

DONMA-ÇÖZÜLME KOŞULLARININ BAZI TOPRAK-SU PARAMETRELERİ ÜZERİNE ETKİSİ

Üstün ŞAHİN¹ Mustafa Y. CANBOLAT² Ömer ANAPALI¹

ÖZET: Bu araştırmada, farklı nem tansiyonlarına eşdeğer nem düzeylerinde, farklı donma-çözülme döngülerinin bazı toprak-su parametreleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

Laboratuvar koşullarında yürütülen bu araştırmada orta bünyeli bir toprak kullanılmıştır. Araştırma, 3 farklı nem tansiyonuna (0.01 atm, 0.33 atm ve 0.65 atm) eşdeğer nem düzeyi ve 5 farklı donma-çözülme döngüsü (3, 6, 9, 12 ve 15) esas alınarak yürütülmüştür. Çalışmada, toprak-su parametrelerinden agregat stabilitesi, kuru ve ıslak eleme ile ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi, solma noktası ve hidrolik iletkenlik değerleri ölçülmüştür.

Sonuç olarak, nem düzeyindeki azalma, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini artırırken, kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerini azaltmıştır. Donma-çözülme döngüsündeki artışa bağlı olarak, agregat stabilitesi, ıslak elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerinde genel olarak bir azalış, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerinde ise genel olarak bir artış saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Donma-çözülme, agregat stabilitesi, hidrolik iletkenlik, kütle yoğunluğu, yarayışlı nem içeriği.

EFFECTS OF FREEZING-THAWING ON SOME SOIL-WATER PARAMETERS

SUMMARY: The objective of this study was to determine the effects of freezing-thawing on some soil-water parameters at different moisture tensions under laboratory conditions.

The study was conducted on a medium textured soil with three moisture tensions (0.01 atm, 0.33 atm and 0.65 atm) and five freezing-thawing cycles (3, 6, 9, 12 and 15). Aggregate stability, mean weight diameter, bulk density, field capacity, wilting point and hydraulic conductivity were determined.

Result indicated that porosity and hydraulic conductivity increased with decreasing moisture content but mean weight diameter for dry-sieving, bulk density, field capacity and available water capacity decreased. On the other hand, aggregate stability, mean weight diameter for wet sieving, bulk density, field capacity and available water capacity relatively decreased with increasing of, the number of freezing-thawing cycles, but porosity and hydraulic conductivity generally increased.

Keywords: Freezing-thawing, aggregate stability, hydraulic conductivity, bulk density, available water capacity.

GİRİŞ

Toprak sistemi içinde iklim koşullarına bağlı olarak gelişen olaylar toprağın dinamik yapısı üzerinde etkili olur. Bu olayların en önemlilerinden birisi de donma-çözülmedir.

1. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, 25240, Erzurum

2. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, 25240, Erzurum

Geliş Tarihi : 13.05.1999

Donma-çözülme, geliştiği mevcut koşullara bağlı olarak, toprağın dinamik özelliklerinden olan strüktür üzerinde etkilidir. Toprak sistemi içinde tekrarlanan donma-çözümler, agregat yapısını olumlu veya olumsuz etkileyerek toprağın fiziksel özelliklerini yönlendirebilir (Sönmez, 1994). Agregat yapısının etkilenmesi, toprakta gözenek büyüklük dağılımının, hidrolik iletkenliğin, infiltrasyon hızının, erozyona duyarlılığın değişimi ile sonuçlanır (Lehrsch ve ark., 1991). Toprakların agregasyon durumunun yarıyışlı nem içeriği üzerinde de etkisi söz konusudur (Kanber, 1997).

Donma-çözülmenin toprak fiziksel özellikleri üzerindeki etkisi bütün topraklarda aynı boyutta olmayıp toprağın tekstürüne bağlı olarak değişim göstermektedir. Bu etki, kaba bünyeli toprakta az, orta ve ağır bünyeli topraklarda ise daha büyük olmaktadır (Demiralay, 1977; Pikul ve Allmaras, 1985; Mbagwu ve Bazzoffi, 1989).

Topraklar çoğunlukla çözülmeden sonra donma öncesine göre daha zayıf bir stabiliteye sahip olurken, zamanla ve uygun drenaj koşulları altında başlangıç stabilitelere ulaşırlar (Formanek ve ark., 1984). Donma esnasında gözeneklerde oluşan buz kristalleri gözenek çapını genişleterek toprak kütle yoğunluğunun azalmasına sebep olmasına rağmen, bu olay, doğal olarak stabil halde olmayan gözeneklerin ortaya çıkmasına neden olmakta, buz kristallerinin erimesi ve toprağın drenajı ile gözenek geometrisinde tekrar bir değişim izlenmektedir (Kay ve ark., 1985).

Donma-çözülme ile agregat stabilitesi arasındaki ilişkiyi, donma hızı, donma anındaki toprak nem içeriği ve donma-çözülme sayısı etkiler (Benoit, 1973; Lehrsch ve ark., 1991; Edwards, 1991; Ergene, 1993).

Yavaş donmada büyük kristaller oluşurken, hızlı donmada agregatların kırılmasına neden olan çok sayıda küçük kristal oluşmaktadır (Demiralay, 1977). Yavaş donma, bir taraftan topraktaki suyun donması esnasında oluşan

kristallerin etrafına basınç yapıp keseklerin kırılmasını sağlaması, diğer taraftan da buz kristallerinin etrafından su moleküllerinin çekilmesine ortam hazırlaması sebebiyle yeni agregatların oluşumunda etkin rol oynar (Ergene, 1993).

Toprak nem içeriğinin düşük olması, agregasyon üzerine donma-çözülme etkisinin az veya önemsiz olmasına neden olur. Don olayı başlangıcında, toprağın aşırı su içermesi ve çözülme anında da yağışın varlığı agregatlaşmış materyali dahi dispers edebilir (Demiralay, 1977). Donma anında daha ıslak olan topraklarda donun etkisi daha belirgin olmaktadır (Voorhees, 1983). Bullock ve ark., (1988) yaptıkları çalışmada, donma anındaki nem seviyesi ile agregat stabilitesi arasında negatif bir ilişki belirlemişlerdir. Hinman ve Bisal (1968), farklı nem tansiyonlarına eşdeğer nem içeriklerinde don olayı sonucu agregatların parçalanma ve dağılımlarını çalışmışlardır. Araştırmacılar, don olayının agregatların parçalanma ve dağılması üzerine etkisinin 15 atmosfer nem tansiyonuna eşdeğer nem içeriğinde düşük, 0.33 atm nem tansiyonuna eşdeğer nem içeriğinde orta ve 0.01 atm nem tansiyonuna eşdeğer nem içeriğinde ise yüksek olduğunu tespit etmişlerdir.

Donma çözülme sayısı ile agregat stabilitesi arasındaki ilişki ile ilgili değişik sonuçlar, farklı araştırmacılar tarafından saptanmıştır. Richardson (1976), belli koşullar altında bazı topraklarda donma-çözülme sayısı artışıyla agregat stabilitesinin arttığını, Benoit (1991) ise, donma-çözülme sayısı arttıkça agregat stabilitesi değerinin azaldığını ifade etmiştir. Özdemir ve Akgül (1995) tarafından yapılan çalışmada da, donma-çözülmenin toprakların strüktürel dayanıklılığını azaltarak erozyona karşı duyarlılığı artırdığı ve bu artışın donma-çözülme sayısına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Mostaghimi ve ark., (1988) tın, siltli tın ve killi tın bünyeli topraklarda yaptıkları çalışmada, agregat stabilitesi üzerine; donma hızının etkisinin önemsiz olduğunu, donma-çözülme sayısının toprak tipine bağlı olarak değişim gösterdiğini ve donma anındaki nem içeriğinin ise negatif yönde bir etki gösterdiğini belirlemiştir.

Lehrsch ve ark., (1991) tarafından 6 farklı tekstürdeki toprakta yapılan bir çalışmada, ince ve orta bünyeli topraklarda donma anındaki nem içeriği artışıyla agregat stabilitesinin doğrusal olarak azaldığı, donma-çözülme sayısının agregasyon üzerindeki etkisinin, toprak bünyesine bağlı olarak, farklılık gösterdiği tespit edilmiştir.

Benoit ve Bornstein (1970) tarafından yapılan çalışmada, donma-çözülme etkisiyle büyük agregatların parçalandığı ve hidrolik iletkenliğin azaldığı, strüktürün bozulma derecesinin donma anındaki su seviyesi artışıyla, agregat büyüklüğü artışıyla ve daha düşük donma derecelerinde arttığı belirlenmiştir. Bundan dolayı da donma-çözülme olaylarının geliştiği bölgelerin ıslak topraklarında drenaj problemlerinin arttığı ifade edilmiştir.

Benoit (1973) tarafından yapılan çalışmada da, genel olarak maksimum su tutma kapasitesinde suya dayanıklı agregatlarda dağılmanın istatistiksel olarak daha fazla olduğu, daha düşük donma derecesinde, yüksek su seviyesinde ve agregat büyüklüklerinin fazla olduğu durumlarda donma-çözülmenin düşey infiltrasyon hızında en fazla azalmaya neden olduğu belirlenmiştir.

Tarla kapasitesi, devamlı solma noktası ve yarayışlı nem sulama uygulamaları için, toprak suyunun kabul edilebilir gösterge noktalarındandır. Yine sulama sistemlerinin planlanmasında doygun topraklardaki hidrolik iletkenlikle de ilgilenilir (Kanber,1997). Bu parametreler üzerinde toprak yapısının etkisi söz konusu olduğundan, donma-çözülme

periyodundan sonra bu parametrelerin değerlendirilmesine ihtiyaç duyulabilir.

Bu araştırma ile, farklı nem tansiyonlarına eşdeğer nem düzeylerinde, farklı sayıda tekrarlanan donma-çözülme döngülerinin bazı toprak-su parametreleri üzerindeki etkilerinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

MATERYAL VE METOT

Laboratuvar koşullarında yürütülen bu çalışmada orta bünyeli bir toprak kullanılmıştır. Bu toprağın bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 1'de verilmiştir.

Araştırma, 3 farklı nem tansiyonuna eşdeğer nem düzeyi ve 5 farklı donma-çözülme döngüsü dikkate alınarak faktoriyel düzende tam şansa bağlı deneme planına göre 3 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Bu amaçla başlangıçta 2 mm'lik elekten elenmiş toprak örneği boyutları 45x55x12 cm olan sac kasalara hava kuru durumda yerleştirilmiş ve tarla kapasitesi nem düzeyine ulaşmaya kadar nemlendirilmiştir. Kasalardaki örnekler bir ay süreyle yaklaşık tarla kapasitesindeki nemde tutularak, örneklerin istiflenmesi sağlanmıştır. Daha sonra donma çözülme işlemine geçilmiştir. Donma-çözülme işleminde; 0,01 atm (N₁), 0,33 atm (N₂) ve 0,65 atm (N₃) tansiyonlara karşılık gelen nem düzeyleri esas alınmıştır. Her nem düzeyinde olmak üzere uygulanan donma-çözülme döngüleri içinde 3 (D₁), 6 (D₂), 9 (D₃), 12 (D₄) ve 15 (D₅) kez olarak donma-çözülme uygulamaları tekrarlanmıştır. Donma-çözülme uygulamalarında örnekler her bir tekrar için -5 °C'de 24 saat donma ve 15 °C'de (± 2°C) 24 saat çözülme işlemine tabi tutulmuştur. Uygulamalar sırasında topraktan su kaybını önlemek amacıyla kasalar plastik örtü ile kaplanarak dış atmosferden tecrit edilmiştir. Donma işleminde sıcaklık ayarlaması yapılabilen derin dondurucu kullanılmıştır.

Donma-çözülme uygulaması tamamlanmış kasalardan alınan bozulmamış toprak örneklerinde; kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi, düşey doğrultuda 2, 24 ve 48 saatlik hidrolik

iletkenlikler ve bozulmuş örneklerde de; solma noktası, agregat stabilitesi, kuru ve ıslak eleme ile ortalama ağırlık çapı belirlenmiştir. Tane büyüklük dağılımı Bouyoucos hidrometre yöntemiyle, kütle yoğunluğu silindir yöntemiyle, porozite hesap yöntemiyle, tarla kapasitesi (1/3 atm) ve solma noktası (15 atm) basınçlı tabla yöntemiyle, agregat stabilitesi Yoder tipi ıslak eleme aletiyle; kuru eleme rotar eleği, ıslak eleme 4,76 ; 2,00; 1,00 ve 0,25 mm elek açıklığına sahip bir seri elekten oluşan elek takımı kullanılarak (Demiralay, 1993), hidrolik iletkenlik sabit seviyeli ICW laboratuvar permeametri kullanılarak doymuş koşullarda (Hanay, 1990), organik madde yaş yakma yöntemiyle (Nelson ve Sommers, 1982), kation değişim kapasitesi Sodyum Asetat yöntemiyle, kireç Scheibler Kalsimetresi ile (Sağlam, 1994), tane yoğunluğu piknometre yöntemiyle (Blake ve Hartge, 1986) belirlenmiştir.

SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Farklı nem düzeyleri ve donma-çözülme döngülerinin (D-Ç), toprağın agregat stabilitesi (AS), ıslak ve kuru elemelerle belirlenmiş olan ortalama ağırlık çapı (IOAÇ ve KOAÇ), kütle yoğunluğu (KY), porozite (P), tarla kapasitesi (TK), solma noktası (SN), yarayışlı nem (YN) ve 2, 24 ve 48 saatlik sürelerdeki hidrolik iletkenlik değerleri (HI-2, HI-24 ve HI-48) üzerine etkileri varyans analizi ile değerlendirilmiştir. Belirlenen toprak-su parametrelerine ait ortalamalar ve

çoklu karşılaştırma testi sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Araştırmada, üç farklı nem düzeyinin agregat stabilitesi üzerindeki etkisi önemsiz, farklı sayıda donma-çözülme uygulamalarının agregat stabilitesi üzerindeki etkisi ise önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur. Agregat stabilitesi üzerine nem düzeyleri ile donma-çözülme uygulamalarının birlikte olan etkisinin de önemli ($P < 0.05$) olduğu saptanmıştır. Donma-çözülme sayısı artışıyla agregat stabilitesinde bir azalmanın olduğu belirlenmiştir (Tablo 2). Ortalamalar arasında yapılan çoklu karşılaştırma testinde, D_1 uygulaması D_4 ve D_5 'ten önemli derecede farklı bulunmuştur. Donma-çözülme sayısının artışıyla agregat stabilitesinde bir azalışa rağmen D_1 uygulamasında agregat stabilitesinin kontrole göre yüksek çıkması; az sayıda gerçekleşen donma-çözülmenin agregat stabilitesini olumlu yönde etkilediği şeklinde yorumlanabilir. Lehrsch (1998), donma-çözülme döngüsünde 1, 2 ve 4 defa tekrarlanan donma-çözülmenin agregat stabilitesinde bir artışa neden olduğunu ancak, fazla sayıda meydana gelen donma-çözülme olayının agregat stabilitesini zayıflattığı Staricka ve Benoit (1995) tarafından kaydedilmiştir.

Tablo 1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri
Table 1. Some physical and chemical properties of soil studied

Tane Büyüklük Dağılımı %			Farklı Tansiyonlarda Tutulan Nem Miktarları, P_w			Organik Madde %	CaCO ₃ %	KDK cmol / kg	P_p g/cm ³
Kum	Silt	Kil	0.01atm	0.33atm	0.65atm				
20	46	34	46,89	35,18	28,93	2,26	11	43,48	2,50

Tablo 2. Toprak-su parametrelerine ait ortalamalar ve çoklu karşılaştırma testi sonuçları
Table 2. Means and multiple comparison test values for soil-water parameters

Nem Düzeyi	AS %	IOAÇ mm	KOAÇ mm	KY g/cm ³	P %	TK P_w	SN P_w	YN P_w	HI-2 cm/h	HI-24 cm/h	HI-48 cm/h
------------	------	---------	---------	----------------------	-----	----------	----------	----------	-----------	------------	------------

N ₁	39,79	0,39	8,21 a	1,15 a	54,05 c	35,49 a	21,53	13,96 a	0,27 c	0,17 c	0,13 c
N ₂	37,25	0,38	5,50 b	1,10 b	56,16 b	34,56 b	21,40	13,16 b	0,56 b	0,42 b	0,39 b
N ₃	39,66	0,39	3,72 c	1,07 c	57,23 a	33,24 c	21,40	11,84 c	1,36 a	1,16 a	1,00 a
D-Ç											
D ₁	43,93 a*	0,41 a	7,31 a	1,14 a	54,44 b	35,03 a	20,84 c	14,19 a	0,34 c	0,22 c	0,23 b
D ₂	41,24 ab	0,39 ab	4,70 e	1,12 a	55,02 b	34,43 b	21,91 a	12,52 b	0,59 b	0,42 b	0,33 b
D ₃	38,32 abc	0,39 ab	5,25 d	1,08 b	56,67 a	34,49 b	21,70 a	12,79 b	0,89 a	0,77 a	0,65 a
D ₄	36,40 bc	0,38 bc	6,04 b	1,09 b	56,44 a	34,15 c	21,37 b	12,78 b	0,96 a	0,81 a	0,73 a
D ₅	34,62 c	0,36 c	5,75 c	1,09 b	56,49 a	34,05 c	21,39 b	12,66 b	0,87 a	0,70 a	0,57 a
Kontrol	41,40	0,30	4,83	1,14	55,47	35,18	20,90	14,28	0,20	0,11	0,08

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark önemsiz, farklı harfle gösterilen ortalamalar arasında fark ise önemlidir (P<0.05).

Üç farklı nem düzeyinin agregatların hava kuruşu durumunda elenmesi ile elde edilen ortalama ağırlık çapı üzerinde önemli olduğu (P<0.01) ancak, ıslak eleme ile belirlenen ortalama ağırlık çapı üzerinde önemli bir etkiye sahip olmadığı saptanmıştır. Farklı nem düzeylerinde belirlenen kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı değerleri birbirlerinden önemli düzeyde ayrılmışlardır (Tablo 2). Kuru elemeye ilişkin ortalama ağırlık çapı değerleri, nem düzeyinin yüksek olduğu örneklerde yüksek bulunmuştur. Bu durumun, yüksek nem düzeyinde donma-çözülme koşullarının toprak agregatlarını teksel duruma dönüştürmesinden kaynaklanmış olabileceği şeklinde değerlendirilebilir. Söz konusu oluşum ile ortaya çıkan teksel tanelerin kuruma süreci içinde yeniden sıkı bir şekilde düzenlenmesi mekaniksel etkilere karşı stabilitesi yüksek olan keseklerin meydana gelmesine neden olmuştur.

Farklı sayıdaki donma-çözülme uygulamalarının, agregatların kuru ve ıslak elenmesi ile belirlenen ortalama ağırlık çapları üzerinde önemli düzeyde (P<0.01) etkili olduğu saptanmıştır. Yapılan çoklu karşılaştırma testinde ıslak elemeye D₁, D₂ ve D₃ uygulamalarına ait ortalamalar D₅ uygulamasına ait ortalamadan, kuru elemeye ise tüm uygulamalar birbirlerinden önemli

düzeyde farklı bulunmuştur (Tablo 2). Artan sayıda donma-çözülme uygulamaları ıslak eleme ile saptanan ortalama ağırlık çapı değerlerinde bir azalmaya neden olmuştur. Bu durum, donma-çözülme sayısındaki artışın agregatların stabilitesi üzerinde azaltıcı bir etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Kuru elemeye ait değerler ise belli bir sıralamayı takip etmemiş, en büyük ortalama değer D₁ uygulamasında elde edilirken bunu D₄ uygulaması izlemiştir. Bu duruma, toprak nem düzeyinin veya nem düzeyi ile donma-çözülme uygulamaları arasındaki interaksyonun neden olduğu söylenebilir. Islak eleme ve kuru eleme ile saptanan ortalama ağırlık çapı değerlerinin genel olarak bir azalma eğilimi gösterdiği Staricka ve Benoit (1995) tarafından saptanmıştır.

Islak ve kuru elemelere ait ortalama ağırlık çaplarına ilişkin değerler kontrol değerleriyle karşılaştırıldığında ise farklı nemler ve donma-çözülme uygulamalarında genel olarak bir artışın olduğu söylenebilir (Tablo 2).

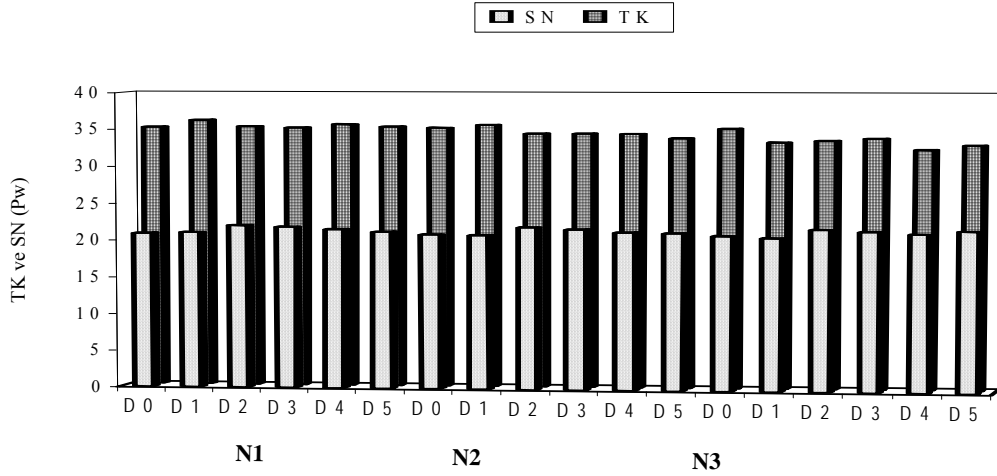
Araştırmada, üç farklı nem düzeyinin ve farklı sayıda uygulanan donma-çözülme döngülerinin kütle yoğunluğu ve porozite üzerindeki etkisi önemli (P<0.01) bulunmuştur. Kütle yoğunluğu ve porozite üzerine, nem düzeyleri ile donma-çözülme uygulamalarının arasındaki interaksyonun da

önemli ($P<0.05$) olduğu saptanmıştır. Bu durum, nem düzeylerindeki değişimin, farklı sayıdaki donma-çözülme uygulamaları ile birlikte primer ve sekonder tanelerin yeniden düzenlenmesiyle açıklanabilir. Nem düzeylerine ait ortalama değerler arasında yapılan çoklu karşılaştırma testinde, kütle yoğunluğu ve porozite değerlerine ait ortalamalar arasında önemli derecede fark saptanmıştır (Tablo 2). Nem tansiyonu düşük olan örneklerin kütle yoğunluğu değeri, nem tansiyonu yüksek olan örneklerin kütle yoğunluğu değerinden daha yüksek bulunmuştur. Bu durum, yüksek nem düzeyine sahip örneklerin donma-çözülme süreci içinde daha sıkı düzenlenmelerinden kaynaklanmış olabileceği şeklinde açıklanabilir.

Donma-çözülme uygulamalarına ait ortalama değerler arasında yapılan çoklu karşılaştırma testinde, kütle yoğunluğu ve porozite değerlerine ait ortalamalardan, D_1 ve D_2 uygulamaları aynı grupta yer alarak diğerlerinden farklı bulunmuştur (Tablo 2). Kütle yoğunluğu değerleri kontrole göre bir azalma ortaya koymuştur. Bu duruma muhtemelen ortamda yer alan agregatların büyüklük dağılımlarının neden olduğu söylenebilir. Radke ve Berry (1998), başlangıç kütle yoğunluğu 1.4 g/cm^3 olan kütlenin donma sonrası kütle yoğunluğunda bir azalmanın, başlangıç kütle yoğunluğu 1 g/cm^3 olan kütlenin ise donma sonrası kütle yoğunluğunda ise bir artışın olduğunu saptamışlardır.

N_1 , N_2 ve N_3 nemlerinde en büyük tarla kapasitesi değerleri sırasıyla D_1 , D_2 ve D_3 uygulamalarında, en büyük solma noktası değerleri de tüm nem düzeylerinde D_2 uygulamalarında belirlenmiştir (Şekil 1). Donma-çözülme, N_1D_1 , N_2D_1 uygulamaları dışında, tüm uygulamalarda kontrole göre (D_0) yararlı su miktarını azaltmıştır. Nem düzeyindeki azalmaya bağlı olarak yarayışlı nem miktarlarında azalma söz konusu olmuştur. En düşük yarayışlı nem miktarı N_3D_4 uygulamasında çıkmıştır.

Araştırmada, üç farklı nem düzeyinin ve farklı sayıda uygulanan donma-çözülme döngülerinin tarla kapasitesi ve yarayışlı nem üzerindeki etkisi önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. Solma noktası üzerinde nem düzeyinin etkisi önemsiz, donma-çözülme döngülerinin etkisi ise önemli ($P<0.01$) olarak tespit edilmiştir. Solma noktasına ilişkin nem düzeyi ile donma-çözülme döngüleri arasındaki interaksiyon da önemsiz olarak bulunmuştur. Nem düzeylerine ait ortalama değerler arasında yapılan çoklu karşılaştırma testinde, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerine ait ortalamaların kendi aralarında önemli derecede farklılıklar gösterdiği saptanmıştır (Tablo 2). Nem tansiyonunun yüksek olduğu örneklerde tarla kapasitesi ve yarayışlı nemin daha düşük olarak bulunması, donma-çözülme etkisi ile gözenek büyüklük dağılımında meydana gelen değişimden kaynaklanmış olabilir.



Şekil 1. Farklı nem düzeyleri ve donma-çözülme döngülerinde tarla kapasitesi ve solma noktası değerleri
Figure 1. Field capacity and wilting point at different moisture content and freezing-thawing cycles

Donma-çözülmenin hacimsel nem içeriğinde bir artışı kütle yoğunluğundaki azalma ile birlikte sağladığı Kay ve ark. (1985) tarafından kaydedilmiştir.

Hidrolik iletkenlik değerleri nem miktarı azalışına bağlı olarak artmış, zamanla (2, 24 ve 48 saatlik süreler için) azalmıştır. Donma-çözülme uygulamalarına bağlı olarak hidrolik iletkenlik değerleri en fazla D₃ veya D₄ uygulamalarında saptanmıştır (Şekil 2).

Araştırmada, üç farklı nem düzeyinin ve farklı sayıda uygulanan donma-çözülme işlemlerinin 2, 24 ve 48 saat sonunda belirlenen hidrolik iletkenlik değerleri üzerindeki etkisi önemli ($P < 0.01$) bulunmuştur. Hidrolik iletkenlik değerleri üzerine, nem düzeyleri ile donma-çözülme uygulamalarının arasındaki interaksiyo-nunda önemli ($P < 0.01$) olduğu saptanmıştır. Bu durum, farklı nem düzeylerindeki donma-çözülme uygulamalarının, agregat sabilitesi, gözenek büyüklük dağılımı ve gözeneklerin devamlılığını etkileyerek hidrolik iletkenlikte değişime neden olması ile açıklanabilir. Nem düzeylerine ait ortalama değerler arasında yapılan çoklu

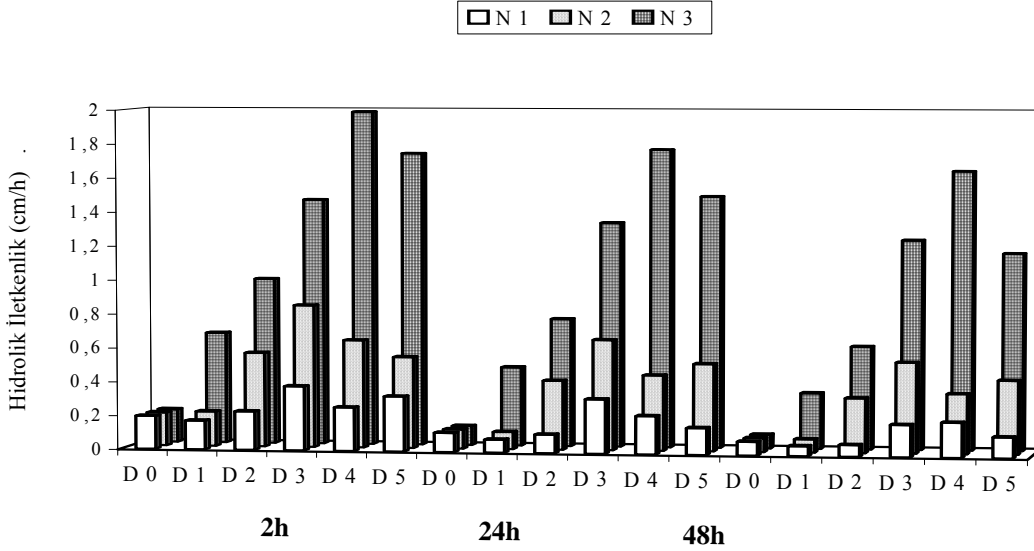
karşılaştırma testinde, ortalamalar arasında önemli derecede fark saptanmıştır. Nem tansiyonu düşük olan örneklerde her üç hidrolik iletkenlik değeri için elde edilen ölçüm sonuçları, en yüksek nem tansiyonu için ölçümlenen değerlerden daha düşük ancak kontrol değeriyle karşılaştırıldığında ise daha yüksek olarak saptanmıştır (Tablo 2).

Donma-çözülme uygulamalarına ait çoklu karşılaştırma testine göre, 2, 24 ve 48 saatlik hidrolik iletkenlik ölçümlerinde, D₁ ve D₂ uygulamaları, aynı grupta yer alan diğer uygulamalardan önemli derecede farklıdır. Donma-çözülme uygulamaları kontrole göre hidrolik iletkenlik değerlerini artırmıştır (Tablo 2). Bu artış donma-çözülme esnasında ortaya çıkan kaba gözeneklerin devamlılıklarını sürdürmesinden kaynaklanabilir. Benoit ve Bornstein (1970) tarafından yapılan çalışmada, donma-çözülme etkisiyle büyük agregatların parçalandığı ve hidrolik iletkenliğin azaldığı, ifade edilmiştir. Benoit (1973), 0.5 atm tansiyona eşdeğer nem içeren örneklerin -4°C donma sonrası hidrolik iletkenlik değerlerinde bir artışın olduğunu tespit etmiştir.

Sonuç olarak, donma-çözülme döngüsü içinde yer alan farklı nem düzeyleri agregat

stabilitesi, ıslak elemeye ait ortalama ağırlık çapı ve solma noktası değerleri üzerinde etkili

olmazken, kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, porozite, tarla



Şekil 2. Farklı nem düzeyleri ve donma-çözülme döngülerinde hidrolik iletkenlikler

Figure 2. Hydraulic conductivity at different moisture content and freezing-thawing cycles

kapasitesi, yarayışlı nem ve hidrolik iletkenlik değerleri üzerinde etkili olmuştur. Nem düzeyindeki azalma, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerini artırırken, kuru elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerini ise azaltmıştır. Farklı nem düzeylerine bağlı olarak donma-çözülme döngüleri, araştırmada değerlendirilen bütün toprak-su parametrelerini etkilemiştir. Donma-çözülme döngüsün-deki artışa bağlı olarak, agregat stabilitesi, ıslak elemeye ait ortalama ağırlık çapı, kütle yoğunluğu, tarla kapasitesi ve yarayışlı nem değerlerinde genel olarak bir azalış, porozite ve hidrolik iletkenlik değerlerinde ise genel olarak bir artış saptanmıştır.

KAYNAKLAR

Benoit, G.R., J. Bornstein, 1970. Freezing and Thawing Effects on Drainage. Soil Sci. Soc. Am.

J., 34: 551-557.

Benoit, G.R., 1973. Effect of Freeze-Thaw Cycles on Aggregate Stability and Hydraulic Conductivity of Three Soil Aggregate Sizes. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 37:3-5.

Benoit, G.R., 1991. Freezing-Drying Caused Changes in Soil Aggregates Mean Weight Diameter. Agronomy Abstract, Annual Meeting, 325.

Blake, G.R., K.H. Hartge, 1986. Particle Density in Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods (Ed. A, Klute). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.

Bullock, M.S., W.D. Kemper, S.D. Nelson, 1988. Soil Cohesion as Affected by Freezing, Water Content, Time and Tillage. Soil Sci. Soc. Am. J., 52: 770-776.

Demiralay, İ., 1977. Toprak Fiziği Ders Notları. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Toprak İlimi Böl., Erzurum, 66-110.

Demiralay, İ., 1993. Toprak Fiziksel Analizleri. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No: 143, Erzurum.

Edwards, L.M., 1991. The Effect of Alternate

- Freezing and Thawing on Aggregate Stability and Aggregate Size Distribution of Some Prince Edward Island Soils. *J. Soil Sci.*, 42: 193-204.
- Ergene, A., 1993. Toprak Biliminin Esasları. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayın No:267: 158-179.
- Formanek, G.E., D.K. McCool, R.I. Papendick, 1984. Freeze-Thaw and Consolidation Effects on Strength of a Wet Silt Loam. *Transactions of the ASAE*, 27:1749-1752.
- Hanay, A., 1990. Çöp Kompostunun Toprakların Bazı Yapısal Özel-likleri ve Toprak-Su İlişkilerine Olan Etkilerinin Ahır Gübresi İle Karşılaştırılması Üzerine Bir Araştırma (Doktora Tezi). Atatürk Üniv. Fen Bil. Ens., Erzurum.
- Hinman, W.C., F. Bisal, 1968. Alterations of Soil Structure Upon Freezing and Thawing and Subsequent Drying. *Can. J. Soil Sci.*, 48: 193-197.
- Kanber, R., 1997. Sulama. Çukurova Üniv. Ziraat Fak. Ders Kitapları Yayın No: 52, 158-168, 314-319.
- Kay, B.D., C.D. Grant, P.H. Groenevelt, 1985. Significance of Ground Freezing on Soil Bulk Density Under Zero Tillage. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 49: 973-978.
- Lehrsch, G.A., R.E. Sojka, D.L. Carter, P.M. Jolley, 1991. Freezing Effects on Aggregate Stability Affected by Texture, Mineralogy and Organic Matter. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55: 1401-1406.
- Lehrsch, G.A., 1998. Freeze-Thaw Cycles Increase Near-Surface Aggregate Stability. *Soil Science*, 163(1): 63-70.
- Mbagwu, J.S.C., P. Bazzoffi, 1989. Effect of Antecedent Matric Potential on the Stability of Soil Aggregates Subjected to Cycles Freezing and Thawing as Evaluated by Three Structural Indices. *Soil Technol.*, 2: 59-70.
- Mostaghimi, S., R.A. Young, A.R. Wilts, A.L. Kenimer, 1988. Effects of Frost Action on Soil Aggregate Stability. *Transactions of the ASAE*, 31(2): 435-439.
- Nelson, D.W., L.E. Sommers, 1982. Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter. In *Methods of Soil Analysis, Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (Ed. A, Klute). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Özdemir, N., M. Akgül, 1995. Donma ve Çözülmenin Toprağın Strüktürel Dayanıklılığı ve Erozyona Duyarlılığı Üzerine Etkisi. *Tr., J., Agriculture and Forestry*, 19: 429-435.
- Pikul, J.L. Jr., R.R. Allmaras, 1985. Hydraulic Potential in Unfrozen Soil in Response to Diurnal Freezing and Thawing of the Soil Surface. *Transactions of the ASAE*, 28:164-168.
- Radke, J.K., E.C. Berry, 1998. Soil Water and Solute Movement and Bulk Density Changes in Repacked Soil Columns as a Result of Freezing and Thawing Under Field Conditions. *Soil Science*, 163(8): 611-624.
- Richardson, S.J., 1976. Effect of Artificial Weathering Cycles on the Structural Stability of a Dispersed Silt Soil. *J. Soil Sci.*, 27: 287-294.
- Sağlam, T., 1994. Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. Trakya Üniv. Tekirdağ Ziraat Fak. Yayın No:189, Tekirdağ.
- Sönmez, K., 1994. Toprak Koruma. Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Yayınları No:169: 61.
- Staricka, J.A., G. R. Benoit, 1995. Freeze-Drying Effects on Wet and Dry Soil Aggregate Stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 59: 218-223.
- Voorhees, W.B., 1983. Relative Effectiveness of Tillage and Natural Forces in Alleviating Wheel-Induced Soil Compaction. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 47: 129-133.