

## **DONMA VE ÇÖZÜLMENİN KOHEZYONLU ZEMİNLERİN FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Ercan ÖZGAN<sup>1\*</sup> Songül ERTÜRK<sup>1</sup> Sercan SERİN<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 81620, Düzce, TÜRKİYE

**Özet-** Bu çalışmada, kohezyonlu zeminlerin donma çözülmeye maruz kalmadan önceki fiziksel özellikleri belirlenmiş, aynı zemin numunelerinin donma çözülmeye maruz kaldıktan sonraki fiziksel özellikleri belirlenmiş ve zeminlerin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu amaçla, "TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselememiş Numune Alma Yöntemine" göre 1 m ve 2 m derinliklerinden alınan örselememiş zemin numuneleri üzerinde likit limit, plastik limit, rötre limiti, özgül ağırlık, elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Zemin numunelerinin doğal durumdaki özellikleri belirlendikten sonra aynı yerden alınan diğer numunelerde ise donma çözülme etkisini belirleyebilmek için "TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözülmeye Karşı Direncinin Tayini Yöntemine" göre donma çözülmeye maruz bırakılmışlardır. Zemin örnekleri üzerinde donma çözülme sonrasında da likit limit, plastik limit, rötre limiti, özgül ağırlık, elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır. Deneylerden elde edilen verilerden faydalanılarak zeminlerin donma çözülme öncesi ve donma çözülme sonrası fiziksel özelliklerindeki değişimin etkisi karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir.

**Anahtar Kelimeler-** Zemin, Donma ve çözülme, indeks özellikler.

## **INVESTIGATION THE EFFECT OF FREEZING AND THAWING ON THE PHYSICAL PROPERTIES OF COHESIVE SOILS**

**Abstract-** In this study, previous exposure to unravel the physical properties of freezing soils was determined after exposure to unravel the physical properties of freezing soil samples were determined and analyzed by comparing the changes in the physical properties of cohesive soils. For this purpose, "with TS 1901 Drilling Roads Undisturbed Sampling Method" according to undisturbed soil samples taken from depths of 1 m and 2 m on the liquid limit, plastic limit, shrinkage limit, specific gravity, sieve analysis and hydrometer tests were carried out. Soil samples were taken from the same place after determining characteristics of the natural condition of the specimen to determine the effect of freeze thaw "TS EN 1367-1 Determination of the resistance of aggregates to disintegrate Freezing Method" were subjected to unravel by the frost. Soil samples after freeze thaw on the liquid limit, plastic limit, shrinkage limit, specific gravity, sieve analysis and hydrometer tests were carried out. The data obtained from experiments utilizing the physical properties of soils after freeze thaw freeze thaw before and shown in comparison to the effect of the change.

**Key Words-** Soil, Freezing and thawing, index properties.

---

\* [ercanozgan@duzce.edu.tr](mailto:ercanozgan@duzce.edu.tr)

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zeminin mühendislik özellikleri üzerinde etkili olan faktörlerden biri de iklimdir. İklim; zeminin tipini, yapısını ve agregasyon derecesini önemli ölçüde etkilemektedir. Zemin-su içeriğinin değişmesiyle meydana gelen ıslanma-kuruma ve hava sıcaklığının değişmesiyle meydana gelen donma çözülme (DÇ) olayları zeminin şekillenmesi ve/veya bozulmasında etkilidir. Zeminler mevsimsel değişimlere bağlı olarak farklı sıcaklık ve nem rejimlerine maruz kalmaktadırlar. Bu değişimler zeminlerin fiziksel durumlarını ve birçok özelliğini etkilemektedir. Zeminin nem durumundaki değişimler; yağış, sulama, kapiler yükselme, güneşlenme ve rüzgâra bağlı olarak ıslanma ve kuruma ile sonuçlanmaktadır. Tüm bu süreçlerde sıcaklıkla beraber DÇ olayları da etkili olmaktadır [1-5]. Toprağın yapısal özellikleri ve agrega yapısının etkilenmesi, zeminde gözenek büyüklüğü dağılımı, hidrolik iletkenlik, infiltrasyon hızı ve yüzey akışı gibi özelliklerin değişmesi ile sonuçlanmaktadır [6-7].

Zemin için iklim koşullarına bağlı olarak meydana gelen ve toprağın dinamik yapısı üzerinde etkili olan en önemli olaylardan biri de DÇ' dir. Yapılan araştırmalar DÇ süreçlerinin toprağın fiziksel durumunu, özellikle zeminin ve agreganın yapısını etkilediğini göstermektedir [7-14].

Bu çalışmada, zeminlerin donma çözülmeye maruz kalmadan önceki fiziksel özellikleri belirlenmiş, aynı zemin numunelerinin donma çözülmeye maruz kaldıktan sonraki fiziksel özellikleri belirlenmiş ve zeminlerin fiziksel özelliklerinde meydana gelen değişimler karşılaştırılarak incelenmiştir. Çalışmada donma çözülmenin zemine olan etkisini fiziksel özellikler açısından ortaya koyabilmek amacıyla likit limit, plastik limit, rötire limiti, özgül ağırlık, elek analizi ve hidrometre deneyleri yapılmıştır.

## 2. YÖNTEM (METHOD)

Bu çalışmada, "TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine" göre 1 m ve 2 m derinliklerinden alınan örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde likit limit, plastik limit, rötire limiti, özgül ağırlık, elek analizi, hidrometre deneyi yapılmıştır. Zemin numunelerinin doğal durumdaki özellikleri incelendikten sonra aynı yerden alınan diğer numunelerde ise donma çözülme etkisini belirleyebilmek için "TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözülmeye Karşı Direncinin Tayini Yöntemine" göre donma çözülmeye maruz bırakılmışlardır. Zemin numunelerinden donma çözülmeye maruz kalmayan numuneler üzerinde yapılan tüm deneyler donma çözülmeye maruz kalan zeminler içinde yapılmıştır [15-18].

### 2.1. Koni Düşürme (Penetrasyon) İle Likit Limitin Tayini (Determining of Liquid Limit by Using Conic Penetration Test)

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen Koni düşürme (penetrasyon) ile likit limitin tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Deney için 40 no' lu (0,425 mm)'lik elekten geçirilen 200 g kadar numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konup damıtık su katılarak, homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılmıştır. Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle tesviye edilmiş ve penetrometre tabanına konulmuştur. Koni, zeminin yüzeyini belirsizce çizecek seviyeye indirilmiş ve komparatör saatinin sıfır okuması alınmıştır. Sonra düğmeye 5 ± 1 saniye süre ile basılıp bu süre sonunda son mikrometre okuması yapılmıştır. Su muhtevasını belirlemek için koninin battığı noktanın etrafından yaklaşık 10 g kadar numune alınarak su muhtevası ölçülmüştür. Bu şekilde üç örnek üzerinde yapılan koni penetrasyon deneyinde hesaplanan su muhtevalarına karşılık gelen koni derinliği bir grafik üzerinde gösterilmiş ve 20 mm batma miktarına karşılık gelen su muhtevası numunenin likit limiti olarak kaydedilmiştir.

## 2.2. Plastik Limit Deneyi (Plastic Limit Test)

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen plastik limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla numuneler likit limit deneyinde olduğu gibi etüvde kurutulduktan sonra 40 no' lu (0,425 mm) elekten geçirilmiş ve 20 g civarında alınmıştır. Bir miktar su ilave edilerek karıştırılıp hamur kıvamına gelecek şekilde yoğrulmuştur. Böylece hazırlanan zeminden bir miktar alınmış ve el altında yuvarlanmıştır. El altında yuvarlanan ve çubuk haline gelen zemin numunesinin çapı 3 mm olduğunda çubukta kopmalar olmuş ve kopan noktalardan en az 5 g ağırlığında numune alınarak etüvde  $110 \pm 5$  °C' de kurutulmuş ve su muhtevaları belirlenmiştir. Belirlenen su muhtevaları doğrudan plastik limit değeri olarak kaydedilmiştir.

## 2.3. Rötire (Büzülme) Deneyi (Shrinkage Experiment)

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen büzülme limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Bu amaçla likit limit deneyinde olduğu gibi hazırlanan örnekten 150 g civarında alınarak bir miktar su ilave edilip macun kıvamında karıştırılmıştır. Hazırlanan zemin rötire kalıbına doldurularak hafifçe sarsılmış ve üzeri palet bıçağıyla düzeltilmiştir. Bu şekilde açıkta biraz kurutulduktan sonra önce 60 °C'de sonrada 110 °C' deki etüvde kurutulmuştur. Numunenin başlangıçtaki uzunluğu da kullanılarak deney sonrası uzunluğuyla büzülme değeri belirlenmiştir.

## 2.4. Özgül Ağırlık Deneyi (Specific Gravity Test)

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özellik ağırlık) tayini yöntemine uygun olarak yapılmıştır. Deney etüvde kurularak 4 nolu (4,75 mm) elekten elenen numuneden 150 g alınarak yapılmıştır. Sırasıyla hacim şişesi+kapak, hacim şişesi+su+kapak ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir. Hacim şişesi ağzına kadar damıtık su ile doluyken sıcaklığı ölçülmüştür. Şişenin içi boşken alınan numunenin 50 gramı şişenin içerisine boşaltılmış, zemin numunesinin üstünü örtecek kadar su ile doldurularak biraz çalkalanmış ve daha sonra tamamı su ile doldurulmuştur. Hazırlanan bu karışımın içinde hava kabarcıklarının kalmaması için vakum uygulanmıştır. Bu işlemde sonra, şişe+zemin örneği+su+kapak ağırlığı tartılmış ve bu durumdaki sıcaklığı ölçülmüştür. Elde edilen verilerle gerekli hesaplamalar yapıldıktan sonra zemin numunelerinin özgül ağırlık değeri belirlenmiştir.

## 2.5. Elek Analizi Deneyi (Sieve Analysis Test)

Bu deney, "TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen dane çapı dağılımının bulunması yöntemine" uygun olarak yapılmıştır. Deneyde 80 mm, 63 mm, 50 mm, 40 mm, 25 mm, 20 mm, 12,5 mm, 10 mm, 6,3 mm, 5 mm, 2,5 mm, 1,25 mm, 630 µm, 400 µm, 315 µm, 200 µm, 100 µm, 160 µm, 80 µm göz açıklığına sahip eleklerden zeminin elenmesi sonucu elek üzerinde kalan malzemeler tartılmıştır. Toplam numune ağırlığı esas alınarak, her elek üzerinde kalan zemin numunesinin ağırlığı ve buna bağlı olarak da yüzde cinsinden her elekten geçen zemin miktarı "%" olarak hesaplanmıştır. Böylece zeminin tane çapı ve elekten geçen % oranlarına göre dane dağılımı eğrisi (granülometri eğrisi) çizilmiştir. Granülometri eğrisi çizildikten sonra kritik çaplar olan  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  değerlerine karşılık gelen tane çapları eğriden okunarak zemin numunesinin efektif çapı belirlenmiş, buna bağlı olarak da üniformalık katsayısı ve eğrilik katsayıları hesaplanmıştır.

## 2.6. Hidrometre Deneyi (Hydrometer Test)

Bu deney, TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen ince daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre yöntemine göre deney 151H tipi hidrometre kullanılarak yapılmıştır. Deney için gerekli zemin miktarı killi zeminler için 50 g olarak alınmıştır. Numune, 0,01 g hassasiyetle tartılmış ve geniş ağızlı konik şişeye konulmuştur. Porselen pota 0,01 g hassasiyetle tartılmış ve konik şişedeki karışım bu potaya aktarılmıştır. Porselen potanın içindeki numuneye yapışık tanelerin birbirinden ayrışması için 100 ml sodyum heksametafosfat ( $\text{NaPO}_3$ ) çözeltisi katılıp 16 saat süreyle bekletilmiştir. Hazırlanan bu süspansiyon bundan sonra 1 dakika süreyle mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılmıştır. Karışım 1000 ml'lik cam mezüre konulmuş ve karışımın üstüne cam mezürün 1000 ml seviyesine kadar damıtık su ilave edilerek 1000 ml'lik bir süspansiyon elde edilmiştir. Cam mezürün ağzı lâstik bir tıpa ile kapatılıp ve homojen bir süspansiyon oluşana kadar sert bir biçimde çalkalanmış, en sonunda baş aşağı çevrilmiştir. Çalkalama işlemi durdurulur durdurulmaz mezür, düz bir yüzey üzerine oturtulup kronometre çalıştırılmıştır. Hidrometre yüzme durumunun az altına gelene kadar süspansiyona daldırılmış ve serbestçe yüzmeye bırakılmıştır. Kronometreye bakılarak 1, 2, 5, 10, 15, 30, 60, 120, 250, 600, 1440 'ncü dakikalarda hidrometre okumaları yapılmıştır. Daha sonra hidrometre, yavaşça süspansiyondan çıkarılıp, damıtık suyla yıkanmış ve zemin süspansiyonu ile aynı sıcaklıkta tutulan damıtık su dolu diğer bir mezür içinde bekletilmiş ve 10'uncü dakikadan sonraki sıcaklık değerleri ölçülerek kaydedilmiştir.

## 2.7. Donma Çözülme Deneyi (Freezing and Thawing Test)

Zemin örnekleri "TS EN 1367-1 Agregaların Donma Çözölmeye Karşı Direncinin Tayini Yöntemine" göre donma çözölmeye deneyine tabi tutulmuştur. Donma çözölmeye işlemi aşağıdaki tabloda belirtilen prosedüre uygun olarak yapılmış ve Tablo 1'de gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Donma ve çözölmeye döngüsü (Freezing and thawing cycle)

| İşlem Sırası       | Dondurma İşlemi                  |                                  | Maruz bırakma süresi (dk) | Tolerans (dk) |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------|
|                    | İlk Sıcaklık (°C)                | Son Sıcaklık (°C)                |                           |               |
| 1. İşlem: Soğutma  | $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$      | $0 ^\circ\text{C}$               | 150                       | $\pm 30$      |
| 2. İşlem: Bekletme | $0 ^\circ\text{C}$               | $0 ^\circ\text{C}$               | 210                       | $\pm 30$      |
| 3. İşlem: Soğutma  | $0 ^\circ\text{C}$               | $(-17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ | 180                       | $\pm 30$      |
| 4. İşlem: Bekletme | $(-17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ | $(-17,5 \pm 2,5) ^\circ\text{C}$ | 240 (en az)               | –             |

DÇ işlemi için hazırlanmış olan numunenin ilk sıcaklığı  $20 \pm 3 ^\circ\text{C}$ 'ye getirilmiş ve 1. işlem olan soğutma işlemi için numunenin sıcaklığı  $150 \pm 30$  dk'da  $20 \pm 3 ^\circ\text{C}$ 'den  $0 ^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür. Numunenin sıcaklığı  $0 ^\circ\text{C}$ 'ye düşürüldükten sonra 2. işlem için numune  $210 \pm 30$  dk bekleme süresinde mevcut sıcaklıkta bekletilmiştir. Zemin numuneleri  $0 ^\circ\text{C}$ 'de  $210 \pm 30$  dk bekletildikten sonra numunenin sıcaklığı  $180 \pm 30$  dk'da  $0 ^\circ\text{C}$ 'den  $17,5 \pm 2,5 ^\circ\text{C}$ 'ye kadar düşürülmüştür. Numune bu sıcaklıkta en az 240 dk'ka bekletildikten sonra tekrar 1. işlem uygulanarak donma çözölmeye döngüsüne devam ettirilmiştir. Her bir çözme aşaması tamamlandıktan sonra zemin numunelerinin bulunduğu kutular  $20 \pm 3 ^\circ\text{C}$ 'deki suda en fazla 10 saat süreyle tutulmuş ve her bir DÇ döngüsü 24 saat içinde tamamlanmıştır.

### 3. BULGULAR (FINDINGS)

Bulgular kısmında araziden alınan numuneler üzerinde yapılan deneylere ait değerlendirmeler bulunmaktadır. Bu deneyler zemine ait kıvam limit değerlerinin saptandığı; likit limit, plastik limit ve rötire limiti, donma çözülme sonrasında zeminin özgül ağırlık ve zeminin gradasyonunun belirlendiği ıslak ve mekanik analizlerdir.

#### 3.1. Likit Limit Deneyi (Liquid Limit Test)

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselenmemiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ' ye tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneylerinde belirtilen koni düşürme (penetrasyon) ile likit limitin tayini yöntemine uygun olarak koni penetrasyon deneyleri yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin donma çözülme öncesi (DÇÖ) ve donma çözülme sonrasında (DÇS) koni düşürme (penetrasyon) ile likit limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Koni penetrasyon su muhtevası ve koni derinliği değerleri (Water content of conic penetration and the values of conic deep)

| Derinlik (m) | DÇÖ              |                     | DÇS              |                     |
|--------------|------------------|---------------------|------------------|---------------------|
|              | Su Muhtevası (%) | Koni Derinliği (mm) | Su Muhtevası (%) | Koni Derinliği (mm) |
| 1            | 23,10            | 18,80               | 20,97            | 18,00               |
| 1            | 23,60            | 19,50               | 21,95            | 18,50               |
| 1            | 25,50            | 21,50               | 23,97            | 22,00               |
| 1            | 26,10            | 22,10               | 25,00            | 23,50               |
| 2            | 19,60            | 18,90               | 20,20            | 19,70               |
| 2            | 19,80            | 19,00               | 20,40            | 19,90               |
| 2            | 21,00            | 20,30               | 20,90            | 20,40               |
| 2            | 22,30            | 21,50               | 21,50            | 21,00               |

Tablodaki veriler kullanılarak her bir deney için su muhtevası değeri hesaplanmış ve koni batma derinlikleri kaydedilerek su muhtevası-batma derinliklerine göre 1 m ve 2 m derinlikten alınan numuneler için DÇÖ ve DÇS için çizilen grafiklerle elde edilen su muhtevası değeri "1 m" derinlikte DÇÖ için yaklaşık %24,2 yine 1 m derinlikte DÇS için yaklaşık % 22,8'dir bu değerler aynı zamanda zemin örneğinin likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.

Belirlenen su muhtevası değeri "2 m" derinlikte DÇÖ için yaklaşık % 20,8 yine 2 m derinlikte DÇS için yaklaşık % 20,50' olup bu değerler aynı zamanda zemin örneğinin likit limit değeri olarak kaydedilmiştir.

#### 3.2. Plastik Limit Deneyi (Plastic Limit Test)

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ' ye tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuar Deneyleri'nde belirtilen plastik limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak plastik limit deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin donma çözülme öncesinde ve sonrasında plastik limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Plastik limit deneyi su içeriği değerleri (The values of water content for plastic limit test)

| Derinlik (m) | Su İçeriği (%) |     |
|--------------|----------------|-----|
|              | DÇÖ            | DÇS |
| 1            | 13,90          | NP  |
| 1            | 14,40          | NP  |
| 1            | 14,20          | NP  |
| 2            | 14,90          | NP  |
| 2            | 15,10          | NP  |
| 2            | 15,20          | NP  |

Alınan zemin örnekleri üç kere plastik limit deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınmış ve “1 m” derinlikte DÇÖ plastik kıvamdaki en düşük su içeriği % 14,16 ve “2 m” derinlikte DÇÖ plastik kıvamdaki en düşük su içeriği % 15,06 olarak belirlenmiştir. DÇS her iki derinlik için zemin plastiklik özelliğini kaybetmiş ve non-plastik (NP) olduğu gözlemlenmiştir.

### 3.3. Rötire (Büzülme) Deneyi (Shrinkage Experiment)

TS 1901 Sondaj Yolları ile Örselememiş Numune Alma Yöntemine göre yaklaşık 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, DÇ deneyine tabi tutulmadan önce ve sonra TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneyleri’nde belirtilen rötire limitin belirlenmesi yöntemine uygun olarak rötire (büzülme) deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin donma çözülme öncesinde ve sonrasında rötire limit deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo4’de verilmiştir.

**Tablo4.** Büzülme limiti için su muhtevası ve büzülme oranları değerleri (The values of water content and shrinkage rates for shrinkage limit)

| Derinlik (m) | DÇÖ              |                   | DÇS              |                   |
|--------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|              | Su Muhtevası (%) | Büzülme Oranı (%) | Su Muhtevası (%) | Büzülme Oranı (%) |
| 1            | 48,40            | 10,00             | 25,26            | 7,14              |
| 1            | 47,70            | 10,70             | 25,80            | 6,90              |
| 1            | 48,90            | 9,50              | 24,70            | 7,40              |
| 2            | 39,80            | 11,10             | 21,43            | 7,14              |
| 2            | 39,60            | 11,60             | 21,50            | 7,10              |
| 2            | 40,10            | 10,70             | 21,40            | 7,20              |

Alınan zemin örnekleri üç kere büzülme limiti deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda DÇÖ 1 m derinlikte su içeriği % 48,33 ve büzülme oranı % 10,06 ve DÇS 1 m derinlikte su içeriği % 25,25 ve büzülme oranı % 7,15 yine DÇÖ 2 m derinlikte su içeriği % 39,83 ve büzülme oranı % 11,13 ve DÇS 2 m derinlikte su içeriği % 21,44 ve büzülme oranı % 7,15 olarak bulunmuştur.

### 3.4. Özgül Ağırlık Deneyi (Specific Gravity Test)

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özümlü ağırlık) tayini yöntemine göre özümlü ağırlık deneyleri yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için

zemin örneklerinin donma çözülme öncesinde ve sonrasında özgül ağırlık deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo5’de verilmiştir.

**Tablo5.** Özgül ağırlık değerleri (The value of specific gravity)

| Derinlik (m) | Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> ) |      | Rölatif oran (DÇÖ/DÇS) |
|--------------|------------------------------------|------|------------------------|
|              | DÇÖ                                | DÇS  |                        |
| 1            | 2,15                               | 2,32 | 0,93                   |
| 1            | 3,23                               | 3,24 | 1,00                   |
| 1            | 2,60                               | 2,79 | 0,93                   |
| 2            | 2,16                               | 2,82 | 0,77                   |
| 2            | 2,55                               | 2,76 | 1,22                   |
| 2            | 2,77                               | 2,73 | 1,01                   |

Alınan zemin örnekleri üç kere özgül ağırlık deneyine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlerin aritmetik ortalaması alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda 1 m derinlikte DÇÖ özgül ağırlık 2,66 g / cm<sup>3</sup> ve 1 m derinlikte DÇS özgül ağırlık 2,78 g / cm<sup>3</sup> yine 2 m derinlikte DÇÖ özgül ağırlık 2,76 g / cm<sup>3</sup> ve 2 m derinlikte DÇS özgül ağırlık 2,77 g / cm<sup>3</sup> olarak tespit edilmiştir.

### 3.5. Elek Analizi Deneyi (Sieve Analysis Test)

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen dane çapı dağılımının bulunması yöntemine uygun olarak elek analizi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (yaklaşık 1 ve 2 m) için zemin örneklerinin donma çözülme öncesinde ve sonrasında elek analizi deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo 6’te verilmiştir.

**Tablo 6.** Elek analizi toplam geçen değerleri (The values of total passing for sieve analysis)

| Derinlik (m) | Elek Göz Açıklığı (mm) | DÇÖ              | DÇS              | Rölatif Oran (DÇÖ/DÇS) |
|--------------|------------------------|------------------|------------------|------------------------|
|              |                        | Toplam Geçen (%) | Toplam Geçen (%) |                        |
| 1            | 25                     | 98,11            | 99,04            | 0,99                   |
| 1            | 19                     | 97,08            | 95,87            | 1,01                   |
| 1            | 9,5                    | 96,42            | 83,50            | 1,15                   |
| 1            | 4,75                   | 90,83            | 67,21            | 1,35                   |
| 1            | 2                      | 72,30            | 46,16            | 1,57                   |
| 1            | 0,6                    | 49,12            | 21,41            | 2,29                   |
| 1            | 0,425                  | 45,56            | 16,05            | 2,84                   |
| 1            | 0,25                   | 36,99            | 9,58             | 3,86                   |
| 1            | 0,15                   | 27,16            | 4,90             | 5,54                   |
| 1            | 0,075                  | 19,00            | 2,51             | 7,57                   |
| 1            | Tava                   | 0,00             | 0,00             | 0,00                   |
| 2            | 25                     | 98,42            | 100,00           | 0,98                   |
| 2            | 19                     | 93,79            | 100,00           | 0,94                   |
| 2            | 9,5                    | 79,08            | 77,45            | 1,02                   |
| 2            | 4,75                   | 53,08            | 63,62            | 0,83                   |
| 2            | 2                      | 32,24            | 52,00            | 0,62                   |

|   |       |       |       |      |
|---|-------|-------|-------|------|
| 2 | 0,6   | 16,99 | 40,48 | 0,42 |
| 2 | 0,425 | 14,35 | 36,82 | 0,39 |
| 2 | 0,25  | 9,63  | 30,31 | 0,32 |
| 2 | 0,15  | 6,63  | 13,11 | 0,51 |
| 2 | 0,075 | 4,34  | 7,50  | 0,58 |
| 2 | Tava  | 0,00  | 0,00  | 0,00 |

### 3.6. Hidrometre Deneyi (Hydrometer Test)

Araziden 1 ve 2 m derinliklerinden alınan zemin örneklerinde, donma çözülme deneyine tabi tutulmadan önce ve DÇ deneyine tabi tutulduktan sonra TS 1900 Zemin Laboratuvar Deneylerinde belirtilen ince daneli zeminlerin dane çapı dağılımının belirlenebilmesi için hidrometre metodu yöntemine göre hidrometre deneyi yapılmıştır. Zeminden alınan farklı iki derinlik (1 m ve 2 m) için zemin örneklerinin donma çözülme öncesinde ve sonrasında hidrometre deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen deney sonuçları Tablo 7’te verilmiştir.

**Tablo 7.** Hidrometre deneylerinin sonuçları (The results of Hydrometer tests)

| Derinlik<br>(m) | DÇÖ                 |                       | DÇS                    |                       | Rölatif Oranı<br>(DÇÖ/DÇS) |
|-----------------|---------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------------|
|                 | Tane Çapı<br>D (mm) | Toplam<br>Geçen<br>%P | Tane<br>Çapı<br>D (mm) | Toplam<br>Geçen<br>%P |                            |
| 1               | 0,034               | 26,63                 | 0,034                  | 3,64                  | 7,32                       |
| 1               | 0,024               | 25,88                 | 0,024                  | 3,45                  | 7,50                       |
| 1               | 0,016               | 23,61                 | 0,016                  | 3,25                  | 7,26                       |
| 1               | 0,011               | 22,48                 | 0,011                  | 3,15                  | 7,14                       |
| 1               | 0,009               | 22,10                 | 0,009                  | 2,96                  | 7,47                       |
| 1               | 0,007               | 22,26                 | 0,007                  | 2,98                  | 7,47                       |
| 1               | 0,005               | 21,35                 | 0,005                  | 2,86                  | 7,47                       |
| 1               | 0,003               | 20,60                 | 0,003                  | 2,76                  | 7,46                       |
| 1               | 0,002               | 20,60                 | 0,002                  | 2,76                  | 7,46                       |
| 1               | 0,002               | 20,60                 | 0,002                  | 2,76                  | 7,46                       |
| 1               | 0,001               | 20,67                 | 0,001                  | 2,67                  | 7,74                       |
| 2               | 0,034               | 5,77                  | 0,034                  | 3,15                  | 1,83                       |
| 2               | 0,024               | 5,77                  | 0,024                  | 2,96                  | 1,95                       |
| 2               | 0,016               | 5,69                  | 0,016                  | 2,76                  | 2,06                       |
| 2               | 0,011               | 5,60                  | 0,011                  | 2,76                  | 2,03                       |
| 2               | 0,009               | 5,43                  | 0,009                  | 2,62                  | 2,07                       |
| 2               | 0,007               | 5,13                  | 0,007                  | 2,66                  | 1,93                       |
| 2               | 0,005               | 4,93                  | 0,005                  | 2,57                  | 1,92                       |
| 2               | 0,003               | 5,01                  | 0,003                  | 2,47                  | 2,03                       |
| 2               | 0,002               | 5,01                  | 0,002                  | 2,47                  | 2,03                       |
| 2               | 0,002               | 5,01                  | 0,002                  | 2,47                  | 2,03                       |
| 2               | 0,001               | 4,78                  | 0,001                  | 2,38                  | 2,01                       |

## 4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Araziden alınan zeminde donma-çözülme öncesi ve sonrası yapılan elek analizi ve hidrometre deneyi sonuçları kullanılarak zemin sınıflandırması yapılmıştır.

Koni penetrasyon tayini ile elde edilen likit limit değerleri DÇS 1 m’de % 5,78 azalmış ve DÇS 2 m’de % 1,23 azalmıştır.

Zemin numunelerinde plastik limit değerleri DÇS hesaplanamamış ve DÇS zemin plastiklik özelliğini yitirmiş ve non-plastik (NP) halini almıştır.

Rötre limiti ile elde edilen su muhtevaları değerleri 1 m derinlikten alınan numunelerde DÇ’den sonra % 47 değerinde ve büzülme oranı da % 28,6 oranında azalmıştır. DÇ’den sonra 2 m



derinlikten alınan numuneler için % 46,15 değerinde ve büzülme oranı da % 35 değerinde azalmıştır.

Özgül ağırlık deneyi ile elde edilen verilere göre; 1 m derinlikten alınan numunelerde DÇ'den sonra % 4,5 değerinde, 2 m derinlikten alınan numunelerde DÇ'den sonra % 0,36 değerinde bir artış gözlenmiştir.

Elek analizi deneyi ile elde edilen verilere göre 4,75 mm, 2 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0 075 mm göz açıklığına sahip eleklerde geçen toplam yüzde 1 m derinlikten alınan numuneler için DÇS sırasıyla; % 26, %36, % 56, %64, % 74, % 81 ve % 80 oranlarında azalış göstermiştir. DÇS 2 m derinlikten alınan numunelerde; 4,75 mm, 2 mm, 0,6 mm, 0,425 mm, 0,25 mm, 0,15 mm, 0 075 mm göz açıklığına sahip eleklerde geçen toplam yüzde % 16, % 38, % 58, % 53, % 68, % 49, % 42 oranlarında artmıştır.

Hidrometre deneyinde hesaplanmış 0,034 mm, 0,024 mm, 0,016 mm, 0,011 mm, 0,009 mm, 0,007 mm, 0,005 mm, 0,003 mm, 0,002 mm, 0,001 mm değerindeki tane çaplarına ait toplam % geçen 1 m'de DÇS için sırasıyla % 93,63, %92,68, %84,13, %79,87, %79,09, % 79,66, % 76,4, %73,71, %73,71 % 73,71 oranlarında azalmıştır. Hesaplanan tane çapları 2 m'de DÇS için sırasıyla % 10,82, % 11,61, %12,10, % 11,61, %10,2, %9,75, %10,49, %10,49, % 9,91 oranlarında azalmıştır.

Tane çaplarına göre 1 m'de DÇÖ siltli, killi kumlu iken DÇS çakıllı kumlu bir zemin, 2 m'de çakıllı kumlu iken DÇS siltli-killi, çakıllı kumlu olarak sınıflanmıştır. Üçgen sınıflandırmaya göre; DÇÖ 1 m'de zemin çakıllı kumlu siltli kil iken DÇS çakıllı kum olarak, 2 m' de DÇÖ çakıllı kum iken DÇS çakıllı, siltli kum olarak sınıflanmıştır. AASHO metoduna göre de 1 m'de zemin DÇÖ siltli kum iken DÇS siltli kumlu çakıl ve 2 m'de zemin DÇÖ kumlu çakıl iken DÇS siltli kum olarak tanımlanmıştır. Birleştirilmiş zemin sınıflandırmasına göre ise 1 m'de DÇÖ kötü derecelendirilmiş siltli kum iken DÇS kötü derecelendirilmiş killi siltli kum, 2 m'de DÇÖ iyi derecelendirilmiş kum iken DÇS iyi derecelendirilmiş killi kum sınıfı olarak belirlenmiştir.

Donma ve çözülme ile ilgili durum dikkate alınarak donma-çözülmenin zeminin permeabilitesine, konsolidasyon özelliklerine, taşıma gücü parametreleri başta olmak üzere diğer mekaniksel özelliklerine olan etkisinin araştırılmasının gerekli olduğu düşünülmektedir.

## **TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)**

Bu çalışma Düzce Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyonu Birimi tarafından desteklenen 2011.03.05.066 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

## **6. KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1]. Utomo, W.H., Dexter, A.R., 1982, Changes in soil aggregate water stability induced by wetting and drying cycles in non-saturated soil, J. Soil Sci., 33, 623-637.
- [2]. Rajaram, G., Erbach, D.C., 1998, Drying stres effect on mechanical behavior of a clay-loam soil. Soil and Till. Res., 49(1-2), 147-158.
- [3]. Six, J., Bossuyt, H., Degryze, S., Denef, K., 2004, A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organik matter Dynamics, Soil and Tillage Research, 79(1), 7-31.
- [4]. Lipson, D.A., Schmidt, S.K., 2004, Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in the Colorado Rocky Mountains, Applied Environmental Microbiology, 70(5), 2867-2879.

- [5]. De Oliveira, T.S., De Costa, L.M., Schaefer, C.E., 2005, Water-dispersible clay after wetting and drying cycles in four Brazilian oxisols, *Soil and Tillage Research*, 83, 260-269.
- [6]. Lehrsch, G.A., Sojka, R.E., Carter, D.L., Jolley P.M., 1991, Freezing effects on aggregate stability affected by texture, mineralogy, and organic matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55, 1401-1406.
- [7]. Kvaerno, S.H., Oygarden, L., 2006. The influence of freeze–thaw cycles and soil moisture on aggregate stability of three soils in Norway, *Catena*, 67 (3),175 -182.
- [8]. Benoit, G.R., 1973. Effect of freze-thaw cycles on aggregate stability and hydraulic conductivity of three soil aggregate sizes. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 37, 3-5.
- [9]. Bullock, M.S., Kemper, W.D., Nelson, S.D., 1988, Soil cohesion as effected by freezing, water content, time and tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52, 770-776.
- [10]. Mostaghimi, S., Young, R.A., Wiltts, A.R., Kenime, A.L., 1988. Effects of frost action on soil aggregate satability, *Trans of ASAE*, 31(2), 435-439.
- [11]. Sönmez, K., 1994, *Toprak Koruma*. Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları,169, 192.
- [12]. Şahin, Ü., Canbolat, M.Y., Anapalı, Ö., 1999. DÇ koşullarının bazı toprak-su parametreleri üzerine etkisi, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 30, 41-47.
- [13]. Cruse, R.M., Roberto, M., Mize, C.W., 2001, Surface residue effects on erosion of thawing soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65, 178-184.
- [14]. Bronick, C.J., Lal, R., 2005. Soil structure and management: a review. *Geoderma*, 124, 22.
- [15]. TS EN 1367-1, 2001, Agregaların termal ve bozunma özellikleri için deneyler-Bölüm 1: Donma ve çözülmeye karşı direncinin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 4-5.
- [16]. TS 1900-1, 2006, İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 5-52.
- [17]. TS 1900-2, 2006, İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 15-51.
- [18]. TS 1901, 1975, İnşaat Mühendisliğinde Sondaj yolları ile Örselenmiş ve Örselenmemiş Numune Alma Yöntemleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 21-22.