yıl içerisinde Japonya'nın Niigata şehrinde meydana gelen depremde zemin sıvılaşmasının örnekleri görülmektedir. 7,5 büyüklüğündeki bu depremde zemin sıvılaşmasının tipik bir sonucu Şekil 1.2'de gösterilmiştir. [13]



*Şekil 1.2 Niigata (1964) depreminde oluşan tipik zemin sıvılaşması hasarı[14]*

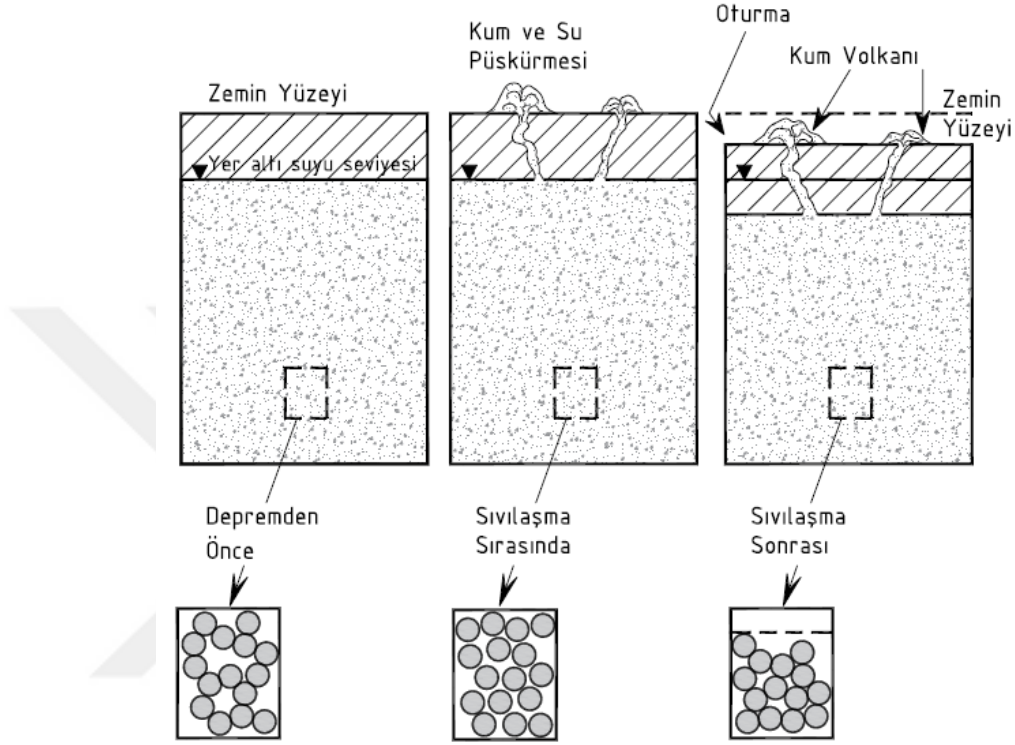
Ülkemizde ise 17 Ağustos'ta 1999'da meydana gelen depremde zemin sıvılaşmasından kaynaklı ağır hasarlar oluşmuştur [15]. Çok sayıda can ve mal kaybına yol açan bu depremde yer yer zemin sıvılaşması görülmüştür. 7,4 büyüklüğünde meydana gelen depremde oluşan tipik hasar Şekil 1.3'te gösterilmiştir.



*Şekil 1.3 17 Ağustos 1999 depremi devrilen bir yapı*



Zeminin sıvılaşma mekanizması, suya doymun kum, silt gibi kohezyonlu zeminlerin tekrarlı yatay yüklemeler altında yük taşıma kapasitesini kaybederek sıvı gibi viskoz bir davranış göstermesi şeklinde oluşur. Şekil 1.4'te gösterildiği üzere normal şartlar altında suya doymun zeminlerde zemin taneleri dağınık halde bulunurken deprem anında zemin taneleri sarsıntının etkisiyle sıkışır ve aralarındaki boşluk azalır.



**Şekil 1.4** Sıvılaşmanın basit gösterimi[16]

Ortamda bulunan su molekülleri hacmin azalmasına bağlı olarak ortamdan uzaklaşmak ister ancak sıkışan zemin taneleri arasından kaçacak yer bulamaz. Hacmin azalmasından dolayı ortamda bir basınç oluşur ve buna boşluk suyu basıncı denir. Aşırı boşluk suyu basıncı zeminde normal gerilmeye eşit olduğu anda efektif gerilme 0'a eşit olur ve su molekülleri zemin tanelerinin arasından yüksek basınçla uzaklaşır. Zemin taneleri de su molekülleriyle birlikte hareket eder ve bu duruma sıvılaşma adı verilir. Çamur fışkırması, kum su püskürmesi olarak gözlemlenebilir. Tüm sıvılaşma olaylarının en karakteristik özelliği drenajsız yükleme şartlarında oluşan aşırı boşluk suyu basıncıdır.

## 1.2 Literatür Özetleri

“Zemin sıvılaşması” kavramı ilk olarak 1948 yılında Karl Terzaghi ve Ralph Brazelton Peck tarafından yayımlanan “Soil mechanics in engineering practice” kitabında [17] şu şekilde kullanılmıştır; “Sıvılaşma, suya doymun zeminin çökmesi sırasında, zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının, zemini çevreleyen suya aktarılmasıyla oluşur.”

H. B. Seed ve I. M. Idriss, zemin sıvılaşmasının kavramsal olarak temellere oturması alanında bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışma “Basitleştirilmiş Sıvılaşma Analizi” olarak bilinmektedir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Deprem anında meydana gelen yer hareketi için bir çevrimsel kayma gerilmesi (CSR) kullanılır ve bu değer çevrimsel kayma mukavemeti oranı (CRR) ile kıyaslanır. Çeşitli düzeltme faktörlerini içeren bu yöntemde SPT ve CPT deneylerinden CRR değerinin elde edilişi de yer almaktadır.

H. R. Talebi Mamoudan, F. Kalantary, M. Derakhshandi, and N. Ganjian [18], zemin sıvılaşması potansiyelini belirlemek adına literatürde var olan eski çalışmaları önce kendi aralarında ardından olasıksal ve deterministlik önerileri ile kıyaslamışlardır. Bu çalışmada kullandıkları 241 adet veri CPT ve CPTu tabanlı verilerdir. Yaptıkları çalışmada hata payını belirlemek için kullandıkları yöntem bu çalışmada da kullanılan karışıklık matrisidir. 6 parametre kullanarak zemin sıvılaşması ihtimalini %90,9 doğruluk payı ile belirlemişlerdir.

Timothy D. Stark ve Scott M. Olson [19], sıvılaşma direncini belirlemek için CPT ve SPT deneylerine dayalı yöntemleri karşılaştırmaya dayalı bir çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında zemin sıvılaşması potansiyelini H. Bolton Seed’e [5] ait yöntemle belirlemişlerdir. CPT deneyinin SPT deneyine göre daha stabil, ekonomik, kullanılabilir olduğunu vurgularken zemin sıvılaşması için sadece CPT deneyine ihtiyaç duyulmadığını da eklemişlerdir. CPT deneyinin tek başına yapıldığında zemin sınıflandırmasının yapılamadığı ve tane dağılımının oluşturulamadığı için zemin

sıvılaşması analizi için SPT deneyine de kesinlikle ihtiyaç duyulduğunu belirtmişlerdir.

Gulmustafa Şen, Erdal Akyol[20] , zeminin sıvılaşma potansiyelini belirlemek için genetik algoritma tabanlı bir yazılım geliştirmişlerdir. Geçmişe yönelik sıvılaşma olan ve olmayan gerçek deprem verileri ile çalışmışlardır. Veri seti, dünyanın değişik yerlerinden toplanan CPT ve SPT testlerinden oluşan bu çalışma sonucunda zeminin sıvılaşma potansiyelini belirleyen, 10 parametreye bağlı bir denklem geliştirmişlerdir. Bu denklemin hata payını ise %7,5 olarak belirlemişlerdir.

C.H. Juang, C. J. Chen, W. H. Tang ve D. V. Rosowsky[21], 2 parçadan oluşan çalışmanın ilk kısmında ANN (Artificial Neural Network – Yapay Sinir Ağları) yöntemi kullanılarak zemin sıvılaşmasını belirleyen bir fonksiyon ve CPT deneyi ile CRR değeri belirlemek için bir fonksiyon geliştirmişlerdir. Zemin sıvılaşmasını belirlemek için önerdikleri fonksiyon 5 parametreye bağlıdır ve şu şekildedir; CRR değeri ile zemin sıvılaşması arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmalarında CPT tabanlı 225 adet saha verisi ile çalışmışlardır. Bu model 5 parametreye bağlıdır. Kullandıkları veriler bu çalışmada da olduğu gibi normalize verilerden oluşturulmuştur ve parametreler ise şu şekildedir; koni uç direnci, sürtünme oranı, aşırı konsolidasyon oranı, efektif gerilme ve deprem ivmesinin g sabitine bölünmesiyle elde edilen bir parametredir. Çalışmanın sonucunda %90'ın üzerinde bir doğruluk payı ile çalışmayı tamamladıklarını belirtmişlerdir.

Law, Cao ve He[22], sıvılaşmanın, granüler zeminler üzerindeki potansiyelini belirlemek amacıyla, laboratuvar testlerine ve geçmişteki büyük depremlerin gözlem verilerine dayanarak enerjiye dayalı bir metot kullanmışlardır. 13 büyük depremdeki toplam 136 saha verisinin değerlendirilmesi sonucunda kullanılan enerji metodunun

yaygın olarak kullanılan gerilme metoduna göre daha uygulanabilir ve güvenilir olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

Anthony T.C. Goh [23], sıvılaşmayı değerlendirmek için analizi zor, doğrusal olmayan kapsamlı modellere ihtiyaç duyulduğunu ve kullanılan yaygın yöntemlerin sıvılaşma analizinde yetersiz kaldığını belirtmiştir. Bu çalışmada Navie Bayes Sınıflandırma [24]tabanına dayanarak olasılıksal sinir ağları yaklaşımı ile gerçek saha şartlarında yapılan koni penetrasyon testi ve kesme dalgası testi sonuçlarının sıvılaşmada etkisi üzerine çalışılmıştır. Sonuç olarak kurdukları modelin sıvılaşma ile bu zemin parametreleri arasında bir bağ kurabildiğini kanıtlamıştır.

Amir Hossein Alavi ve Amir Hossein Gandomi [25], çalışmalarında kumlu zeminlerin sıvılaşma potansiyellerini değerlendirmek amacıyla genetik programlamadan yararlanmışlardır. Gerilme enerjisi ile sıvılaşmayı tetikleyen enerji arasındaki ilişkisinin incelendiği bu çalışmada kullanılan korelasyonlar literatürdeki deney sonuçlarıyla kıyaslanmıştır. Sonuç olarak önerilen korelasyonların sıvılaşma potansiyelini literatürde bulunan modellerden önemli ölçüde iyi tahmin ettiği sonucuna ulaşmışlardır

Y.R. Chen, S.C. Hsieh, J.W. Chen ve C.C. Shih [26], çalışmalarını geri yayılım (Backpropagation) yöntemine dayanarak sismik dalga enerjisinin zemin sıvılaşmasındaki değerlendirmesi üzerine yapılmıştır. Sismik dalga enerjisini belirlemek için ampirik bir denklem kullanılan matematiksel bir çalışmadır. Çalışmada önerilen yöntemin sınır eğrisi ve logaritmik normal dağılıma dayalı olarak zemin sıvılaşma potansiyelini belirleyebildiği sonucuna ulaşmışlardır.

Hamed Javdanian, Ali Heidari ve Reza Kamgar[27] tarafından yapılan çalışma, sıvılaşma için gerekli enerjinin belirlenmesinde nöro-bulanık grup veri işleme yöntemi kullanılarak oluşturulmuş bir çalışmadır. Nöro-bulanık grup veri işleme yöntemi parçacık sürüşü optimizasyonundan geliştirilmiş bir modeldir. Çalışmada kullanılan parametreler literatürdeki önceki çalışmalarda seçilen önemli parametrelere göre



seçilmiştir. Laboratuvar test sonuçlarına göre önerilen modelin zemin sıvılaşma potansiyelini enerjiye dayalı olarak tahmin edebildiği görülmektedir.

Alireza Rahbarzare, Mohammad Azadi[28] , yaptıkları çalışmada zemin sıvılaşması tahmininde hibrit parçacık sürüsü optimizasyonunu bulanık destek vektör makinesi destekli genetik algoritma ile kullanmışlardır. Bulanık mantığın, sistemin doğruluğunu artırmak için kullanıldığı bu çalışmada 1964 ve 1983 yılları arasında kaydedilen 5 büyük deprem verileri kullanılmıştır. 109 CPT tabanlı saha verisi üzerinde yapılan çalışma sonucunda önerilen algoritmanın zemin sıvılaşmasını yeterli doğrulukla tahmin ettiği bildirilmiştir.

Kamel Goudjil ve Badreddine Sbartaı [29], literatürde zemin parametrelerini optimize etmek amacıyla yaygın olarak yapay sinir ağları, genetik ve parçacık sürüsü gibi algoritmaların kullanıldığını belirtmişlerdir. Bu çalışmalarında zemin parametrelerini optimize etmekte kullanılan bu 3 algoritma ile kayma dalga hızı ve sıvılaşma sonrası oturmalar arasındaki bağlantıyı optimize etmeyi hedeflemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 3 algoritma arasından genetik algoritmanın daha başarılı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

Amir H. Gandomi, Mark M. Fridline, David A. Roke [30], tarafından yapılan çalışmada zemin sıvılaşma potansiyeli için bazı karar ağacı [31] tekniklerinden yararlanılmıştır. Onlar bu amaçla 620 adet farklı deprem ve zemin parametresi kullanmışlardır. Çalışma sonuçları lojistik resresyon modeliyle karşılaştırıldığında karar ağacı modelinin başarılı bir şekilde sıvılaşmayı belirlediği hatta lojistik resresyon modelinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür.

Ji-Lei Hu, Xiao-Wei Tang ve Jiang-NanQiu[32], zemin sıvılaşmasını tahmin etmek için 12 farklı parametre ile 2 yöntem üzerinde çalışılmıştır. Bunlardan ilki yorumsal bir modelleme üzerinde kurulduğu için birçok hata içerirken ikinci yöntem ise K2 algoritması ile tam verilerle kurulan bir modeldir. Yapay sinir ağı ve destek vektör

makinesi ile 5 kez çapraz doğrulamanın yapıldığı bu çalışmada sonuç olarak Bayes Ağı'nın[24] sınılaşma tahminlerinin yeterli olduğu ve pratikte kullanılabilir olduğunu belirtmişlerdir.

Liangliang Li, Yongquan Zhou ve Jian Xie [9] ise çalışmalarında farklı algoritmaların problem çözme yeteneklerini karşılaştırmışlardır. Bu karşılaştırma sonucunda optimizasyon fonksiyonlarında, Krill Herd (Karides Sürüsü) tabanlı A Free Search Krill Herd (FSKH) algoritmasının geleneksel diğer algoritmalara göre daha doğru sonuçları daha kısa sürede bulduğunu göstermişlerdir. 14 farklı deney problemiyle sınanan algoritmalar arasında FSKH 14 denklemin 13'ünde en yakın tahmini yaparak en iyi sonucu vermiştir.

Anthony T.C. Goh [33], zemin sınılaşması potansiyelini araştırırken deprem ve zemin parametreleri arasındaki karmaşık ilişkiyi modellemek için yapay sinir ağıları kullanılmıştır. Gerçek saha verileriyle yapılan bu çalışmada kullanılan parametre sayısı arttıkça modelin doğruluğu da artmıştır. Sekiz parametre ile hazırlanan model çalışmanın en başarılı modelidir. Bu parametreler; standart penetrasyon testi (SPT) değeri, ince tane oranı, ortalama tane çapı ( $D_{50}$ ), eşdeğer dinamik kesme gerilmesi, toplam gerilme, efektif gerilme, depremin büyüklüğü ve maksimum yatay yer ivmesidir. Bu parametreler içerisinde sınılaşmaya etkisi en yüksek olan parametrelerin SPT ve ince tane oranı parametreleri olduğu belirlenmiştir. Yapılan karşılaştırmalar sonucunda önerilen modelin geleneksel dinamik gerilme yönteminden daha başarılı sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

## 2 MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1 Materyal

Bu çalışma kapsamında geçmişte gerçekleşen depremler ve bu depremlere maruz kalan zeminlere ait gerçek saha şartlarından alınan veriler kullanılmıştır. Bu çalışmada kullanılan veriler literatürde yer alan çalışmalardan alınan, geniş aralıklara sahip verilerdir [1], [2], [3], [4], [5]. Veri grubunda, her biri 16 parametreye sahip toplam 222 adet veri vardır. Bu veriler deprem ve zemin parametrelerini içermektedir.

Bu çalışmanın doğruluğunu test edebilmek amacıyla verilerin yaklaşık %30'u test verisi olarak ayrılmıştır. Çalışma ve test verilerini belirlenirken Excel Spreadsheet'ten yararlanılmıştır ve rastgele bir seçim yapılmıştır. 163 tane çalışma verisi ve 59 tane test verisi dışarıdan bir müdahale olmadan rastgele olarak seçilmiştir. Test verileri sadece çalışmanın sonucunda ortaya çıkacak denklemin doğrulunu ölçmek için kullanılmıştır. Tablo 2.1'de gösterilen  $t_1$  sütunundaki TR çalışma verilerini, TE ise test verilerini temsil etmektedir. Çalışma verilerinin tümü Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 ve Tablo 2.2'de gösterilen kısaltmaların tanımları:

|                                                |                                                    |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| $t_1$ : Çalışma verisi (TR) / test verisi (TE) | $t_9$ : Ortalama SPT darbe sayısı                  |
| $t_2$ : Sıvılaşma var (1) / yok (0)            | $t_{10}$ : $N_{1(60)}$ değeri                      |
| $t_3$ : Depremin büyüklüğü (M)                 | $t_{11}$ : İnce tane oranı (%)                     |
| $t_4$ : Maksimum yer ivmesi - $a_{maks}(g)$    | $t_{12}$ : $N_{1(60)cs}$ değeri                    |
| $t_5$ : Ortalama Derinlik (m)                  | $t_{13}$ : Aşırı yük düzeltme faktörü - $K_\sigma$ |
| $t_6$ : Yeraltı su seviyesi (m)                | $t_{14}$ : Rölatif sıkılık - Dr                    |
| $t_7$ : Toplam gerilme - $\sigma$ (kpa)        | $t_{15}$ : Deprem bilgisi (yerel)                  |
| $t_8$ : Efektif gerilme - $\sigma'$ (kpa)      | $t_{16}$ : Deprem bilgisi (genel)                  |

**Tablo 2.1** Çalışmada kullanılan veri seti

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> | <i>t<sub>11</sub></i> | <i>t<sub>12</sub></i> | <i>t<sub>13</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1          | TR                   | 1                    | 8,10                 | 0,20                 | 5,20                 | 2,10                 | 98,00                | 68,00                | 5,90                 | 8,20                  | 10,00                 | 9,30                  | 1,04                  |
| 2          | TR                   | 1                    | 8,10                 | 0,20                 | 4,30                 | 2,40                 | 80,00                | 61,00                | 2,30                 | 3,40                  | 30,00                 | 8,70                  | 1,07                  |
| 3          | TR                   | 1                    | 8,10                 | 0,20                 | 3,70                 | 2,10                 | 69,00                | 39,00                | 1,00                 | 1,70                  | 27,00                 | 6,90                  | 1,08                  |
| 4          | TR                   | 1                    | 7,00                 | 0,40                 | 4,00                 | 1,20                 | 75,00                | 48,00                | 8,00                 | 11,80                 | 0,00                  | 11,80                 | 1,07                  |
| 5          | TE                   | 1                    | 7,00                 | 0,35                 | 7,50                 | 3,70                 | 141,00               | 104,00               | 17,30                | 21,10                 | 4,00                  | 21,10                 | 0,99                  |
| 6          | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,09                 | 3,30                 | 1,00                 | 63,00                | 41,00                | 2,60                 | 4,70                  | 5,00                  | 4,70                  | 1,07                  |
| 7          | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 7,00                 | 0,90                 | 132,00               | 72,00                | 8,00                 | 9,90                  | 2,00                  | 9,90                  | 1,03                  |
| 8          | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 5,30                 | 0,90                 | 85,00                | 43,00                | 7,90                 | 12,70                 | 8,00                  | 13,00                 | 1,09                  |
| 9          | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 3,80                 | 2,00                 | 71,00                | 53,00                | 4,50                 | 6,80                  | 5,00                  | 6,80                  | 1,05                  |
| 10         | TR                   | 0                    | 7,60                 | 0,18                 | 7,00                 | 1,80                 | 132,00               | 81,00                | 18,00                | 22,70                 | 2,00                  | 22,70                 | 1,03                  |
| 11         | TR                   | 0                    | 7,60                 | 0,18                 | 10,10                | 1,80                 | 190,00               | 109,00               | 20,00                | 23,50                 | 2,00                  | 23,50                 | 0,99                  |
| 12         | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 10,10                | 0,90                 | 190,00               | 100,00               | 10,00                | 11,00                 | 2,00                  | 11,00                 | 1,00                  |
| 13         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 4,60                 | 0,60                 | 86,00                | 47,00                | 6,00                 | 9,40                  | 0,00                  | 9,40                  | 1,07                  |
| 14         | TR                   | 0                    | 7,60                 | 0,18                 | 6,10                 | 2,40                 | 115,00               | 79,00                | 12,00                | 14,10                 | 0,00                  | 14,10                 | 1,03                  |
| 15         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,16                 | 4,30                 | 0,00                 | 80,00                | 39,00                | 4,00                 | 7,00                  | 10,00                 | 8,20                  | 1,08                  |
| 16         | TR                   | 0                    | 7,60                 | 0,18                 | 6,10                 | 1,20                 | 115,00               | 67,00                | 27,00                | 35,00                 | 0,00                  | 35,50                 | 1,10                  |
| 17         | TR                   | 0                    | 7,50                 | 0,24                 | 2,90                 | 2,00                 | 53,00                | 45,00                | 8,00                 | 12,10                 | 36,00                 | 17,60                 | 1,10                  |
| 18         | TR                   | 1                    | 8,30                 | 0,21                 | 5,70                 | 0,00                 | 95,00                | 38,00                | 9,00                 | 16,50                 | 3,00                  | 16,50                 | 1,10                  |
| 19         | TR                   | 0                    | 8,30                 | 0,23                 | 6,10                 | 2,10                 | 115,00               | 76,00                | 28,00                | 35,30                 | 5,00                  | 35,30                 | 1,08                  |
| 20         | TR                   | 0                    | 8,30                 | 0,23                 | 4,00                 | 0,90                 | 75,00                | 45,00                | 16,00                | 23,00                 | 5,00                  | 23,00                 | 1,10                  |
| 21         | TE                   | 1                    | 8,30                 | 0,23                 | 4,00                 | 0,60                 | 75,00                | 42,00                | 6,00                 | 9,10                  | 5,00                  | 9,10                  | 1,08                  |
| 22         | TE                   | 1                    | 8,30                 | 0,20                 | 4,00                 | 0,90                 | 75,00                | 45,00                | 5,00                 | 7,60                  | 1,00                  | 20,00                 | 0,99                  |
| 23         | TR                   | 1                    | 6,61                 | 0,45                 | 6,10                 | 4,60                 | 112,00               | 96,00                | 3,50                 | 3,90                  | 55,00                 | 9,50                  | 1,01                  |
| 24         | TR                   | 1                    | 6,61                 | 0,45                 | 6,10                 | 4,60                 | 112,00               | 96,00                | 7,30                 | 8,10                  | 50,00                 | 13,70                 | 1,01                  |
| 25         | TE                   | 1                    | 7,00                 | 0,20                 | 8,20                 | 1,50                 | 155,00               | 89,00                | 9,10                 | 7,60                  | 67,00                 | 13,20                 | 1,01                  |
| 26         | TR                   | 0                    | 7,00                 | 0,20                 | 8,20                 | 1,50                 | 158,00               | 92,00                | 9,00                 | 8,90                  | 50,00                 | 14,60                 | 1,01                  |
| 27         | TE                   | 1                    | 7,00                 | 0,30                 | 7,80                 | 1,50                 | 147,00               | 85,00                | 13,00                | 13,30                 | 48,00                 | 19,00                 | 1,02                  |
| 28         | TR                   | 1                    | 7,00                 | 0,30                 | 8,20                 | 1,50                 | 158,00               | 92,00                | 11,00                | 11,00                 | 5,00                  | 11,00                 | 1,01                  |
| 29         | TR                   | 1                    | 7,50                 | 0,14                 | 10,40                | 1,50                 | 139,00               | 86,00                | 6,00                 | 5,00                  | 3,00                  | 5,00                  | 1,01                  |
| 30         | TR                   | 0                    | 7,50                 | 0,14                 | 10,70                | 3,40                 | 137,00               | 71,00                | 16,00                | 14,30                 | 1,00                  | 3,00                  | 0,89                  |
| 31         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,13                 | 4,50                 | 1,10                 | 87,00                | 54,00                | 9,00                 | 11,70                 | 12,00                 | 13,80                 | 1,06                  |
| 32         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,20                 | 4,40                 | 1,50                 | 81,00                | 53,00                | 9,70                 | 11,50                 | 12,00                 | 13,50                 | 1,07                  |
| 33         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,22                 | 3,50                 | 1,10                 | 62,00                | 38,00                | 19,30                | 24,40                 | 5,00                  | 24,40                 | 1,10                  |
| 34         | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,22                 | 3,50                 | 1,10                 | 56,00                | 32,00                | 5,90                 | 8,50                  | 3,00                  | 8,50                  | 1,10                  |
| 35         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,35                 | 5,30                 | 0,90                 | 102,00               | 59,00                | 17,00                | 20,10                 | 20,00                 | 24,60                 | 1,09                  |
| 36         | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,50                 | 5,30                 | 3,10                 | 98,00                | 75,00                | 30,00                | 31,00                 | 10,00                 | 32,70                 | 1,07                  |
| 37         | TE                   | 1                    | 7,60                 | 0,20                 | 6,10                 | 0,90                 | 118,00               | 67,00                | 9,00                 | 10,50                 | 20,00                 | 15,00                 | 1,05                  |
| 38         | TR                   | 1                    | 7,50                 | 0,20                 | 8,20                 | 4,60                 | 142,00               | 106,00               | 9,00                 | 6,30                  | 20,00                 | 10,70                 | 1,00                  |
| 39         | TR                   | 1                    | 7,50                 | 0,20                 | 11,10                | 6,70                 | 199,00               | 156,00               | 13,00                | 7,60                  | 5,00                  | 7,60                  | 1,00                  |
| 40         | TR                   | 0                    | 7,50                 | 0,20                 | 3,70                 | 1,20                 | 63,00                | 39,00                | 14,00                | 14,30                 | 4,00                  | 14,30                 | 1,10                  |
| 41         | TR                   | 0                    | 7,50                 | 0,20                 | 3,10                 | 2,10                 | 53,00                | 44,00                | 14,00                | 13,60                 | 3,00                  | 13,60                 | 1,09                  |
| 42         | TR                   | 1                    | 7,50                 | 0,20                 | 5,20                 | 1,80                 | 90,00                | 56,00                | 6,00                 | 5,80                  | 50,00                 | 11,40                 | 1,06                  |
| 43         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,10                 | 6,40                 | 0,90                 | 121,00               | 67,00                | 10,00                | 12,80                 | 0,00                  | 12,80                 | 1,04                  |
| 44         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,14                 | 5,20                 | 2,40                 | 98,00                | 71,00                | 9,00                 | 11,10                 | 20,00                 | 15,50                 | 1,04                  |
| 45         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 3,50                 | 1,40                 | 66,00                | 45,00                | 3,70                 | 5,50                  | 10,00                 | 6,70                  | 1,07                  |
| 46         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,14                 | 3,40                 | 3,10                 | 62,00                | 59,00                | 11,00                | 12,30                 | 5,00                  | 12,30                 | 1,05                  |
| 47         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,14                 | 6,10                 | 2,40                 | 115,00               | 79,00                | 12,00                | 14,10                 | 3,00                  | 14,10                 | 1,03                  |
| 48         | TR                   | 1                    | 6,50                 | 0,12                 | 2,80                 | 0,50                 | 53,00                | 30,00                | 4,70                 | 6,90                  | 5,00                  | 6,90                  | 1,10                  |
| 49         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 3,40                 | 1,30                 | 63,00                | 42,00                | 7,00                 | 9,60                  | 4,00                  | 9,60                  | 1,08                  |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> | <i>t<sub>11</sub></i> | <i>t<sub>12</sub></i> | <i>t<sub>13</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 50         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,14                 | 6,40                 | 4,30                 | 106,00               | 85,00                | 9,00                 | 9,40                  | 5,00                  | 9,40                  | 1,02                  |
| 51         | TE                   | 0                    | 6,50                 | 0,14                 | 4,00                 | 2,40                 | 75,00                | 60,00                | 6,00                 | 7,50                  | 10,00                 | 8,60                  | 1,05                  |
| 52         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 4,30                 | 1,80                 | 80,00                | 56,00                | 4,00                 | 5,40                  | 10,00                 | 6,50                  | 1,05                  |
| 53         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 2,50                 | 1,20                 | 46,00                | 34,00                | 10,10                | 16,20                 | 7,00                  | 16,30                 | 1,10                  |
| 54         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 4,30                 | 0,30                 | 80,00                | 42,00                | 8,00                 | 11,80                 | 12,00                 | 13,90                 | 1,09                  |
| 55         | TR                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 5,50                 | 1,80                 | 99,00                | 63,00                | 2,00                 | 2,50                  | 60,00                 | 8,10                  | 1,04                  |
| 56         | TE                   | 0                    | 6,50                 | 0,12                 | 4,30                 | 0,90                 | 80,00                | 47,00                | 11,00                | 15,10                 | 0,00                  | 15,10                 | 1,08                  |
| 57         | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,20                 | 6,40                 | 0,90                 | 121,00               | 67,00                | 10,00                | 12,80                 | 0,00                  | 12,80                 | 1,04                  |
| 58         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 5,20                 | 2,40                 | 98,00                | 71,00                | 9,00                 | 11,10                 | 20,00                 | 15,50                 | 1,04                  |
| 59         | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,20                 | 3,50                 | 1,40                 | 66,00                | 45,00                | 3,70                 | 5,50                  | 10,00                 | 6,70                  | 1,07                  |
| 60         | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,20                 | 4,50                 | 1,40                 | 87,00                | 57,00                | 14,20                | 20,90                 | 10,00                 | 22,00                 | 1,08                  |
| 61         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,28                 | 3,40                 | 3,10                 | 62,00                | 59,00                | 11,00                | 12,30                 | 5,00                  | 12,30                 | 1,05                  |
| 62         | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,28                 | 4,80                 | 3,10                 | 90,00                | 73,00                | 13,20                | 17,60                 | 0,00                  | 17,60                 | 1,04                  |
| 63         | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,24                 | 4,60                 | 2,40                 | 86,00                | 65,00                | 10,00                | 12,70                 | 26,00                 | 17,80                 | 1,05                  |
| 64         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 6,10                 | 2,40                 | 115,00               | 79,00                | 12,00                | 14,10                 | 3,00                  | 14,10                 | 1,03                  |
| 65         | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,32                 | 3,40                 | 0,90                 | 63,00                | 39,00                | 19,00                | 26,20                 | 4,00                  | 26,20                 | 1,10                  |
| 66         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,32                 | 2,80                 | 0,50                 | 53,00                | 30,00                | 4,70                 | 6,90                  | 5,00                  | 6,90                  | 1,10                  |
| 67         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,32                 | 3,40                 | 1,30                 | 63,00                | 42,00                | 7,00                 | 9,60                  | 4,00                  | 9,60                  | 1,08                  |
| 68         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 6,40                 | 4,30                 | 106,00               | 85,00                | 9,00                 | 9,40                  | 5,00                  | 9,40                  | 1,02                  |
| 69         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 4,00                 | 2,40                 | 75,00                | 60,00                | 6,00                 | 7,50                  | 10,00                 | 8,60                  | 1,05                  |
| 70         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 4,30                 | 1,80                 | 80,00                | 56,00                | 4,00                 | 5,40                  | 10,00                 | 6,50                  | 1,05                  |
| 71         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 2,50                 | 1,20                 | 46,00                | 34,00                | 10,10                | 16,20                 | 7,00                  | 16,30                 | 1,10                  |
| 72         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 4,30                 | 0,30                 | 80,00                | 42,00                | 8,00                 | 11,80                 | 12,00                 | 13,90                 | 1,09                  |
| 73         | TE                   | 0                    | 7,70                 | 0,24                 | 7,30                 | 1,20                 | 138,00               | 78,00                | 17,00                | 20,10                 | 17,00                 | 24,00                 | 1,04                  |
| 74         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 5,50                 | 1,80                 | 99,00                | 63,00                | 2,00                 | 2,50                  | 60,00                 | 8,10                  | 1,04                  |
| 75         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,24                 | 4,30                 | 0,90                 | 80,00                | 47,00                | 11,00                | 15,10                 | 0,00                  | 15,10                 | 1,08                  |
| 76         | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,24                 | 5,50                 | 2,10                 | 103,00               | 70,00                | 20,00                | 24,60                 | 0,00                  | 24,60                 | 1,06                  |
| 77         | TR                   | 0                    | 6,53                 | 0,78                 | 2,90                 | 1,80                 | 53,00                | 42,00                | 30,40                | 37,80                 | 12,00                 | 40,00                 | 1,10                  |
| 78         | TR                   | 1                    | 6,53                 | 0,78                 | 3,70                 | 1,80                 | 68,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 18,00                 | 7,00                  | 1,06                  |
| 79         | TR                   | 0                    | 6,53                 | 0,78                 | 4,00                 | 1,80                 | 79,00                | 56,00                | 13,00                | 16,20                 | 25,00                 | 21,20                 | 1,08                  |
| 80         | TE                   | 0                    | 6,53                 | 0,13                 | 4,30                 | 2,70                 | 77,00                | 62,00                | 5,00                 | 6,20                  | 92,00                 | 11,70                 | 1,05                  |
| 81         | TE                   | 1                    | 6,53                 | 0,51                 | 2,10                 | 1,50                 | 38,00                | 32,00                | 3,00                 | 4,60                  | 31,00                 | 10,00                 | 1,10                  |
| 82         | TE                   | 1                    | 6,53                 | 0,20                 | 3,40                 | 2,10                 | 62,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 64,00                 | 8,50                  | 1,06                  |
| 83         | TR                   | 0                    | 6,53                 | 0,20                 | 2,30                 | 2,10                 | 40,00                | 38,00                | 11,00                | 15,20                 | 30,00                 | 20,60                 | 1,10                  |
| 84         | TR                   | 1                    | 6,53                 | 0,24                 | 1,80                 | 0,30                 | 35,00                | 20,00                | 3,00                 | 4,60                  | 80,00                 | 10,20                 | 1,10                  |
| 85         | TE                   | 0                    | 6,53                 | 0,17                 | 4,60                 | 1,20                 | 87,00                | 54,00                | 7,10                 | 10,30                 | 30,00                 | 15,70                 | 1,07                  |
| 86         | TE                   | 0                    | 6,00                 | 0,10                 | 6,10                 | 0,90                 | 108,00               | 57,00                | 5,00                 | 7,10                  | 13,00                 | 9,60                  | 1,05                  |
| 87         | TR                   | 0                    | 6,00                 | 0,10                 | 14,30                | 0,90                 | 254,00               | 123,00               | 4,00                 | 3,90                  | 27,00                 | 9,10                  | 0,98                  |
| 88         | TR                   | 1                    | 5,90                 | 0,32                 | 4,30                 | 2,70                 | 77,00                | 62,00                | 5,00                 | 6,20                  | 92,00                 | 11,70                 | 1,05                  |
| 89         | TE                   | 0                    | 5,90                 | 0,09                 | 2,10                 | 1,50                 | 38,00                | 32,00                | 3,00                 | 4,60                  | 31,00                 | 10,00                 | 0,97                  |
| 90         | TR                   | 1                    | 5,90                 | 0,20                 | 3,40                 | 2,10                 | 62,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 64,00                 | 8,50                  | 1,06                  |
| 91         | TR                   | 0                    | 5,90                 | 0,20                 | 2,30                 | 2,10                 | 40,00                | 38,00                | 11,00                | 15,20                 | 30,00                 | 20,60                 | 1,10                  |
| 92         | TR                   | 0                    | 5,90                 | 0,21                 | 1,80                 | 0,30                 | 35,00                | 20,00                | 3,00                 | 4,60                  | 80,00                 | 10,20                 | 1,10                  |
| 93         | TR                   | 0                    | 5,90                 | 0,21                 | 4,30                 | 0,30                 | 83,00                | 45,00                | 11,00                | 15,20                 | 18,00                 | 19,30                 | 1,10                  |
| 94         | TR                   | 1                    | 5,90                 | 0,26                 | 4,60                 | 1,20                 | 87,00                | 54,00                | 7,10                 | 10,30                 | 30,00                 | 15,70                 | 1,07                  |
| 95         | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,17                 | 2,40                 | 1,60                 | 42,00                | 35,00                | 10,00                | 17,00                 | 5,00                  | 17,00                 | 1,10                  |
| 96         | TE                   | 0                    | 6,80                 | 0,15                 | 4,30                 | 1,00                 | 69,00                | 37,00                | 2,60                 | 5,10                  | 1,00                  | 5,00                  | 0,95                  |
| 97         | TR                   | 0                    | 6,80                 | 0,15                 | 9,20                 | 1,00                 | 158,00               | 77,00                | 13,10                | 18,10                 | 0,00                  | 18,10                 | 1,03                  |
| 98         | TR                   | 1                    | 6,80                 | 0,11                 | 4,30                 | 0,35                 | 81,00                | 42,00                | 7,40                 | 13,30                 | 0,00                  | 13,30                 | 1,09                  |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> | <i>t<sub>11</sub></i> | <i>t<sub>12</sub></i> | <i>t<sub>13</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 99         | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,01                 | 5,70                 | 0,00                 | 95,00                | 38,00                | 9,00                 | 16,50                 | 3,00                  | 16,50                 | 1,10                  |
| 100        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,20                 | 4,30                 | 1,00                 | 69,00                | 37,00                | 2,60                 | 5,10                  | 1,00                  | 5,00                  | 1,08                  |
| 101        | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,23                 | 7,50                 | 0,40                 | 123,00               | 53,00                | 7,70                 | 12,40                 | 1,00                  | 1,00                  | 1,06                  |
| 102        | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,25                 | 3,50                 | 1,70                 | 55,00                | 38,00                | 9,80                 | 16,20                 | 1,00                  | 16,20                 | 1,10                  |
| 103        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,28                 | 4,30                 | 0,40                 | 81,00                | 42,00                | 7,40                 | 13,30                 | 0,00                  | 13,30                 | 1,10                  |
| 104        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 2,87                 | 1,75                 | 52,00                | 41,00                | 12,00                | 18,70                 | 3,00                  | 18,70                 | 1,10                  |
| 105        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 2,90                 | 1,75                 | 53,00                | 41,00                | 8,50                 | 13,80                 | 3,00                  | 13,80                 | 1,09                  |
| 106        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,12                 | 3,34                 | 1,14                 | 63,00                | 41,00                | 8,00                 | 13,10                 | 5,00                  | 13,10                 | 1,09                  |
| 107        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 6,91                 | 1,50                 | 132,00               | 79,00                | 6,60                 | 8,70                  | 3,00                  | 8,70                  | 1,02                  |
| 108        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 9,80                 | 1,47                 | 189,00               | 107,00               | 5,90                 | 6,90                  | 4,00                  | 6,90                  | 1,00                  |
| 109        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,05                 | 4,30                 | 1,60                 | 81,00                | 54,00                | 2,60                 | 4,20                  | 66,00                 | 9,80                  | 1,06                  |
| 110        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 6,47                 | 1,46                 | 124,00               | 74,00                | 7,30                 | 9,90                  | 8,00                  | 10,40                 | 1,03                  |
| 111        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 7,13                 | 1,45                 | 136,00               | 81,00                | 10,40                | 13,50                 | 3,00                  | 13,50                 | 1,02                  |
| 112        | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 3,78                 | 1,50                 | 71,00                | 48,00                | 6,00                 | 9,30                  | 7,00                  | 9,40                  | 1,07                  |
| 113        | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 6,04                 | 1,58                 | 115,00               | 71,00                | 7,30                 | 10,20                 | 2,00                  | 10,20                 | 1,03                  |
| 114        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 5,74                 | 1,51                 | 109,00               | 68,00                | 8,00                 | 11,50                 | 2,00                  | 11,50                 | 1,04                  |
| 115        | TE                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 3,91                 | 1,20                 | 74,00                | 47,00                | 13,00                | 18,90                 | 3,00                  | 18,90                 | 1,10                  |
| 116        | TE                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 3,42                 | 1,20                 | 64,00                | 42,00                | 15,90                | 23,50                 | 2,00                  | 23,50                 | 1,10                  |
| 117        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 2,58                 | 1,20                 | 48,00                | 34,00                | 14,10                | 23,00                 | 1,00                  | 23,00                 | 1,10                  |
| 118        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 5,18                 | 1,20                 | 99,00                | 60,00                | 25,00                | 34,60                 | 3,00                  | 34,60                 | 1,10                  |
| 119        | TE                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 2,22                 | 1,20                 | 41,00                | 31,00                | 24,70                | 37,30                 | 1,00                  | 37,30                 | 1,10                  |
| 120        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 4,48                 | 1,20                 | 85,00                | 53,00                | 13,20                | 20,30                 | 2,00                  | 20,30                 | 1,09                  |
| 121        | TE                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 5,21                 | 0,72                 | 100,00               | 56,00                | 3,30                 | 5,40                  | 2,00                  | 5,40                  | 1,05                  |
| 122        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 5,41                 | 1,37                 | 103,00               | 63,00                | 4,80                 | 7,40                  | 2,00                  | 7,40                  | 1,04                  |
| 123        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 5,48                 | 1,35                 | 104,00               | 64,00                | 3,70                 | 5,60                  | 2,00                  | 5,60                  | 1,04                  |
| 124        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,21                 | 3,91                 | 1,46                 | 73,00                | 49,00                | 5,20                 | 8,10                  | 2,00                  | 8,10                  | 1,06                  |
| 125        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 4,54                 | 1,45                 | 86,00                | 55,00                | 15,80                | 23,50                 | 2,00                  | 23,50                 | 1,09                  |
| 126        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 6,67                 | 1,60                 | 127,00               | 77,00                | 17,30                | 22,50                 | 4,00                  | 22,50                 | 1,04                  |
| 127        | TR                   | 0                    | 7,70                 | 0,21                 | 3,57                 | 1,45                 | 67,00                | 46,00                | 18,30                | 25,90                 | 0,00                  | 25,90                 | 1,10                  |
| 128        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,27                 | 2,90                 | 2,00                 | 53,00                | 45,00                | 8,00                 | 12,10                 | 36,00                 | 17,60                 | 1,10                  |
| 129        | TE                   | 0                    | 6,22                 | 0,09                 | 3,40                 | 2,10                 | 62,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 64,00                 | 8,50                  | 1,06                  |
| 130        | TR                   | 0                    | 6,22                 | 0,13                 | 4,60                 | 1,20                 | 87,00                | 54,00                | 7,10                 | 10,30                 | 30,00                 | 15,70                 | 1,07                  |
| 131        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,16                 | 2,90                 | 1,80                 | 53,00                | 42,00                | 30,40                | 37,80                 | 12,00                 | 40,00                 | 1,10                  |
| 132        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,15                 | 3,70                 | 1,80                 | 68,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 18,00                 | 7,00                  | 1,06                  |
| 133        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,13                 | 4,00                 | 1,80                 | 79,00                | 56,00                | 13,00                | 16,20                 | 25,00                 | 21,20                 | 1,08                  |
| 134        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,17                 | 4,30                 | 2,70                 | 77,00                | 62,00                | 5,00                 | 6,20                  | 92,00                 | 11,70                 | 1,05                  |
| 135        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,16                 | 2,10                 | 1,50                 | 38,00                | 32,00                | 3,00                 | 4,62                  | 31,00                 | 10,00                 | 1,10                  |
| 136        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,20                 | 3,40                 | 2,10                 | 62,00                | 50,00                | 2,00                 | 2,90                  | 64,00                 | 8,50                  | 1,06                  |
| 137        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,18                 | 2,30                 | 2,10                 | 40,00                | 38,00                | 11,00                | 15,20                 | 30,00                 | 20,60                 | 1,10                  |
| 138        | TR                   | 0                    | 6,54                 | 0,19                 | 1,80                 | 0,30                 | 35,00                | 20,00                | 3,00                 | 4,60                  | 80,00                 | 10,20                 | 1,10                  |
| 139        | TE                   | 0                    | 6,54                 | 0,19                 | 4,30                 | 0,30                 | 83,00                | 45,00                | 11,00                | 15,20                 | 18,00                 | 19,30                 | 1,10                  |
| 140        | TR                   | 1                    | 6,54                 | 0,21                 | 4,60                 | 1,20                 | 87,00                | 54,00                | 7,10                 | 10,30                 | 30,00                 | 15,70                 | 1,07                  |
| 141        | TE                   | 0                    | 6,93                 | 0,24                 | 6,50                 | 3,00                 | 125,00               | 91,00                | 37,00                | 43,30                 | 7,00                  | 43,40                 | 1,03                  |
| 142        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,37                 | 6,00                 | 4,50                 | 106,00               | 92,00                | 9,00                 | 10,20                 | 8,00                  | 10,60                 | 1,01                  |
| 143        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 2,50                 | 1,40                 | 45,00                | 35,00                | 16,90                | 21,40                 | 5,00                  | 21,40                 | 1,10                  |
| 144        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,14                 | 4,60                 | 3,50                 | 75,00                | 64,00                | 4,60                 | 5,70                  | 30,00                 | 11,00                 | 1,04                  |
| 145        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 4,60                 | 2,40                 | 87,00                | 65,00                | 11,00                | 13,10                 | 3,00                  | 13,10                 | 1,05                  |
| 146        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,50                 | 2,50                 | 65,00                | 55,00                | 13,00                | 14,90                 | 3,00                  | 14,90                 | 1,07                  |
| 147        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 5,30                 | 1,50                 | 102,00               | 64,00                | 12,00                | 17,60                 | 3,00                  | 17,60                 | 1,06                  |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> | <i>t<sub>11</sub></i> | <i>t<sub>12</sub></i> | <i>t<sub>13</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 148        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 2,00                 | 2,00                 | 35,00                | 35,00                | 18,00                | 22,60                 | 1,00                  | 22,60                 | 1,10                  |
| 149        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,40                 | 1,80                 | 63,00                | 47,00                | 12,00                | 14,90                 | 1,00                  | 14,90                 | 1,09                  |
| 150        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,40                 | 1,90                 | 62,00                | 48,00                | 18,00                | 21,20                 | 5,00                  | 21,20                 | 1,10                  |
| 151        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,40                 | 2,00                 | 62,00                | 48,00                | 12,00                | 14,70                 | 4,00                  | 14,70                 | 1,08                  |
| 152        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,39                 | 6,20                 | 4,90                 | 114,00               | 101,00               | 9,20                 | 9,90                  | 32,00                 | 15,30                 | 0,99                  |
| 153        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,39                 | 7,00                 | 4,70                 | 130,00               | 108,00               | 20,00                | 20,90                 | 13,00                 | 23,40                 | 0,99                  |
| 154        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,39                 | 6,00                 | 4,40                 | 111,00               | 95,00                | 8,80                 | 9,80                  | 25,00                 | 14,90                 | 1,01                  |
| 155        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,39                 | 8,40                 | 3,00                 | 158,00               | 105,00               | 19,00                | 20,20                 | 20,00                 | 24,60                 | 0,99                  |
| 156        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 6,30                 | 3,00                 | 121,00               | 89,00                | 14,40                | 15,40                 | 3,00                  | 15,40                 | 1,01                  |
| 157        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,18                 | 5,90                 | 3,50                 | 97,00                | 73,00                | 4,30                 | 5,10                  | 50,00                 | 10,70                 | 1,03                  |
| 158        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,00                 | 1,80                 | 55,00                | 43,00                | 9,50                 | 15,30                 | 2,00                  | 15,30                 | 1,10                  |
| 159        | TR                   | 0                    | 6,93                 | 0,28                 | 6,10                 | 1,80                 | 115,00               | 73,00                | 26,00                | 34,40                 | 5,00                  | 34,40                 | 1,08                  |
| 160        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,27                 | 6,30                 | 3,00                 | 118,00               | 86,00                | 7,50                 | 8,60                  | 8,00                  | 9,00                  | 1,01                  |
| 161        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 3,40                 | 1,80                 | 61,00                | 46,00                | 6,30                 | 10,30                 | 1,00                  | 10,30                 | 1,07                  |
| 162        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 4,90                 | 2,60                 | 90,00                | 67,00                | 12,80                | 18,40                 | 1,00                  | 18,40                 | 1,05                  |
| 163        | TE                   | 1                    | 6,93                 | 0,16                 | 6,50                 | 1,50                 | 116,00               | 67,00                | 4,30                 | 6,40                  | 20,00                 | 10,80                 | 1,04                  |
| 164        | TR                   | 1                    | 6,93                 | 0,28                 | 1,80                 | 1,00                 | 32,00                | 25,00                | 6,70                 | 9,10                  | 35,00                 | 14,60                 | 1,10                  |
| 165        | TE                   | 0                    | 7,70                 | 0,25                 | 5,00                 | 2,30                 | 94,00                | 68,00                | 34,70                | 24,90                 | 19,00                 | 29,20                 | 1,08                  |
| 166        | TR                   | 1                    | 7,70                 | 0,25                 | 7,20                 | 2,30                 | 139,00               | 90,00                | 19,90                | 13,00                 | 19,00                 | 17,30                 | 1,01                  |
| 167        | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,40                 | 5,20                 | 2,00                 | 100,00               | 68,00                | 11,70                | 16,40                 | 2,00                  | 16,40                 | 1,05                  |
| 168        | TE                   | 0                    | 7,60                 | 0,40                 | 10,80                | 1,60                 | 208,00               | 118,00               | 26,80                | 30,90                 | 0,00                  | 30,90                 | 0,97                  |
| 169        | TR                   | 1                    | 7,60                 | 0,47                 | 3,80                 | 2,00                 | 65,00                | 47,00                | 17,40                | 25,90                 | 5,00                  | 25,90                 | 1,10                  |
| 170        | TR                   | 1                    | 6,69                 | 0,84                 | 8,50                 | 7,20                 | 156,00               | 143,00               | 13,60                | 13,10                 | 50,00                 | 18,70                 | 0,96                  |
| 171        | TR                   | 0                    | 6,69                 | 0,51                 | 9,30                 | 3,90                 | 154,00               | 101,00               | 24,10                | 27,20                 | 25,00                 | 32,30                 | 1,00                  |
| 172        | TR                   | 1                    | 6,69                 | 0,43                 | 7,10                 | 2,00                 | 139,00               | 88,00                | 7,40                 | 8,50                  | 64,00                 | 14,10                 | 1,02                  |
| 173        | TR                   | 1                    | 6,69                 | 0,51                 | 6,70                 | 4,30                 | 129,00               | 105,00               | 11,00                | 11,60                 | 33,00                 | 17,00                 | 1,00                  |
| 174        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 8,00                 | 2,90                 | 152,00               | 103,00               | 34,20                | 39,50                 | 15,00                 | 42,70                 | 1,00                  |
| 175        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 4,30                 | 2,10                 | 76,00                | 54,00                | 25,80                | 36,60                 | 1,00                  | 36,60                 | 1,10                  |
| 176        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,35                 | 8,90                 | 3,00                 | 173,00               | 116,00               | 5,40                 | 6,10                  | 1,00                  | 6,10                  | 0,90                  |
| 177        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 5,90                 | 2,30                 | 107,00               | 72,00                | 13,40                | 17,80                 | 21,00                 | 22,50                 | 1,05                  |
| 178        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 3,30                 | 3,20                 | 62,00                | 60,00                | 8,00                 | 10,90                 | 0,00                  | 10,90                 | 1,02                  |
| 179        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 5,00                 | 3,00                 | 85,00                | 65,00                | 17,40                | 24,10                 | 0,00                  | 24,10                 | 1,07                  |
| 180        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 4,30                 | 2,80                 | 79,00                | 64,00                | 8,30                 | 12,20                 | 2,00                  | 12,20                 | 1,05                  |
| 181        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 7,50                 | 4,50                 | 137,00               | 107,00               | 24,10                | 27,40                 | 9,00                  | 28,00                 | 0,99                  |
| 182        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 6,80                 | 1,50                 | 114,00               | 62,00                | 5,60                 | 8,50                  | 5,00                  | 8,50                  | 1,04                  |
| 183        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,50                 | 5,30                 | 3,20                 | 92,00                | 72,00                | 18,60                | 24,70                 | 14,00                 | 27,60                 | 1,06                  |
| 184        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 6,50                 | 2,30                 | 116,00               | 74,00                | 9,50                 | 12,70                 | 15,00                 | 16,00                 | 1,04                  |
| 185        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,50                 | 4,80                 | 3,10                 | 86,00                | 69,00                | 15,00                | 20,30                 | 19,00                 | 24,50                 | 1,06                  |
| 186        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 5,70                 | 3,70                 | 102,00               | 82,00                | 15,10                | 19,20                 | 5,00                  | 19,20                 | 1,03                  |
| 187        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 4,50                 | 2,50                 | 80,00                | 60,00                | 17,50                | 25,00                 | 5,00                  | 25,00                 | 1,09                  |
| 188        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 4,50                 | 0,80                 | 80,00                | 43,00                | 12,60                | 21,10                 | 5,00                  | 21,10                 | 1,10                  |
| 189        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,70                 | 10,50                | 7,70                 | 199,00               | 171,00               | 40,50                | 42,60                 | 0,00                  | 42,60                 | 0,85                  |
| 190        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 7,50                 | 6,10                 | 137,00               | 124,00               | 20,00                | 21,30                 | 10,00                 | 22,50                 | 0,97                  |
| 191        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 3,50                 | 1,70                 | 62,00                | 44,00                | 24,20                | 33,50                 | 0,00                  | 33,50                 | 1,10                  |
| 192        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 6,00                 | 2,40                 | 114,00               | 79,00                | 30,80                | 38,60                 | 6,00                  | 38,60                 | 1,07                  |
| 193        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 5,00                 | 3,00                 | 92,00                | 72,00                | 18,10                | 24,00                 | 10,00                 | 25,10                 | 1,06                  |
| 194        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 3,50                 | 2,40                 | 63,00                | 51,00                | 18,00                | 24,60                 | 0,00                  | 24,60                 | 1,10                  |
| 195        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,70                 | 3,50                 | 2,20                 | 64,00                | 50,00                | 27,50                | 35,80                 | 3,00                  | 35,80                 | 1,10                  |
| 196        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 3,50                 | 0,90                 | 63,00                | 37,00                | 26,00                | 37,00                 | 0,00                  | 37,00                 | 1,10                  |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> | <i>t<sub>11</sub></i> | <i>t<sub>12</sub></i> | <i>t<sub>13</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 197        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 2,50                 | 1,10                 | 43,00                | 29,00                | 27,60                | 40,80                 | 10,00                 | 42,00                 | 1,10                  |
| 198        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 3,50                 | 1,80                 | 62,00                | 44,00                | 14,30                | 21,10                 | 8,00                  | 21,40                 | 1,10                  |
| 199        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 3,80                 | 2,00                 | 67,00                | 49,00                | 12,40                | 17,90                 | 0,00                  | 17,90                 | 1,09                  |
| 200        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 8,50                 | 1,50                 | 146,00               | 78,00                | 30,50                | 40,10                 | 10,00                 | 41,30                 | 1,08                  |
| 201        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,50                 | 3,50                 | 1,40                 | 61,00                | 41,00                | 20,10                | 29,10                 | 6,00                  | 29,20                 | 1,10                  |
| 202        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,50                 | 8,00                 | 2,00                 | 142,00               | 83,00                | 21,30                | 27,90                 | 50,00                 | 33,50                 | 1,05                  |
| 203        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 7,00                 | 1,80                 | 124,00               | 73,00                | 18,30                | 24,20                 | 9,00                  | 25,00                 | 1,05                  |
| 204        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 4,50                 | 2,10                 | 79,00                | 55,00                | 12,30                | 18,90                 | 6,00                  | 18,90                 | 1,08                  |
| 205        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 3,50                 | 0,90                 | 61,00                | 36,00                | 21,20                | 31,60                 | 3,00                  | 31,60                 | 1,10                  |
| 206        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,35                 | 5,00                 | 4,00                 | 89,00                | 79,00                | 15,00                | 19,30                 | 0,00                  | 19,30                 | 1,03                  |
| 207        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,50                 | 8,00                 | 3,00                 | 143,00               | 94,00                | 15,10                | 19,10                 | 5,00                  | 19,10                 | 1,01                  |
| 208        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,60                 | 3,50                 | 2,80                 | 66,00                | 59,00                | 32,50                | 39,70                 | 0,00                  | 39,70                 | 1,10                  |
| 209        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 4,10                 | 2,00                 | 71,00                | 50,00                | 9,20                 | 15,00                 | 0,00                  | 15,00                 | 1,08                  |
| 210        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 5,00                 | 1,20                 | 84,00                | 46,00                | 7,00                 | 12,10                 | 10,00                 | 13,20                 | 1,08                  |
| 211        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,35                 | 4,70                 | 2,20                 | 80,00                | 55,00                | 10,00                | 15,20                 | 20,00                 | 19,60                 | 1,08                  |
| 212        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 4,00                 | 1,60                 | 67,00                | 43,00                | 4,40                 | 8,30                  | 5,00                  | 8,30                  | 1,07                  |
| 213        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 5,20                 | 3,50                 | 97,00                | 80,00                | 16,60                | 21,10                 | 18,00                 | 25,20                 | 1,04                  |
| 214        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 8,80                 | 3,50                 | 166,00               | 115,00               | 10,90                | 12,50                 | 2,00                  | 12,50                 | 0,99                  |
| 215        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,34                 | 7,80                 | 2,40                 | 149,00               | 96,00                | 5,70                 | 6,80                  | 20,00                 | 11,30                 | 1,01                  |
| 216        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 8,50                 | 5,00                 | 159,00               | 125,00               | 20,20                | 22,70                 | 20,00                 | 27,20                 | 0,96                  |
| 217        | TR                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 10,00                | 5,00                 | 189,00               | 140,00               | 18,20                | 19,50                 | 20,00                 | 24,00                 | 0,95                  |
| 218        | TE                   | 0                    | 6,90                 | 0,40                 | 9,50                 | 5,00                 | 179,00               | 135,00               | 30,90                | 34,60                 | 20,00                 | 39,10                 | 0,92                  |
| 219        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,34                 | 10,00                | 3,00                 | 192,00               | 123,00               | 9,70                 | 10,80                 | 20,00                 | 15,30                 | 0,98                  |
| 220        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,40                 | 7,50                 | 4,00                 | 141,00               | 107,00               | 14,80                | 16,80                 | 25,00                 | 21,90                 | 0,99                  |
| 221        | TE                   | 1                    | 6,90                 | 0,34                 | 11,50                | 4,00                 | 219,00               | 146,00               | 12,00                | 12,30                 | 20,00                 | 16,80                 | 0,96                  |
| 222        | TR                   | 1                    | 6,90                 | 0,25                 | 4,70                 | 0,00                 | 93,00                | 46,00                | 8,50                 | 14,00                 | 20,00                 | 18,50                 | 1,10                  |

**Tablo 2.2** Çalışmada kullanılan veri seti 2

| <i>No:</i> | <i>t<sub>14</sub></i> | <i>t<sub>15</sub></i> | <i>t<sub>16</sub></i>     |
|------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| 1          | 46,00                 | Komei                 | 1944 Tohnankai earthquake |
| 2          | 44,00                 | Ienaga                | 1944 Tohnankai earthquake |
| 3          | 39,00                 | Meiko                 | 1944 Tohnankai earthquake |
| 4          | 52,00                 | Shonenji Temple       | 1948 Fukui earthquake     |
| 5          | 69,00                 | Takaya 45             | 1948 Fukui earthquake     |
| 6          | 33,00                 | Arayamotomachi        | 1964 Nigata earthquake    |
| 7          | 47,00                 | Cc17-1                | 1964 Nigata earthquake    |
| 8          | 54,00                 | Cc17-2                | 1964 Nigata earthquake    |
| 9          | 39,00                 | Kawagishi-cho         | 1964 Nigata earthquake    |
| 10         | 71,00                 | Old Town-1            | 1964 Nigata earthquake    |
| 11         | 73,00                 | Old Town-2            | 1964 Nigata earthquake    |
| 12         | 50,00                 | Rail Road-1           | 1964 Nigata earthquake    |
| 13         | 46,00                 | River Site            | 1964 Nigata earthquake    |
| 14         | 56,00                 | Road Site             | 1964 Nigata earthquake    |
| 15         | 43,00                 | Showa Br 2            | 1964 Nigata earthquake    |
| 16         | 89,00                 | Showa Br 4            | 1964 Nigata earthquake    |
| 17         | 63,00                 | Hososhima             | 1968 earthquake           |



| <i>No:</i> | <i>t14</i> | <i>t15</i>           | <i>t16</i>                    |
|------------|------------|----------------------|-------------------------------|
| 18         | 61,00      | Aomori Station       | 1968 Tokachi-Oki earthquake   |
| 19         | 89,00      | Hachinohe-2          | 1968 Tokachi-Oki earthquake   |
| 20         | 72,00      | Hachinohe-4          | 1968 Tokachi-Oki earthquake   |
| 21         | 45,00      | Hachinohe-6          | 1968 Tokachi-Oki earthquake   |
| 22         | 67,00      | Nanaehamal-2-3       | 1968 Tokachi-Oki earthquake   |
| 23         | 46,00      | Juvenile Hall        | Juvenile Hall                 |
| 24         | 56,00      | Van Norman           | Juvenile Hall                 |
| 25         | 54,00      | Panjin Chemical      | 1975 Haicheng earthquake      |
| 26         | 57,00      | Shuanh Tai Zi        | 1975 Haicheng earthquake      |
| 27         | 65,00      | Ying Kou Glass       | 1975 Haicheng earthquake      |
| 28         | 50,00      | Ying Kou Paper       | 1975 Haicheng earthquake      |
| 29         | 34,00      | Amatitlan B-1        | 1976 Guatemala earthquake     |
| 30         | 26,00      | Amatitlan-3&4        | 1976 Guatemala earthquake     |
| 31         | 56,00      | Coastal Region       | 1976 Tangshan earthquake      |
| 32         | 55,00      | Le Ting              | 1976 Tangshan earthquake      |
| 33         | 74,00      | Luan Nan-L1          | 1976 Tangshan earthquake      |
| 34         | 44,00      | Luan Nan-L2          | 1976 Tangshan earthquake      |
| 35         | 74,00      | Qinh Jia Ying        | 1976 Tangshan earthquake      |
| 36         | 86,00      | Tangshan City        | 1976 Tangshan earthquake      |
| 37         | 58,00      | Yao Yuan Village     | 1976 Tangshan earthquake      |
| 38         | 49,00      | San Juan B-1         | 1977 Argentina earthquake     |
| 39         | 41,00      | San Juan B-3         | 1977 Argentina earthquake     |
| 40         | 57,00      | San Juan B-4         | 1977 Argentina earthquake     |
| 41         | 55,00      | San Juan B-5         | 1977 Argentina earthquake     |
| 42         | 51,00      | San Juan B-6         | 1977 Argentina earthquake     |
| 43         | 54,00      | Arahama (A-9)        | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 44         | 59,00      | Hiyori 18 (site C)   | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 45         | 39,00      | Ishinomaki-2         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 46         | 53,00      | Kitawbuchi-2         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 47         | 56,00      | Nakajima-18 (site A) | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 48         | 39,00      | Nakamura Dyke N-4    | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 49         | 46,00      | Nakamura Dyke N-5    | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 50         | 46,00      | Oiiri-1              | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 51         | 44,00      | Shiomi-6(site D)     | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 52         | 38,00      | Yuriage Br-1         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 53         | 61,00      | Yuriage Br-2         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 54         | 56,00      | Yuriage Br-3         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 55         | 43,00      | Yuriagekami-1        | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 56         | 58,00      | Yuriagekami-2        | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 57         | 54,00      | Arahama (A-9)        | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 58         | 59,00      | Hiyori 18 (site C)   | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 59         | 39,00      | Ishinomaki-2         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 60         | 70,00      | Ishinomaki-4         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 61         | 53,00      | Kitawbuchi-2         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 62         | 63,00      | Kitawbuchi-3         | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 63         | 63,00      | Nakajima-2           | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 64         | 56,00      | Nakajima-18 (site A) | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 65         | 77,00      | Nakamura Dyke N-1    | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |
| 66         | 39,00      | Nakamura Dyke N-4    | 1978 Miyagiken-Oki earthquake |

| <i>No:</i> | <i>t14</i> | <i>t15</i>        | <i>t16</i>                      |
|------------|------------|-------------------|---------------------------------|
| 67         | 46,00      | Nakamura Dyke N-5 | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 68         | 46,00      | Oiiri-1           | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 69         | 44,00      | Shiomi-6(site D)  | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 70         | 38,00      | Yuriage Br-1      | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 71         | 61,00      | Yuriage Br-2      | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 72         | 56,00      | Yuriage Br-3      | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 73         | 73,00      | Yuriage Br-5      | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 74         | 43,00      | Yuriagekami-1     | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 75         | 58,00      | Yuriagekami-2     | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 76         | 74,00      | Yuriagekami-3     | 1978 Miyagiken-Oki earthquake   |
| 77         | 95,00      | Heber Road A1     | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 78         | 40,00      | Heber Road A2     | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 79         | 69,00      | Heber Road A3     | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 80         | 51,00      | Kornbloom B       | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 81         | 47,00      | McKim Ranch A     | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 82         | 44,00      | Radio Tower B1    | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 83         | 68,00      | Radio Tower B2    | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 84         | 48,00      | River Park A      | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 85         | 59,00      | Wildlife B        | 1979 Imperial Valley earthquake |
| 86         | 46,00      | Owi-1             | 1980 Mid-Chiba earthquake       |
| 87         | 45,00      | Owi-2             | 1980 Mid-Chiba earthquake       |
| 88         | 51,00      | Kornbloom B       | 1981 WestMorland earthquake     |
| 89         | 47,00      | McKim Ranch A     | 1981 WestMorland earthquake     |
| 90         | 44,00      | Radio Tower B1    | 1981 WestMorland earthquake     |
| 91         | 68,00      | Radio Tower B2    | 1981 WestMorland earthquake     |
| 92         | 48,00      | River Park A      | 1981 WestMorland earthquake     |
| 93         | 66,00      | River Park C      | 1981 WestMorland earthquake     |
| 94         | 59,00      | Wildlife B        | 1981 WestMorland earthquake     |
| 95         | 62,00      | Tokachi           | 1982 Urakawa-Oki earthquake     |
| 96         | 34,00      | Arayamotomachi    | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 97         | 64,00      | Arayamotomachi    | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 98         | 55,00      | Takeda Elementary | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 99         | 61,00      | Aomori Station    | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 100        | 34,00      | Arayamotomachi    | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 101        | 15,00      | Gaiko Wharf B-2   | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 102        | 60,00      | Noshiro Section   | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 103        | 55,00      | Takeda Elementary | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 104        | 65,00      | Akita station 1   | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 105        | 56,00      | Akita station 2   | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 106        | 54,00      | Aomori Port       | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 107        | 44,00      | Gaiko 1           | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 108        | 39,00      | Gaiko 2           | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 109        | 47,00      | Hakodate          | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 110        | 48,00      | Nakajima No.1(5)  | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 111        | 55,00      | Nakajima No.2(1)  | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 112        | 46,00      | Nakajima No.2(2)  | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 113        | 48,00      | Nakajima No.3(3)  | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 114        | 51,00      | Nakajima No.3(4)  | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |
| 115        | 65,00      | Ohama No.1(1)     | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake |

| <i>No:</i> | <i>t14</i> | <i>t15</i>           | <i>t16</i>                          |
|------------|------------|----------------------|-------------------------------------|
| 116        | 73,00      | Ohama No.1(2)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 117        | 72,00      | Ohama No.1(3)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 118        | 88,00      | Ohama No.1(4)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 119        | 92,00      | Ohama No.1(5)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 120        | 68,00      | Ohama No.1(5822)     | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 121        | 35,00      | Ohama No.2(2)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 122        | 41,00      | Ohama No.3(1)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 123        | 35,00      | Ohama No.3(3)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 124        | 43,00      | Ohama No.3(4)        | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 125        | 73,00      | Ohama No.Rvt(1)      | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 126        | 71,00      | Ohama No.Rvt(2)      | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 127        | 76,00      | Ohama No.Rvt(3)      | 1983 Ninhonkai-Chubu earthquake     |
| 128        | 63,00      | Hososhima            | 1984 earthquake                     |
| 129        | 44,00      | Radio Tower B1       | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 130        | 59,00      | Wildlife B           | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 131        | 95,00      | Heber Road A1        | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 132        | 40,00      | Heber Road A2        | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 133        | 69,00      | Heber Road A3        | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 134        | 51,00      | Kornbloom B          | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 135        | 47,00      | McKim Ranch A        | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 136        | 44,00      | Radio Tower B1       | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 137        | 68,00      | Radio Tower B2       | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 138        | 48,00      | River Park A         | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 139        | 66,00      | River Park C         | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 140        | 59,00      | Wildlife B           | 1987 Superstition Hills earthquakes |
| 141        | 99,00      | Alameda Bay Farm     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 142        | 49,00      | Farris Farm          | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 143        | 69,00      | General Fish         | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 144        | 50,00      | Hall Avaneu          | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 145        | 54,00      | Marine Laboratory B1 | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 146        | 58,00      | Marine Laboratory B2 | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 147        | 63,00      | Marine Laboratory    | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 148        | 71,00      | MBARI No.3:EB-1      | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 149        | 58,00      | MBARI No.3:EB-5      | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 150        | 69,00      | MBARI No.4           | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 151        | 58,00      | MBARI Technology     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 152        | 59,00      | Miller Farm CMF3     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 153        | 73,00      | Miller Farm CMF5     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 154        | 58,00      | Miller Farm CMF8     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 155        | 74,00      | Miller Farm CMF10    | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 156        | 59,00      | POO7-2               | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 157        | 49,00      | POR-2&3&4            | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 158        | 59,00      | Sandholdt UC-B10     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 159        | 88,00      | Sandholdt UC-B10     | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 160        | 45,00      | SFOBB-1&2            | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 161        | 48,00      | State Beach UC-B1    | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 162        | 64,00      | State Beach UC-B2    | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 163        | 49,00      | Treasure Island      | 1989 Loma Prieta earthquake         |
| 164        | 57,00      | WoodMarine UC-B4     | 1989 Loma Prieta earthquake         |

| <i>No:</i> | <i>t14</i> | <i>t15</i>                    | <i>t16</i>                     |
|------------|------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 165        | 81,00      | Cereenan St B-12              | 1990 Luzon earthquake          |
| 166        | 62,00      | PerezBlv. B-11                | 1990 Luzon earthquake          |
| 167        | 61,00      | Kushiro Port Quay Wall Site A | 1993 Kushiro-oki earthquake    |
| 168        | 83,00      | Kushiro Port Quay Wall Site D | 1993 Kushiro-oki earthquake    |
| 169        | 76,00      | Kushiro Port Seismo St.       | 1993 Kushiro-oki earthquake    |
| 170        | 65,00      | Balboa Blv. Unit C            | 1994 Northridge earthquake     |
| 171        | 85,00      | Malden Street Unit D          | 1994 Northridge earthquake     |
| 172        | 56,00      | Potrero Canyon C1             | 1994 Northridge earthquake     |
| 173        | 62,00      | Wynne Ave. Unit C1            | 1994 Northridge earthquake     |
| 174        | 98,00      | 2                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 175        | 91,00      | 4                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 176        | 37,00      | 5                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 177        | 71,00      | 6                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 178        | 50,00      | 7                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 179        | 74,00      | 8                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 180        | 52,00      | 9                             | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 181        | 79,00      | 10                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 182        | 44,00      | 11                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 183        | 79,00      | 12                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 184        | 60,00      | 13                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 185        | 74,00      | 14                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 186        | 66,00      | 15                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 187        | 75,00      | 16                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 188        | 69,00      | 17                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 189        | 98,00      | 18                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 190        | 71,00      | 19                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 191        | 87,00      | 21                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 192        | 93,00      | 22                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 193        | 75,00      | 23                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 194        | 74,00      | 24                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 195        | 90,00      | 25                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 196        | 91,00      | 26                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 197        | 97,00      | 27                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 198        | 69,00      | 28                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 199        | 63,00      | 29                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 200        | 96,00      | 30                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 201        | 81,00      | 32                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 202        | 87,00      | 33                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 203        | 75,00      | 34                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 204        | 65,00      | 35                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 205        | 84,00      | 36                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 206        | 66,00      | 37                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 207        | 66,00      | 38                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 208        | 95,00      | 40                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 209        | 58,00      | 41                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 210        | 54,00      | 42                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 211        | 66,00      | 43                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 212        | 43,00      | 44                            | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 213        | 75,00      | Ashiyama A                    | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |

| <i>No:</i> | <i>t14</i> | <i>t15</i>                  | <i>t16</i>                     |
|------------|------------|-----------------------------|--------------------------------|
| 214        | 53,00      | Ashiyama C-D-E              | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 215        | 50,00      | PI Borehole Array Station   | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 216        | 78,00      | PI mproved Site(Ikegaya)    | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 217        | 73,00      | PI Improved Site(Tanahashi) | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 218        | 94,00      | PI Improved Site(Watanabe)  | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 219        | 59,00      | Port Island Site I          | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 220        | 70,00      | Rokko Island Building D     | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 221        | 61,00      | Rokko Island Building G     | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |
| 222        | 65,00      | Torishima Dike              | 1995 Hyogoken-Nambu earthquake |

## 2.2 Yöntem

Bölüm 2.1’de detaylı olarak gösterilen 222 veri kaydı toplamda 16 farklı parametre içermektedir. Bu parametreler; çalışma verisi / test verisi, sıvılaşma var (1) / yok (0), depremin büyüklüğü (M), maksimum yer ivmesi -  $a_{maks}(g)$ , ortalama derinlik (m), yeraltı su seviyesi (m), toplam gerilme -  $\sigma$  (kpa), efektif gerilme -  $\sigma'$  (kpa), ortalama SPT darbe sayısı,  $N_{1(60)}$  değeri, ince tane oranı (%),  $N_{1(60)cs}$  değeri, aşırı yük düzeltme faktörü -  $K_{\sigma}$ , rölatif sıkılık –  $D_r$ , yerel deprem bilgisi ve genel deprem bilgisidir. Bu parametrelerden çalışma / test bilgisi veri gruplarını göstermek için genel ve yerel deprem parametreleri ise veri kayıtlarının doğruluğunu göstermek açısından verilmiştir. Bu üç parametre optimize edilebilecek parametreler olmadığı için çıkarılmıştır. Geriye sıvılaşmanın durumunu gösteren parametre ve diğer 12 kalmıştır. Bu 12 parametrenin hangilerinin zemin sıvılaşmasında daha etkili olduğunu seçmek için Bölüm 2.2.1’de gösterilen WEKA programından yararlanılmıştır.

### 2.2.1 WEKA

WEKA[6] Waikato Üniversitesi tarafından geliştirilmiş bir makine öğrenimi yazılımıdır. 1992 yılında kurulduğundan bu yana farklı platformlarda kullanılmak üzere çeşitli veri formatlarıyla çalıştırılmıştır. Veri analizi konusunda oldukça başarılı olan WEKA ile aşağıdaki temel analiz işlemleri yapılabilir[6]:

- Sınıflandırma

- Bölütleme
- İlişkilendirme
- Veri ön işleme
- Görselleme

WEKA'nın bu çalışmada kullanılmasındaki temel amaç; Bölüm 2.2'de gösterilen veri grubundaki 12 farklı parametrenin hangilerinin zemin sıvılaşmasında daha çok etkili olduğunu sıralamaktır. Bu kapsamda WEKA'nın sınıflandırma yeteneğinden yararlanılmıştır. Çalışmada WEKA v3.8.3[34] sürümü kullanılmıştır. Veri setindeki 222 adet veri WEKA'nın çözümleyebileceği formatta programa girilmiştir. Bu girdiler bu çalışmanın sonunda Ek.2 olarak verilmiştir. Şekil 2.1'de gösterildiği üzere 222 adet veri WEKA'ya aktarılmıştır. WEKA üzerinde J48 karar ağacı - DT[35] sınıflandırması kullanılarak 12 parametre, kıyas parametresi olan zemin sıvılaşmasına göre sınıflandırılmıştır.

```

=== Run information ===

Scheme:      weka.classifiers.trees.J48 -C 0.25 -M 2
Relation:    soilliquefaction
Instances:    222
Attributes:   13
              Liquefaction
              Magnitude
              amax(g)
              Avg_depth(m)
              Depth_GWT(m)
              Stress
              Effectif_stress
              Avg_Nm
              (N1) 60
              FC
              (N1) 60cs
              KSiGMA
              Dr
Test mode:    13-fold cross-validation

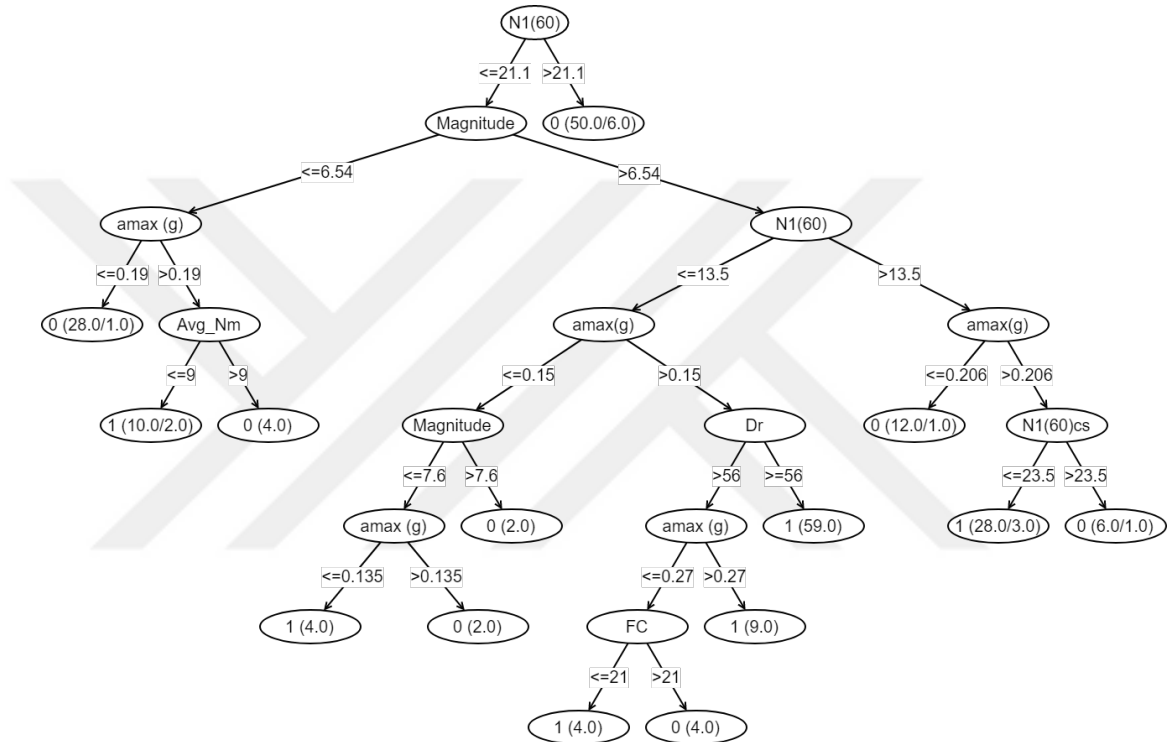
```

**Şekil 2.1** WEKA girdileri

Şekil 2.2'de görülebileceği üzere WEKA %81,08'lik doğru yerleştirme yapmıştır. WEKA, Bölüm 2.2'de gösterilen 12 parametreyi zemin sıvılaşması olan etkilerine göre Şekil 2.3'te gösterildiği şekilde sıralamıştır.

|                                |           |           |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| === Summary ===                |           |           |
| Correctly Classified Instances | 180       | 81.0811 % |
| Kappa statistic                | 0.6205    |           |
| Mean absolute error            | 0.2217    |           |
| Root mean squared error        | 0.4146    |           |
| Relative absolute error        | 44.5074 % |           |
| Root relative squared error    | 83.0759 % |           |
| Total Number of Instances      | 222       |           |

Şekil 2.2 WEKA çıktısı – 1



Şekil 2.3 WEKA çıktısı - 2

Şekil 2.3 karar ağacı olarak isimlendirilir ve örnek olarak şu şekilde yorumlanabilir:

- Karar ağacının en tepesinde  $N_{1(60)}$  değerinin olması analiz edilen 12 parametre arasından sıvılaşmada en net etkin parametrenin  $N_{1(60)}$  olduğunu gösterir.
- $N_{1(60)}$  değerinin 21,1'den büyük olduğu toplam 50 veri vardır. Bu verilerden 44 tanesinde sıvılaşma olmazken 6'sında sıvılaşma olmuştur.  $N_{1(60)}$  değerinin 21,1 değerine göre durumu bu veri grubundaki en belirgin kriterdir.
- $N_{1(60)}$  değerinin 21,1 değerinden küçük olduğu durumlar için deprem büyüklüğü parametresine bakılmalıdır.

- Depremin büyüklüğü için 6,54 magnitüd değeri ayırıcıdır ancak depremin büyüklüğü tek başına belirleyici bir parametre değildir. Depremin büyüklüğünün bu değerden küçük ve büyük olmasına göre diğer parametrelere bakılmalıdır.
- Depremin büyüklüğünün 6,54'ten küçük olduğu durumlarda maksimum yer ivmesinin değeri belirleyicidir. Maksimum yer ivmesi değerinin 0,19'dan küçük olduğu 28 durum vardır. Bu durumların sadece 1 tanesinde sıvılaşma görülmüştür.

Bu doğrultuda Şekil 2.3'e bakıldığında  $N_{1(60)}$  değeri, depremin büyüklüğü (M), maksimum yer ivmesi  $a_{maks}$  (g), ortalama SPT darbe sayısı, rölatif sıkılık ve ince tane oranının diğer parametrelere göre sıvılaşmada daha etkin olduğu sonucuna ulaşırız. Bu sonuçlar göz önünde bulundurularak bu çalışmada kullanılacak 5 parametre aşağıda verilmiştir.

- $N_{1(60)}$  değeri
- Depremin büyüklüğü
- Maksimum yer ivmesi -  $a_{maks}$
- Efektif gerilme -  $\sigma'$
- İnce tane oranı

### 2.2.2 Normalizasyon

Ampirik çalışmalar sırasında bir problemin çözümüne giderken sıklıkla farklı birimlerdeki verilerle işlem yapmak zorunda kalırız. Farklı sınır değerlere sahip veri gruplarının birbirleriyle olan ilişkilerini daha kolay belirlemek adına normalizasyon işleminden yararlanılabilir. Normalizasyon işleminde, farklı sınırlara ait veri gruplarındaki her bir veri için aynı sınır değerler içerisinde kalmak koşuluyla birimsiz bir değer atanır. Böylece sınır değerleri [0-100] olan bir veri grubu ile sınır değerleri [0.1-0,4] olan veri grubunu ortak bir paydada çözümleyebiliriz. Her aşamada olduğu gibi normalizasyon işleminin de birçok farklı yöntemi vardır. Bu çalışmada veri grubuna uygunluğu açısından doğrusal normalizasyon yöntemi seçilmiştir[36].



Bir veri grubundaki  $K_1, K_2, K_3, K_4 \dots K_m$  verileri için bakacak olursak:

$$K_{ni} = \frac{K_i - K_{min}}{K_{maks} - K_{min}} \quad (2.1)$$

$K_{ni}$  : i. verinin normalize edilmiş değeri.

$K_i$  : Veri grubundan seçilen i. veri

$K_{min}$  : Veri grubundaki en küçük değer

$K_{maks}$  : Veri grubundaki en büyük değer olacak şekilde değerlendirilebilir.

Bu çalışmada kullanılan 5 parametrenin her biri farklı aralıkta değerlere sahiptir. Örneğin maksimum yer ivmesi -  $a_{maks}$  için değerler [0,0116 - 0,8400] aralığında değişirken depremin büyüklük değerleri [5,9 - 8,3] aralığında değişmektedir. Bu verilerle daha kolay çalışmak adına normalizasyon yöntemi kullanılmıştır. Çalışma verisi olarak ayrılan 163 veride tüm parametreler için normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu veriler Tablo 2.3'te gösterilmiştir.

Tablo 2.3'te gösterilen kısaltmaların tanımları:

|                                           |                                              |
|-------------------------------------------|----------------------------------------------|
| $t_1$ : Efektif gerilme - $\sigma'$ (kpa) | $t_6$ : Normalize $t_5$                      |
| $t_2$ : Normalize $t_1$                   | $t_7$ : Depremin büyüklüğü (M)               |
| $t_3$ : İnce tane oranı (%)               | $t_8$ : Normalize $t_7$                      |
| $t_4$ : Normalize $t_3$                   | $t_9$ : Maksimum yer ivmesi - $a_{maks}$ (g) |
| $t_5$ : $N_{1(60)}$ değeri                | $t_{10}$ : Normalize $t_9$                   |

**Tablo 2.3** *Normalize edilmiş çalışma verileri*

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 1          | 68                   | 0,3179               | 10                   | 0,1087               | 8,2                  | 0,1589               | 8,1                  | 0,9167               | 0,2                  | 0,2274                |
| 2          | 61                   | 0,2715               | 30                   | 0,3261               | 3,4                  | 0,0416               | 8,1                  | 0,9167               | 0,2                  | 0,2274                |
| 3          | 39                   | 0,1258               | 27                   | 0,2935               | 1,7                  | 0,0000               | 8,1                  | 0,9167               | 0,2                  | 0,2274                |
| 4          | 48                   | 0,1854               | 0                    | 0,0000               | 11,8                 | 0,2469               | 7                    | 0,4583               | 0,4                  | 0,4689                |
| 6          | 41                   | 0,1391               | 5                    | 0,0543               | 4,7                  | 0,0733               | 7,6                  | 0,7083               | 0,09                 | 0,0946                |
| 7          | 72                   | 0,3444               | 2                    | 0,0217               | 9,9                  | 0,2005               | 7,6                  | 0,7083               | 0,16                 | 0,1791                |
| 8          | 43                   | 0,1523               | 8                    | 0,0870               | 12,7                 | 0,2689               | 7,6                  | 0,7083               | 0,16                 | 0,1791                |
| 9          | 53                   | 0,2185               | 5                    | 0,0543               | 6,8                  | 0,1247               | 7,6                  | 0,7083               | 0,162                | 0,1816                |
| 10         | 81                   | 0,4040               | 2                    | 0,0217               | 22,7                 | 0,5134               | 7,6                  | 0,7083               | 0,18                 | 0,2033                |
| 11         | 109                  | 0,5894               | 2                    | 0,0217               | 23,5                 | 0,5330               | 7,6                  | 0,7083               | 0,18                 | 0,2033                |
| 12         | 100                  | 0,5298               | 2                    | 0,0217               | 11                   | 0,2274               | 7,6                  | 0,7083               | 0,16                 | 0,1791                |
| 14         | 79                   | 0,3907               | 0                    | 0,0000               | 14,1                 | 0,3032               | 7,6                  | 0,7083               | 0,18                 | 0,2033                |
| 16         | 67                   | 0,3113               | 0                    | 0,0000               | 35                   | 0,8142               | 7,6                  | 0,7083               | 0,18                 | 0,2033                |
| 17         | 45                   | 0,1656               | 36                   | 0,3913               | 12,1                 | 0,2543               | 7,5                  | 0,6667               | 0,242                | 0,2781                |
| 18         | 38                   | 0,1192               | 3                    | 0,0326               | 16,5                 | 0,3619               | 8,3                  | 1,0000               | 0,213                | 0,2431                |
| 19         | 76                   | 0,3709               | 5                    | 0,0543               | 35,3                 | 0,8215               | 8,3                  | 1,0000               | 0,23                 | 0,2636                |
| 20         | 45                   | 0,1656               | 5                    | 0,0543               | 23                   | 0,5208               | 8,3                  | 1,0000               | 0,23                 | 0,2636                |
| 23         | 96                   | 0,5033               | 55                   | 0,5978               | 3,9                  | 0,0538               | 6,61                 | 0,2958               | 0,45                 | 0,5292                |
| 24         | 96                   | 0,5033               | 50                   | 0,5435               | 8,1                  | 0,1565               | 6,61                 | 0,2958               | 0,45                 | 0,5292                |
| 26         | 92                   | 0,4768               | 50                   | 0,5435               | 8,9                  | 0,1760               | 7                    | 0,4583               | 0,2                  | 0,2274                |
| 28         | 92                   | 0,4768               | 5                    | 0,0543               | 11                   | 0,2274               | 7                    | 0,4583               | 0,3                  | 0,3481                |
| 29         | 86                   | 0,4371               | 3                    | 0,0326               | 5                    | 0,0807               | 7,5                  | 0,6667               | 0,135                | 0,1490                |
| 30         | 71                   | 0,3377               | 1                    | 0,0109               | 14,3                 | 0,3081               | 7,5                  | 0,6667               | 0,135                | 0,1490                |
| 34         | 32                   | 0,0795               | 3                    | 0,0326               | 8,5                  | 0,1663               | 7,6                  | 0,7083               | 0,22                 | 0,2516                |
| 36         | 75                   | 0,3642               | 10                   | 0,1087               | 31                   | 0,7164               | 7,6                  | 0,7083               | 0,5                  | 0,5896                |
| 38         | 106                  | 0,5695               | 20                   | 0,2174               | 6,3                  | 0,1125               | 7,5                  | 0,6667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 39         | 156                  | 0,9007               | 5                    | 0,0543               | 7,6                  | 0,1443               | 7,5                  | 0,6667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 40         | 39                   | 0,1258               | 4                    | 0,0435               | 14,3                 | 0,3081               | 7,5                  | 0,6667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 41         | 44                   | 0,1589               | 3                    | 0,0326               | 13,6                 | 0,2910               | 7,5                  | 0,6667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 42         | 56                   | 0,2384               | 50                   | 0,5435               | 5,8                  | 0,1002               | 7,5                  | 0,6667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 43         | 67                   | 0,3113               | 0                    | 0,0000               | 12,8                 | 0,2714               | 6,5                  | 0,2500               | 0,1                  | 0,1067                |
| 44         | 71                   | 0,3377               | 20                   | 0,2174               | 11,1                 | 0,2298               | 6,5                  | 0,2500               | 0,14                 | 0,1550                |
| 45         | 45                   | 0,1656               | 10                   | 0,1087               | 5,5                  | 0,0929               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 46         | 59                   | 0,2583               | 5                    | 0,0543               | 12,3                 | 0,2592               | 6,5                  | 0,2500               | 0,14                 | 0,1550                |
| 47         | 79                   | 0,3907               | 3                    | 0,0326               | 14,1                 | 0,3032               | 6,5                  | 0,2500               | 0,14                 | 0,1550                |
| 48         | 30                   | 0,0662               | 5                    | 0,0543               | 6,9                  | 0,1271               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 49         | 42                   | 0,1457               | 4                    | 0,0435               | 9,6                  | 0,1932               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 50         | 85                   | 0,4305               | 5                    | 0,0543               | 9,4                  | 0,1883               | 6,5                  | 0,2500               | 0,14                 | 0,1550                |
| 52         | 56                   | 0,2384               | 10                   | 0,1087               | 5,4                  | 0,0905               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 53         | 34                   | 0,0927               | 7                    | 0,0761               | 16,2                 | 0,3545               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 54         | 42                   | 0,1457               | 12                   | 0,1304               | 11,8                 | 0,2469               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 55         | 63                   | 0,2848               | 60                   | 0,6522               | 2,5                  | 0,0196               | 6,5                  | 0,2500               | 0,12                 | 0,1309                |
| 58         | 71                   | 0,3377               | 20                   | 0,2174               | 11,1                 | 0,2298               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 60         | 57                   | 0,2450               | 10                   | 0,1087               | 20,9                 | 0,4694               | 7,7                  | 0,7500               | 0,2                  | 0,2274                |

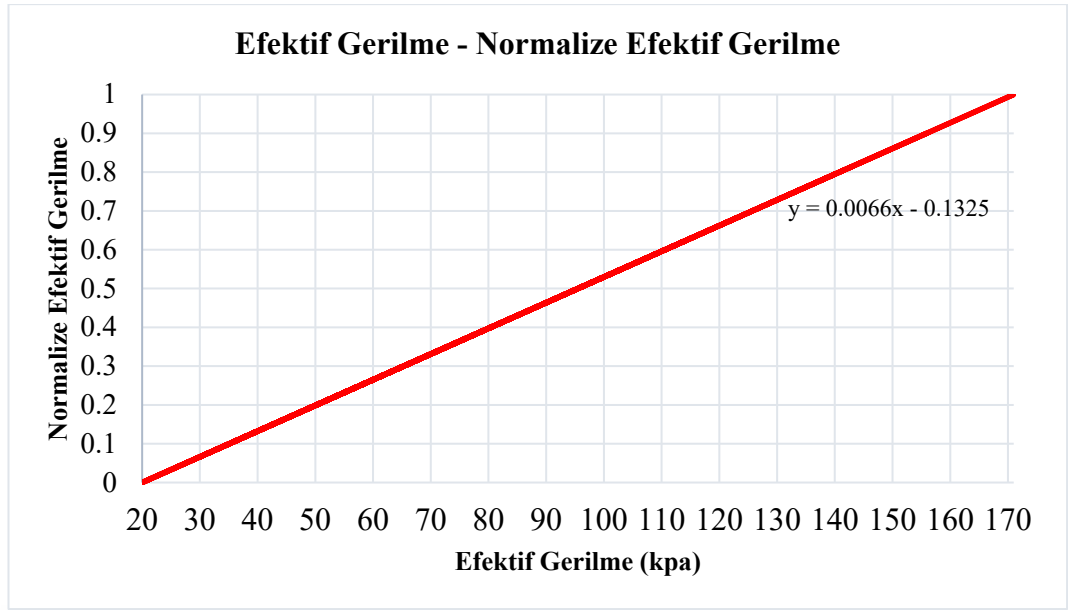
| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 61         | 59                   | 0,2583               | 5                    | 0,0543               | 12,3                 | 0,2592               | 7,7                  | 0,7500               | 0,28                 | 0,3240                |
| 62         | 73                   | 0,3510               | 0                    | 0,0000               | 17,6                 | 0,3888               | 7,7                  | 0,7500               | 0,28                 | 0,3240                |
| 63         | 65                   | 0,2980               | 26                   | 0,2826               | 12,7                 | 0,2689               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 64         | 79                   | 0,3907               | 3                    | 0,0326               | 14,1                 | 0,3032               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 65         | 39                   | 0,1258               | 4                    | 0,0435               | 26,2                 | 0,5990               | 7,7                  | 0,7500               | 0,32                 | 0,3723                |
| 66         | 30                   | 0,0662               | 5                    | 0,0543               | 6,9                  | 0,1271               | 7,7                  | 0,7500               | 0,32                 | 0,3723                |
| 67         | 42                   | 0,1457               | 4                    | 0,0435               | 9,6                  | 0,1932               | 7,7                  | 0,7500               | 0,32                 | 0,3723                |
| 68         | 85                   | 0,4305               | 5                    | 0,0543               | 9,4                  | 0,1883               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 69         | 60                   | 0,2649               | 10                   | 0,1087               | 7,5                  | 0,1418               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 70         | 56                   | 0,2384               | 10                   | 0,1087               | 5,4                  | 0,0905               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 71         | 34                   | 0,0927               | 7                    | 0,0761               | 16,2                 | 0,3545               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 72         | 42                   | 0,1457               | 12                   | 0,1304               | 11,8                 | 0,2469               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 74         | 63                   | 0,2848               | 60                   | 0,6522               | 2,5                  | 0,0196               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 75         | 47                   | 0,1788               | 0                    | 0,0000               | 15,1                 | 0,3276               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 76         | 70                   | 0,3311               | 0                    | 0,0000               | 24,6                 | 0,5599               | 7,7                  | 0,7500               | 0,24                 | 0,2757                |
| 77         | 42                   | 0,1457               | 12                   | 0,1304               | 37,8                 | 0,8826               | 6,53                 | 0,2625               | 0,78                 | 0,9276                |
| 78         | 50                   | 0,1987               | 18                   | 0,1957               | 2,9                  | 0,0293               | 6,53                 | 0,2625               | 0,78                 | 0,9276                |
| 79         | 56                   | 0,2384               | 25                   | 0,2717               | 16,2                 | 0,3545               | 6,53                 | 0,2625               | 0,78                 | 0,9276                |
| 83         | 38                   | 0,1192               | 30                   | 0,3261               | 15,2                 | 0,3301               | 6,53                 | 0,2625               | 0,2                  | 0,2274                |
| 84         | 20                   | 0,0000               | 80                   | 0,8696               | 4,6                  | 0,0709               | 6,53                 | 0,2625               | 0,24                 | 0,2757                |
| 87         | 123                  | 0,6821               | 27                   | 0,2935               | 3,9                  | 0,0538               | 6                    | 0,0417               | 0,095                | 0,1007                |
| 88         | 62                   | 0,2781               | 92                   | 1,0000               | 6,2                  | 0,1100               | 5,9                  | 0,0000               | 0,32                 | 0,3723                |
| 90         | 50                   | 0,1987               | 64                   | 0,6957               | 2,9                  | 0,0293               | 5,9                  | 0,0000               | 0,2                  | 0,2274                |
| 91         | 38                   | 0,1192               | 30                   | 0,3261               | 15,2                 | 0,3301               | 5,9                  | 0,0000               | 0,2                  | 0,2274                |
| 92         | 20                   | 0,0000               | 80                   | 0,8696               | 4,6                  | 0,0709               | 5,9                  | 0,0000               | 0,21                 | 0,2395                |
| 93         | 45                   | 0,1656               | 18                   | 0,1957               | 15,2                 | 0,3301               | 5,9                  | 0,0000               | 0,21                 | 0,2395                |
| 94         | 54                   | 0,2252               | 30                   | 0,3261               | 10,3                 | 0,2103               | 5,9                  | 0,0000               | 0,26                 | 0,2999                |
| 95         | 35                   | 0,0993               | 5                    | 0,0543               | 17                   | 0,3741               | 6,9                  | 0,4167               | 0,168                | 0,1888                |
| 97         | 77                   | 0,3775               | 0                    | 0,0000               | 18,1                 | 0,4010               | 6,8                  | 0,3750               | 0,15                 | 0,1671                |
| 98         | 42                   | 0,1457               | 0                    | 0,0000               | 13,3                 | 0,2836               | 6,8                  | 0,3750               | 0,11                 | 0,1188                |
| 99         | 38                   | 0,1192               | 3                    | 0,0326               | 16,5                 | 0,3619               | 7,7                  | 0,7500               | 0,0116               | 0,0000                |
| 100        | 37                   | 0,1126               | 1                    | 0,0109               | 5,1                  | 0,0831               | 7,7                  | 0,7500               | 0,2                  | 0,2274                |
| 103        | 42                   | 0,1457               | 0                    | 0,0000               | 13,3                 | 0,2836               | 7,7                  | 0,7500               | 0,283                | 0,3276                |
| 104        | 41                   | 0,1391               | 3                    | 0,0326               | 18,7                 | 0,4156               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 105        | 41                   | 0,1391               | 3                    | 0,0326               | 13,8                 | 0,2958               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 106        | 41                   | 0,1391               | 5                    | 0,0543               | 13,1                 | 0,2787               | 7,7                  | 0,7500               | 0,116                | 0,1260                |
| 107        | 79                   | 0,3907               | 3                    | 0,0326               | 8,7                  | 0,1711               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 108        | 107                  | 0,5762               | 4                    | 0,0435               | 6,9                  | 0,1271               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 109        | 54                   | 0,2252               | 66                   | 0,7174               | 4,2                  | 0,0611               | 7,7                  | 0,7500               | 0,052                | 0,0488                |
| 110        | 74                   | 0,3576               | 8                    | 0,0870               | 9,9                  | 0,2005               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 111        | 81                   | 0,4040               | 3                    | 0,0326               | 13,5                 | 0,2885               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 114        | 68                   | 0,3179               | 2                    | 0,0217               | 11,5                 | 0,2396               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 117        | 34                   | 0,0927               | 1                    | 0,0109               | 23                   | 0,5208               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 118        | 60                   | 0,2649               | 3                    | 0,0326               | 34,6                 | 0,8044               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 120        | 53                   | 0,2185               | 2                    | 0,0217               | 20,3                 | 0,4548               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 122        | 63                   | 0,2848               | 2                    | 0,0217               | 7,4                  | 0,1394               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 123        | 64                   | 0,2914               | 2                    | 0,0217               | 5,6                  | 0,0954               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 124        | 49                   | 0,1921               | 2                    | 0,0217               | 8,1                  | 0,1565               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 125        | 55                   | 0,2318               | 2                    | 0,0217               | 23,5                 | 0,5330               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 126        | 77                   | 0,3775               | 4                    | 0,0435               | 22,5                 | 0,5086               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 127        | 46                   | 0,1722               | 0                    | 0,0000               | 25,9                 | 0,5917               | 7,7                  | 0,7500               | 0,205                | 0,2335                |
| 130        | 54                   | 0,2252               | 30                   | 0,3261               | 10,3                 | 0,2103               | 6,22                 | 0,1333               | 0,133                | 0,1465                |
| 131        | 42                   | 0,1457               | 12                   | 0,1304               | 37,8                 | 0,8826               | 6,54                 | 0,2667               | 0,156                | 0,1743                |
| 132        | 50                   | 0,1987               | 18                   | 0,1957               | 2,9                  | 0,0293               | 6,54                 | 0,2667               | 0,15                 | 0,1671                |
| 133        | 56                   | 0,2384               | 25                   | 0,2717               | 16,2                 | 0,3545               | 6,54                 | 0,2667               | 0,13                 | 0,1429                |
| 134        | 62                   | 0,2781               | 92                   | 1,0000               | 6,2                  | 0,1100               | 6,54                 | 0,2667               | 0,174                | 0,1960                |
| 135        | 32                   | 0,0795               | 31                   | 0,3370               | 4,62                 | 0,0714               | 6,54                 | 0,2667               | 0,16                 | 0,1791                |
| 136        | 50                   | 0,1987               | 64                   | 0,6957               | 2,9                  | 0,0293               | 6,54                 | 0,2667               | 0,2                  | 0,2274                |
| 137        | 38                   | 0,1192               | 30                   | 0,3261               | 15,2                 | 0,3301               | 6,54                 | 0,2667               | 0,18                 | 0,2033                |
| 138        | 20                   | 0,0000               | 80                   | 0,8696               | 4,6                  | 0,0709               | 6,54                 | 0,2667               | 0,19                 | 0,2154                |
| 140        | 54                   | 0,2252               | 30                   | 0,3261               | 10,3                 | 0,2103               | 6,54                 | 0,2667               | 0,206                | 0,2347                |
| 142        | 92                   | 0,4768               | 8                    | 0,0870               | 10,2                 | 0,2078               | 6,93                 | 0,4292               | 0,37                 | 0,4326                |
| 143        | 35                   | 0,0993               | 5                    | 0,0543               | 21,4                 | 0,4817               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 144        | 64                   | 0,2914               | 30                   | 0,3261               | 5,7                  | 0,0978               | 6,93                 | 0,4292               | 0,14                 | 0,1550                |
| 146        | 55                   | 0,2318               | 3                    | 0,0326               | 14,9                 | 0,3227               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 147        | 64                   | 0,2914               | 3                    | 0,0326               | 17,6                 | 0,3888               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 148        | 35                   | 0,0993               | 1                    | 0,0109               | 22,6                 | 0,5110               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 149        | 47                   | 0,1788               | 1                    | 0,0109               | 14,9                 | 0,3227               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 150        | 48                   | 0,1854               | 5                    | 0,0543               | 21,2                 | 0,4768               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 151        | 48                   | 0,1854               | 4                    | 0,0435               | 14,7                 | 0,3178               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 152        | 101                  | 0,5364               | 32                   | 0,3478               | 9,9                  | 0,2005               | 6,93                 | 0,4292               | 0,39                 | 0,4568                |
| 155        | 105                  | 0,5629               | 20                   | 0,2174               | 20,2                 | 0,4523               | 6,93                 | 0,4292               | 0,39                 | 0,4568                |
| 156        | 89                   | 0,4570               | 3                    | 0,0326               | 15,4                 | 0,3350               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 157        | 73                   | 0,3510               | 50                   | 0,5435               | 5,1                  | 0,0831               | 6,93                 | 0,4292               | 0,18                 | 0,2033                |
| 159        | 73                   | 0,3510               | 5                    | 0,0543               | 34,4                 | 0,7995               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 160        | 86                   | 0,4371               | 8                    | 0,0870               | 8,6                  | 0,1687               | 6,93                 | 0,4292               | 0,27                 | 0,3119                |
| 162        | 67                   | 0,3113               | 1                    | 0,0109               | 18,4                 | 0,4083               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 164        | 25                   | 0,0331               | 35                   | 0,3804               | 9,1                  | 0,1809               | 6,93                 | 0,4292               | 0,28                 | 0,3240                |
| 166        | 90                   | 0,4636               | 19                   | 0,2065               | 13                   | 0,2763               | 7,7                  | 0,7500               | 0,25                 | 0,2878                |
| 167        | 68                   | 0,3179               | 2                    | 0,0217               | 16,4                 | 0,3594               | 7,6                  | 0,7083               | 0,4                  | 0,4689                |
| 169        | 47                   | 0,1788               | 5                    | 0,0543               | 25,9                 | 0,5917               | 7,6                  | 0,7083               | 0,47                 | 0,5534                |
| 170        | 143                  | 0,8146               | 50                   | 0,5435               | 13,1                 | 0,2787               | 6,69                 | 0,3292               | 0,84                 | 1,0000                |
| 171        | 101                  | 0,5364               | 25                   | 0,2717               | 27,2                 | 0,6235               | 6,69                 | 0,3292               | 0,51                 | 0,6016                |
| 172        | 88                   | 0,4503               | 64                   | 0,6957               | 8,5                  | 0,1663               | 6,69                 | 0,3292               | 0,43                 | 0,5051                |
| 173        | 105                  | 0,5629               | 33                   | 0,3587               | 11,6                 | 0,2421               | 6,69                 | 0,3292               | 0,51                 | 0,6016                |
| 174        | 103                  | 0,5497               | 15                   | 0,1630               | 39,5                 | 0,9242               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 175        | 54                   | 0,2252               | 1                    | 0,0109               | 36,6                 | 0,8533               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 176        | 116                  | 0,6358               | 1                    | 0,0109               | 6,1                  | 0,1076               | 6,9                  | 0,4167               | 0,35                 | 0,4085                |
| 177        | 72                   | 0,3444               | 21                   | 0,2283               | 17,8                 | 0,3936               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 178        | 60                   | 0,2649               | 0                    | 0,0000               | 10,9                 | 0,2249               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 179        | 65                   | 0,2980               | 0                    | 0,0000               | 24,1                 | 0,5477               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 180        | 64                   | 0,2914               | 2                    | 0,0217               | 12,2                 | 0,2567               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>t<sub>4</sub></i> | <i>t<sub>5</sub></i> | <i>t<sub>6</sub></i> | <i>t<sub>7</sub></i> | <i>t<sub>8</sub></i> | <i>t<sub>9</sub></i> | <i>t<sub>10</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 181        | 107                  | 0,5762               | 9                    | 0,0978               | 27,4                 | 0,6284               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 182        | 62                   | 0,2781               | 5                    | 0,0543               | 8,5                  | 0,1663               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 183        | 72                   | 0,3444               | 14                   | 0,1522               | 24,7                 | 0,5623               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 184        | 74                   | 0,3576               | 15                   | 0,1630               | 12,7                 | 0,2689               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 187        | 60                   | 0,2649               | 5                    | 0,0543               | 25                   | 0,5697               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 188        | 43                   | 0,1523               | 5                    | 0,0543               | 21,1                 | 0,4743               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 189        | 171                  | 1,0000               | 0                    | 0,0000               | 42,6                 | 1,0000               | 6,9                  | 0,4167               | 0,7                  | 0,8310                |
| 191        | 44                   | 0,1589               | 0                    | 0,0000               | 33,5                 | 0,7775               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 192        | 79                   | 0,3907               | 6                    | 0,0652               | 38,6                 | 0,9022               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 193        | 72                   | 0,3444               | 10                   | 0,1087               | 24                   | 0,5452               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 194        | 51                   | 0,2053               | 0                    | 0,0000               | 24,6                 | 0,5599               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 197        | 29                   | 0,0596               | 10                   | 0,1087               | 40,8                 | 0,9560               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 199        | 49                   | 0,1921               | 0                    | 0,0000               | 17,9                 | 0,3961               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 200        | 78                   | 0,3841               | 10                   | 0,1087               | 40,1                 | 0,9389               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 201        | 41                   | 0,1391               | 6                    | 0,0652               | 29,1                 | 0,6699               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 202        | 83                   | 0,4172               | 50                   | 0,5435               | 27,9                 | 0,6406               | 6,9                  | 0,4167               | 0,5                  | 0,5896                |
| 205        | 36                   | 0,1060               | 3                    | 0,0326               | 31,6                 | 0,7311               | 6,9                  | 0,4167               | 0,6                  | 0,7103                |
| 206        | 79                   | 0,3907               | 0                    | 0,0000               | 19,3                 | 0,4303               | 6,9                  | 0,4167               | 0,35                 | 0,4085                |
| 209        | 50                   | 0,1987               | 0                    | 0,0000               | 15                   | 0,3252               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 210        | 46                   | 0,1722               | 10                   | 0,1087               | 12,1                 | 0,2543               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 212        | 43                   | 0,1523               | 5                    | 0,0543               | 8,3                  | 0,1614               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 214        | 115                  | 0,6291               | 2                    | 0,0217               | 12,5                 | 0,2641               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 215        | 96                   | 0,5033               | 20                   | 0,2174               | 6,8                  | 0,1247               | 6,9                  | 0,4167               | 0,34                 | 0,3964                |
| 216        | 125                  | 0,6954               | 20                   | 0,2174               | 22,7                 | 0,5134               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 217        | 140                  | 0,7947               | 20                   | 0,2174               | 19,5                 | 0,4352               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 220        | 107                  | 0,5762               | 25                   | 0,2717               | 16,8                 | 0,3692               | 6,9                  | 0,4167               | 0,4                  | 0,4689                |
| 222        | 46                   | 0,1722               | 20                   | 0,2174               | 14                   | 0,3007               | 6,9                  | 0,4167               | 0,25                 | 0,2878                |

Tablo 2.3'te gösterilen değerlerin grafikleri şu şekildedir:

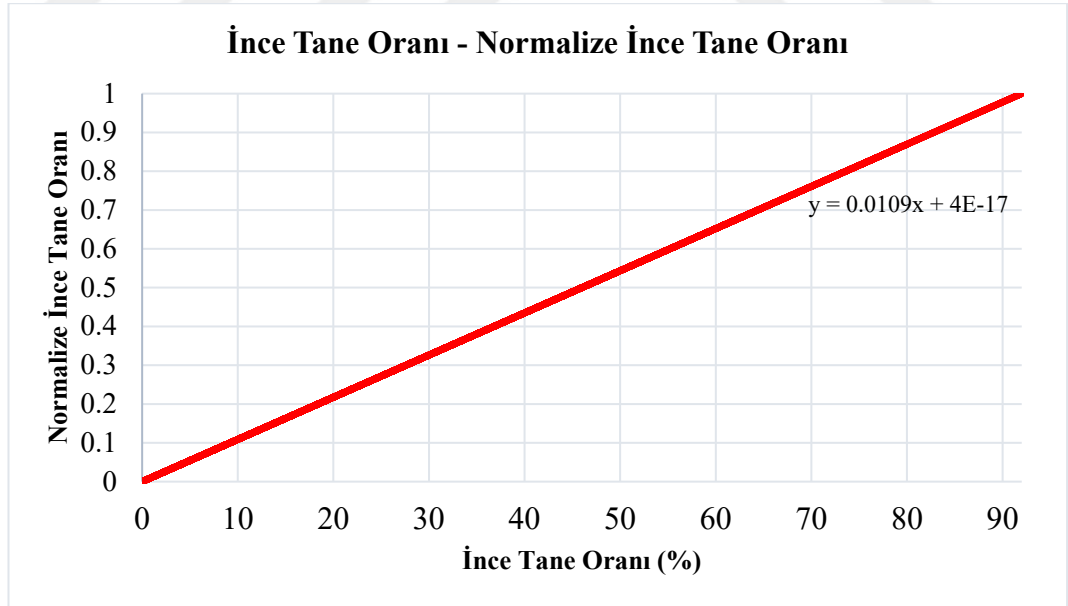
- Efektif gerilme - Normalize efektif gerilme grafiği Şekil 2.4'te
- İnce tane oranı - Normalize ince tane oranı grafiği Şekil 2.5'te
- $N_{1(60)}$  - Normalize  $N_{1(60)}$  grafiği Şekil 2.6'da
- Deprem büyüklüğü - Normalize deprem büyüklüğü grafiği Şekil 2.7'de
- Maksimum yer ivmesi - Normalize maksimum yer ivmesi grafiği Şekil 2.8'de gösterilmiştir.



**Şekil 2.4** Efektif gerilme normalizasyon grafiği

Şekil 2.4'te gösterilen grafiğin denklemi Denklem 2.2'de verilmiştir.

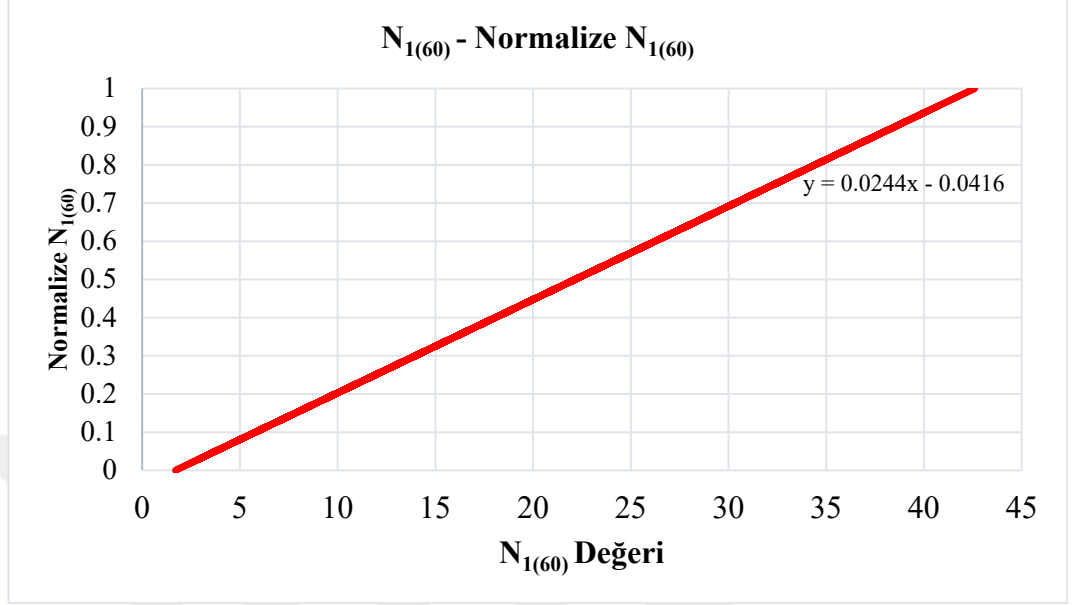
$$EFF = \frac{X - EFF_{min}}{EFF_{maks} - EFF_{min}} = \frac{X - 20,00}{171,00 - 20,00} \quad (2.2)$$



**Şekil 2.5** İnce tane oranı normalizasyon grafiği

Şekil 2.5'te gösterilen grafiğin denklemi Denklem 2.3'te verilmiştir.

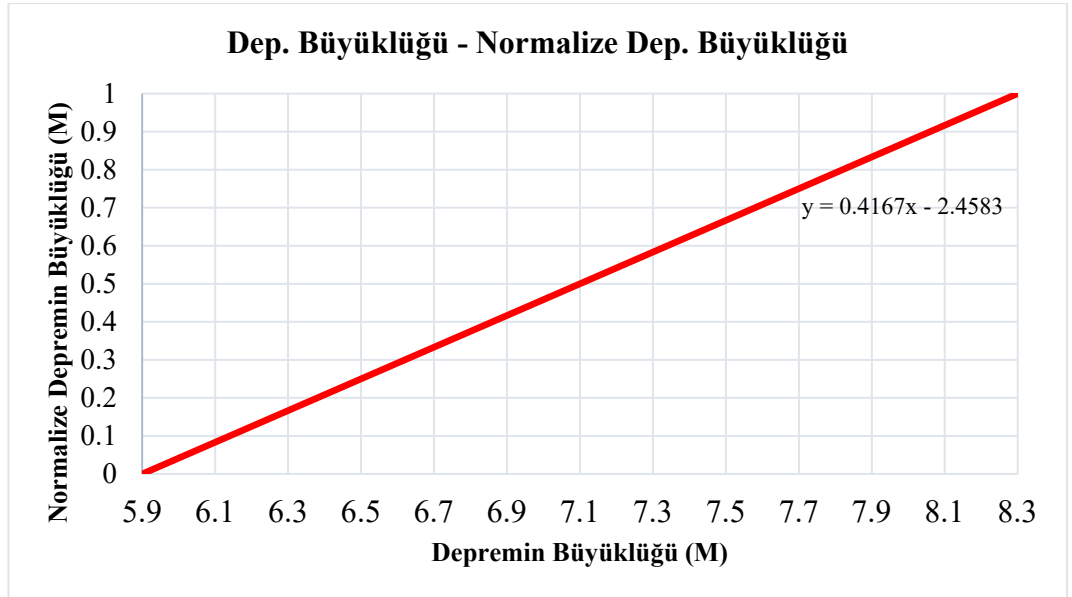
$$FC = \frac{X - FC_{min}}{FC_{maks} - FC_{min}} = \frac{X - 0,00}{92,00 - 0,00} \quad (2.3)$$



**Şekil 2.6**  $N_{1(60)}$  normalizasyon grafiği

Şekil 2.6’da gösterilen grafiğin denklemi Denklem 2.4’te verilmiştir.

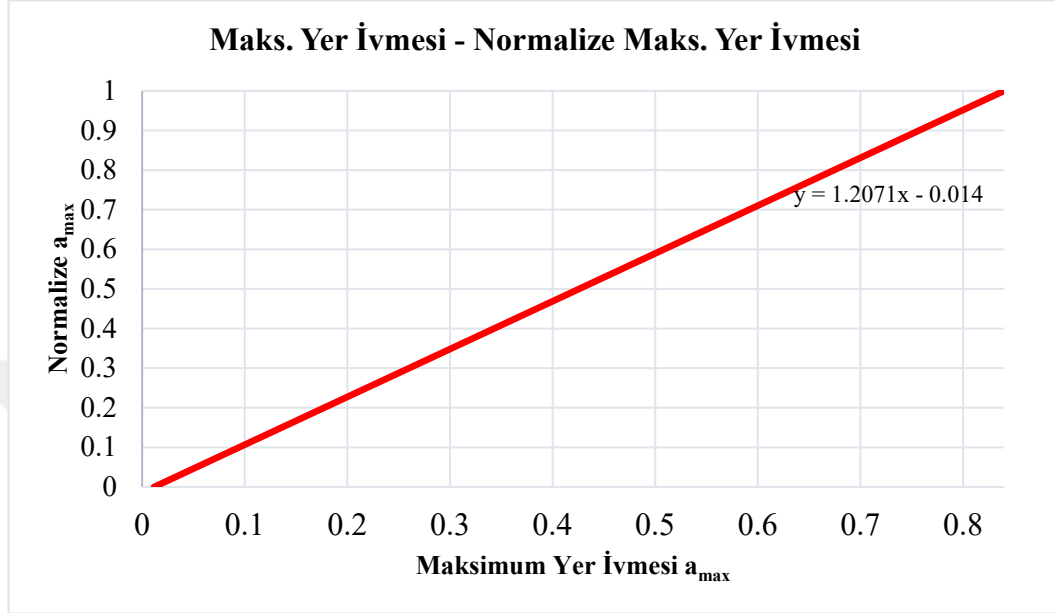
$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{X - 1,70}{42,60 - 1,70} \quad (2.4)$$



**Şekil 2.7** Deprem büyüklüğü normalizasyon grafiği

Şekil 2.7’de gösterilen grafiğin denklemi Denklem 2.5’te verilmiştir.

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{X - 5,90}{8,30 - 5,90} \quad (2.5)$$



**Şekil 2.8** Maksimum yer ivmesi normalizasyon grafiği

Şekil 2.8’de gösterilen grafiğin denklemi Denklem 2.6’da verilmiştir.

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{X - 0,01}{0,84 - 0,01} \quad (2.6)$$

### 2.2.3 Karides Sürüsü Algoritması

Karidesler, genellikle Avrupa denizlerinde ve Kuzey Amerika kıyılarında yaşayan deniz canlılarıdır. 7 yıla kadar yaşamlarını sürdürebilen bu deniz canlılarının yetişkinleri ortalama 6 cm uzunluğunda ve yaklaşık 1-2 gram ağırlığındadırlar. Bu boyutlarına rağmen dünya üzerindeki karideslerin, insan nüfusundan daha ağır bastığı tahmin edilmektedir[37]–[39].

Karideslerde, canlıların çoğunda ortak olarak görülen sürü oluşturma eğilimi vardır. [40]. Karideslerin, beslenme yeteneklerini birleştirerek daha verimli avlanmak,



dışarıdan bakıldığında daha büyük deniz canlısı gibi görünmek ve avcılardan korunmak gibi sebeplerden dolayı sürü oluşturdıkları bilinmektedir[41]. Sürü oluşturma eğilimi, doğaya karşı yaşam mücadelesi vermek adına karideslerin uyguladığı bir davranıştır. Sürüler, dışarıdan bakıldığında rastgele oluşumlar gibi gözükse de aslında bu eylem sistematik bir şekilde ilerlemektedir[42], [43].



**Şekil 2.9** Antarktika Karidesi[37]

Penguenler, deniz kuşları gibi karidesle beslenen yırtıcılar bir karides sürüsüne saldırdığında sürü aniden dağılır. Bu olay sürüdeki karides yoğunluğunun azalmasına yol açar. Tehlike geçtikten sonra sürünün tekrar oluşması iki temel parametre altında birçok değişkene bağlıdır. İki temel parametre ise; karides yoğunluğunu artırmak ve yiyeceğe ulaşmaktır. Bu bağlamda karides bireyleri en yüksek yoğunluğa ve yiyecek için kullanılabilecek iyi çözüme doğru hareket eder. Karides sürüsü algoritması Amir Hossein Gandomi ve Amir Hossein Alavi tarafından bu sürecin işleyişinin modellenmesi ile geliştirilmiştir[8].

Karides bireylerini ele aldığımızda karides sürüsü, her bir karides hareketinin birleşiminden oluşur. Bu aşamada her karidesin bir fonksiyonu olduğunu ve karides sürüsünün ise bu fonksiyonların bir kombinasyonu olduğunu görebiliriz. Karides bireylerinin fonksiyonları ise 3 temel parametreye bağlıdır[41].

- Diğer karideslerin tetiklediği hareket ( $Ni$ )
- Yiyecek arama hareketi ( $Fi$ )

- Rastgele yayılma hareketi ( $D_i$ )

Optimizasyon algoritmalarının yeterli bir çalışma alanına ihtiyaç duyduğu bilinmektedir. Bunun için  $n$  boyutlu karar uzayında genelleştirilmiş bir Lagrangian modeli Denklem 2.7’de verilmiştir.  $X_i$  i. Karides bireyinin amaç fonksiyonudur.

$$\frac{dX_i}{dt} = N_i + F_i + D_i \quad (2.7)$$

### 2.2.3.1 Diğer Karideslerin Tetiklediği Hareket ( $N_i$ )

Literatürdeki çalışmalara göre karides bireyleri sürünün yoğunluğunu yüksek tutmaya ve beraber hareket etmeye çalışırlar[41].

$$N_i^{yeni} = N^{maks} a_i + \omega_n N_i^{eski} \quad (2.8)$$

$$a_i = a_i^{lokal} + a_i^{hedef} \quad (2.9)$$

Denklem 2.8’de  $N^{maks}$  tetiklenen maksimum hızdır.  $\omega_n$  [0,1] aralığında tetiklenen hareketin atalet ağırlığı ve  $N_i^{eski}$  tetiklenen son harekettir. Denklem 2.9’da komşular tarafından sağlanan yerel etki  $a_i^{lokal}$  ve en iyi karides bireyi tarafından sağlanan etki ise  $a_i^{hedef}$  olarak tanımlanmıştır.

Komşuluk sınırı içerisinde kalan karideslerin birbirleri arasında itici ve çekici bir eğilim olduğu kabul edilebilir. Karides sürüsü algoritmasında bu değer Denklem 2.10 olarak belirlenmiştir. Denklem 2.10’da gösterilen NN toplam komşu sayısıdır ve  $j$  değeri NN değerine kadar artarak gitmektedir.

$$a_i^{lokal} = \sum_{j=1}^{NN} \hat{K}_{i,j} \hat{X}_{i,j} \quad (2.10)$$

$$\hat{X}_{i,j} = \frac{X_j - X_i}{\|X_j - X_i\| + \varepsilon} \quad (2.11)$$

$$\hat{K}_{i,j} = \frac{K_i - K_j}{K^{enk} - K^{eni}} \quad (2.12)$$

Denklem 2.11’de eklenen  $\varepsilon$  değişkeni algoritmanın yerel aramada sırasında kendisini tekrar edip, sıkışıp kalmaması için eklenmiştir. Denklem 2.12’de  $K^{enk}$  ve  $K^{eni}$  olarak tanımlanan değişkenler sırasıyla karideslerin en kötü ve en iyi uygunluk değerleridir.  $K_i$  i. karides bireyinin amaç fonksiyonu,  $K_j$  ise j. komşu bireyin amaç fonksiyonudur.

$$d_{s,i} = \frac{1}{5N} \sum_{j=1}^N \|X_i - X_j\| \quad (2.13)$$

Komşuluk seçiminde ise farklı stratejiler seçilebilir. Karides sürüsü algoritmasında komşuluk seçimi hissedilen uzaklık değeri belirlenerek yapılır. Denklem 2.13’te gösterilen  $d_{s,i}$  i. karides bireyinin hissedilen uzaklığını temsil eder. N değeri ise toplam karides sayısıdır. Seçilen i. karidese komşu olan her bir j. karides için aralarındaki mesafeye bakılır. Bu değer  $d_{s,i}$  değerinden küçükse seçilen i. ve j. karides bireyleri komşu kabul edilir. Komşu olmaları birbirlerinden etkilenecekleri anlamına gelir. Amaç fonksiyonu optimum olan karides bireyinin seçilen i. karides üzerindeki etkisi Denklem 2.14’te gösterilmiştir. Denklem 2.15’de tanımlanan  $C^{eni}$  ise en iyi uygunluğa sahip karides bireyinin i. karidese uyguladığı bir etki katsayısıdır.

$$a_i^{hedef} = C^{eni} \hat{R}_{i,eni} \hat{X}_{i,eni} \quad (2.14)$$

$$C^{eni} = 2 \left( rand + \frac{I}{I_{maks}} \right) \quad (2.15)$$

Denklem 2.15’te gösterilen *rand* parametresi optimizasyonun doğruluğunu artırmak için eklenen 0-1 aralığındaki bir değerdir. *I* iterasyon sayısı ve *I<sub>maks</sub>* maksimum iterasyon sayısıdır.

### 2.2.3.2 Yiyecek arama hareketi ( $F_i$ )

Yiyecek arama hareketi iki ana parametreye bağlıdır. Bunlar yiyeceğin yeri ve önceki deneyimlere bağlı tanımlanan bir denklemdir. Denklem 2.16’da i. karides bireyi için yiyecek arama hareketi gösterilmiştir.

$$F_i = V_f \beta_i + \omega_f F_i^{eski} \quad (2.16)$$

$$\beta_i = \beta_i^{yiyecek} + \beta_i^{eni} \quad (2.17)$$

$$\beta_i^{eni} = \hat{K}_{i,ieni} \hat{X}_{i,ieni} \quad (2.18)$$

Denklem 2.16’da tanımlanan  $V_f$  yiyecek arama hızı,  $\omega_f$  yiyecek arama hareketinin  $[0,1]$  aralığındaki atalet ağırlığı,  $F_i^{eski}$  son yiyecek arama hareketidir. Denklem 2.17’de gösterilen  $\beta_i$  ise yiyeceğin çekiciliği olan  $\beta_i^{yiyecek}$  ve şu ana kadarki en iyi amaç fonksiyonu olan  $\beta_i^{eni}$  değişkenine bağlı bir değerdir.  $\beta_i^{eni}$  Denklem 2.18’de gösterilmiştir. Yiyeceğin etkisi konumu ile tanımlanmıştır. Önce yiyeceğin yeri, ardından yiyeceğin çekiciliğinin hesaplanması gerekir. Denklem 2.19’da gösterilen yiyeceğin yeri ise her iterasyondan sonra yenilenir.

$$X^{yiyecek} = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i} X_i}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{K_i}} \quad (2.19)$$

$$\beta_i^{yiyecek} = C^{yiyecek} \hat{K}_{i,yiyecek} \hat{X}_{i,yiyecek} \quad (2.20)$$

$$C^{yiyecek} = 2 \left( 1 - \frac{I}{I_{maks}} \right) \quad (2.21)$$

Denklem 2.20’de gösterilen yiyecek etkisi  $C^{yiyecek}$  zamanla azalan bir etkidir ve Denklem 2.21’de tanımlanmıştır.

### 2.2.3.3 Rastgele Yayılma Hareketi ( $D_i$ )

Karides bireylerinin rastgele yayılma hareketi, yayılma hızı ve hareket yönü ile formüle edilir.

$$D_i = D^{maks} \delta \quad (2.22)$$

Denklem 2.22’de gösterilen  $D^{maks}$  maksimum yayılma hızı ve  $\delta$  ise hareketin yönüdür. Wolpert and Macready [44]  $D^{maks}$  için  $[0.002, 0.010]$  ( $\text{ms}^{-1}$ ) sınır değerleri içerisinde kalan bir değerin kullanılması önerisinde bulunmuşlardır. Bunun nedeni ise daha az hareket ile karides bireylerinin daha iyi konumlanmasıdır. Yine rastgele yayılma hareketini doğrudan azaltmaya yönelik bir katsayı daha eklemişlerdir. Denklem 2.23’te rastgele yayılma hareketinin son hali gösterilmiştir.

$$D_i = D^{maks} \left( 1 - \frac{I}{I_{maks}} \right) \delta \quad (2.23)$$

#### 2.2.3.4 Hareketlerin İşleyişi

Tanımlanan hareketler genel olarak her bir karides bireyinin konumunu en iyiye götürmek için çalışır. Yiyecek arama ve rastgele yayılma hareketleri karides sürüsü algoritmasını güçlü bir algoritma yapan iki temel strateji içerir. Algoritmada, i. karides bireyinin hareketlerinden herhangi birinde, hareket parametresinde en iyi olan parametreler her zaman çekici etki sağlar, tam tersinde ise itici etki görülür. Denklem 2.24'te  $t$  anından  $\Delta t$  kadar ilerleyen zaman için bir tanımlama yapılmıştır.

$$X_i(t + \Delta t) = X_i(t) + \Delta t \frac{dX_i}{dt} \quad (2.24)$$

$$\Delta t = C_t \sum_{j=1}^{NV} (UB_j - LB_j) \quad (2.25)$$

Denklem 2.25'de NV toplam değişken sayısını,  $UB_j$  ve  $LB_j$  sırasıyla üst ve alt sınır değerleri,  $C_t$  ise  $[0,2]$  aralığında ampirik bir değeri temsil eder.

#### 2.2.3.5 Başlangıç Parametreleri

Karides sürüsü algoritmasının başlangıç parametreleri vardır. Bunlardan bazıları:

- NR: Çalışma Sayısı
- NK: Karides Sayısı
- MI: İterasyon Sayısı
- C\_flag (1/0): Çaprazlama var ya da yok şeklindedir.

Bu parametreler diğer parametrelerden bağımsız olarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada çalışma sayısı ve karides sayısı sabit tutulmuştur ve sırasıyla 10 ve 25 olarak çalışılmıştır. İterasyon sayısı tüm denemelerde sabit 200'dür. Karides sürüsü algoritmasına, performansı artırmak için çaprazlama ve mutasyon genetik operatörleri eklenmiştir. Bu çalışmada doğruluğu artırmak adına çaprazlama ve mutasyonlar açık olarak işlem yapılmıştır.

Diğer başlangıç parametreleri ise algoritmanın kendi içerisinde verilmiş parametrelerdir[8]. Bunlar;

- Denklem 2.16’da gösterilen  $V_f$  (Yiyecek arama hızı) :  $0,02 \text{ ms}^{-1}$
- Denklem 2.22’de gösterilen  $D_{\max}$  (Maksimum yayılma hızı) :  $0,005 \text{ ms}^{-1}$
- Denklem 2.8’de gösterilen  $N_{\max}$ (Tetiklenen maksimum hız) :  $0,01 \text{ ms}^{-1}$  şeklindedir.

### 2.2.3.6 Karides Sürüsü Algoritmasının İşleyişi

Karides sürüsü algoritmasını genel adımları aşağıdaki gibidir[8];

- I. Veri yapıları: Algoritma parametrelerinin, sınırların vs. belirlenmesi.
- II. Başlatma: Arama alanında ilk popülasyonun rastgele oluşturulması.
- III. Uygunluk Değerlendirmesi: Pozisyonlarına göre karides bireylerinin değerlendirilmesi
- IV. Hareket Hesaplama:
  - Diğer karideslerin tetiklediği hareket
  - Yiyecek arama hareketi
  - Rastgele Yayılma hareketi
- V. Genetik Operatörleri Uygulama
- VI. Güncelleme: Arama alanındaki karides bireylerinin konumunun güncellenmesi
- VII. Tekrarla: Durdurma şartı sağlanana kadar III. Adıma geri dön.
- VIII. Bitir

Algoritmanın pseudo kodu[45] şu şekildedir :

1. Başlat
2. Başlangıç parametrelerini seç
3. Ön hesaplamaları yap
4. İlk karides pozisyonlarını seç
5. Tüm iterasyonlar için yap
  - 5.1. Popülasyon ölçümü
  - 5.2. Tüm karidesler için yap

- 5.2.1. Diğer karideslerin neden olduğu hareket
- 5.2.2. Yiyecek arama hareketi
- 5.2.3. Rastgele yayılma hareketi
- 5.2.4. Çaprazlama ve Mutasyon
- 5.2.5. Karides pozisyonlarını güncelle
- 5.3. Geçerli en iyi sonucu seç
- 6. Bitir

Verileri optimize etmek için literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar kapsamında genetik algoritma, parçacık sürüsü algoritması, karınca kolonisi algoritması, yapay arı kolonisi algoritması gibi geleneksel optimizasyon algoritmaları kullanılmıştır. Liangliang Li, Yongquan Zhou ve Jian Xie 2014 yılında yayınladıkları “A Free Search Krill Herd Algorithm for Functions Optimization” makalesinde karides sürüsü algoritma tabanının üstünlüklerinden bahsetmişlerdir[9]. Bu çalışmada geleneksel optimizasyon algoritmaları karşılaştırılmıştır ve 14 farklı test fonksiyonuyla sınanmıştır. Bu kapsamda karides sürüsü algoritma tabanının geleneksel diğer algoritmalara göre daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmada karides sürüsü algoritmasının seçilmesinin sebebi daha yüksek doğrulukla problemi çözümlemesidir.

#### 2.2.4 Amaç Fonksiyonunun Belirlenmesi

Amaç fonksiyonu; hedeflenen sonuca, sahip olunan parametreler yardımıyla ulaşmak için oluşturulmuş fonksiyona denir. Optimizasyon algoritmalarında amaç fonksiyonunun veri setine uygunluğu çok önemlidir. Çalışılan veri grubundaki veriler ile amaç fonksiyonu arasındaki uyumsuzluk optimizasyonun doğruluğunu ve çalışma süresini doğrudan etkiler. Bu sebeple amaç fonksiyonunun veri grubundaki etkilerini görmek amacıyla bu çalışmada literatürde sıkça kullanılan 5 farklı denklem modeliyle çalışılmıştır. Bu denklem modelleri ise şu şekildedir:

- Linear Model

$$Lm = M * X_1 + FC * X_2 + EFF * X_3 + N * X_4 + A * X_5 + X_6 \quad (2.26)$$

- Power Model

$$Pm = X_1 * M^{X_2} + X_3 * FC^{X_4} + X_5 * EFF^{X_6} + X_7 * N^{X_8} + X_9 * A^{X_{10}} + X_{11} \quad (2.27)$$

- Exp. Model

$$Em = X_1 * e^{X_2 M} + X_3 * e^{X_4 FC} + X_5 * e^{X_6 EFF} + X_7 * e^{X_8 N} + X_9 * e^{X_{10} A} + X_{10} \quad (2.28)$$

- Quad. Model

$$Qm = X_1 * M^2 + X_2 * FC^2 + X_3 * EFF^2 + X_4 * N^2 + X_5 * A^2 + X_6 * M * FC + X_7 * M * EFF + X_8 * M * N + X_9 * M * A + X_{10} * FC * EFF + X_{11} * FC * N + X_{12} * FC * A + X_{13} * EFF * N + X_{14} * EFF * A + X_{15} * N * A + X_{16} \quad (2.29)$$

- Semi-Quad. Model

$$Sm = X_1 * M^2 + X_2 * FC^2 + X_3 * EFF^2 + X_4 * N^2 + X_5 * A^2 + X_6 * \sqrt{M * FC} + X_7 * \sqrt{M * EFF} + X_8 * \sqrt{M * N} + X_9 * \sqrt{M * A} + X_{10} * \sqrt{FC * EFF} + X_{11} * \sqrt{FC * N} + X_{12} * \sqrt{FC * A} + X_{13} * \sqrt{EFF * N} + X_{14} * \sqrt{EFF * A} + X_{15} * \sqrt{N * A} + X_{16} \quad (2.30)$$

$X_n$ : Bilinmeyen

M : Deprem büyüklüğü (Normalize değeri)

FC : İnce tane oranı (Normalize değeri)

EFF : Efektif gerilme (Normalize değeri)

N :  $N_{1(60)}$  değeri (Normalize değeri)

A : Maksimum yer ivmesi (Normalize değeri)

### 2.2.5 Hata Payı Ölçümü

Bir optimizasyonun doğruluğu, amaç fonksiyonu çıktısının hedeflenen sonuca yakınlığıyla ölçülür. Bu bağlamda optimizasyon algoritmalarının hata payı ölçümünde genellikle kullanılan yöntemler vardır. Bunlar ortalama hata, ortalama yüzde hata, ortalama mutlak hata, ortalama kare hata, kök ortalama kare hata vb. hata payı ölçüm



yöntemleridir. Bu yöntemler, kullanılan verilere bağlı olarak hata payını doğru ölçebilir ancak bu hata payı ölçüm yöntemlerinin çoğunda fonksiyonun paydasında amaç fonksiyonunun çıktısını görebiliriz. Bu genel çalışmalar için bir sorun teşkil etmez ancak bu çalışmanın amaç fonksiyonunun çıktısı sınıflaşma var ya da sınıflaşma yok şeklindedir. Bu da bilgisayar dilinde 1 ya da 0 sonuçlarına karşılık gelmektedir. Hem sınıflaşma kontrolünün 1 ve 0'dan oluşması hem de amaç fonksiyonu çıktısının 1 ve 0'dan oluşması bu hata payı ölçüm yöntemlerinde sonucu ya sonsuza yakınsatır ya da tanımsız bir sayı ortaya çıkmasına yol açar. Bu doğrultuda, hata payını doğru ölçmek amacıyla geleneksel hata payı ölçüm yöntemleri kullanılamamıştır. Çalışmada kullanılan hata payı ölçüm yöntemi karışıklık matrisidir[46]. Bu yöntemde temel olarak amaç tahmin edilen sonuçların amaç fonksiyonu sonuçlarıyla karşılaştırılıp hata payının ölçülmesidir. Kullanılan bu yöntem çalışmanın mantığıyla uyduğu için seçilmiştir.

Şekil 2.10'da gösterilen TN, FP, FN, TP parametreleri ile ilgili bazı tanımlamalar şu şekildedir:

- Başlangıç için TN, FP, FN ve TP parametreleri 0 değerini alır.
- Gerçek saha şartlarında sınıflaşma olmuş bir veri kaydı için amaç fonksiyonu da sınıflaşma olur sonucunu verirse bu doğru bir tahmindir ve TP (True Positive) değeri 1 artırılır.
- Gerçek saha şartlarında sınıflaşma olmuş bir veri kaydı için amaç fonksiyonu da sınıflaşma olmaz sonucunu verirse bu yanlış bir tahmindir ve FN (False Negative) değeri 1 artırılır.
- Gerçek saha şartlarında sınıflaşma olmamış bir veri kaydı için amaç fonksiyonu da sınıflaşma olur sonucunu verirse bu yanlış bir tahmindir ve FP (False Positive) değeri 1 artırılır.
- Gerçek saha şartlarında sınıflaşma olmamış bir veri kaydı için amaç fonksiyonu da sınıflaşma olmaz sonucunu verirse bu doğru bir tahmindir ve TN (True Negative) değeri 1 artırılır.
- Bu işlemlerin sonunda her bir veri kaydı sadece bir parametreyi artıracak için TN, FP, FN ve TP değerlerinin toplamı çalışmadaki veri sayısına eşit olmalıdır.

Tüm veriler sınıflandırıldıktan sonra optimizasyonun doğruluğu Denklem 2.31’de gösterildiği şekilde hesaplanır.

$$\text{Doğruluk} = \frac{TP + TN}{TN + FP + FN + TP} \quad (2.31)$$

| SIVILAŞMA |     |        |     |
|-----------|-----|--------|-----|
|           |     | TAHMİN |     |
|           |     | YOK    | VAR |
| GERÇEK    | YOK | TN     | FP  |
|           | VAR | FN     | TP  |

**Şekil 2.10** Karışıklık matrisi şeması

Bu çalışmada bütün hata payı çıktıları karışıklık matrisi yardımıyla belirlenmiştir.

### 2.2.6 Optimizasyonun Uygulanması

Optimizasyon, kelime anlamı olarak eldeki verilerle yapılan çalışmalar sonucunda ortaya çıkan ürünün belirlenen şartlara göre en iyi hale getirilmesidir. Bu şartlar genellikle ekonomik bakımdan ya da zaman açısından sistemi zorlarlar. Belirlenen bu şartları sağlayıp her açıdan dengeyi sağlama işlemine optimizasyon işlemi adı verilir. Burada temel amaç sistemin performansını en üst seviyeye çıkarmaktır.

Bu çalışmada optimizasyon işlemi bilgisayar ortamında MATLAB programının yardımıyla yapılmıştır. Optimizasyonda kullanılan algoritma Amir Hossein Alavi, Amir Hossein Gandomi tarafından 2012 yılında yayınlanan Karides Sürüsü Algoritması[8] seçilmiştir. Kullanılan versiyon MATLAB R2016a'dır [47] (9.0.0.341360). Optimizasyon işlemi için kullanılacak olan karides sürüsü algoritmasının MATLAB kaynak kodu, karides sürüsü algoritmasının yazarları tarafından MathWorks'e yüklenmiştir[48]. Bu çalışmada MathWorks üzerinden erişilen kod ile çalışılmıştır.

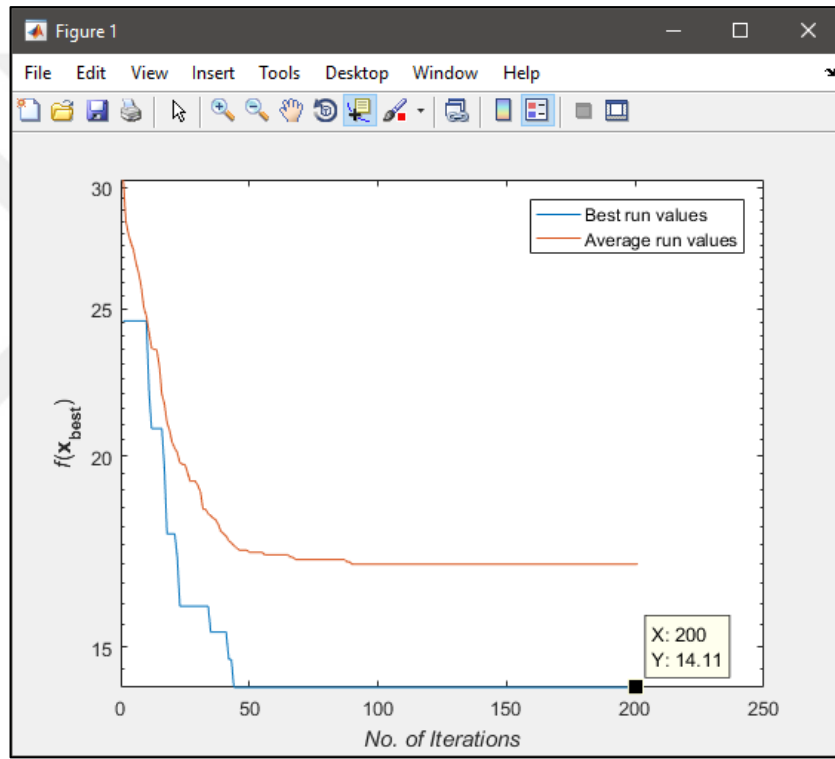
Optimizasyon sırasında kullanılan verilerin tümü Tablo 2.3'te gösterilen normalize verilerdir. Normalize verilerin hepsi tek bir çizelgede toplanmıştır. Bu sayede 5 model için de aynı çizelge kullanılabilmiştir.

Optimizasyon işlemi yapılırken Bölüm 2.2.4'te gösterilen her bir model için ayrı bir çalışma yapılmıştır. Başlangıç parametreleri için Bölüm 2.2.3.5'te detaylı olarak gösterilen karides sürüsü algoritmasının temel parametre değerleri kullanılmıştır. İterasyon sayısı olarak 200 iterasyon sayısı seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında her bir model ile 100 kez çalışma yapılmıştır. Yapılan 100 tekrar sonucunda elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Her modelin kendi katsayıları vardır. Bu katsayılar X değişkeniyle tanımlanmıştır.

Bölüm 2.2.3.6'da bahsedildiği üzere algoritma her çalışmasında rastgele başlangıç değerleri seçmektedir. Bu sebeple amaç fonksiyonun çıktısı her bir çalıştırma için farklı sınır değerleri arasında değişmektedir. Örneğin, aynı model için yapılan iki çalışmada amaç fonksiyonunun sonuçları birinde  $[-750,1500]$  aralığında değişirken diğerinde  $[3500,7500]$  aralığında olabilir. Bunu önlemek adına amaç fonksiyonlarının sonuçları da normalize edilmiştir. Bu işlem sonuçların  $[0,1]$  aralığında değerler almasını sağlar ve sınırlaşmanın olup olmayacağını belirlemek daha kolay olacaktır. Bu aşamada amaç fonksiyonunun çıktısı 0,5'ten küçük ise 0; 0,5'ten büyük ise 1 olarak kabul edilmiştir.

Modellerin hata payı değerlerini görebilmek için Bölüm 2.2.5'te gösterilen hata payı ölçüm tekniği amaç fonksiyonlarının devamına eklenmiştir. Amaç fonksiyonunun çıktısına göre gerçek saha şartlarındaki durum ile karşılaştırılmış ve gereken TN, FP, FN ve TP değerleri belirlenmiştir. Denklem 2.31'den bulunan doğruluk payı 1'den çıkartılıp hata payı bulunmuştur. Bu hata payı da yüzdelik okunabilmesi için 100 ile çarpılmıştır. Bu sayede çıktı grafiklerinden modellerin hata payları direkt olarak okunabilecektir.

Bölüm 2.2.6'da gösterilen grafikler için örnek olarak:

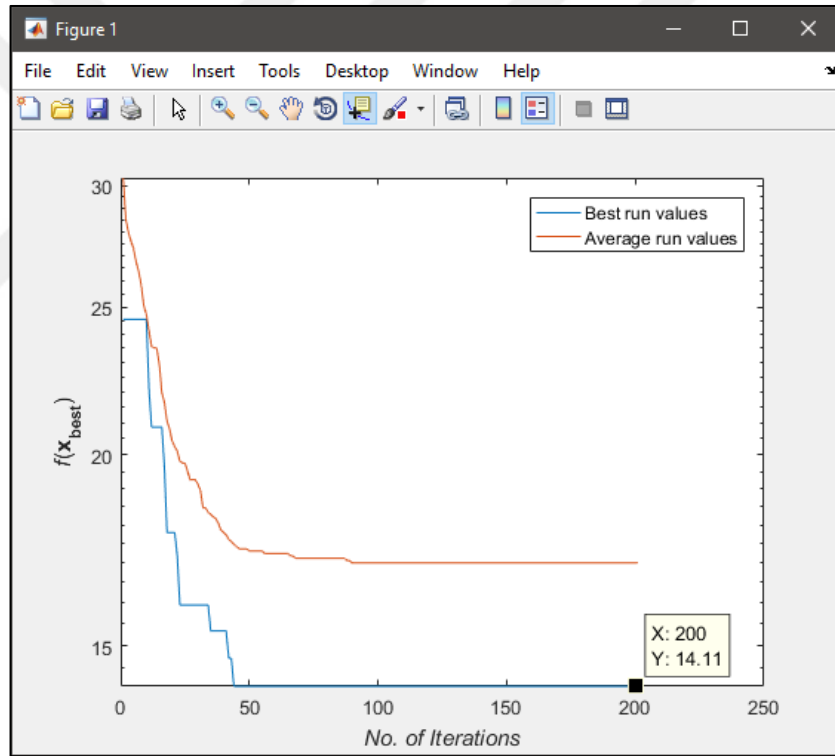


- Turuncu renkli eğri: Çalışmadaki amaç fonksiyonunun ortalama hata payını
- Mavi renkli eğri: Çalışmadaki amaç fonksiyonunun en düşük hata payını
- Grafiğin X ekseni: İterasyon sayısını
- Grafiğin Y ekseni: Amaç fonksiyonu değerlerini gösterir. Burada okunan değerler yüzdelik hata payına karşılık gelmektedir.
- Sarı taralı alanda gösterilen Y değeri ise son iterasyon sonucunda elde edilen minimum hata payı değerinin yüzde değerini göstermektedir.

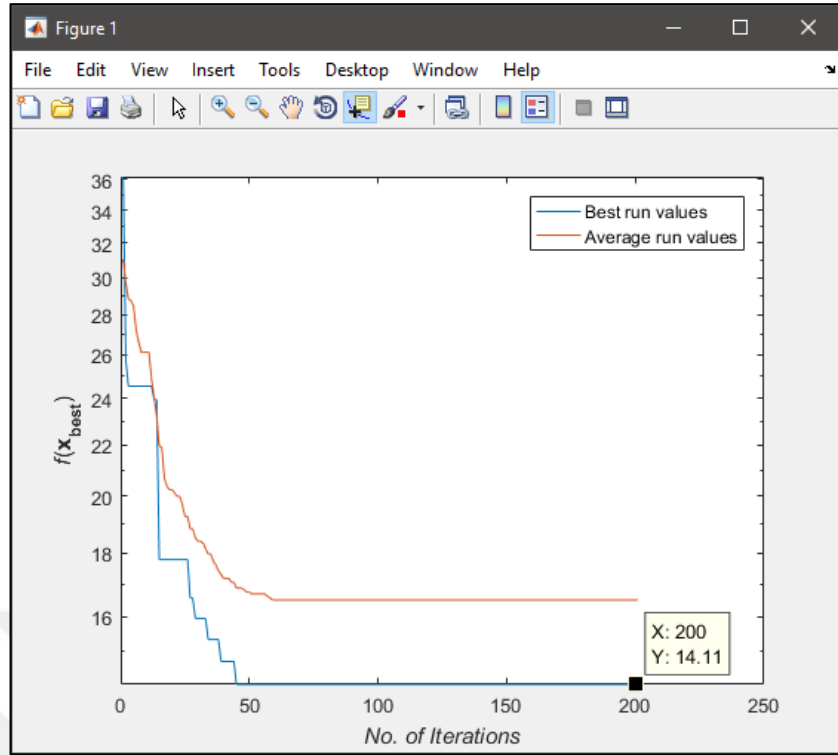
### 2.2.6.1 Linear Model

Linear model için oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem 2.26’da gösterilmiştir. Linear modelin kaynak kodu Ek.3’te gösterilmiştir. 200 iterasyon sonunda modelin ulaştığı bazı hata payı grafikleri Şekil 2.11, Şekil 2.12, Şekil 2.13 ve Şekil 2.14’te gösterilmiştir. Bu grafiklerden, amaç fonksiyonunun hata payının ortalama 50. iterasyona kadar düştüğü sonrasında ise sabit kaldığı görülmektedir. Fonksiyonun 50. iterasyondan sonra yaklaşık 150 deneme boyunca %14,11’lik hata payında sabit kalması, amaç fonksiyonunun hedef sonuca daha çok yaklaşmadığını göstermektedir. Linear model minimum %14,11’lik hata payına sahiptir. 100 deneme sonucunda elde edilen ortalama hata payı değeri ise %14,87’dir.

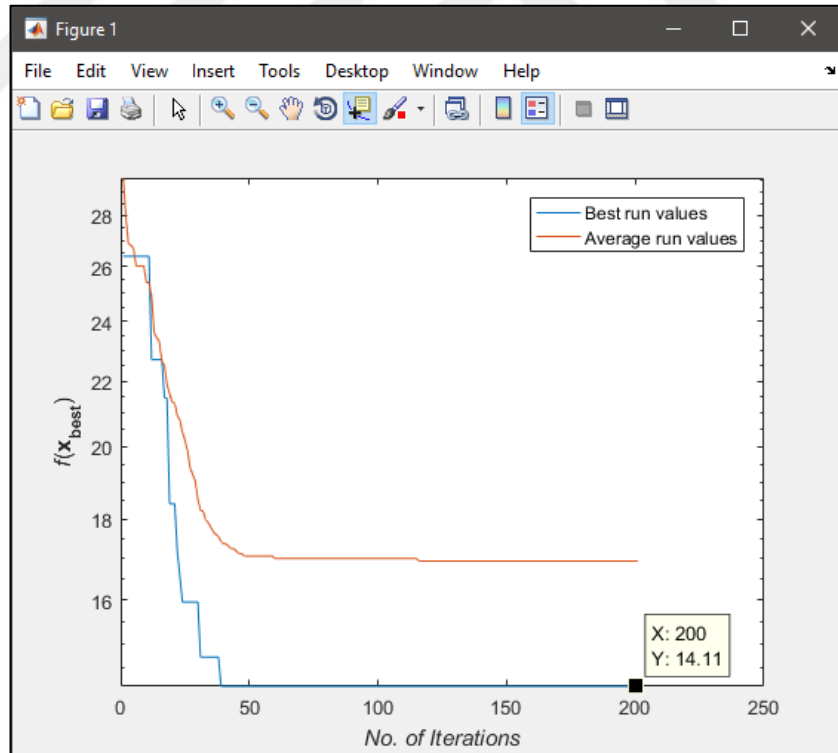
$$Lm = M * X_1 + FC * X_2 + EFF * X_3 + N * X_4 + A * X_5 + X_6 \quad (2.26)$$



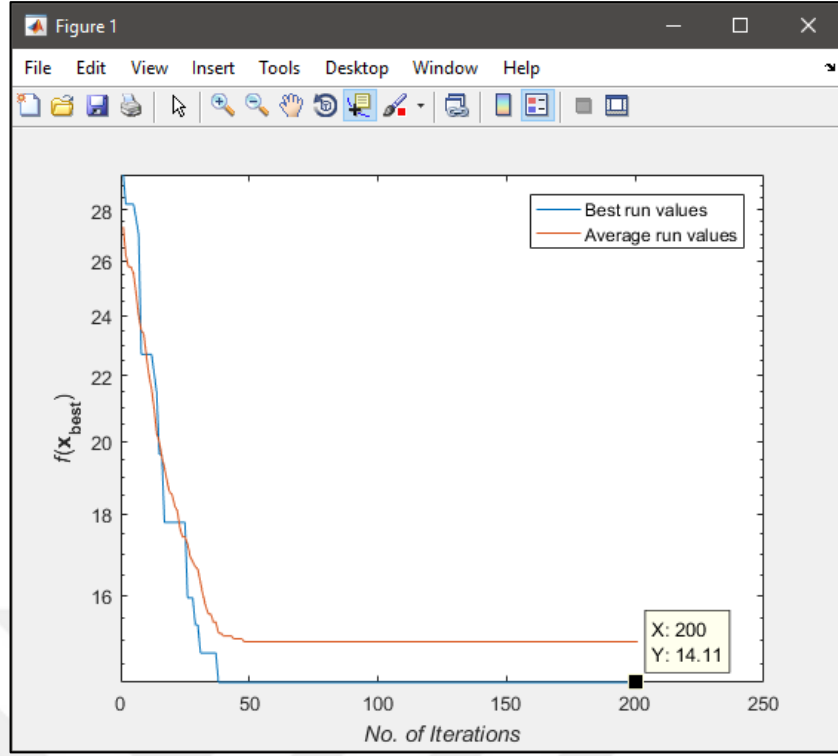
Şekil 2.11 Linear model 200 iterasyon – I



Şekil 2.12 Linear model 200 iterasyon - II



Şekil 2.13 Linear model 200 iterasyon – III

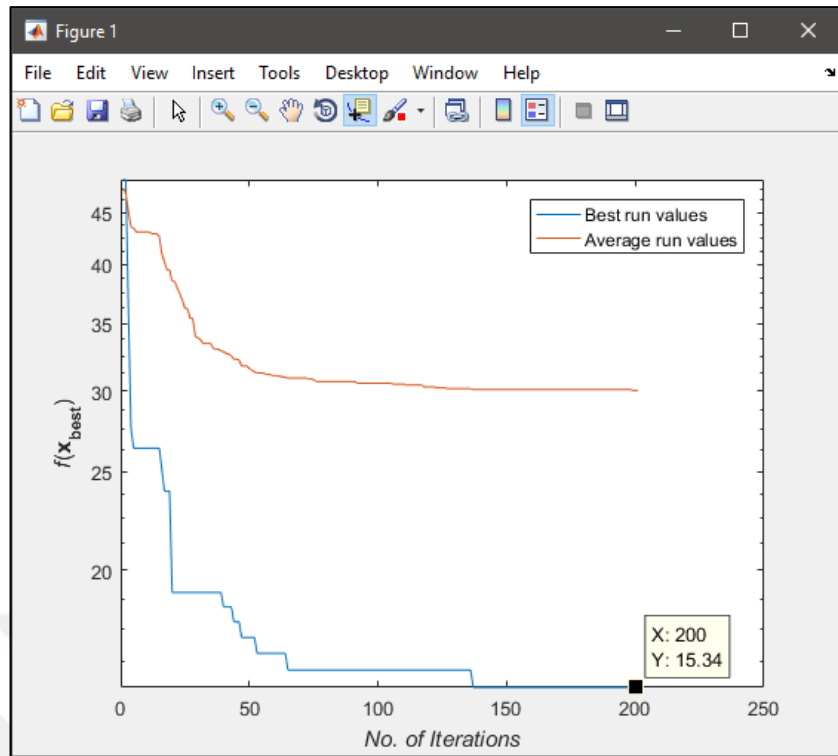


*Şekil 2.14 Linear model 200 iterasyon - IV*

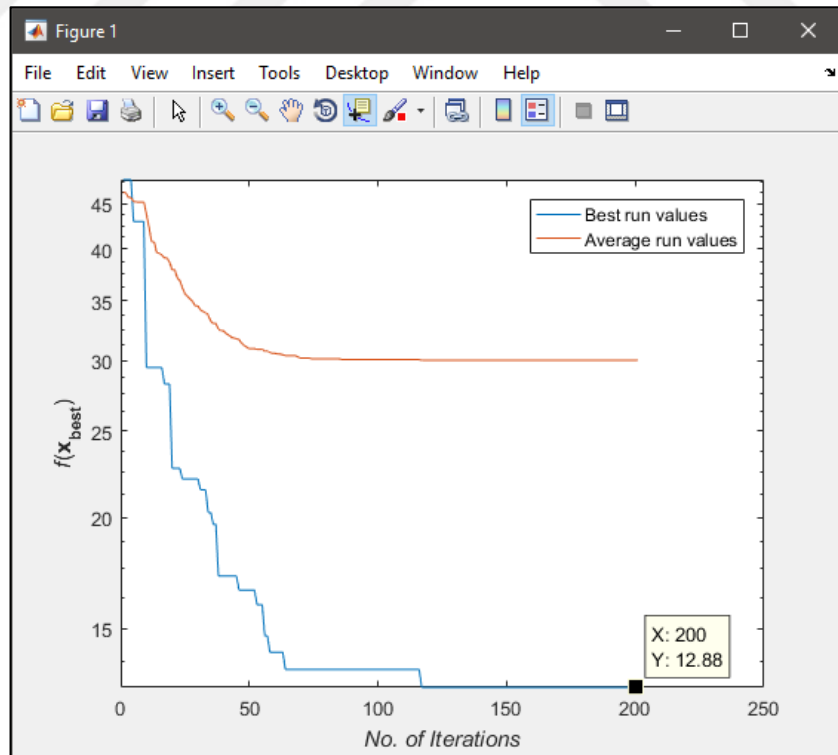
#### 2.2.6.2 Power Model

Power model için oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem 2.27’de gösterilmiştir. Power modelin kaynak kodu Ek.4’te gösterilmiştir. 200 iterasyon sonunda modelin ulaştığı bazı hata payı grafikleri Şekil 2.15, Şekil 2.16, Şekil 2.17 ve Şekil 2.18’de gösterilmiştir. Power modelin hata payı değerleri farklılık göstermektedir. Bunun sebebi, algoritmanın her seferinde farklı katsayılarla optimize işlemine başlamasıdır. Power modele ait en düşük hata payı %12,88’dir. Yapılan 100 tekrar sonrasında elde edilen ortalama hata payı değeri ise %14,66’dır.

$$Pm = X_1 * M^{X_2+X_3} * FC^{X_4+X_5} * EFF^{X_6+X_7} * N^{X_8+X_9} * A^{X_{10}+X_{11}} \quad (2.27)$$

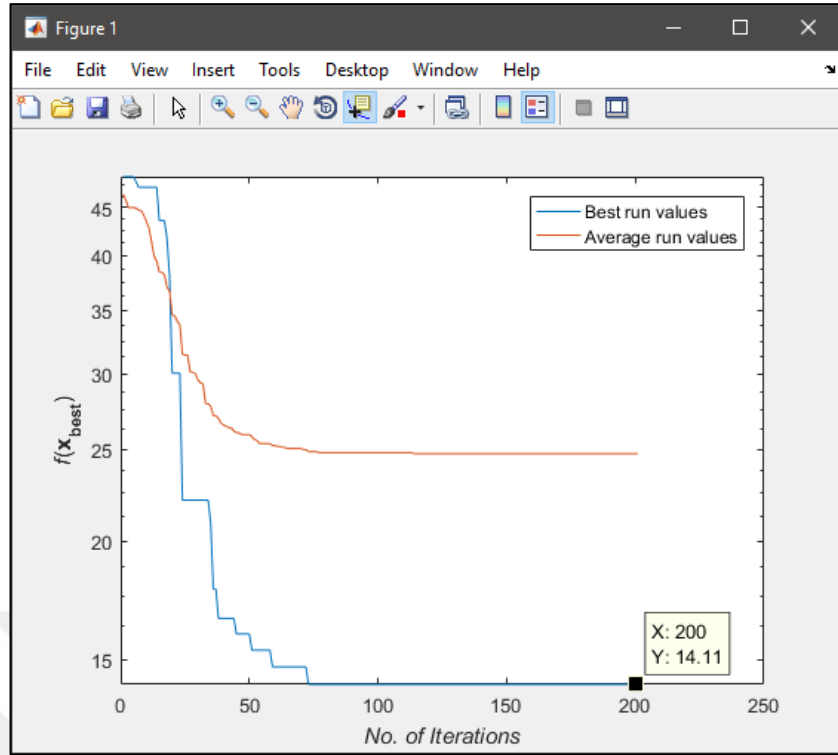


Şekil 2.15 Power model 200 iterasyon – I

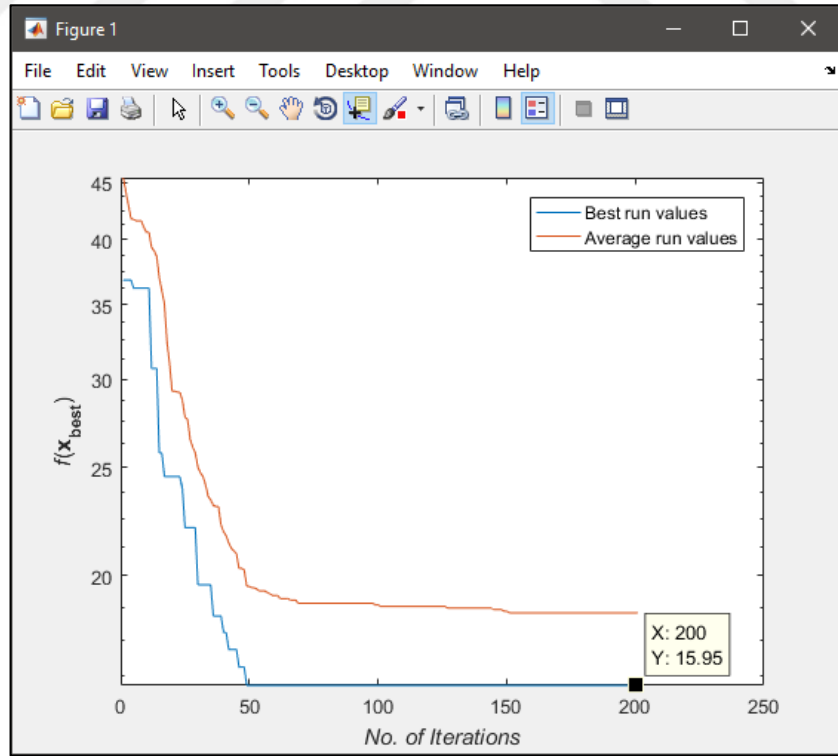


Şekil 2.16 Power model 200 iterasyon - II





Şekil 2.17 Power model 200 iterasyon – III

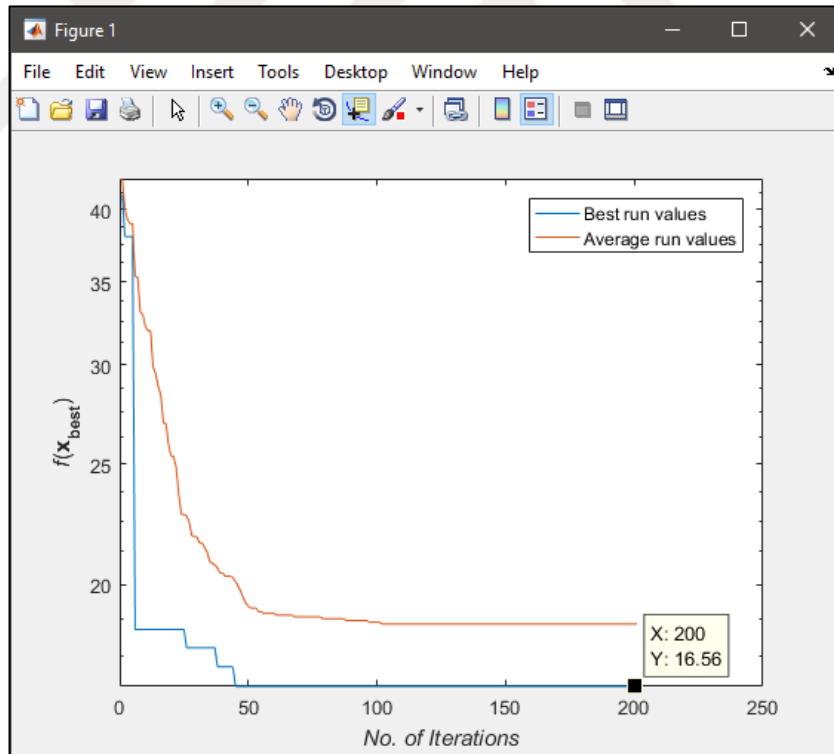


Şekil 2.18 Power model 200 iterasyon – IV

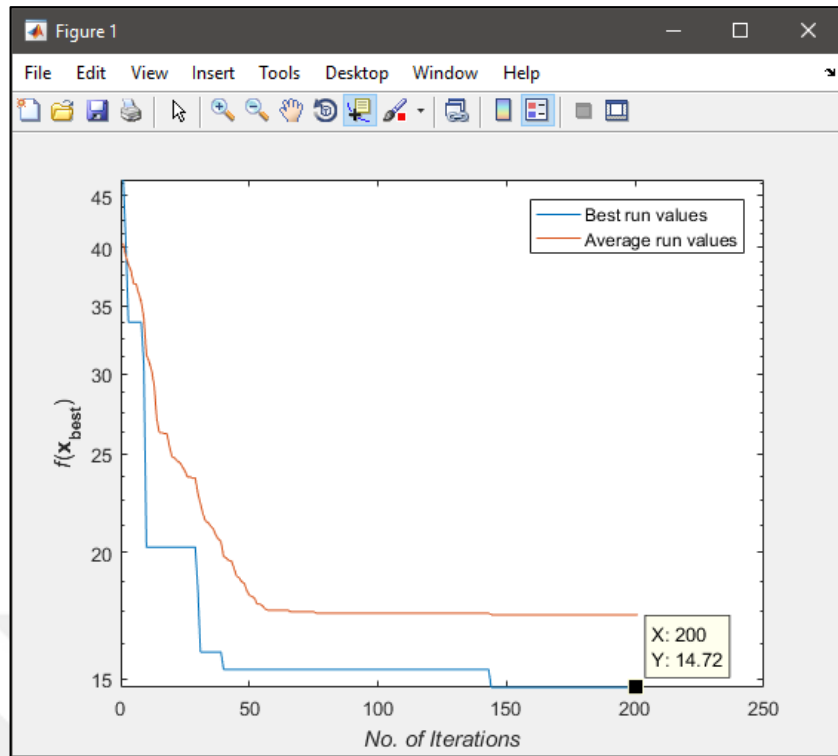
### 2.2.6.3 Exponential Model

Exponential model için oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem 2.28’de gösterilmiştir. Exponential modelin kaynak kodu Ek.5’te gösterilmiştir. 200 iterasyon sonunda modelin ulaştığı bazı hata payı grafikleri Şekil 2.19, Şekil 2.20, Şekil 2.21 ve Şekil 2.22’te gösterilmiştir. Hata payı değerlerine bakıldığı zaman Bölüm 2.2.6.2’de gösterilen power modelin hata payı değerlerine yakın olduğu gözükmemektedir. %13,5’lik hata payı ile power modele yaklaşıp da power modelden daha iyi bir sonuç vermemiştir. Exponential model minimum %13,5’lik hata payı sahiptir. 100 deneme sonrasında elde edilen ortalama hata payı değeri ise %15,26’dır.

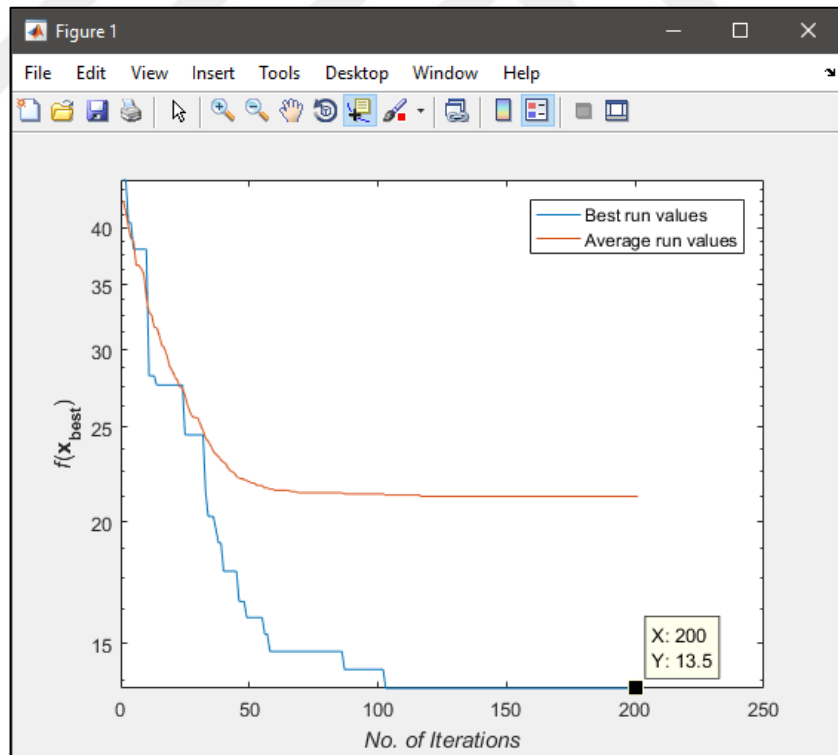
$$Em = X_1 * e^{X_2 M} + X_3 * e^{X_4 FC} + X_5 * e^{X_6 EFF} + X_7 * e^{X_8 N} + X_9 * e^{X_{10} A} + X_{10} \quad (2.28)$$



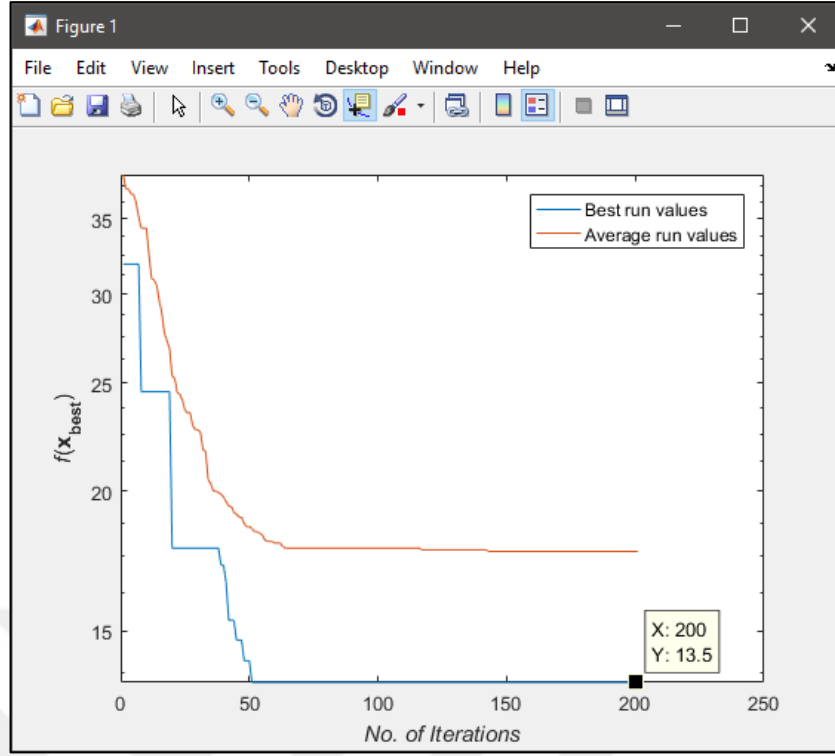
Şekil 2.19 Exponential model 200 iterasyon – I



Şekil 2.20 Exponential model 200 iterasyon – II



Şekil 2.21 Exponential model 200 iterasyon – III

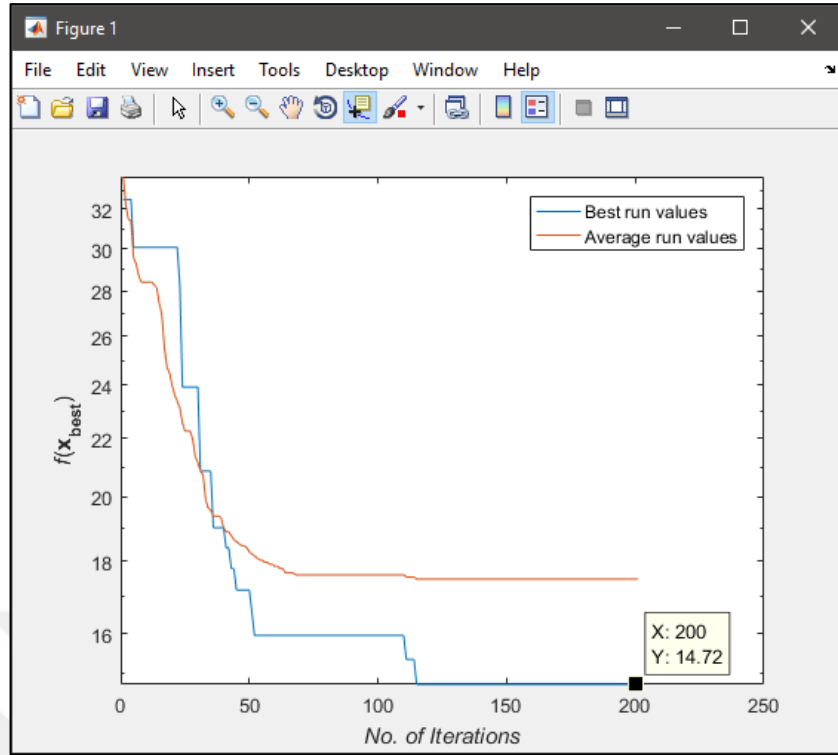


*Şekil 2.22 Exponential model 200 iterasyon – IV*

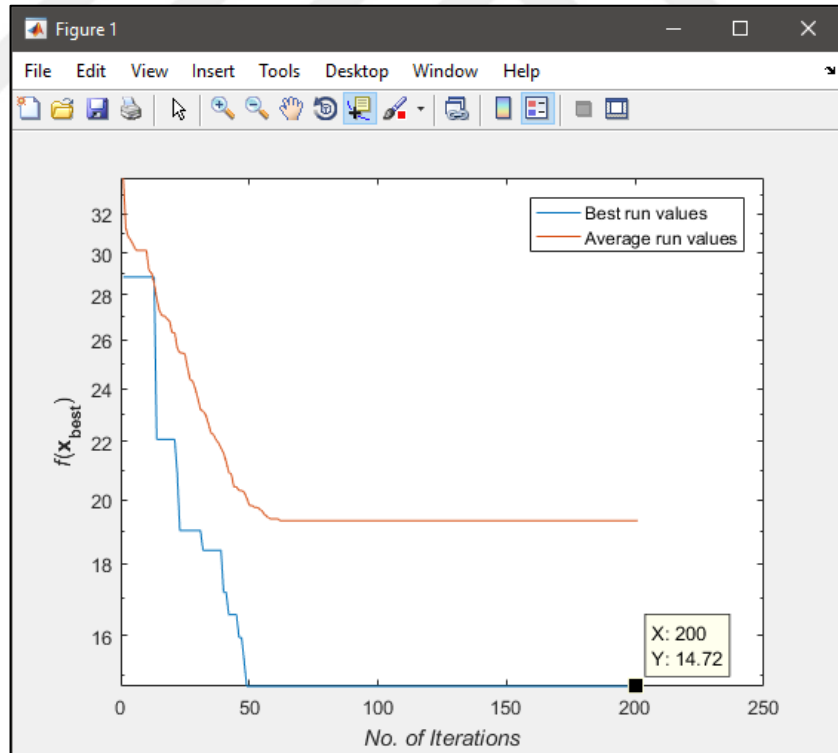
#### 2.2.6.4 Quadratic Model

Quadratic model için oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem 2.29’da gösterilmiştir. Quadratic modelin kaynak kodu Ek.6’da gösterilmiştir. 200 iterasyon sonunda modelin ulaştığı bazı hata payı grafikleri Şekil 2.23, Şekil 2.24, Şekil 2.25ve Şekil 2.26’da gösterilmiştir. Hata payı olarak en düşük değer %14,72 ölçülmüştür. Her deneme sonucunda aynı hata payının görülmesi fonksiyonun hedef değere daha fazla yaklaşamayacağını, en fazla %14,72’lik hata payıyla yaklaşabileceğini gösterir. 100 deneme sonucunda ulaşılan ortalama hata payı değeri %15,77’dir.

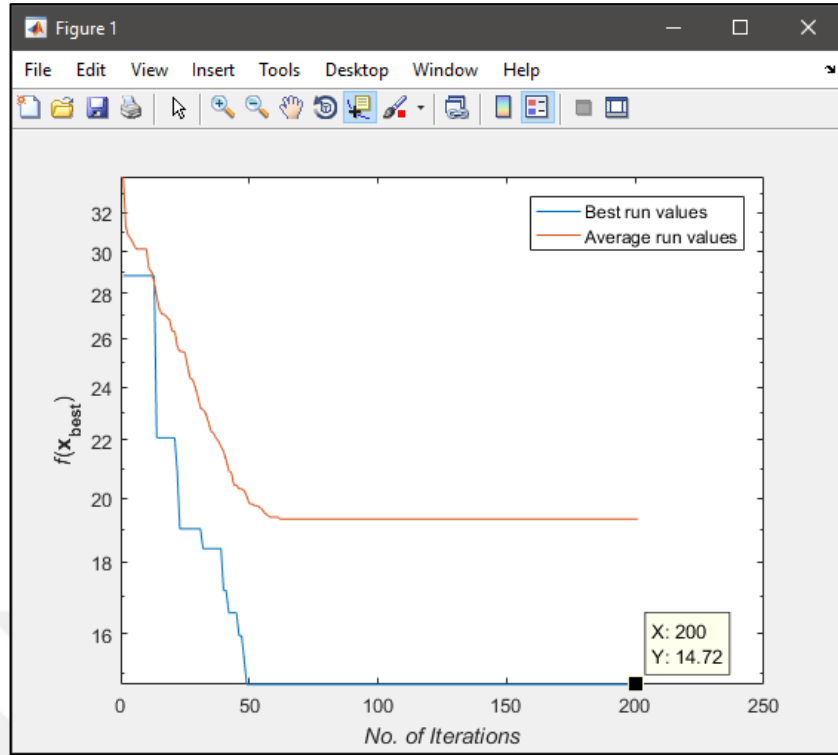
$$\begin{aligned}
 Qm = & X_1 * M^2 + X_2 * FC^2 + X_3 * EFF^2 + X_4 * N^2 + X_5 * A^2 + \\
 & X_6 * M * FC + X_7 * M * EFF + X_8 * M * N + X_9 * M * A + \\
 & X_{10} * FC * EFF + X_{11} * FC * N + X_{12} * FC * A + \\
 & X_{13} * EFF * N + X_{14} * EFF * A + X_{15} * N * A + X_{16}
 \end{aligned} \tag{2.29}$$



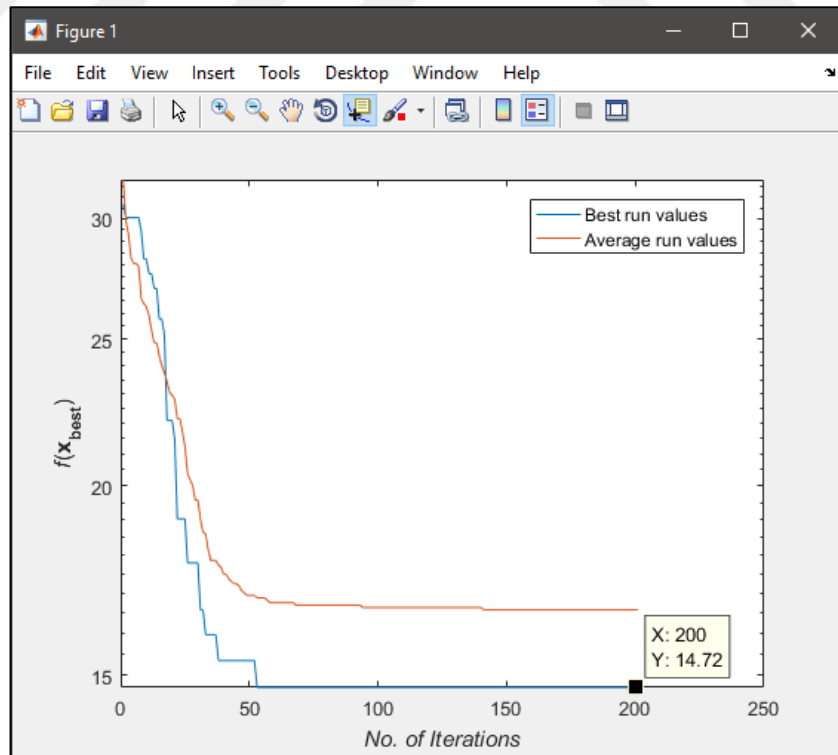
Şekil 2.23 Quadratic model 200 iterasyon – I



Şekil 2.24 Quadratic model 200 iterasyon – II



Şekil 2.25 Quadratic model 200 iterasyon – III

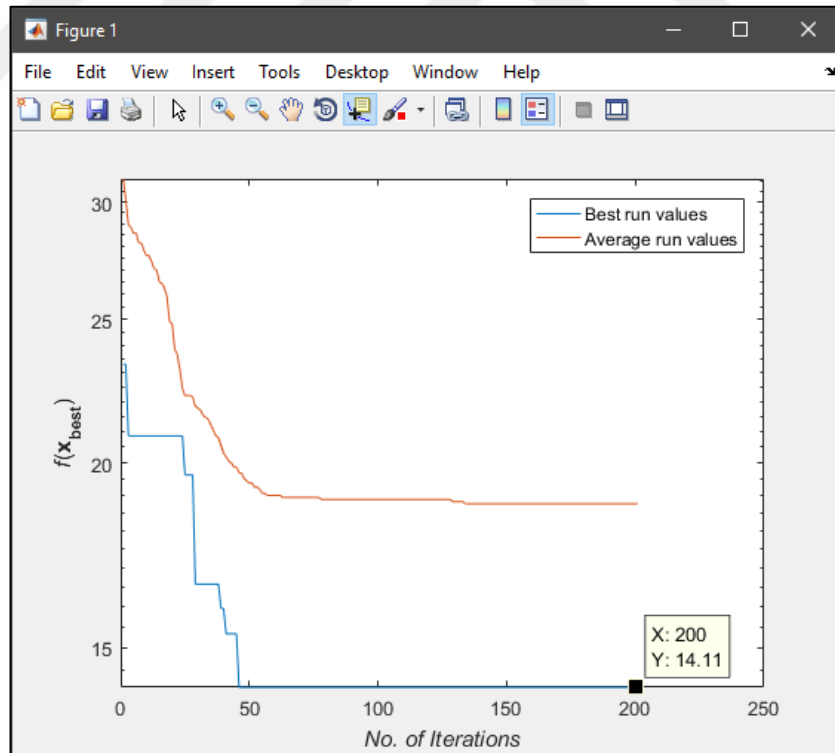


Şekil 2.26 Quadratic model 200 iterasyon – IV

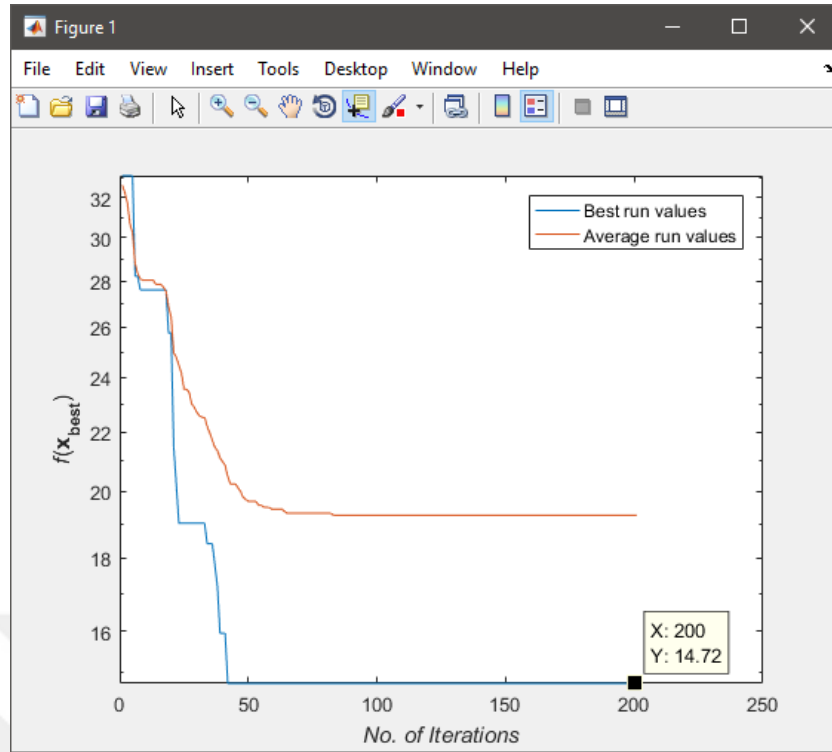
### 2.2.6.5 Semi-Quadratic Model

Semi-Quadratic model için oluşturulan amaç fonksiyonu Denklem 2.30'da gösterilmiştir. Semi-Quadratic modelin kaynak kodu Ek.7'de gösterilmiştir. 200 iterasyon sonunda modelin ulaştığı bazı hata payı grafikleri Şekil 2.27, Şekil 2.28, Şekil 2.29 ve Şekil 2.30'da gösterilmiştir. Grafiklere bakıldığında hata payı değerlerinin %14 yakınlarına ilk 100 iterasyonda düştüğü, sonrasında ise hedef değere daha fazla yaklaşmadığı görülmektedir. Bu model için en düşük hata payı %14,11 olarak ölçülmüştür. 100 deneme sonucunda elde edilen ortalama hata payı değeri ise %15,25'tir.

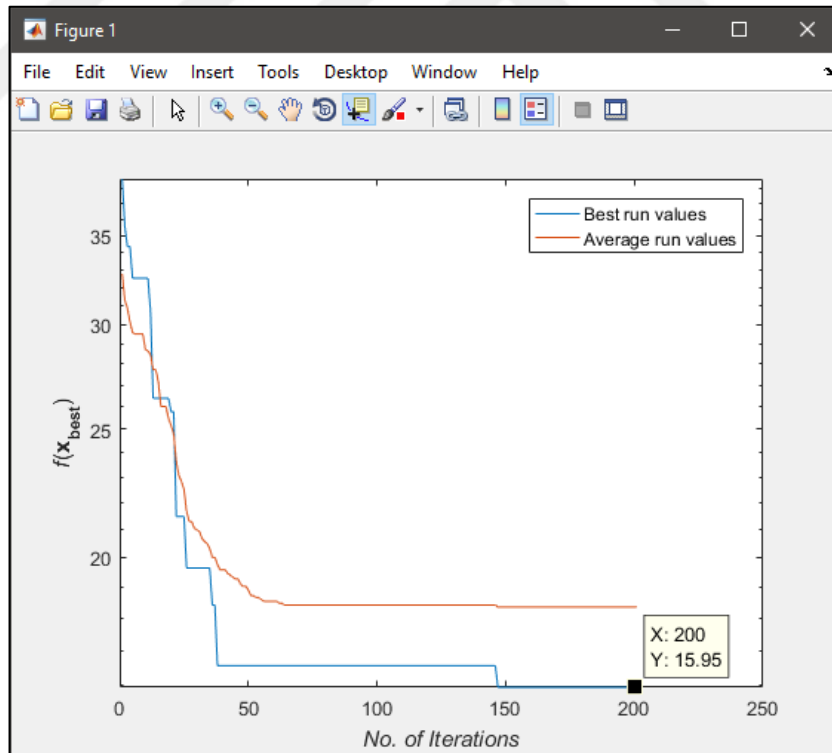
$$\begin{aligned}
 Sm = & X_1 * M^2 + X_2 * FC^2 + X_3 * EFF^2 + X_4 * N^2 + X_5 * A^2 + \\
 & X_6 * \sqrt{M * FC} + X_7 * \sqrt{M * EFF} + X_8 * \sqrt{M * N} + X_9 * \sqrt{M * A} + \\
 & X_{10} * \sqrt{FC * EFF} + X_{11} * \sqrt{FC * N} + X_{12} * \sqrt{FC * A} + \\
 & X_{13} * \sqrt{EFF * N} + X_{14} * \sqrt{EFF * A} + X_{15} * \sqrt{N * A} + X_{16}
 \end{aligned} \quad (2.30)$$



Şekil 2.27 Semi-Quadratic model 200 iterasyon – I

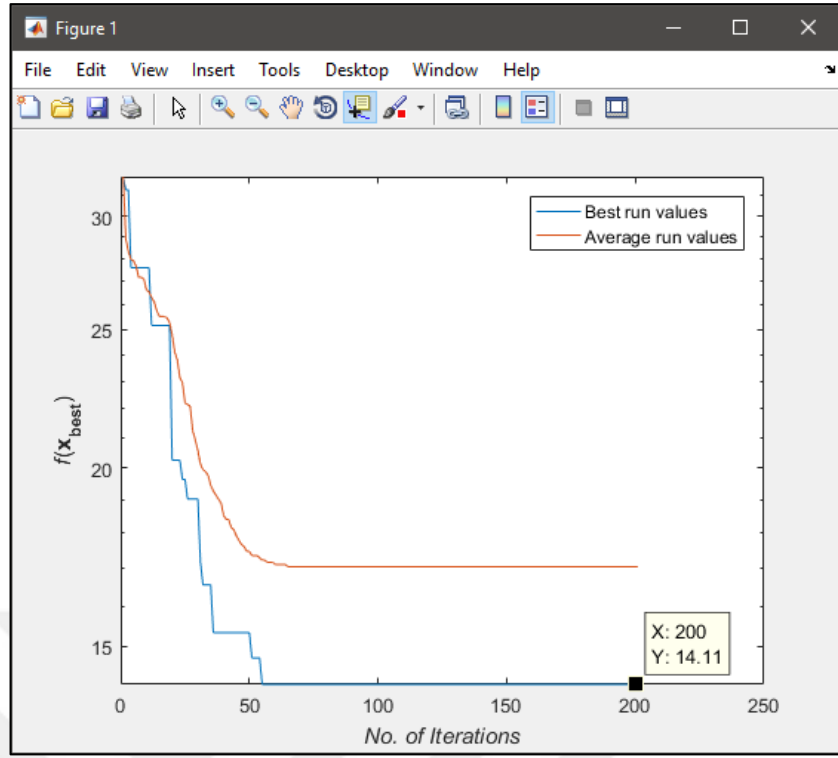


Şekil 2.28 Semi-Quadratic model 200 iterasyon – II



Şekil 2.29 Semi-Quadratic model 200 iterasyon – III





Şekil 2.30 Semi-Quadratic model 200 iterasyon – IV

### 3 ARAŞTIRMA BULGULARI

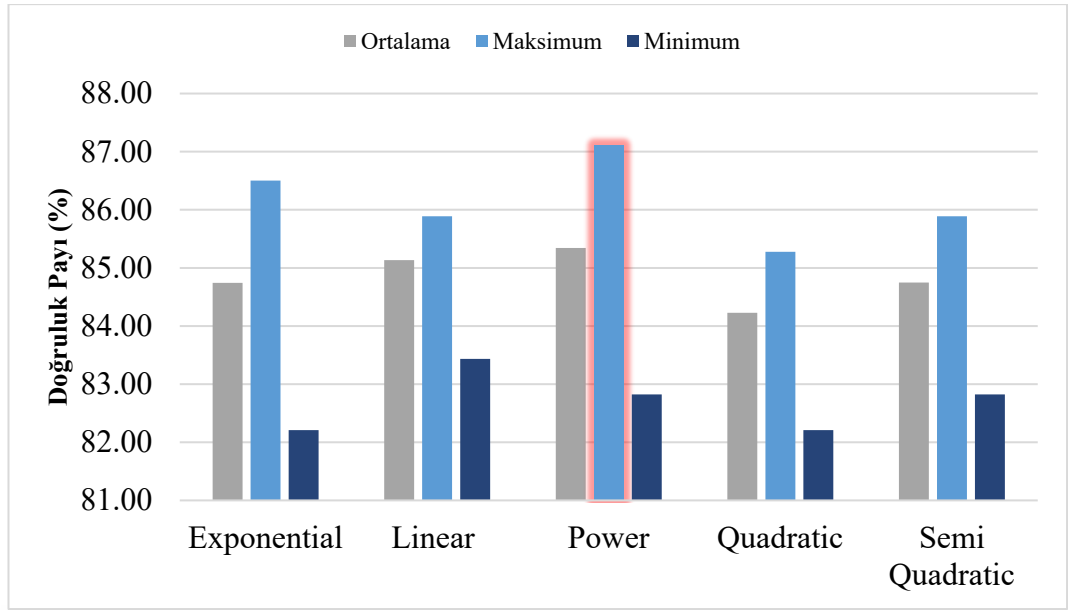
Bu bölümde çalışmada kullanılan 5 farklı denklem modeline ait hata payı değerleri verilmiştir. Bölüm 2.2.6’da detaylı olarak gösterilen optimize amaç fonksiyonların 100 deneme sonucunda elde edilen ortalama, minimum, maksimum hata payı ve doğruluk değerleri sırasıyla Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilmiştir. Tablo 3.1 ve Tablo 3.2’de gösterilen değerler amaç fonksiyonunun hedef değere ne kadar yaklaşabildiğini gösterir. Gösterilen değerler, çalışmanın hedef değerinin sıvılaşma olduğu göz önünde bulundurulursa, sıvılaşmanın olup olmayacağına dair denklemin verdiği karardaki hata paylarıdır.

**Tablo 3.1** Çalışma bulgularının hata payı tablosu

| Model          | Deneme | Hata Payı (%) |         |          |
|----------------|--------|---------------|---------|----------|
|                |        | Ortalama      | Minimum | Maksimum |
| Exponential    | 100    | 15,26         | 13,50   | 17,79    |
| Linear         | 100    | 14,87         | 14,11   | 16,56    |
| Power          | 100    | 14,66         | 12,88   | 17,18    |
| Quadratic      | 100    | 15,77         | 14,72   | 17,79    |
| Semi Quadratic | 100    | 15,25         | 14,11   | 17,18    |

**Tablo 3.2** Çalışma bulgularının doğruluk tablosu

| Model          | Deneme | Doğruluk Payı (%) |          |         |
|----------------|--------|-------------------|----------|---------|
|                |        | Ortalama          | Maksimum | Minimum |
| Exponential    | 100    | 84,74             | 86,50    | 82,21   |
| Linear         | 100    | 85,13             | 85,89    | 83,44   |
| Power          | 100    | 85,34             | 87,12    | 82,82   |
| Quadratic      | 100    | 84,23             | 85,28    | 82,21   |
| Semi Quadratic | 100    | 84,75             | 85,89    | 82,82   |



**Şekil 3.1** Bulguların doğruluk grafiği

Şekil 3.1’da gösterilen modellerin doğruluk paylarına bakıldığında en yüksek doğruluk payına sahip modelin %87,12 ile Power Model olduğu görülmektedir. 100 deneme sonucunda elde edilen maksimum ortalama doğruluk payı ise %85,34’dir. En yüksek doğruluk payına sahip modelin amaç fonksiyonu Denklem 3.1’de gösterilmiştir. En yüksek doğruluk payı elde edilen katsayılar ise Tablo 3.3’te gösterilmiştir.

$$Pm = X_1 * M^{X_2+X_3} * FC^{X_4+X_5} * EFF^{X_6+X_7} * N^{X_8+X_9} * A^{X_{10}+X_{11}} \quad (3.1)$$

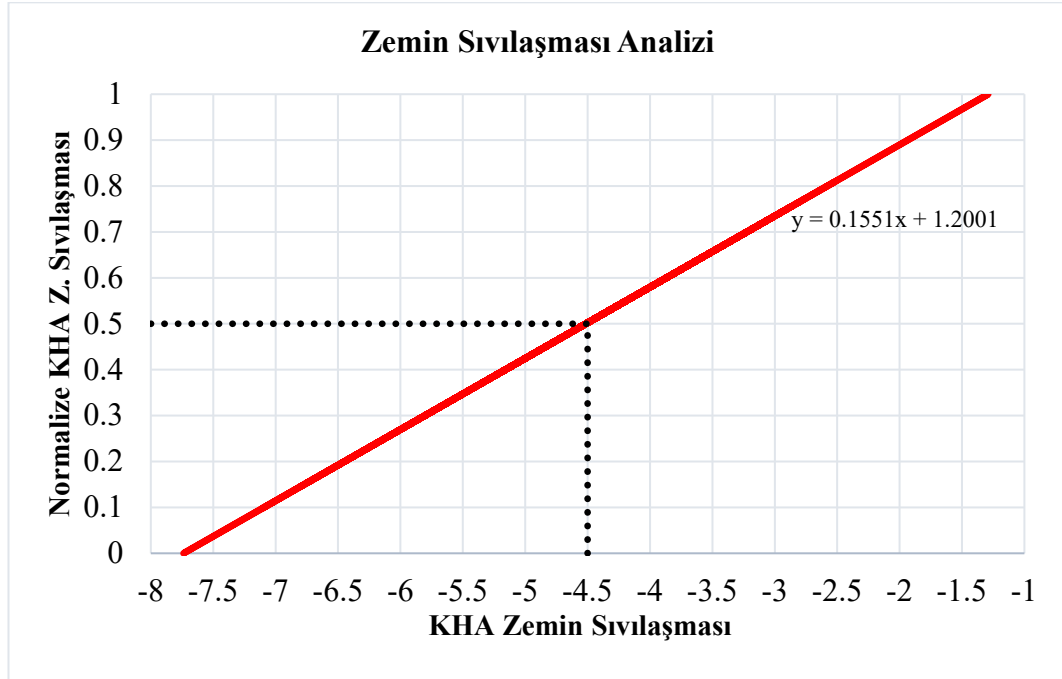
**Tablo 3.3** Katsayılar

|          |                     |
|----------|---------------------|
| $X_1$    | : 0,14416059973118  |
| $X_2$    | : 1,40976342571849  |
| $X_3$    | : -1,51243797075478 |
| $X_4$    | : 0,55188878138900  |
| $X_5$    | : -0,75743445413085 |
| $X_6$    | : 1,96270760683103  |
| $X_7$    | : -4,67675204597820 |
| $X_8$    | : 1,24836317055259  |
| $X_9$    | : 3,78211841046578  |
| $X_{10}$ | : 0,81097471938544  |
| $X_{11}$ | : -4,16674680459143 |

Zemin sıvılaşma potansiyeli için önerilen denklemin son hali ise Denklem 3.2’de gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
 P_m = & 0,14416059973118 * M^{1,40976342571849} - \\
 & 1,51243797075478 * FC^{0,55188878138900} - \\
 & 0,75743445413085 * EFF^{1,96270760683103} - \\
 & 4,67675204597820 * N^{1,24836317055259} + \\
 & 3,78211841046578 * A^{0,81097471938544} - \\
 & 4,16674680459143
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

Denklem 3.2 toplam 5 farklı parametreye bağlı, üstel bir denklemdir. Bu denklemin sonuç kümesi yaklaşık olarak  $[-1,29 : -7,73]$  aralığında değişen değerlerden oluşacaktır. Bunun sebebi çalışma verileriyle yapılan optimizasyon işlemi esnasında amaç fonksiyonu sonuç değerlerinin bu sınırlara yakın olmasıdır. Bölüm 2.2.6’da bahsedildiği üzere, amaç fonksiyonu sonuç değerlerinin her çalışmada farklı sınırlar arasında değerler almasını önlemek için katsayıları bulunan her denklemin sonuç değerleri normalize edilmiştir. Denklem 3.2 bu denklemler arasında hata payı en düşük katsayılarla sahip denklemdir. Bu doğrultuda Denklem 3.2’nin sonuçlarının normalize edildiği grafik Şekil 3.2’ de gösterilmiştir.



**Şekil 3.2** Zemin sıvılaşması analiz grafiği

Şekil 3.2’de gösterilen doğrunun denklemi Denklem 3.3’te gösterilmiştir.

$$\text{Normalize KHA} = \frac{Pm - Pm_{\min}}{Pm_{\max} - Pm_{\min}} = \frac{X - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)} \quad (3.3)$$

Denklem 3.2’nin sonucu ile Şekil 3.2’de gösterilen grafik üzerinden Y eksenindeki “Normalize KHA Zemin Sıvılaşması” değeri okunabilir ya da Denklem 3.3’te gösterilen denklemden yararlanılabilir. Elde edilen “Normalize KHA Zemin Sıvılaşması” değeri artık [0,1] aralığında değişen bir değer olacaktır. Bu değer Denklem 3.4’te gösterildiği şekilde sınıflandırılacaktır.

$$\begin{aligned} \text{Normalize KHA Zemin Sıvılaşması} &< 0,5 \text{ ise sıvılaşma yoktur.} \\ &> 0,5 \text{ ise sıvılaşma vardır.} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’ün sonucu, bu çalışmada önerilen denklemin sıvılaşma tahminini göstermektedir.

### 3.1 Test Aşaması

Şekil 3.2’de verilen grafiğin doğruluğunu test etmek için Bölüm 2.1’de bahsedilen 59 adet test verisi ile doğrulama yapılmıştır. Bu test verileri Tablo 2.1’de gösterilmiştir. Şekil 2.4, Şekil 2.5, Şekil 2.6, Şekil 2.7 ve Şekil 2.8’de gösterilen eğrilerin denklemleri bu bölümde doğru denklemi formatında verilmiştir.

- Efektif gerilme normalizasyon doğrusu denklemi (Şekil 2.4)

$$EFF = \frac{X - EFF_{\min}}{EFF_{\max} - EFF_{\min}} = \frac{X - 20,00}{171,00 - 20,00} \quad (3.5)$$

- İnce tane oranı normalizasyon doğrusu denklemi (Şekil 2.5)

$$FC = \frac{X - FC_{\min}}{FC_{\max} - FC_{\min}} = \frac{X - 0,00}{92,00 - 0,00} \quad (3.6)$$

- $N_{1(60)}$  değeri normalizasyon doğrusu denklemi (Şekil 2.6)

$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{X - 1,70}{42,60 - 1,70} \quad (3.7)$$

- Depremin büyüklüğü normalizasyon doğrusu denklemi (Şekil 2.7)

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{X - 5,90}{8,30 - 5,90} \quad (3.8)$$

- Maksimum yer ivmesi normalizasyon doğrusu denklemi (Şekil 2.8)

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{X - 0,01}{0,84 - 0,01} \quad (3.9)$$

Bahsedilen 59 test verisi de çalışma verileri gibi 5 parametreye sahiptir. Optimizasyon sırasında çalışma verilerinin normalize edildiğinden Bölüm 2.2.2’de bahsedilmiştir. Bu doğrultuda Denklem 3.2’ye ait 5 parametrenin sadece [0,1] aralığında değerler alabildiği bilinmektedir. Test aşaması için bakıldığı zaman test verilerini Denklem 3.2’de yerine koyabilmek için öncelikle test parametre değerlerinin kendi normalizasyon grafikleri içerisinde karşılık geldiği değerleri bulmak gerekir. Örneğin test verisindeki efektif gerilme ( $\sigma'$ ) değeri 68kPa olan bir veri kaydı için efektif gerilme normalizasyon doğrusu denkleminden, 68kPa değerinin mevcut normalizasyon değerleri arasındaki karşılığı bulunacaktır. Bu işlem her farklı parametre için yapılacaktır. Bu işlemler detaylı olarak Bölüm 3.3’te gösterilmiştir.

Test verileriyle yapılan çalışmaları sonucunda gerçek saha şartlarındaki sıvılaşma durumu ile önerilen denklemin tahminleri Tablo 3.4’te gösterilmiştir.

Tablo 3.4’te gösterilen kısaltmaların tanımları:

$t_1$ : Normalize KHA zemin sıvılaşması değeri

$t_2$ : Önerilen denklemin tahmini (1: Sıvılaşma VAR / 0: Sıvılaşma YOK)

$t_3$ : Gerçek saha şartlarındaki durum (1: Sıvılaşma Olmuş / 0: Sıvılaşma Olmamış)

**Tablo 3.4** Test verilerinin analiz sonuçları

| <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> | <i>No:</i> | <i>t<sub>1</sub></i> | <i>t<sub>2</sub></i> | <i>t<sub>3</sub></i> |
|------------|----------------------|----------------------|----------------------|------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 5          | 0,4805               | 0                    | 1                    | 119        | 0,1191               | 0                    | 0                    |
| 13         | 0,6188               | 1                    | 1                    | 121        | 0,6775               | 1                    | 1                    |
| 15         | 0,5855               | 1                    | 1                    | 128        | 0,5125               | 1                    | 0                    |
| 21         | 0,6396               | 1                    | 1                    | 129        | 0,4361               | 0                    | 0                    |
| 22         | 0,6652               | 1                    | 1                    | 139        | 0,4456               | 0                    | 0                    |
| 25         | 0,4509               | 0                    | 1                    | 141        | 0,0572               | 0                    | 0                    |
| 27         | 0,4739               | 0                    | 1                    | 145        | 0,6022               | 1                    | 1                    |
| 31         | 0,4812               | 0                    | 1                    | 153        | 0,4688               | 0                    | 1                    |
| 32         | 0,5401               | 1                    | 1                    | 154        | 0,6312               | 1                    | 1                    |
| 33         | 0,3625               | 0                    | 1                    | 158        | 0,5810               | 1                    | 1                    |
| 35         | 0,4745               | 0                    | 1                    | 161        | 0,6692               | 1                    | 1                    |
| 37         | 0,5246               | 1                    | 1                    | 163        | 0,5444               | 1                    | 1                    |
| 51         | 0,5454               | 1                    | 0                    | 165        | 0,3144               | 0                    | 0                    |
| 56         | 0,4856               | 0                    | 0                    | 168        | 0,3584               | 0                    | 0                    |
| 57         | 0,5910               | 1                    | 1                    | 185        | 0,5602               | 1                    | 0                    |
| 59         | 0,6355               | 1                    | 1                    | 186        | 0,6237               | 1                    | 1                    |
| 73         | 0,3971               | 0                    | 0                    | 190        | 0,5898               | 1                    | 0                    |
| 80         | 0,3881               | 0                    | 0                    | 195        | 0,4467               | 0                    | 0                    |
| 81         | 0,7896               | 1                    | 1                    | 196        | 0,3997               | 0                    | 0                    |
| 82         | 0,5280               | 1                    | 1                    | 198        | 0,5277               | 1                    | 1                    |
| 85         | 0,4744               | 0                    | 0                    | 203        | 0,4536               | 0                    | 1                    |
| 86         | 0,5002               | 1                    | 0                    | 204        | 0,6379               | 1                    | 1                    |
| 89         | 0,4844               | 0                    | 0                    | 207        | 0,6170               | 1                    | 1                    |
| 96         | 0,6434               | 1                    | 0                    | 208        | 0,3349               | 0                    | 0                    |
| 101        | 0,6042               | 1                    | 1                    | 211        | 0,5546               | 1                    | 1                    |
| 102        | 0,5625               | 1                    | 1                    | 213        | 0,4773               | 0                    | 0                    |
| 112        | 0,5994               | 1                    | 1                    | 218        | 0,1551               | 0                    | 0                    |
| 113        | 0,6047               | 1                    | 1                    | 219        | 0,5697               | 1                    | 1                    |
| 115        | 0,4636               | 0                    | 0                    | 221        | 0,5195               | 1                    | 1                    |
| 116        | 0,3873               | 0                    | 0                    |            |                      |                      |                      |

Tablo 3.4'te test verilerinin gerçek saha şartlarındaki sıvılaşma durumları ve bu çalışmanın tahmini gösterilmiştir. Önerilen denklem, 59 test verisinin 14 tanesini hatalı tahmin etmiştir. Bu optimizasyon esnasında bulunan hata payının üzerinde bir değerdir. Bu artışın nedeni araştırıldığında sebep olarak test için ayrılan verilere ait normalize KHA zemin sıvılaşması değerlerinin ayırıcı değer olan 0,5 civarında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yoğunlaşma sonuçların çok küçük farklarla da olsa hatalı çıkmasına yol açmaktadır. Buradan zemin sıvılaşması gibi oldukça fazla

parametreye bağılı komplike bir konunun sadece bir sınır değeriyle belirlenmemesi gerektiğine ulaşılmıştır. Bu bağlamda ayırıcı sınır değeri 0,5 seçilmek yerine 0,45 ile 0,55 olarak belirlenmiştir. Önerilen denklemin tahmini ise; normalize KHA zemin sıvılaşması değeri 0,45'ten küçük ise zemin sıvılaşması OLMAZ, 0,55'ten büyük ise zemin sıvılaşması OLUR şeklinde güncellenmiştir. 0,45 ile 0,55 arasında kalan bölge ise yine zemin sıvılaşması riskini taşıyan bir bölge olup gerekli önlemlerin yine bu bölgede de alınması önerilir. Tablo 3.5'te gösterilen değerler Tablo 3.4'te yer alan ve  $t_1 < 0,45$ ,  $t_1 > 0,55$  şartlarını sağlayan değerlerdir.

Tablo 3.5'te gösterilen kısaltmaların tanımları:

$t_1$ : Normalize KHA zemin sıvılaşması değeri

$t_2$ : Önerilen denklemin tahmini (1: Sıvılaşma VAR / 0: Sıvılaşma YOK)

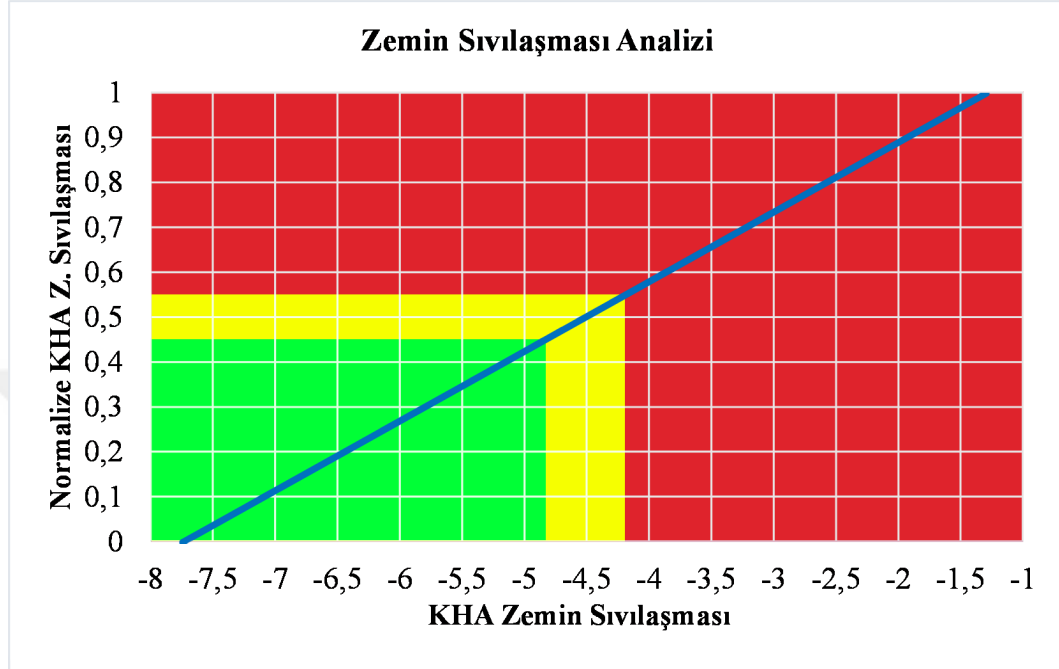
$t_3$ : Gerçek saha şartlarındaki durum (1: Sıvılaşma Olmuş / 0: Sıvılaşma Olmamış)

**Tablo 3.5** Test verilerinin  $t_1 < 0,45$  ve  $0,55 < t_1$  için sonuçları

| No: | $t_1$  | $t_2$ | $t_3$ | No: | $t_1$  | $t_2$ | $t_3$ |
|-----|--------|-------|-------|-----|--------|-------|-------|
| 13  | 0,6188 | 1     | 1     | 139 | 0,4456 | 0     | 0     |
| 15  | 0,5855 | 1     | 1     | 141 | 0,0572 | 0     | 0     |
| 21  | 0,6396 | 1     | 1     | 145 | 0,6022 | 1     | 1     |
| 22  | 0,6652 | 1     | 1     | 154 | 0,6312 | 1     | 1     |
| 33  | 0,3625 | 0     | 1     | 158 | 0,5810 | 1     | 1     |
| 57  | 0,5910 | 1     | 1     | 161 | 0,6692 | 1     | 1     |
| 59  | 0,6355 | 1     | 1     | 165 | 0,3144 | 0     | 0     |
| 73  | 0,3971 | 0     | 0     | 168 | 0,3584 | 0     | 0     |
| 80  | 0,3881 | 0     | 0     | 185 | 0,5602 | 1     | 0     |
| 81  | 0,7896 | 1     | 1     | 186 | 0,6237 | 1     | 1     |
| 96  | 0,6434 | 1     | 0     | 190 | 0,5898 | 1     | 0     |
| 101 | 0,6042 | 1     | 1     | 195 | 0,4467 | 0     | 0     |
| 102 | 0,5625 | 1     | 1     | 196 | 0,3997 | 0     | 0     |
| 112 | 0,5994 | 1     | 1     | 204 | 0,6379 | 1     | 1     |
| 113 | 0,6047 | 1     | 1     | 207 | 0,6170 | 1     | 1     |
| 116 | 0,3873 | 0     | 0     | 208 | 0,3349 | 0     | 0     |
| 119 | 0,1191 | 0     | 0     | 211 | 0,5546 | 1     | 1     |
| 121 | 0,6775 | 1     | 1     | 218 | 0,1551 | 0     | 0     |
| 129 | 0,4361 | 0     | 0     | 219 | 0,5697 | 1     | 1     |



Bu çalışmada önerilen denklem Tablo 3.5'te gösterilen 38 veri içerisinde sadece 4 hatalı tahminde bulunmuştur. Hatalı tahminler No: 33, 96, 185 ve 190'da yapılmıştır. Bu hata payı optimizasyona göre kabul edilebilir bir değerdir. Önerilen denklemin sıvılaşma tahmin grafiği Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3** Zemin sıvılaşması analiz grafiği 2

Şekil 3.3'de gösterilen zemin sıvılaşması analiz grafiğinde:

- Yeşil ile taralı alan Normalize KHA Zemin Sıvılaşması değerinin 0 ile 0,45 değerleri arasında kaldığı ve zemin sıvılaşmasının beklenmediği koşulları
- Sarı ile taralı alan Normalize KHA Zemin Sıvılaşması değerinin 0,45 ile 0,55 değerleri arasında kaldığı ve zemin sıvılaşması analizinin tam olarak sonuçlandırılmadığı ancak gerekli önlemlerin alınması gerektiği koşulları
- Kırmızı ile taralı alan Normalize KHA Zemin Sıvılaşması değerinin 0,55 ile 1 değerleri arasında kaldığı ve zemin sıvılaşmasının beklendiği, önlemlerin alınması gerektiği koşulları temsil eder.

### 3.2 Uygulama Akış Sırası

Bu bölümde, çalışmada kullanılan 5 parametre ile önerilen denklem yardımıyla zemin sıvılaşması tahmininin nasıl yapılacağının akış sırası verilmiştir.

- I. Efektif gerilme değerin normalize efektif gerilme karşılığının bulunması (Denklem 3.5)
- II. İnce tane oranı değerin normalize ince tane oranı karşılığının bulunması (Denklem 3.6)
- III.  $N_{1(60)}$  değerin normalize  $N_{1(60)}$  değeri karşılığının bulunması (Denklem 3.7)
- IV. Deprem büyüklüğünün normalize deprem büyüklüğü karşılığının bulunması (Denklem 3.8)
- V. Maksimum yer ivmesinin normalize maksimum yer ivmesi karşılığının bulunması (Denklem 3.9)
- VI. İlk 5 adımda bulunan değerlerin önerilen denklemde yerine koyularak sonuç bulunması (Denklem 3.2)
- VII. Sonucun normalize zemin sıvılaşması değerin bulunması (Denklem 3.4)
- VIII. Önerilen denklemin sonucu ile normalize zemin sıvılaşması değerin bulunması ve sıvılaşma tahmininin yapılması

### 3.3 Örnek Çözümler

Bu bölümde Bölüm 2.1, Tablo 2.1’de gösterilen 116 ve 204 numaraları veri kaydı çalışılacaktır.

**Tablo 3.6 Örnek Çözüm Verileri**

| No: | Efektif Gerilme $\sigma'$ (kPa) | İnce Tane Oranı (%) | $(N_1)_{60}$ | Deprem büyüklüğü | Maksimum Yer İvmesi | Sıvılaşma (0/1) |
|-----|---------------------------------|---------------------|--------------|------------------|---------------------|-----------------|
| 116 | 42,00                           | 2,00                | 23,50        | 7,70             | 0,21                | 0               |
| 204 | 55,00                           | 6,00                | 18,90        | 6,90             | 0,50                | 1               |

#### 3.3.1 Örnek 1

116 Numaralı veri kaydı için:

Önerilen denklemin sıvılaşma tahmini için Bölüm 3.2’de gösterilen işlem adımları takip edilecektir. İşlem sırası şu şekilde olacaktır:

- I. Efektif gerilme değerin normalize efektif gerilme karşılığının bulunması

Efektif Gerilme  $\sigma'$ (kPa): 42'dir. Bu değer Denklem 3.5'te X değişkeni için atanır.

$$EFF = \frac{X - EFF_{min}}{EFF_{maks} - EFF_{min}} = \frac{X - 20,00}{171,00 - 20,00} \quad (3.5)$$

$$EFF = \frac{X - EFF_{min}}{EFF_{maks} - EFF_{min}} = \frac{42 - 20,00}{171,00 - 20,00}$$

$$EFF = 0,1456953642$$

Ulaşılan bu değer efektif gerilme değerinin normalize efektif gerilme karşılığıdır.

## II. İnce tane oranı değerinin normalize ince tane oranı karşılığının bulunması

İnce Tane Oranı (%): 2'dir. Bu değer Denklem 3.6'da X değişkeni için atanır.

$$FC = \frac{X - FC_{min}}{FC_{maks} - FC_{min}} = \frac{X - 0,00}{92,00 - 0,00} \quad (3.6)$$

$$FC = \frac{X - FC_{min}}{FC_{maks} - FC_{min}} = \frac{2 - 0,00}{92,00 - 0,00}$$

$$FC = 0,0217391304$$

Ulaşılan bu değer ince tane oranı değerinin normalize ince tane oranı karşılığıdır.

## III. $N_{1(60)}$ değerinin normalize $N_{1(60)}$ değeri karşılığının bulunması

$N_{1(60)}$  : 23,5'tir. Bu değer Denklem 3.7'de X değişkeni için atanır.

$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{X - 1,70}{42,60 - 1,70} \quad (3.7)$$

$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{23,5 - 1,70}{42,60 - 1,70}$$

$$N = 0,5330073350$$

Ulaşılan bu değer  $N_{1(60)}$  değerinin normalize  $N_{1(60)}$  karşılığıdır.

## IV. Depremin büyüklüğünün normalize deprem büyüklüğü karşılığının bulunması

Deprem Büyüklüğü (M): 7,7'dir. Bu değer Denklem 3.8'de X değişkeni için atanır.

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{X - 5,90}{8,30 - 5,90} \quad (3.8)$$

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{7,7 - 5,90}{8,30 - 5,90}$$

$$M = 0,7500000000$$

Ulaşılan bu değer deprem büyüklüğü değerinin normalize deprem büyüklüğü karşılığıdır.

V. Maksimum yer ivmesinin normalize maksimum yer ivmesi karşılığının bulunması

Maksimum Yer İvmesi -  $a_{max}$  (g): 0,205'tir. Bu değer Denklem 3.9'da X değişkeni için atanır.

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{X - 0,01}{0,84 - 0,01} \quad (3.9)$$

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{0,205 - 0,01}{0,84 - 0,01}$$

$$A = 0,2349397590$$

Ulaşılan bu değer maksimum yer ivmesi değerinin normalize maksimum yer ivmesi karşılığıdır.

VI. İlk 5 adımda bulunan değerlerin önerilen denklem olan Denklem 3.2'de yerine koyularak sonuç bulunması

$$Pm = 0,14416059973118 * M^{1,40976342571849} \text{ —}$$

$$1,51243797075478 * FC^{0,55188878138900} \text{ —}$$

$$0,75743445413085 * EFF^{1,96270760683103} \text{ —}$$

$$4,67675204597820 * N^{1,24836317055259} \text{ —}$$

$$3,78211841046578 * A^{0,81097471938544} \text{ —}$$

$$4,16674680459143$$

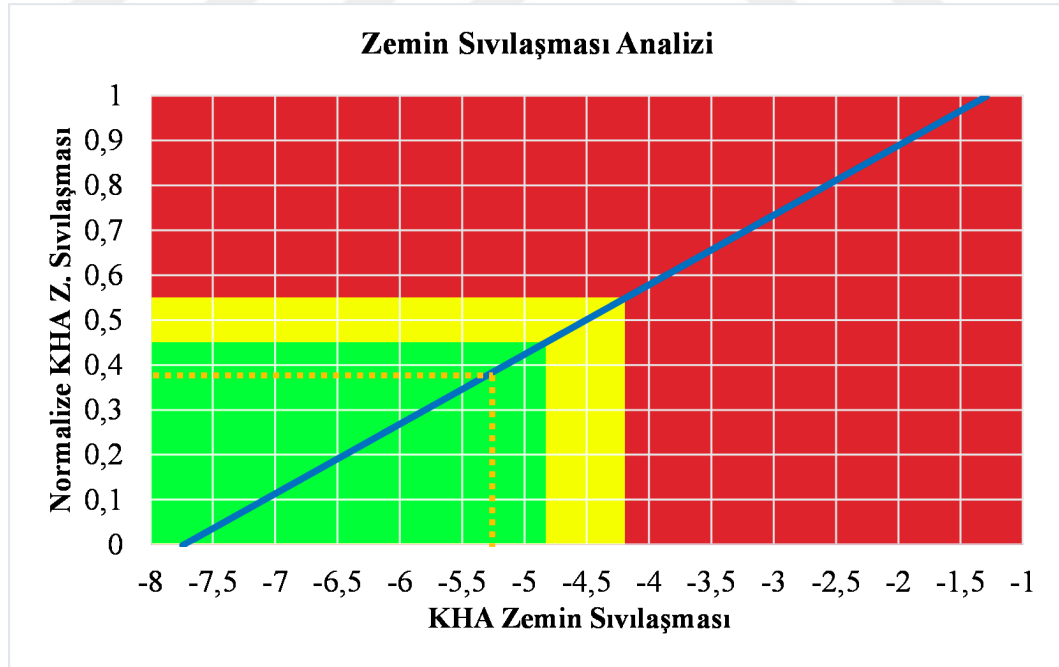
$$Pm = 0,14416059973118 * 0,7500000000^{1,40976342571849} \text{ —}$$

$$\begin{aligned}
& 1,51243797075478 * 0,0217391304^{0,55188878138900} - \\
& 0,75743445413085 * 0,1456953642^{1,96270760683103} - \\
& 4,67675204597820 * 0,5330073350^{1,24836317055259} + \\
& 3,78211841046578 * 0,2349397590^{0,81097471938544} - \\
& 4,16674680459143 \\
& Pm = -5,240395244
\end{aligned}$$

VII. Önerilen denklemin sonucu ile normalize zemin sıvılaşması değerinin bulunması ve sıvılaşma tahmininin yapılması

$$\begin{aligned}
\text{Normalize KHA} &= \frac{Pm - Pm_{\min}}{Pm_{\max} - Pm_{\min}} = \frac{X - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)} \quad (3.3) \\
\text{Normalize KHA} &= \frac{Pm - Pm_{\min}}{Pm_{\max} - Pm_{\min}} = \frac{-5,240395244 - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)} \\
& y = 0,3865845894
\end{aligned}$$

Bulunan bu değer “Normalize KHA Zemin Sıvılaşması Değeridir. Bu değer Denklem 3.3’ten bulunabileceği gibi Şekil 3.4 üzerinden de okunabilir.



Şekil 3.4 Örnek 1 zemin sıvılaşması analiz grafiği

Denklem 3.3 ve Şekil 3.4'ten görülebileceği üzere Normalize KHA Zemin Sıvılaşması Değeri yaklaşık olarak 0,38'dir. Bu değer 0,45 değerinden küçüktür ve Şekil 3.4'te yeşil alanda kalmaktadır. Bu doğrultuda önerilen denklem eldeki 5 parametreye bağlı bir durum için o zeminde **SIVILAŞMA OLMAZ** sonucunu vermektedir.

Tablo 2.1 ve Tablo 3.6'da gösterilen, gerçek saha şartlarından alınan verilere bakıldığında 116 numaralı veri kaydına ait deprem ve zemin şartlarında sıvılaşma olmadığı görülmektedir. Sonuç olarak önerilen denklem sadece 5 parametre ile zemin sıvılaşmasını doğru tahmin etmiştir.

### 3.3.2 Örnek 2

204 Numaralı veri kaydı için:

Önerilen denklemin sıvılaşma tahmini için Bölüm 3.2'de gösterilen işlem adımları takip edilecektir. İşlem sırası şu şekilde olacaktır:

I. Efektif gerilme değerinin normalize efektif gerilme karşılığının bulunması

Efektif Gerilme  $\sigma'$ (kPa): 55'dir. Bu değer Denklem 3.5'te X değişkeni için atanır.

$$EFF = \frac{X - EFF_{min}}{EFF_{maks} - EFF_{min}} = \frac{X - 20,00}{171,00 - 20,00} \quad (3.5)$$

$$EFF = \frac{X - EFF_{min}}{EFF_{maks} - EFF_{min}} = \frac{55 - 20,00}{171,00 - 20,00}$$

$$EFF = 0,2317880795$$

Ulaşılan bu değer efektif gerilme değerinin normalize efektif gerilme karşılığıdır.

II. İnce tane oranı değerinin normalize ince tane oranı karşılığının bulunması

İnce Tane Oranı (%): 6'dir. Bu değer Denklem 3.6'da X değişkeni için atanır.

$$FC = \frac{X - FC_{min}}{FC_{maks} - FC_{min}} = \frac{X - 0,00}{92,00 - 0,00} \quad (3.6)$$

$$FC = \frac{X - FC_{min}}{FC_{maks} - FC_{min}} = \frac{6 - 0,00}{92,00 - 0,00}$$

$$FC = 0,0652173913$$

Ulaşılan bu değ er ince tane oranı değ erinin normalize ince tane oranı karş ılığ ıdır.

III. N<sub>1(60)</sub> değ erinin normalize N<sub>1(60)</sub> değ eri karş ılığ ının bulunması

N<sub>1(60)</sub> : 18,9'dur. Bu değ er Denklem 3.7'de X değ işkeni için atanır.

$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{X - 1,70}{42,60 - 1,70} \quad (3.7)$$

$$N = \frac{X - N_{min}}{N_{maks} - N_{min}} = \frac{18,9 - 1,70}{42,60 - 1,70}$$

$$N = 0,4205378973$$

Ulaşılan bu değ er N<sub>1(60)</sub> değ erinin normalize N<sub>1(60)</sub> karş ılığ ıdır.

IV. Depremi n büyüklüğ ünün normalize deprem büyüklüğ ü karş ılığ ının bulunması

Deprem Büyüklüğ ü (M): 6,9'dur. Bu değ er Denklem 3.8'de X değ işkeni için atanır.

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{X - 5,90}{8,30 - 5,90} \quad (3.8)$$

$$M = \frac{X - M_{min}}{M_{maks} - M_{min}} = \frac{6,9 - 5,90}{8,30 - 5,90}$$

$$M = 0,4166666667$$

Ulaşılan bu değ er deprem büyüklüğ ü değ erinin normalize deprem büyüklüğ ü karş ılığ ıdır.

V. Maksimum yer ivmesinin normalize maksimum yer ivmesi karş ılığ ının bulunması

Maksimum Yer İvmesi - a<sub>max</sub> (g): 0,5'tir. Bu değ er Denklem 3.9'da X değ işkeni için atanır.

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{X - 0,01}{0,84 - 0,01} \quad (3.9)$$

$$A = \frac{X - A_{min}}{A_{maks} - A_{min}} = \frac{0,5 - 0,01}{0,84 - 0,01}$$

$$y = 0,5903614458$$

Ulaşılan bu değ er maksimum yer ivmesi değ erinin normalize maksimum yer ivmesi karş ılığ ıdır.

VI. İ lk 5 adımda bulunan değ erlerin önerilen denklem olan Denklem 3.2’de yerine koyularak sonuç bulunması

$$\begin{aligned} Pm = & 0,14416059973118 * M^{1,40976342571849} - \\ & 1,51243797075478 * FC^{0,55188878138900} - \\ & 0,75743445413085 * EFF^{1,96270760683103} - \\ & 4,67675204597820 * N^{1,24836317055259} + \\ & 3,78211841046578 * A^{0,81097471938544} - \\ & 4,16674680459143 \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$\begin{aligned} Pm = & 0,14416059973118 * 0,4166666667^{1,40976342571849} - \\ & 1,51243797075478 * 0,0652173913^{0,55188878138900} - \\ & 0,75743445413085 * 0,2317880795^{1,96270760683103} - \\ & 4,67675204597820 * 0,4205378973^{1,24836317055259} + \\ & 3,78211841046578 * 0,5903614458^{0,81097471938544} - \\ & 4,16674680459143 \\ Pm = & -3,6250095198 \end{aligned}$$

VII. Ö nerilen denklemin sonucu ile normalize zemin sıvılaşması değ erinin bulunması ve sıvılaşma tahmininin yapılması

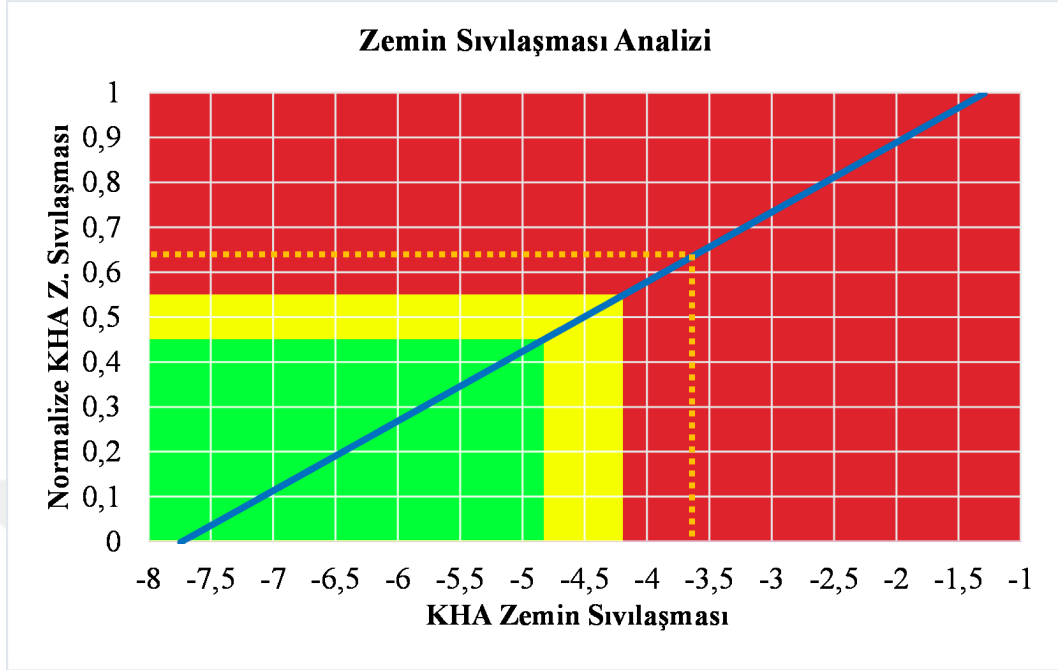
$$Normalize\ KHA = \frac{Pm - Pm_{min}}{Pm_{maks} - Pm_{min}} = \frac{X - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)} \quad (3.3)$$

$$Normalize\ KHA = \frac{Pm - Pm_{min}}{Pm_{maks} - Pm_{min}} = \frac{-3,6250095198 - (-7,73)}{(-1,29) - (-7,73)}$$

$$y = 0,637860481$$



Bulunan bu değer “Normalize KHA Zemin Sıvılaşması Değeridir. Bu değer Denklem 3.3’ten bulunabileceği gibi Şekil 3.5 üzerinden de okunabilir.



*Şekil 3.5 Örnek 2 zemin sıvılaşması analiz grafiği*

Denklem 3.3 ve Şekil 3.5’ten görülebileceği üzere Normalize KHA Zemin Sıvılaşması Değeri yaklaşık olarak 0,63’tür. Bu değer 0,55 değerinden büyüktür ve Şekil 3.4’te kırmızı alanda kalmaktadır. Bu doğrultuda önerilen denklem eldeki 5 parametreye bağlı bir durum için o zeminde **SIVILAŞMA OLUR** sonucunu vermektedir.

Tablo 2.1 ve Tablo 3.6’da gösterilen, gerçek saha şartlarından alınan verilere bakıldığında 204 numaralı veri kaydına ait deprem ve zemin şartlarında sıvılaşma olduğu görülmektedir. Sonuç olarak önerilen denklem sadece 5 parametre ile zemin sıvılaşmasını doğru tahmin etmiştir.

### 3.4 Karşılaştırma

Karşılaştırma için çalışma konusuna ve yöntemine benzerliği sebebiyle sayın Gulmustafa Şen ve Erdal Akyol’un “A Genetic-algorithm Approach for Assessing the Liquefaction Potential of Sandy Soils” başlıklı çalışması seçilmiştir[20]. G. Şen ve E. Akyol bu çalışmalarında optimizasyon işlemini genetik algoritma yaklaşımını kullanarak yapmışlardır. Çalışma sonunda önerilen denklem %7,5 hata payına sahiptir

ancak bu sonuca 10 parametre ile ulaşılmıştır. Yine Gulmustafa Şen'in sıvılaşma analizi üzerine yayınlanan 2010 tarihli “Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı” başlıklı doktora tezinde [49] son kullanıcıya yönelik ikinci bir sonuç olarak 5 parametreye bağlı bir sıvılaşma analizi denklemi sunulmuştur. Bu parametreler SPT-N, YASS,  $a_{max}$  ,  $M_w$  , ve  $z$ 'dir. Bu 5 parametreye sahip denklemin hata payı ise %15 olarak belirtilmiştir. Bu çalışmada ise 5 parametreye bağlı önerilen denklemin hata payı minimum %12,88'dir. Bu doğrultuda bakıldığında bu çalışmada 5 parametreye bağlı önerilen denklem daha düşük hata payına sahiptir.



#### 4 SONUÇLAR

Bu çalışmada geçmişte gerçekleşen depremler ve bu depremlere maruz kalan zeminlerin sıvılaşma durumlarını içeren 222 adet veri kaydı ile optimizasyon tekniği kullanılarak zemin sıvılaşmasını tahmin eden analitik bir denklem modeli geliştirilmiştir. Bu veriler literatürde yapılan kapsamlı araştırmalar sonucunda belirlenen, geniş bir aralığa sahip deprem ve zemin verileridir [1], [2], [3], [4], [5].

222 adet veri kaydının her biri 16 parametre içermektedir. Bu 16 parametre WEKA[6] yardımıyla sıvılaşmaya olan etkilerine göre sıralanmıştır. Bu doğrultuda 5 temel parametre seçilmiştir. Bu parametreler;  $N_1(60)$  değeri, depremin büyüklüğü ( $M$ ), Maksimum yer ivmesi –  $a_{maks}$  (g), Efektif gerilme –  $\sigma'$  (kpa) ve İnce tane oranıdır (%).

Veri grubundaki parametreler farklı değer aralıklarında değişmektedirler. Bu verilerin tek bir aralıkta toplanabilmesi için veri grubundaki tüm parametrelere normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bu işlem tüm parametre değerlerinin [0,1] aralığında değerler almasını sağlamıştır.

Çalışma kapsamında veri setindeki 222 adet verinin yaklaşık %70'i çalışma verisi olarak geriye kalan %30'u ise çalışma sonucunda çıkacak denklemi sınamak için test verisi olarak ayrılmıştır. Çalışma verileriyle analitik bir model geliştirmek için 5 farklı denklem modeli kurulmuştur. Bu denklem modelleri genel adlarıyla, linear model, power model, exponential model, quadratic model ve semi-quadratic modellerdir.

Her biri 5 temel parametreye bağlı 5 farklı denklem modelinin katsayılarını belirlemek için karides sürüsü algoritması ile optimizasyon yapılmıştır. Karides sürüsü algoritması her iterasyonda rastgele başlangıç değerleri atamaktadır. Bu sebeple önerilen denklemin sonuç aralığı her seferinde değişmektedir. Bunu önlemek için denklem sonuçları normalize edilmiştir. Optimizasyon işleminin sonucunda farklı

katsayılarla sahip sayısız denklem oluşturulmuştur. Bu denklemlerin her biri için çalışma verisi olan 163 veri içerisinde hata payı ölçümü yapılmıştır. Hata payı ölçüm tekniği olarak karışıklık matrisi[46] kullanılmıştır.

Çalışma sonunda hata payı en düşük model Power Model olmuştur. Modelin önerdiği denklem şu şekildedir:

$$Pm = 0,14416059973118 * M^{1,40976342571849} - \\ 1,51243797075478 * FC^{0,55188878138900} - \\ 0,75743445413085 * EFF^{1,96270760683103} - \\ 4,67675204597820 * N^{1,24836317055259} + \\ 3,78211841046578 * A^{0,81097471938544} - \\ 4,16674680459143$$

Önerilen denklemdeki parametreler şu şekildedir:

M : Deprem büyüklüğü

FC : İnce tane oranı

EFF : Efektif gerilme

N :  $N_{1(60)}$  değeri

A : Maksimum yer ivmesi

Bu 5 parametre ile zemin sıvılaşması ihtimali tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada Power modelin doğruluk payı maksimum %87,12'dir. 100 deneme sonucunda elde edilen ortalama doğruluk payı ise %85,34'tür. Önerilen denklemin sonucu [0,1] aralığına indirgendiğinde 3 farklı durum için tahmin yapılabilir.

Bu durumlar:

$Pm < 0,45$  ise zemin sıvılaşması olmaz, risk içermeyen durumdur.

$0,45 < P_m < 0,55$  ise zemin sıvılaşması düşük ihtimalle beklenir, kısmi risk içeren durumdur. Önlem alınması tavsiye edilir.

$0,55 < P_m$  ise zemin sıvılaşması olur, yüksek risk içeren durumdur. Önlemlerin alınması, gerekli ve uygun zemin iyileştirme işlemlerinin yapılması gerekir.

Çalışma sonucunda önerilen denklem sayesinde, yapıların zemin etüdü aşamasında sadece bu çalışmada yer alan 5 parametre kullanılarak basitçe ve yüksek doğruluğa sahip bir zemin sıvılaşması analizi yapmak mümkündür. Belediyeler, özel sektör firmaları gibi inşaat departmanı bulunan kuruluşlar bu çalışmada önerilen denklem yardımıyla zemin iyileştirme çalışmasının gerekip gerekmediğini yüksek bir doğruluk payıyla belirleyebilirler.

Oluşturulan analitik denklem modeli deprem kuşağında yer alan ülkemiz için yüksek derecede önem arz eden bir konuyu analiz etmektedir. Bu doğrultuda zemin sıvılaşması analizinin önceden yapılarak depremlerde yaşanacak can ve mal kayıplarının önüne geçmek adına bu çalışmada kullanılan veriler, yöntemler, metotlar ve bulgular farklı çalışmaların genişletilmesine fayda sağlayacaktır.

## KAYNAKÇA

- [1] K. O. Cetin *et al.*, “Standard Penetration Test-Based Probabilistic and Deterministic Assessment of Seismic Soil Liquefaction Potential,” *J. Geotech. Geoenvironmental Eng.*, vol. 130, no. 12, pp. 1314–1340, 2004.
- [2] K. O. Cetin *et al.*, “Field Case Histories for SPT-Based In Situ Liquefaction Potential Evaluation,” University of California, Berkeley, 2000.
- [3] I. M. Idriss and R. W. Boulanger, “Semi-empirical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential During Earthquakes,” *11th Int. Conf. soil Dyn. Earthq. Eng.*, pp. 32–56, 2004.
- [4] I. M. Boulanger, RW and Idriss, “CPT and SPT Based Liquefaction Triggering Procedures,” *Cent. Geotech. Model.*, no. 10–02, p. 134, 2010.
- [5] H. B. Seed, Tokimatsu, K. Harder, L. F, Chung, and R. M, “Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations,” Berkeley, 1984.
- [6] M. Hall, E. Frank, G. Holmes, B. Pfahringer, P. Reutemann, and I. H. Witten, “The WEKA data mining software,” *ACM SIGKDD Explor. Newsl.*, vol. 11, no. 1, pp. 10–18, 2009.
- [7] V. Ateş and N. Barışçı, “Short-Term Load Forecasting Model Using Flower Pollination Algorithm,” *Int. Sci. Vocat. Stud. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 22–29, 2017.
- [8] A. H. Gandomi and A. H. Alavi, “Krill herd: A new bio-inspired optimization algorithm,” *Commun. Nonlinear Sci. Numer. Simul.*, vol. 17, no. 12, pp. 4831–4845, 2012.
- [9] L. Li, Y. Zhou, and J. Xie, “A free search krill herd algorithm for functions optimization,” *Math. Probl. Eng.*, vol. 2014, 2014.
- [10] “The Great M9.2 Alaska Earthquake and Tsunami of March 27, 1964.” [Online]. Available: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/events/alaska1964/>. [Accessed: 24-Apr-2020].

- [11] “The Largest Earthquakes in the United States.” [Online]. Available: <https://www.infoplease.com/world/earthquakes/largest-earthquakes-united-states>. [Accessed: 24-Apr-2020].
- [12] “1964: Alaska’s Good Friday Earthquake - The Atlantic.” [Online]. Available: <https://www.theatlantic.com/photo/2014/05/1964-alaskas-good-friday-earthquake/100746/>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [13] H. Kawasumi, “General Report on the Niigata Earthquake of 1964,” *Tokyo Electr. Eng. Coll. Press*, pp. 1–6, 1968.
- [14] “Liquefaction; more than a sloppy puddle at the beach - Geological Digressions.” [Online]. Available: <https://www.geological-digressions.com/liquefaction-more-than-an-interesting-phenomenon/>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [15] “İzmit earthquake of 1999 | Britannica.com.” [Online]. Available: <https://www.britannica.com/event/Izmit-earthquake-of-1999>. [Accessed: 25-Apr-2020].
- [16] V. Ş. Ö. Kırca, G. Çıvak, and B. M. Sümer, “Deprem Kaynaklı Deniz Tabanı Sıvılaşması İçin Yeni Bir Model Yaklaşımı,” in *9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu*, 2018, pp. 521–529.
- [17] K. Terzaghi and R. B. Peck, *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York, London: New York : J. Wiley & Sons ; London : Chapman & Hall, 1948.
- [18] H. R. Talebi Mamoudan, F. Kalantary, M. Derakhshandi, and N. Ganjian, “Probabilistic and Deterministic Assessment of Liquefaction Potential Using Piezocone Data,” *Geotech. Geol. Eng.*, vol. 39, no. 1, pp. 533–547, 2020.
- [19] T. D. Stark and S. M. Olson, “Liquefaction Resistance Using CPT and Field Case Histories,” *J. Geotech. Eng.*, vol. 121, no. 12, pp. 856–869, Dec. 1995.
- [20] G. Sen and E. Akyol, “A genetic-algorithm approach for assessing the liquefaction potential of sandy soils,” *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol. 10, no. 4, pp. 685–698, 2010.
- [21] C. H. Juang, C. J. Chen, W. H. Tang, and D. V. Rosowsky, “CPT-based

- liquefaction analysis, Part 1: Determination of limit state function,” *Geotechnique*, vol. 50, no. 5, pp. 583–592, 2000.
- [22] K. T. Law, Y. L. Cao, and G. N. He, “An energy approach for assessing seismic liquefaction potential,” *Can. Geotech. J.*, vol. 27, no. 3, pp. 320–329, 1990.
  - [23] A. T. C. Goh, “Probabilistic neural network for evaluating seismic liquefaction potential,” *Can. Geotech. J.*, vol. 39, no. 1, pp. 219–232, 2002.
  - [24] I. Rish, “An Empirical Study of the Naïve Bayes Classifier,” no. January 2001, pp. 41–46, 2014.
  - [25] A. H. Alavi and A. H. Gandomi, “Energy-based numerical models for assessment of soil liquefaction,” *Geosci. Front.*, vol. 3, no. 4, pp. 541–555, 2012.
  - [26] Y. R. Chen, S. C. Hsieh, J. W. Chen, and C. C. Shih, “Energy-based probabilistic evaluation of soil liquefaction,” *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 25, no. 1, pp. 55–68, 2005.
  - [27] H. Javdanian, A. Heidari, and R. Kamgar, “Energy-based estimation of soil liquefaction potential using GMDH algorithm,” *Iran. J. Sci. Technol. - Trans. Civ. Eng.*, vol. 41, no. 3, pp. 283–295, 2017.
  - [28] A. Rahbarzare and M. Azadi, “Improving prediction of soil liquefaction using hybrid optimization algorithms and a fuzzy support vector machine,” *Bull. Eng. Geol. Environ.*, vol. 78, no. 7, pp. 4977–4987, 2019.
  - [29] K. Goudjil and B. Sbartaï, “Optimization of shear wave velocity ( $V_s$ ) from a post-liquefaction settlement using a genetic algorithm multi-objective NSGA II,” *Int. Rev. Mech. Eng.*, vol. 11, no. 3, pp. 175–180, 2017.
  - [30] A. H. Gandomi, M. M. Fridline, and D. A. Roke, “Decision tree approach for soil liquefaction assessment,” *Sci. World J.*, vol. 2013, 2013.
  - [31] S. R. Safavian and D. Landgrebe, “A Survey of Decision Tree Classifier Methodology,” *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, vol. 21, no. 3, pp. 660–674, 1991.
  - [32] J. L. Hu, X. W. Tang, and J. N. Qiu, “Assessment of seismic liquefaction



- potential based on Bayesian network constructed from domain knowledge and history data,” *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 89, pp. 49–60, 2016.
- [33] Anthony T.C. Goh, “Seismic Liquefaction Potential Assessed by Neural Networks,” *J. Geotech. Eng.*, vol. 120, no. 9, pp. 1467–1480, 1994.
- [34] “Downloading and installing Weka - Weka Wiki.” [Online]. Available: [https://waikato.github.io/weka-wiki/downloading\\_weka/](https://waikato.github.io/weka-wiki/downloading_weka/). [Accessed: 27-Oct-2020].
- [35] G. Sharma, R. Bhargava, and M. Mathuria, “Decision Tree Analysis on J48 Algorithm,” *Int. J. Adv. Res. in Computer Sci. Softw. Eng.*, vol. 3, no. 6, pp. 1114–1119, 2013.
- [36] A. Özdadaoğlu, “Normalizasyon Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Sürecine Etkisi-Moora Yöntemi İncelemesi,” *Ege Akad. Bakis (Ege Acad. Rev.)*, vol. 14, no. 2, pp. 283–283, 2014.
- [37] “Krill Conservation - Antarctic and Southern Ocean Coalition.” [Online]. Available: <https://www.asoc.org/advocacy/krill-conservation>. [Accessed: 26-Apr-2020].
- [38] “Krill in Antarctica, size, food, population, facts.” [Online]. Available: [https://www.coolantarctica.com/Antarctica\\_fact\\_file/wildlife/krill.php](https://www.coolantarctica.com/Antarctica_fact_file/wildlife/krill.php). [Accessed: 26-Apr-2020].
- [39] S. Nicol, “Living Krill, zooplankton and experimental investigations: A discourse on the role of Krill and their experimental study in marine ecology,” *Mar. Freshw. Behav. Physiol.*, vol. 36, no. 4, pp. 191–205, 2003.
- [40] Y. Liu and K. M. Passino, “Swarm Intelligence: Literature Overview,” no. 614, 2015.
- [41] E. E. Hofmann, A. G. E. Haskell, J. M. Klinck, and C. M. Lascara, “Lagrangian modelling studies of Antarctic krill (*Euphausia superba*) swarm formation,” *ICES J. Mar. Sci.*, vol. 61, no. 4, pp. 617–631, 2004.
- [42] A. Okubo, “Dynamical aspects of animal grouping: Swarms, schools, flocks, and herds,” *Adv. Biophys.*, vol. 22, no. C, pp. 1–94, 1986.

- [43] G. Flierl, D. Grunbaum, S. Levin, and D. Olsin, "From individuals to aggregations: the interplay between behavior and physics," pp. 397–454, 1999.
- [44] A. Morin, A. Okubo, and K. Kawasaki, "Acoustic data analysis and models of krill spatial distribution," *Sci. Commitee Conserv. Antarct. Mar. Living Resour. Sel. Sci. Pap.*, vol. 5, no. Part 1, pp. 311–329, 1989.
- [45] Y. Oda *et al.*, "Learning to generate pseudo-code from source code using statistical machine translation," *Proc. - 2015 30th IEEE/ACM Int. Conf. Autom. Softw. Eng. ASE 2015*, pp. 574–584, 2016.
- [46] J. T. Townsend, "Erratum to: Theoretical analysis of an alphabetic confusion matrix.," *Percept. Psychophys.*, vol. 10, no. 4, p. 256, 1971.
- [47] "R2016a - MATLAB & Simulink - MathWorks Switzerland." [Online]. Available: <https://ch.mathworks.com/help/images/release-notes-R2016a.html>. [Accessed: 29-Oct-2020].
- [48] "Krill Herd Algorithm - File Exchange - MATLAB Central." [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/55486-krill-herd-algorithm>. [Accessed: 06-May-2020].
- [49] G. ŞEN, "Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesinde Genetik Algoritma Yaklaşımı," Pamukkale Üniversitesi, 2010.

# EKLER

## Ek.1 – Karides Sürüsü Algoritması – Power Model Kaynak Kodu

```
% Krill Herd Algorithm V 1.1
% By Amir H. Gandomi (a.h.gandomi@gmail.com)

% Main paper:
% Gandomi A.H., Alavi A.H., Krill Herd: A New Bio-Inspired
Optimization Algorithm.
% Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation,
% 2012, 17 (12):4831-4845.
% DOI: 10.1016/j.cnsns.2012.05.010

% Boundary Constraint Handling Scheme used in this code:
% Gandomi A.H., Yang X.S., "Evolutionary Boundary Constraint
Handling Scheme"
% Neural Computing & Applications, 2012, 21(6):1449-1462.
% DOI: 10.1007/s00521-012-1069-0

function Power_KH
clc; close all; clear all
format long

%% Initial Parameter Setting
NR = 10; % Number of Runs
NK = 25; % Number of Krills
MI = 200; % Maximum Iteration
C_flag = 1; % Crossover flag [Yes=1]

% Bounds (Normalize search space in case of highly imbalanced search
space)
UB = 10*ones(1,11);
LB = -10*ones(1,11);

NP = length(LB); % Number of Parameter(s)
Dt = mean(abs(UB-LB))/2; % Scale Factor

F = zeros(NP,NK); D = zeros(1,NK); N = zeros(NP,NK); %R =
zeros(NP,NK);
Vf = 0.02; Dmax = 0.005; Nmax = 0.01; Sr = 0;
%% Optimization & Simulation
for nr = 1:NR
    %Initial Krills positions
    for z1 = 1:NP
        X(z1,:) = LB(z1) + (UB(z1) - LB(z1)).*rand(1,NK);
    end

    for z2 = 1:NK
        K(z2)=Power_cost(X(:,z2));
    end

    Kib=K;
    Xib=X;
    [Kgb(1,nr), A] = min(K);
    Xgb(:,1,nr) = X(:,A);

    for j = 1:MI
        % Virtual Food
        for ll = 1:NP;
```

```

        Sf(11) = (sum(X(11,:),:)./K));
    end
    Xf(:,j) = Sf./(sum(1./K)); %Food Location
    Xf(:,j) =findlimits(Xf(:,j)',LB,UB,Xgb(:,j,nr)');% Bounds
Checking
    Kf(j) = Power_cost(Xf(:,j));
    if 2<=j
        if Kf(j-1)<Kf(j)
            Xf(:,j) = Xf(:,j-1);
            Kf(j) = Kf(j-1);
        end
    end

    Kw_Kgb = max(K)-Kgb(j,nr);
    w = (0.1+0.8*(1-j/MI));

    for i = 1:NK
        % Calculation of distances
        Rf = Xf(:,j)-X(:,i);
        Rgb = Xgb(:,j,nr)-X(:,i);
        for ii = 1:NK
            RR(:,ii) = X(:,ii)-X(:,i);
        end
        R = sqrt(sum(RR.*RR));

        % % % % % % % % % % % % % Movement Induced % % % % % % %
        % Calculation of BEST KRILL effect
        if Kgb(j,nr) < K(i)
            alpha_b = -2*(1+rand*(j/MI))*(Kgb(j,nr) - K(i))
/Kw_Kgb/ sqrt(sum(Rgb.*Rgb)) * Rgb;
        else
            alpha_b=0;
        end

        % Calculation of NEIGHBORS KRILL effect
        nn=0;
        ds = mean(R)/5;
        alpha_n = 0;
        for n=1:NK
            if and(R<ds,n~=i)
                nn=nn+1;
                if and(nn<=4,K(i)~=K(n))
                    alpha_n = alpha_n-(K(n) - K(i)) /Kw_Kgb/
R(n) * RR(:,n);
                end
            end
        end

        % Movement Induced
        N(:,i) = w*N(:,i)+Nmax*(alpha_b+alpha_n);

        % % % % % % % % % % % % % Foraging Motion % % % % % % %
        % Calculation of FOOD attraction
        if Kf(j) < K(i)
            Beta_f=-2*(1-j/MI)*(Kf(j) - K(i)) /Kw_Kgb/
sqrt(sum(Rf.*Rf)) * Rf;
        else
            Beta_f=0;
        end
    end

```

```

% Calculation of BEST position attraction
Rib = Xib(:,i)-X(:,i);
if Kib(i) < K(i)
    Beta_b=-(Kib(i) - K(i)) /Kw_Kgb/ sqrt(sum(Rib.*Rib))
*Rib;
else
    Beta_b=0;
end

% Foraging Motion
F(:,i) = w*F(:,i)+Vf*(Beta_b+Beta_f);

% % % % % % % % % % % % % Physical Diffusion % % % % % %
D = Dmax*(1-j/MI)*floor(rand+(K(i)-
Kgb(j,nr))/Kw_Kgb)*(2*rand(NP,1)-ones(NP,1));

% % % % % % % % % % % % % Motion Process % % % % % % % %
DX = Dt*(N(:,i)+F(:,i));

% % % % % % % % % % % % % Crossover % % % % % % % % % %
if C_flag ==1
    C_rate = 0.8 + 0.2*(K(i)-Kgb(j,nr))/Kw_Kgb;
    Cr = rand(NP,1) < C_rate ;
    % Random selection of Krill No. for Crossover
    NK4Cr = round(NK*rand+.5);
    % Crossover scheme
    X(:,i)=X(:,NK4Cr).*(1-Cr)+X(:,i).*Cr;
end

% Update the position
X(:,i)=X(:,i)+DX;
X(:,i)=findlimits(X(:,i)',LB,UB,Xgb(:,j,nr)'); % Bounds
Checking

K(i)=Power_cost(X(:,i));
if K(i)<Kib(i)
    Kib(i)=K(i);
    Xib(:,i)=X(:,i);
end
end

% Update the current best
[Kgb(j+1,nr), A] = min(K);
if Kgb(j+1,nr)<Kgb(j,nr)
    Xgb(:,j+1,nr) = X(:,A);
else
    Kgb(j+1,nr) = Kgb(j,nr);
    Xgb(:,j+1,nr) = Xgb(:,j,nr);
end
end
end

%% Post-Processing
[Best, Ron_No] = min(Kgb(end,:))
Xgb(:,end,Ron_No)
Mean = mean(Kgb(end,:))
Worst = max(Kgb(end,:))

```

```

Standard_Deviation = std(Kgb(end,:))

% Convergence plot of the best run
semilogy(1:MI+1,Kgb(:,Ron_No),1:MI+1,mean(Kgb'))
xlabel('\itNo. of Iterations')
ylabel('\itf}(\bfx_{best}))')
legend('Best run values','Average run values')

function [ns]=findlimits(ns,Lb,Ub,best)
% Evolutionary Boundary Constraint Handling Scheme
n=size(ns,1);
for i=1:n
    ns_tmp=ns(i,:);
    I=ns_tmp<Lb;
    J=ns_tmp>Ub;
    A=rand;
    ns_tmp(I)=A*Lb(I)+(1-A)*best(I);
    B=rand;
    ns_tmp(J)=B*Ub(J)+(1-B)*best(J);
    ns(i,:)=ns_tmp;
end

```

## Ek.2 – WEKA Program girdileri

WEKA girdisi:

---

@relation soilliquefaction

@attribute Liquefaction {0,1}  
@attribute Magnitude NUMERIC  
@attribute amax(g) NUMERIC  
@attribute Avg\_depth(m) NUMERIC  
@attribute Depth\_GWT(m) NUMERIC  
@attribute Stress NUMERIC  
@attribute Effectif\_stress NUMERIC  
@attribute Avg\_Nm NUMERIC  
@attribute (N1)60 NUMERIC  
@attribute FC NUMERIC  
@attribute (N1)60cs NUMERIC  
@attribute KSiGMA NUMERIC  
@attribute Dr NUMERIC

@Data

1,8.1,0.2,5.2,2.1,98,68,5.9,8.2,10,9.3,1.04,46  
1,8.1,0.2,4.3,2.4,80,61,2.3,3.4,30,8.7,1.07,44  
1,8.1,0.2,3.7,2.1,69,39,1,1.7,27,6.9,1.08,39  
1,7,0.4,4,1.2,75,48,8,11.8,0,11.8,1.07,52  
1,7,0.35,7.5,3.7,141,104,17.3,21.1,4,21.1,0.99,69  
1,7.6,0.09,3.3,1,63,41,2.6,4.7,5,4.7,1.07,33  
1,7.6,0.16,7,0.9,132,72,8,9.9,2,9.9,1.03,47  
1,7.6,0.16,5.3,0.9,85,43,7.9,12.7,8,13,1.09,54  
1,7.6,0.162,3.8,2,71,53,4.5,6.8,5,6.8,1.05,39  
0,7.6,0.18,7,1.8,132,81,18,22.7,2,22.7,1.03,71  
0,7.6,0.18,10.1,1.8,190,109,20,23.5,2,23.5,0.99,73  
1,7.6,0.16,10.1,0.9,190,100,10,11,2,11,1,50  
1,7.6,0.16,4.6,0.6,86,47,6,9.4,0,9.4,1.07,46  
0,7.6,0.18,6.1,2.4,115,79,12,14.1,0,14.1,1.03,56  
1,7.6,0.16,4.3,0,80,39,4,7,10,8.2,1.08,43  
0,7.6,0.18,6.1,1.2,115,67,27,35,0,35.5,1.1,89  
0,7.5,0.242,2.895,2,53,45,8,12.1,36,17.6,1.1,63  
1,8.3,0.213,5.7,0,95,38,9,16.5,3,16.5,1.1,61  
0,8.3,0.23,6.1,2.1,115,76,28,35.3,5,35.3,1.08,89  
0,8.3,0.23,4,0.9,75,45,16,23,5,23,1.1,72  
1,8.3,0.23,4,0.6,75,42,6,9.1,5,9.1,1.08,45  
1,8.3,0.2,4,0.9,75,45,5,7.6,1,20,0.99,67  
1,6.61,0.45,6.1,4.6,112,96,3.5,3.9,55,9.5,1.01,46  
1,6.61,0.45,6.1,4.6,112,96,7.3,8.1,50,13.7,1.01,56  
1,7,0.2,8.2,1.5,155,89,9.1,7.6,67,13.2,1.01,54



WEKA girdisi:

---

0,7,0.2,8.2,1.5,158,92,9,8.9,50,14.6,1.01,57  
1,7,0.3,7.8,1.5,147,85,13,13.3,48,19,1.02,65  
1,7,0.3,8.2,1.5,158,92,11,11,5,11,1.01,50  
1,7.5,0.135,10.4,1.5,139,86,6,5,3,5,1.01,34  
0,7.5,0.135,10.7,3.4,137,71,16,14.3,1,3,0.89,26  
1,7.6,0.13,4.5,1.1,87,54,9,11.7,12,13.8,1.06,56  
1,7.6,0.2,4.4,1.5,81,53,9.7,11.5,12,13.5,1.07,55  
1,7.6,0.22,3.5,1.1,62,38,19.3,24.4,5,24.4,1.1,74  
1,7.6,0.22,3.5,1.1,56,32,5.9,8.5,3,8.5,1.1,44  
1,7.6,0.35,5.3,0.9,102,59,17,20.1,20,24.6,1.09,74  
1,7.6,0.5,5.3,3.1,98,75,30,31,10,32.7,1.07,86  
1,7.6,0.2,6.1,0.9,118,67,9,10.5,20,15,1.05,58  
1,7.5,0.2,8.2,4.6,142,106,9,6.3,20,10.7,1,49  
1,7.5,0.2,11.1,6.7,199,156,13,7.6,5,7.6,1,41  
0,7.5,0.2,3.7,1.2,63,39,14,14.3,4,14.3,1.1,57  
0,7.5,0.2,3.1,2.1,53,44,14,13.6,3,13.6,1.09,55  
1,7.5,0.2,5.2,1.8,90,56,6,5.8,50,11.4,1.06,51  
0,6.5,0.1,6.4,0.9,121,67,10,12.8,0,12.8,1.04,54  
0,6.5,0.14,5.2,2.4,98,71,9,11.1,20,15.5,1.04,59  
0,6.5,0.12,3.5,1.4,66,45,3.7,5.5,10,6.7,1.07,39  
0,6.5,0.14,3.4,3.1,62,59,11,12.3,5,12.3,1.05,53  
0,6.5,0.14,6.1,2.4,115,79,12,14.1,3,14.1,1.03,56  
1,6.5,0.12,2.8,0.5,53,30,4.7,6.9,5,6.9,1.1,39  
0,6.5,0.12,3.4,1.3,63,42,7,9.6,4,9.6,1.08,46  
0,6.5,0.14,6.4,4.3,106,85,9,9.4,5,9.4,1.02,46  
0,6.5,0.14,4,2.4,75,60,6,7.5,10,8.6,1.05,44  
0,6.5,0.12,4.3,1.8,80,56,4,5.4,10,6.5,1.05,38  
0,6.5,0.12,2.5,1.2,46,34,10.1,16.2,7,16.3,1.1,61  
0,6.5,0.12,4.3,0.3,80,42,8,11.8,12,13.9,1.09,56  
0,6.5,0.12,5.5,1.8,99,63,2,2.5,60,8.1,1.04,43  
0,6.5,0.12,4.3,0.9,80,47,11,15.1,0,15.1,1.08,58  
1,7.7,0.2,6.4,0.9,121,67,10,12.8,0,12.8,1.04,54  
1,7.7,0.24,5.2,2.4,98,71,9,11.1,20,15.5,1.04,59  
1,7.7,0.2,3.5,1.4,66,45,3.7,5.5,10,6.7,1.07,39  
0,7.7,0.2,4.5,1.4,87,57,14.2,20.9,10,22,1.08,70  
1,7.7,0.28,3.4,3.1,62,59,11,12.3,5,12.3,1.05,53  
0,7.7,0.28,4.8,3.1,90,73,13.2,17.6,0,17.6,1.04,63  
0,7.7,0.24,4.6,2.4,86,65,10,12.7,26,17.8,1.05,63  
1,7.7,0.24,6.1,2.4,115,79,12,14.1,3,14.1,1.03,56  
0,7.7,0.32,3.4,0.9,63,39,19,26.2,4,26.2,1.1,77  
1,7.7,0.32,2.8,0.5,53,30,4.7,6.9,5,6.9,1.1,39  
1,7.7,0.32,3.4,1.3,63,42,7,9.6,4,9.6,1.08,46  
1,7.7,0.24,6.4,4.3,106,85,9,9.4,5,9.4,1.02,46  
1,7.7,0.24,4,2.4,75,60,6,7.5,10,8.6,1.05,44

WEKA girdisi:

---

1,7.7,0.24,4.3,1.8,80,56,4,5.4,10,6.5,1.05,38  
1,7.7,0.24,2.5,1.2,46,34,10.1,16.2,7,16.3,1.1,61  
1,7.7,0.24,4.3,0.3,80,42,8,11.8,12,13.9,1.09,56  
0,7.7,0.24,7.3,1.2,138,78,17,20.1,17,24,1.04,73  
1,7.7,0.24,5.5,1.8,99,63,2,2.5,60,8.1,1.04,43  
1,7.7,0.24,4.3,0.9,80,47,11,15.1,0,15.1,1.08,58  
0,7.7,0.24,5.5,2.1,103,70,20,24.6,0,24.6,1.06,74  
0,6.53,0.78,2.9,1.8,53,42,30.4,37.8,12,40,1.1,95  
1,6.53,0.78,3.7,1.8,68,50,2,2.9,18,7,1.06,40  
0,6.53,0.78,4,1.8,79,56,13,16.2,25,21.2,1.08,69  
0,6.53,0.13,4.3,2.7,77,62,5,6.2,92,11.7,1.05,51  
1,6.53,0.51,2.1,1.5,38,32,3,4.6,31,10,1.1,47  
1,6.53,0.2,3.4,2.1,62,50,2,2.9,64,8.5,1.06,44  
0,6.53,0.2,2.3,2.1,40,38,11,15.2,30,20.6,1.1,68  
1,6.53,0.24,1.8,0.3,35,20,3,4.6,80,10.2,1.1,48  
0,6.53,0.17,4.6,1.2,87,54,7.1,10.3,30,15.7,1.07,59  
0,6,0.095,6.1,0.9,108,57,5,7.1,13,9.6,1.05,46  
0,6,0.095,14.3,0.9,254,123,4,3.9,27,9.1,0.98,45  
1,5.9,0.32,4.3,2.7,77,62,5,6.2,92,11.7,1.05,51  
0,5.9,0.09,2.1,1.5,38,32,3,4.6,31,10,0.97,47  
1,5.9,0.2,3.4,2.1,62,50,2,2.9,64,8.5,1.06,44  
0,5.9,0.2,2.3,2.1,40,38,11,15.2,30,20.6,1.1,68  
0,5.9,0.21,1.8,0.3,35,20,3,4.6,80,10.2,1.1,48  
0,5.9,0.21,4.3,0.3,83,45,11,15.2,18,19.3,1.1,66  
1,5.9,0.26,4.6,1.2,87,54,7.1,10.3,30,15.7,1.07,59  
0,6.9,0.168,2.4,1.6,42,35,10,17,5,17,1.1,62  
0,6.8,0.15,4.3,1,69,37,2.6,5.1,1,5,0.95,34  
0,6.8,0.15,9.2,1,158,77,13.1,18.1,0,18.1,1.03,64  
1,6.8,0.11,4.3,0.35,81,42,7.4,13.3,0,13.3,1.09,55  
1,7.7,0.0116,5.7,0,95,38,9,16.5,3,16.5,1.1,61  
1,7.7,0.2,4.3,1,69,37,2.6,5.1,1,5,1.08,34  
1,7.7,0.227,7.5,0.4,123,53,7.7,12.4,1,1,1.06,15  
1,7.7,0.25,3.5,1.7,55,38,9.8,16.2,1,16.2,1.1,60  
1,7.7,0.283,4.3,0.4,81,42,7.4,13.3,0,13.3,1.1,55  
0,7.7,0.205,2.865,1.75,52,41,12,18.7,3,18.7,1.1,65  
0,7.7,0.205,2.895,1.75,53,41,8.5,13.8,3,13.8,1.09,56  
0,7.7,0.116,3.338,1.14,63,41,8,13.1,5,13.1,1.09,54  
1,7.7,0.205,69.125,1.5,132,79,6.6,8.7,3,8.7,1.02,44  
1,7.7,0.205,97.986,1.47,189,107,5.9,6.9,4,6.9,1,39  
0,7.7,0.052,4.295,1.6,81,54,2.6,4.2,66,9.8,1.06,47  
1,7.7,0.205,6.47,1.46,124,74,7.3,9.9,8,10.4,1.03,48  
1,7.7,0.205,71.314,1.45,136,81,10.4,13.5,3,13.5,1.02,55  
1,7.7,0.205,37.825,1.5,71,48,6,9.3,7,9.4,1.07,46  
1,7.7,0.205,60.356,1.58,115,71,7.3,10.2,2,10.2,1.03,48

WEKA girdisi:

---

1,7.7,0.205,57.443,1.51,109,68,8,11.5,2,11.5,1.04,51  
0,7.7,0.205,3.905,1.2,74,47,13,18.9,3,18.9,1.1,65  
0,7.7,0.205,3.42,1.2,64,42,15.9,23.5,2,23.5,1.1,73  
0,7.7,0.205,25.833,1.2,48,34,14.1,23,1,23,1.1,72  
0,7.7,0.205,51.767,1.2,99,60,25,34.6,3,34.6,1.1,88  
0,7.7,0.205,22.167,1.2,41,31,24.7,37.3,1,37.3,1.1,92  
0,7.7,0.205,4.48,1.2,85,53,13.2,20.3,2,20.3,1.09,68  
1,7.7,0.205,5.21,0.72,100,56,3.3,5.4,2,5.4,1.05,35  
1,7.7,0.205,5.41,1.37,103,63,4.8,7.4,2,7.4,1.04,41  
1,7.7,0.205,5.48,1.35,104,64,3.7,5.6,2,5.6,1.04,35  
1,7.7,0.205,3.91,1.46,73,49,5.2,8.1,2,8.1,1.06,43  
0,7.7,0.205,45.425,1.45,86,55,15.8,23.5,2,23.5,1.09,73  
0,7.7,0.205,6.67,1.6,127,77,17.3,22.5,4,22.5,1.04,71  
0,7.7,0.205,35.667,1.45,67,46,18.3,25.9,0,25.9,1.1,76  
0,6.9,0.268,2.895,2,53,45,8,12.1,36,17.6,1.1,63  
0,6.22,0.09,3.4,2.1,62,50,2,2.9,64,8.5,1.06,44  
0,6.22,0.133,4.6,1.2,87,54,7.1,10.3,30,15.7,1.07,59  
0,6.54,0.156,2.9,1.8,53,42,30.4,37.8,12,40,1.1,95  
0,6.54,0.15,3.7,1.8,68,50,2,2.9,18,7,1.06,40  
0,6.54,0.13,4,1.8,79,56,13,16.2,25,21.2,1.08,69  
0,6.54,0.174,4.3,2.7,77,62,5,6.2,92,11.7,1.05,51  
0,6.54,0.16,2.1,1.5,38,32,3,4.62,31,10,1.1,47  
0,6.54,0.2,3.4,2.1,62,50,2,2.9,64,8.5,1.06,44  
0,6.54,0.18,2.3,2.1,40,38,11,15.2,30,20.6,1.1,68  
0,6.54,0.19,1.8,0.3,35,20,3,4.6,80,10.2,1.1,48  
0,6.54,0.19,4.3,0.3,83,45,11,15.2,18,19.3,1.1,66  
1,6.54,0.206,4.6,1.2,87,54,7.1,10.3,30,15.7,1.07,59  
0,6.93,0.24,6.5,3,125,91,37,43.3,7,43.4,1.03,99  
1,6.93,0.37,6,4.5,106,92,9,10.2,8,10.6,1.01,49  
0,6.93,0.28,2.5,1.4,45,35,16.9,21.4,5,21.4,1.1,69  
0,6.93,0.14,4.6,3.5,75,64,4.6,5.7,30,11,1.04,50  
1,6.93,0.28,4.6,2.4,87,65,11,13.1,3,13.1,1.05,54  
1,6.93,0.28,3.5,2.5,65,55,13,14.9,3,14.9,1.07,58  
1,6.93,0.28,5.3,1.5,102,64,12,17.6,3,17.6,1.06,63  
0,6.93,0.28,2,2,35,35,18,22.6,1,22.6,1.1,71  
0,6.93,0.28,3.4,1.8,63,47,12,14.9,1,14.9,1.09,58  
0,6.93,0.28,3.4,1.9,62,48,18,21.2,5,21.2,1.1,69  
0,6.93,0.28,3.4,2,62,48,12,14.7,4,14.7,1.08,58  
1,6.93,0.39,6.2,4.9,114,101,9.2,9.9,32,15.3,0.99,59  
1,6.93,0.39,7,4.7,130,108,20,20.9,13,23.4,0.99,73  
1,6.93,0.39,6,4.4,111,95,8.8,9.8,25,14.9,1.01,58  
0,6.93,0.39,8.4,3,158,105,19,20.2,20,24.6,0.99,74  
1,6.93,0.28,6.3,3,121,89,14.4,15.4,3,15.4,1.01,59  
1,6.93,0.18,5.9,3.5,97,73,4.3,5.1,50,10.7,1.03,49

WEKA girdisi:

---

1,6.93,0.28,3,1.8,55,43,9.5,15.3,2,15.3,1.1,59  
0,6.93,0.28,6.1,1.8,115,73,26,34.4,5,34.4,1.08,88  
1,6.93,0.27,6.3,3,118,86,7.5,8.6,8,9,1.01,45  
1,6.93,0.28,3.4,1.8,61,46,6.3,10.3,1,10.3,1.07,48  
1,6.93,0.28,4.9,2.6,90,67,12.8,18.4,1,18.4,1.05,64  
1,6.93,0.16,6.5,1.5,116,67,4.3,6.4,20,10.8,1.04,49  
1,6.93,0.28,1.8,1,32,25,6.7,9.1,35,14.6,1.1,57  
0,7.7,0.25,5,2.3,94,68,34.7,24.9,19,29.2,1.08,81  
1,7.7,0.25,7.2,2.3,139,90,19.9,13,19,17.3,1.01,62  
1,7.6,0.4,5.2,2,100,68,11.7,16.4,2,16.4,1.05,61  
0,7.6,0.4,10.8,1.6,208,118,26.8,30.9,0,30.9,0.97,83  
1,7.6,0.47,3.8,2,65,47,17.4,25.9,5,25.9,1.1,76  
1,6.69,0.84,8.5,7.2,156,143,13.6,13.1,50,18.7,0.96,65  
0,6.69,0.51,9.3,3.9,154,101,24.1,27.2,25,32.3,1,85  
1,6.69,0.43,7.1,2,139,88,7.4,8.5,64,14.1,1.02,56  
1,6.69,0.51,6.7,4.3,129,105,11,11.6,33,17,1,62  
0,6.9,0.4,8,2.9,152,103,34.2,39.5,15,42.7,1,98  
0,6.9,0.4,4.3,2.1,76,54,25.8,36.6,1,36.6,1.1,91  
1,6.9,0.35,8.9,3,173,116,5.4,6.1,1,6.1,0.9,37  
1,6.9,0.4,5.9,2.3,107,72,13.4,17.8,21,22.5,1.05,71  
1,6.9,0.4,3.3,3.2,62,60,8,10.9,0,10.9,1.02,50  
1,6.9,0.5,5,3,85,65,17.4,24.1,0,24.1,1.07,74  
1,6.9,0.5,4.3,2.8,79,64,8.3,12.2,2,12.2,1.05,52  
0,6.9,0.6,7.5,4.5,137,107,24.1,27.4,9,28,0.99,79  
1,6.9,0.5,6.8,1.5,114,62,5.6,8.5,5,8.5,1.04,44  
0,6.9,0.5,5.3,3.2,92,72,18.6,24.7,14,27.6,1.06,79  
1,6.9,0.5,6.5,2.3,116,74,9.5,12.7,15,16,1.04,60  
0,6.9,0.5,4.8,3.1,86,69,15,20.3,19,24.5,1.06,74  
1,6.9,0.5,5.7,3.7,102,82,15.1,19.2,5,19.2,1.03,66  
0,6.9,0.6,4.5,2.5,80,60,17.5,25,5,25,1.09,75  
1,6.9,0.5,4.5,0.8,80,43,12.6,21.1,5,21.1,1.1,69  
0,6.9,0.7,10.5,7.7,199,171,40.5,42.6,0,42.6,0.85,98  
0,6.9,0.6,7.5,6.1,137,124,20,21.3,10,22.5,0.97,71  
0,6.9,0.6,3.5,1.7,62,44,24.2,33.5,0,33.5,1.1,87  
0,6.9,0.6,6,2.4,114,79,30.8,38.6,6,38.6,1.07,93  
0,6.9,0.6,5,3,92,72,18.1,24,10,25.1,1.06,75  
1,6.9,0.5,3.5,2.4,63,51,18,24.6,0,24.6,1.1,74  
0,6.9,0.7,3.5,2.2,64,50,27.5,35.8,3,35.8,1.1,90  
0,6.9,0.6,3.5,0.9,63,37,26,37,0,37,1.1,91  
0,6.9,0.6,2.5,1.1,43,29,27.6,40.8,10,42,1.1,97  
1,6.9,0.4,3.5,1.8,62,44,14.3,21.1,8,21.4,1.1,69  
1,6.9,0.4,3.8,2,67,49,12.4,17.9,0,17.9,1.09,63  
0,6.9,0.6,8.5,1.5,146,78,30.5,40.1,10,41.3,1.08,96  
0,6.9,0.5,3.5,1.4,61,41,20.1,29.1,6,29.2,1.1,81

WEKA girdisi:

---

0,6.9,0.5,8,2,142,83,21.3,27.9,50,33.5,1.05,87  
1,6.9,0.4,7,1.8,124,73,18.3,24.2,9,25,1.05,75  
1,6.9,0.5,4.5,2.1,79,55,12.3,18.9,6,18.9,1.08,65  
0,6.9,0.6,3.5,0.9,61,36,21.2,31.6,3,31.6,1.1,84  
1,6.9,0.35,5,4,89,79,15,19.3,0,19.3,1.03,66  
1,6.9,0.5,8,3,143,94,15.1,19.1,5,19.1,1.01,66  
0,6.9,0.6,3.5,2.8,66,59,32.5,39.7,0,39.7,1.1,95  
1,6.9,0.4,4.1,2,71,50,9.2,15,0,15,1.08,58  
1,6.9,0.4,5,1.2,84,46,7,12.1,10,13.2,1.08,54  
1,6.9,0.35,4.7,2.2,80,55,10,15.2,20,19.6,1.08,66  
1,6.9,0.4,4,1.6,67,43,4.4,8.3,5,8.3,1.07,43  
0,6.9,0.4,5.2,3.5,97,80,16.6,21.1,18,25.2,1.04,75  
1,6.9,0.4,8.8,3.5,166,115,10.9,12.5,2,12.5,0.99,53  
1,6.9,0.34,7.8,2.4,149,96,5.7,6.8,20,11.3,1.01,50  
0,6.9,0.4,8.5,5,159,125,20.2,22.7,20,27.2,0.96,78  
0,6.9,0.4,10,5,189,140,18.2,19.5,20,24,0.95,73  
0,6.9,0.4,9.5,5,179,135,30.9,34.6,20,39.1,0.92,94  
1,6.9,0.34,10,3,192,123,9.7,10.8,20,15.3,0.98,59  
1,6.9,0.4,7.5,4,141,107,14.8,16.8,25,21.9,0.99,70  
1,6.9,0.34,11.5,4,219,146,12,12.3,20,16.8,0.96,61  
1,6.9,0.25,4.7,0,93,46,8.5,14,20,18.5,1.1,65

### Ek.3 – Linear Model – Amaç Fonksiyonu

```
function f=Linear_cost(X)
load DATA;
n=length(Mw);
result=zeros(n,2);
acc=zeros(n,1);

TN=0; TP=0; FN=0; FP=0;maks=0;minu=0;

for i=1:n;
    result(i)= Mw(i,2)*X(1)+ ...
               FC(i,2)*X(2)+ ...
               eff(i,2)*X(3)+ ...
               N160(i,2)*X(4)+ ...
               amax(i,2)*X(5)+ ...
               X(6);
end
maks=max(result);
minu=min(result);
for i=1:n;
    result(i,2)=(result(i,1)-minu)/(maks-minu);
    result(i,2);
    if result(i,2)<0.5
        result(i,3)=0;

    else
        result(i,3)=1;
    end

    if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==1
        TP=TP+1;
    else if result(i,3)==0 && Lf(i,1)==1
        FN=FN+1;
    else if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==0
        FP=FP+1;
    else
        TN=TN+1;
    end
end
end

acc=(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP);
f= 100*(1-acc);
```

#### Ek.4 – Power Model – Amaç Fonksiyonu

```
function f=Power_cost(X)
load DATA;
n=length(Mw);
result=zeros(n,2);
acc=zeros(n,1);

TN=0; TP=0; FN=0; FP=0;maks=0;minu=0;

for i=1:n;
    result(i)= X(1)*Mw(i,2)^X(2)+ ...
               X(3)*FC(i,2)^X(4)+ ...
               X(5)*eff(i,2)^X(6)+ ...
               X(7)*N160(i,2)^X(8)+ ...
               X(9)*amax(i,2)^X(10)+X(11);
end
maks=max(result);
minu=min(result);

for i=1:n;
    result(i,2)=(result(i,1)-minu)/(maks-minu);
    result(i,2);
    if result(i,2)<0.5
        result(i,3)=0;
    else
        result(i,3)=1;
    end

    if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==1
        TP=TP+1;
    else if result(i,3)==0 && Lf(i,1)==1
        FN=FN+1;
    else if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==0
        FP=FP+1;
    else
        TN=TN+1;
    end
end
end

acc=(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP);
f= 100*(1-acc);
```

## Ek.5 – Exponential Model – Amaç Fonksiyonu

```
function f=Exp_cost(X)
load DATA;
n=length(Mw);
result=zeros(n,2);
acc=zeros(n,1);

TN=0; TP=0; FN=0; FP=0;maks=0;minu=0;

for i=1:n;
    result(i)= X(1)*exp(X(2)*Mw(i,2))+ ...
               X(3)*exp(X(4)*FC(i,2))+ ...
               X(5)*exp(X(6)*eff(i,2))+ ...
               X(7)*exp(X(8)*N160(i,2))+ ...
               X(9)*exp(X(10)*amax(i,2))+...
               X(11);
end
maks=max(result);
minu=min(result);
for i=1:n;
    result(i,2)=(result(i,1)-minu)/(maks-minu);
    result(i,2);
    if result(i,2)<0.5
        result(i,3)=0;
    else
        result(i,3)=1;
    end

    if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==1
        TP=TP+1;
    else if result(i,3)==0 && Lf(i,1)==1
        FN=FN+1;
    else if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==0
        FP=FP+1;
    else
        TN=TN+1;
    end
end
end
end

acc=(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP);
f= 100*(1-acc);
```



## Ek.6 – Quadratic Model – Amaç Fonksiyonu

```
function f=Quad_cost(X)
load DATA;
n=length(Mw);
result=zeros(n,2);
acc=zeros(n,1);

TN=0; TP=0; FN=0; FP=0;maks=0;minu=0;

for i=1:n;
    result(i)= X(1)*Mw(i,2)^2+ ...
               X(2)*FC(i,2)^2+ ...
               X(3)*eff(i,2)^2+ ...
               X(4)*N160(i,2)^2+ ...
               X(5)*amax(i,2)^2+ ...
               X(6)*Mw(i,2)*FC(i,2)+...
               X(7)*Mw(i,2)*eff(i,2)+...
               X(8)*Mw(i,2)*N160(i,2)+...
               X(9)*Mw(i,2)*amax(i,2)+...
               X(10)*FC(i,2)*eff(i,2)+...
               X(11)*FC(i,2)*N160(i,2)+...
               X(12)*FC(i,2)*amax(i,2)+...
               X(13)*eff(i,2)*N160(i,2)+...
               X(14)*eff(i,2)*amax(i,2)+...
               X(15)*N160(i,2)*amax(i,2)+...
               X(16);
end
maks=max(result);
minu=min(result);
for i=1:n;
    result(i,2)=(result(i,1)-minu)/(maks-minu);
    result(i,2);
    if result(i,2)<0.5
        result(i,3)=0;
    else
        result(i,3)=1;
    end

    if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==1
        TP=TP+1;
    else if result(i,3)==0 && Lf(i,1)==1
        FN=FN+1;
    else if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==0
        FP=FP+1;
    else
        TN=TN+1;
    end
end
end

acc=(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP);
f= 100*(1-acc);
```

## Ek.7 – Semi-Quadratic Model – Amaç Fonksiyonu

```
function f=SemiQuad_cost(X)
load DATA;
n=length(Mw);
result=zeros(n,2);
acc=zeros(n,1);

TN=0; TP=0; FN=0; FP=0;maks=0;minu=0;

for i=1:n;
    result(i)= X(1)*Mw(i,2)^2+ ...
               X(2)*FC(i,2)^2+ ...
               X(3)*eff(i,2)^2+ ...
               X(4)*N160(i,2)^2+ ...
               X(5)*amax(i,2)^2+ ...
               X(6)*sqrt(Mw(i,2)*FC(i,2))+...
               X(7)*sqrt(Mw(i,2)*eff(i,2))+...
               X(8)*sqrt(Mw(i,2)*N160(i,2))+...
               X(9)*sqrt(Mw(i,2)*amax(i,2))+...
               X(10)*sqrt(FC(i,2)*eff(i,2))+...
               X(11)*sqrt(FC(i,2)*N160(i,2))+...
               X(12)*sqrt(FC(i,2)*amax(i,2))+...
               X(13)*sqrt(eff(i,2)*N160(i,2))+...
               X(14)*sqrt(eff(i,2)*amax(i,2))+...
               X(15)*sqrt(N160(i,2)*amax(i,2))+...
               X(16);
end
maks=max(result);
minu=min(result);
for i=1:n;
    result(i,2)=(result(i,1)-minu)/(maks-minu);
    result(i,2);
    if result(i,2)<0.5
        result(i,3)=0;
    else
        result(i,3)=1;
    end

    if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==1
        TP=TP+1;
    else if result(i,3)==0 && Lf(i,1)==1
        FN=FN+1;
    else if result(i,3)==1 && Lf(i,1)==0
        FP=FP+1;
    else
        TN=TN+1;
    end
end
end

acc=(TN+TP)/(TN+TP+FN+FP);
f= 100*(1-acc);
```