

## **IV. DERLEMELER**



## Otlatılmaya Karşı Toprağın Dayanıklılığı

Doç. Dr. Koray SÖNMEZ

### ÖZET

*Toprağa ve üzerindeki bitki örtüsüne fazla zarar vermeden otlak alanlarının ne zaman ve ne derece otlatılması gerektiği konusu günümüzde de önemini korumaktadır. Otlak alanlarının erken ilkbaharda, diğer bir deyişle, toprak ıslakken otlatılması yüzey toprağının sıkışmasına ve balçıklaşmasına neden olmaktadır. Toprakların hayvanın ayak basıncına karşı gösterdikleri direnç, toprağın kümeleşme özelliğine, nem ve organik madde içeriğine, doğal yoğunluğa ve taban suyu derinliğine bağlı olarak değişmektedir.*

*İşlenen topraklar ile otlatılan toprakların strüktürel dayanıklılıklarını belirlemede değişik yöntemler uygulanmaktadır. Toprakları otlatılmaya karşı gösterdikleri direnç veya duyarlılık bakımından derecelendirmede, toprağın taşıma gücü, drenajın sağlanmadığı durumdaki makaslama kuvveti, giriş direnci ve plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranı gibi değerlerden yararlanılmaktadır. Otlatılan toprakların strüktürel dayanıklılığını en gerçekçi bir yaklaşımla ortaya koyacak yöntemin bilinmesi, en uygun toprak yönetiminin seçilmesine yardımcı olacaktır.*

### I. GİRİŞ

Bitkilere iyi bir tohum yatağı hazırlamada en etkin olan toprak işleme işlemlerinden biri de toprağın sürülmesidir. Başarılı bir sürüm işleminin temel ilkesi, toprağı uygun bir nem düzeyinde iken, diğer bir deyişle, tavadan sürmektir. Sürümden toprakta iyi bir kümeleşme elde etmede başarı sağlamak, toprağın kümeleşme özelliğine ve sürüm anındaki nem içeriğine bağ-

lıdır. Toprak nem içeriği belli sınırlar arasında olduğunda işlenirse, toprakta sürümden beklenen yararlar sağlanmış olur. Toprakta toprağa değişen bu sınırlar toprakta dağılıbilir kıvam yaratan su sınırlarıdır. Toprak dağılıbilir kıvamda iken sürülürse, toprakta iyi bir hava su ilişkisi elde edilir ve toprağı işlemek için daha az enerji gerekir. Toprak dağılıbilir kıvamın üstündeki

bir nem düzeyinde işlenirse, kuruyunca sertleşen iri kesekler oluşur. Bu durum uygun bir büyüme ortamı hazırlama yönünden şakıncalıdır. Toprak bu sınırların altındaki nem düzeyinde işlenirse bu kez çok parçalanır ve toz haline gelir. Bu da erozyonun yapacağı zararları hızlandırır. İşte nasilki tarla toprağının iyi bir büyüme ortamı hazırlamak için belli bir nem düzeyinde iken işlenmesi gerekir, otlak alanlarının da belli koşullar altında iken otlatılması zorunluluğu vardır. Böylelikle hem otlaktan beklenen verim elde edilmiş olur ve hem de toprağın fiziksel özellikleri fazlaca bozulmaz.

Ülkemizde otlak alanları çoğunlukla köylünün ortak malıdır. Bu bakımdan otlak alanlarının uğrayacağı zarar düşünülmezsizin ve eldeki otun tükenmesiyle hayvanlar erken ilkbaharda, eşdeğişle, ıslak dönemde otlak alanlarına salıverilmektedir. Bu dönem de toprağın fazla ıslak olması nedeniyle hayvan otlatılması sonucu söz konusu alanlar yoğun bir biçimde çiğnenme zararı ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Bu gerçek, "toprak ıslakken otlayan her hayvanın beş ağız vardır" sözüyle en iyi bir biçimde dile getirilmiştir. Yine ülkemizde hayvan sayısının giderek artması ve toprağın üretim gücüne bakılmaksızın otlak alanlarının bozularak tarla arazisine dönüştürülmesi, hayvanların bu alanlara erken bırakılmalarını ve aşırı otlatmayı bir bakıma zorunlu kılmaktadır. Gerek aşırı otlatma ve gerekse ıslak dönemde otlatma ile toprağın çiğnenerek sıkışması sonucu, (1) köklerin büyümesine karşı toprağın göstereceği mekaniksel direnç artar ve (2) gözeneklerin toprak içerisindeki dağılışı ve oranı değişir ve böylelikle hava su düzeni bozulur.

## 2. Otlayan Hayvanın Toprağa Yaptığı Basınç

Olgun bir sığır ağırlının yaklaşık olarak 500 kg ve toplam ayak alanının 300 Cm<sup>2</sup> olduğunu varsayarsak, bu durumda duran bir sığırın toprağa yaptığı basınç 1,7 kg/cm<sup>2</sup> olur. Yürüyen bir sığırın iki ayağının toprağa bastığı düşünülürse, bu durumda toprağa uygulanan basınç 3,4 kg/cm<sup>2</sup> olur. Genç ve küçük hayvanlarda bu basınç daha azdır, ama belli bir alana düşen ayak sayısı daha fazladır. Bu değerler, Frisian sığırları için 4 kg/cm<sup>2</sup> ve Jersey sığırları için 3,3 kg/cm<sup>2</sup> verilmektedir (Wind ve Schothorst, 1964) Sığırın otlarken sahip olduğu gerçek ayak basıncı, ağırlığın ayak alanına bölünmesinden elde edilen basınçtan bir derece daha fazladır. Bu durum, hayvanın yürürken ayaklarının toprağa tam düz olarak basamamasından ve belli bir hıza sahip olmasından ileri gelmektedir. Sığırların otlarken toprağa yapmış oldukları basınç traktörünkinden daha büyüktür. Traktörün toprağa uyguladığı basınç 1 kg/cm<sup>2</sup> civarındadır.

## 3. Otlatılan Toprakların Strüktürel Dayanıklılığının Belirlenmesi

Toprak strüktürünün bugüne değin çeşitli tanımları yapılmıştır. Toprak strüktürü, toprak profili içerisinde katı parçacıkların düzenlenişi olarak tanımlanabilir. Toprak strüktürünün ölçülmesinde şu iki özellik gözönüne alınır.

(1) Hava, su ve toprak parçacıklarının oransal olarak bulunuşu ve bunların toprak kütlesi içerisinde dağılışı. Hava, su ve toprak parçacıklarının toprak kütlesi içerisindeki oranını ölçme

yöntemleri oldukça geliştirilmiş ve güvenilir sonuçlar verebilecek duruma getirilmiştir. Bu yöntemler yardımıyla bir toprak iyi veya kötü strüktürlü olarak nitelendirilebilmektedir.

(2) Strüktürel dayanıklılık veya toprak parçacıklarının düzenlenişindeki değişmeye karşı gösterdikleri direncin derecesi. Strüktürel dayanıklılığın ölçümü ve değenlendirilmesi amacıyla geliştirilen yöntemler çoğu kez güvenilir ve kesin sonuçlar vermemektedir. Bu konuda önerilen yöntemlerden geçirgenlik oranı, sızma oranı ve ıslak eleme yöntemi hakkında aşağıda özlü olarak bilgi verilmiştir.

**Geçirgenlik (Permeability) Oranı:** Geçirgenlik, ortamın bir özelliği olup akışkana bağlı değildir. Geçirgenliğin boyutu uzunluğun karesidir. Toprağın hava geçirgenliğinin su geçirgenliğine oranı geçirgenlik oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu oran, toprak strüktürünün dayanıklılığının değerlendirilmesinde bir ölçüt olarak kullanılmaktadır. Havanın toprak strüktürü üzerine bir etkisi olmaması nedeniyle önce toprağın hava geçirgenliği ve sonrada aynı toprak örneğinin su geçirgenliği belirlenir. Polar bir sıvı olan su toprakla tepkimeye girerek strüktürün değişmesine neden olur ve bunun sonucu olarak toprağın su geçirgenliği azalır. Bu azalma şişme, gevşeme, çözülme, tekselleşme ve strüktürü bozucu diğer süreçler sonucu ortaya çıkar.

Geçirgenlik oranı boyutsuz bir sayı olup ıslanma sonucu toprak strüktürünün bozulma derecesini gösterir. Oran 1 olunca, toprak için bu değer söz konusu değildir, strüktürün bozulmadığı anlaşılır. Oranın 1 den büyük

olması strüktürün bozulduğunu gösterirse de 2 ile 3 olması toprağın strüktürünün dayanıklı olduğunu ortaya koyar. Kil ve değişebilir sodyum içeriği düşük olan topraklarda geçirgenlik oranı 2,5 bulunmuştur (Reeve, 1965). Fazlaca değişebilir sodyum içeren topraklarda damıtık su kullanılarak yapılan ölçümlerde söz konusu oran 50 000 gibi çok yüksek değerlere ulaşmıştır. Bu durumda toprak strüktürü dayanıksız olarak nitelendirilmiştir. Sonuç olarak, dayanıklı ile dayanıksız strüktür için verilen değerler arasında çok büyük bir değişim aralığı vardır. Bu nedenle söz konusu oran yardımıyla toprakların strüktürel dayanıklılıklarının birbirleriyle karşılaştırılması daha uygundur.

**Sızma (Infiltration) Oranı:** Mazurak ve birlikte çalışanlar (1955), toprağın fiziksel özellikleri üzerine bitkilerin yapabileceği etkileri ortaya koyabilmek amacıyla, toprağa su sızmaya başladıktan 10 dakika sonraki sızma hızının 120 dakika sonraki sızma hızına oranını bir ölçüt olarak ele almışlardır. Tripp çok ince kumlu tınında yapmış oldukları araştırmada, çiftlik gübresi verilmeksizin sürekli mısır yetiştirildiğinde sızma oranının 15, sürekli yonca yetiştirildiğinde ise 1,2 olduğunu saptamışlardır. Çeşitli bitkilerin nöbetleşmeye alındığı bu çalışmada, üç yıl üst üste yonca yetiştirilmesi durumunda söz konusu oranın 2,9 - 2,1 ve 1,6 olmak üzere giderek azaldığı görülmüştür. Eşdeğışle toprağın strüktürel dayanıklılığının giderek arttığı izlenmiştir. Sonuç olarak, bitkilerin toprağın fiziksel özellikleri üzerine etkilerini ortaya koymada sızma oranının iyi bir ölçüt olabileceği belirtilmiştir.

Sızma oranının 1 olması toprak strüktürünün çok dayanıklı olduğunu gösterir. Oranın büyümesi ile dayanıklılık azalır. Topraktaki, suya dayanıklı kümeler yüzdesi azaldıkça oran artar. Strüktürel dayanıklılığı düşük olan topraklarda 10 uncu dakikadaki sızma hızı 120 inci dakikadaki sızma hızından daha büyük olacağından söz konusu olan 1 in üzerinde çıkar. Çünkü bir sızma sürecinde sızma süresi ilerledikçe toprağın strüktürü bozulur ve sızma hızı giderek yavaşlar. İşte bu yavaşlayışın derecesi toprağın strüktürel dayanıklılığını yansıtır.

Kostiakov, sızma hızının (i) sızma süresi (t) ile değişimini ortaya koyan bir eşitlik,  $i = at^b$ , geliştirmiştir. Bu eşitlikleri kat sayı (a) ve üs (b) bir takım etmenlerin yanısıra toprağın özelliikle strüktürüne de bağlı olarak değişmektedir. Eşitlikteki katsayı, başlangıç sızma hızı ile ilgili olduğundan topraktaki çatlaklara ve iri gözeneklere göre değer kazanır. Buna karşın, üs, sızma hızının sızma süresi ilerlerken nasıl azaldığını gösterir. Bu nedenle söz konusu üs ıslanma sonucu toprak strüktüründeki değişimlere bağlıdır. Eşitlikle bu üs toprağın strüktürel dayanıklılığı ile ilgilidir. Houston kilinde bu üs 0,06 ve Cecil killi tınında 0,08 bulunmuştur. (Taylor ve Aschroft, 1972). Islanma ile şişen ve strüktürün kolayca bozulması ile gözenekleri çabucak kapanan topraklarda, görüldüğü gibi üssün değeri oldukça küçüktür. Strüktürel dayanıklılığı yüksek olan topraklarda bu üs 0,6 dan daha büyüktür. Aiken killi tınında bu üs 0,64 ve Crown kumlu tınında 0,7 olarak saptanmıştır (Taylor ve Aschroft, 1972). Sonuç olarak, bu eşitlikteki üssün kü-

çük veya büyük olması ile topraklar strüktürel dayanıklılıkları bakımından birbirleriyle karşılaştırılabilirler.

Islak Eleme (Wet sieving) Yöntemi: Toprağın strüktürel dayanıklılığını ölçme yöntemlerinden biri de ıslak eleme yöntemidir. Islak eleme yöntemi düşen yağmur damlalarının ve toprak üzerinden veya içerisinden hızla akan suyun etkisiyle topraktaki kümelerin kırılması ilkesine dayandırılmıştır. Bu nedenle ıslak eleme yöntemi, örtüsüz ve işlenen yüzey topraklarının strüktürel dayanıklılığını belirlemede kullanılmaktadır. İskoçya'da birçok çayır toprağının strüktürel dayanıklılığını ölçmek amacıyla ıslak eleme yöntemi uygulanmıştır. Ancak elde edilen sonuçlar yanıltıcı olmuştur. Çünkü incelenen topraklar çayır toprağıdır ve yağmur damlalarının çarpma etkilerine karşı iyi korunmuştur (Burke ve birlikte çalışanlar, 1964). Sonuç olarak ıslak eleme yöntemini, çayır topraklarının strüktürel dayanıklılığını belirlemede uygulamak sakıncalıdır.

Toprağın strüktürel dayanıklılığının bilinmesi, toprağın sulanabilirliğinin ortaya konulabilmesinde ve toprağın fiziksel koşulları üzerine çeşitli işlemlerin ve yönetimle ilgili uygulamaların etkilerinin belirlenebilmesinde yardımcı olmaktadır. Islak eleme yöntemi toprak strüktürünün değerlendirilmesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır. Söz konusu yöntemle su içerisindeki çalkalamadan sonra suya dayanıklı kümelerin büyüklük dağılımı ortaya konulmaktadır. Buna karşın geçirgenlik oranı yöntemi, toprağın gözenekleri içerisindeki akışla ilgilidir. Bu nedenle geçirgenlik oranı, topraktaki su ve gaz

akışını kapsayan fiziksel sorunlarla daha yakından ve doğrudan ilgilidir.

Otlayan hayvanların çayır topraklarının strüktürü üzerine yaptıkları etki, ıslak eleme yönteminin geliştirilmesinde temel alınan ilkeler bakımından ve ıslak eleme işleminin strüktür üzerine olan etkisinden önemli ölçüde ayrıcalık gösterir. Daha kesin bir değişle ikisi arasında hiç bir benzerlik yoktur. Bu nedenle otlatma koşulları altında toprak strüktürünün dayanıklılığının ölçülmesi ve değerlendirilmesi amacıyla bir takım değişik teknikler denenmiştir. Taşıma gücü, drenajın önlenildiği durumdaki makaslama kuvveti, giriş direnci ve plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranı bunlar arasında sayılabilir.

### 3.1. Taşıma Gücü

Taşıma gücü, toprak kütesinin parçalanması, kırılması ve kopması için gereken birim alana ortalama yük olarak tanımlanabilir. Taşıma gücünün bilinmesi toprak sıkışmasını değerlendirmek ve toprağın işlenebilirliğini ortaya koynak bakımından önemlidir. Toprağın taşıma gücü, nem ve organik madde içeriği, doğal yoğunluk ve taban suyu derinliği ile yakından ilgilidir. Örneğin sert ve kuru toprak, yumuşak ve suya doymun topraktan daha yüksek bir taşıma gücü gösterir.

Taşıma gücünün ölçülmesinde penetrometrelerden yararlanılmaktadır. Toprağın içerisine sokulucu düşey girişe karşı toprağın gösterdiği direnci ölçmeye yarayan alete penetrometre adı verilir. Penetrometreyi toprağa daldırmak için uygulanan yüke göre penetrasyon ölçümleri ikiye ayrılır (Freitag, 1968).

(1) Statik penetrasyon ölçümü: Penetrometre düzgün olarak, eşdeğişle değişmez bir hızla, toprak içerisine itilir. Düzgün bir hızda penetrasyon sağlamak için gerekli olan kuvvet, toprak kıvamının bir ölçüsü olarak değerlendirilir. Bu ölçüm amacıyla kullanılan penetrometre yardımıyla derinlikle sürekli ölçme yapılabilir.

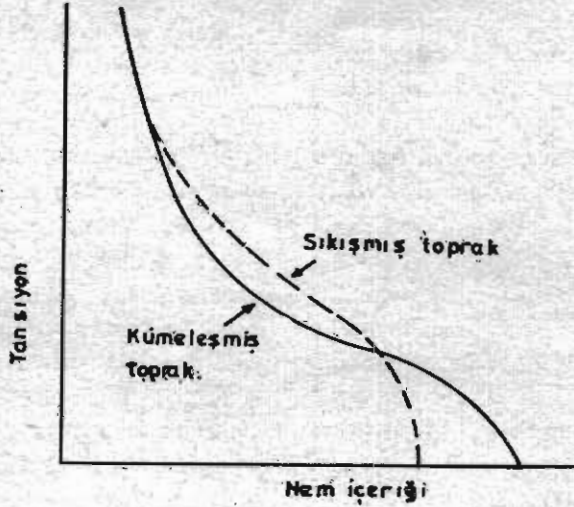
(2) Dinamik penetrasyon ölçümü: Bir yayda veya bilinen yükseklikteki bir ağırlıkta toplanan enerji yardımıyla penetrometre toprak içerisine daldırılır. Bilinen bir enerjinin uygulanması ile sağlanan penetrasyon derinliği, toprak kıvamını ortaya koymada bir ölçüt olarak alınabilir. Ancak, bu amaçla kullanılan penetrometrelerle toprak kıvamının derinlikle değişimini ölçmek oldukça güçtür.

*Organik madde ve taşıma gücü:* Bu yazıda, taşıma gücünü etkileyen toprak özellikleri, otlatmanın neden olduğu çığnenme ve sıkışma zararları ile bağlantılı olarak ele alınmıştır. Toprağın organik madde içeriği taşıma gücü yönünden oldukça önemlidir. Yapılan araştırmalara göre, organik madde artışı ile çığnenmeye karşı toprağın gösterdiği duyarlılık artmıştır. Kumlu topraklarda çığnenme zararı çok azdır. Buna karşın peat topraklarda söz konusu zarar çok sık görülür. Çok humuslu kumlu toprağın çayır verimi, organik maddeden yoksun mineral kumlu topraktan % 15 daha düşük bulunmuştur (Wind ve Schothorst, 1964).

*Toprak nemi ve taşıma gücü:* Toprağın sıkışması ile toplam gözenek hacmi ve özellikle kümeler arasındaki geniş gözeneklerin hacmi azalır. Sıkışmış bir toprakta orta büyüklükteki gözenekle-

rin hacmi biraz daha fazladır. Çünkü sıkışma ile geniş gözenekler orta büyüklükteki gözenekler haline gelirler. Sıkışma ile kümeler içi küçük gözenekler değişmeden kaldığından, sıkış-

mış ve sıkışmamış topraklara ilişkin nem tansiyon eğrileri yüksek tansiyonlarda birbirlerine benzerler. Bu durum Çizim 1 de gösterilmiştir. Yüksek tansiyonlarda su adsorpsiyonla top-



Çizim 1. Toprakta su tutulması üzerine strüktürün etkisi (Hillel, 1971).

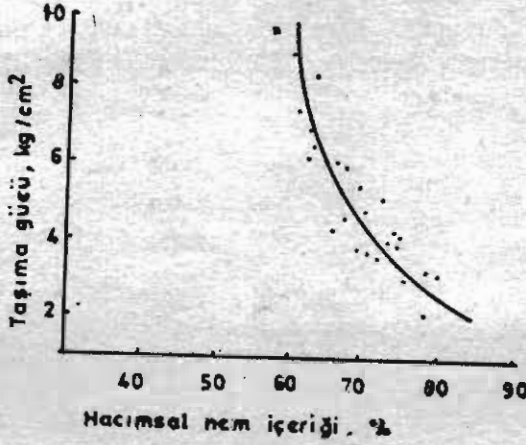
rakta tutulur. Bu nedenle toprakta suyun tutulması söz konusu tansiyonlarda strüktürden çok tekstüre bağlı kalır. Toprak strüktürü özellikle düşük tansiyonlarda nem tansiyon eğrisinin gidişine etki eder. Sıkışma ile toprak kümecikleri arasındaki geniş gözeneklerin hacmi azaldığından, doymun su içeriği ve düşük tansiyonların uygulanması ile toprağın su içeriğinin başlangıçtaki azalışı düşürülmüş olmaktadır.

Toprağın nem içeriğinin çignenme ve taşıma gücü yönünden önemi büyüktür. Kurak dönemlerde çignenme zararı söz konusu değildir. Killi ve organik maddesi yüksek olan topraklar, ıslak dönemde çignenme zararına karşı oldukça duyarlıdır. Çizim 2 de, % 40 in üzerinde organik madde içeren

bir takım çayır topraklarının taşıma gücü ile nem içerikleri arasındaki ilişki görülmektedir. Nem hacımsal olarak % 65 in üzerinde olduğunda, taşıma gücü 5 kg/cm<sup>2</sup> nin altına düşmekte ve çignenme zararı görülmektedir (Wind ve Schothorst, 1964). Yapılan bir çalışmada, toprakların taşıma gücü değerleri bir penetrometre yardımıyla ölçülmüştür. Bu araştırmadaki bulgulara göre, taşıma gücü 5 kg/cm<sup>2</sup> den düşük olan çayır arazisi kötü bir biçimde çignenmiştir. Taşıma gücü 5 ile 7 kg/cm<sup>2</sup> arasında olduğunda çignenme zararı daha azdır. Bu değer 7 kg/cm<sup>2</sup> veya daha yüksek olduğunda ise çayırlar otlatılmaya karşı dayanıklıdır (Wind ve Schothorst, 1964).

*Doğal yoğunluk ve taşıma gücü:* Toprağın taşıma gücü büyük ölçüde





Çizim 2. Tarlada belirlenen taşıma gücü ile nem içeriği arasındaki ilişki (Wind ve Schothorst, 1964).

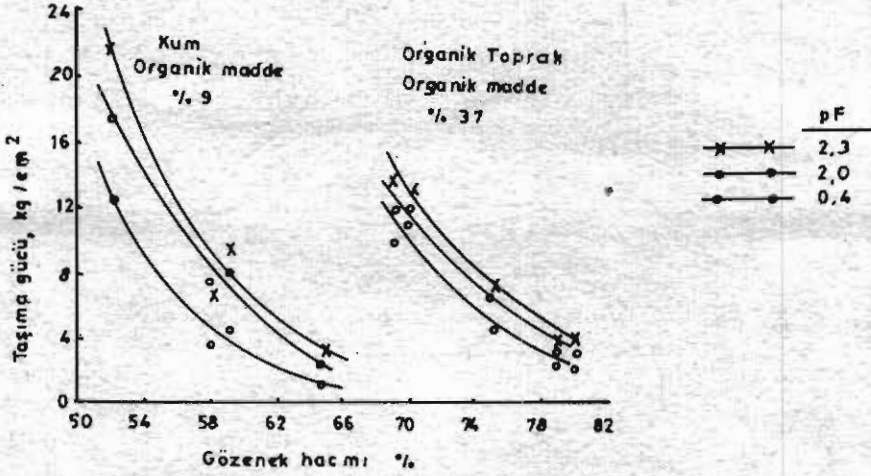
yüzey katmanının doğal yoğunluğuna bağlıdır. Otlama süresince toprağın taşıma gücünün sığırın ayak basıncına eşit olmasına değin sıkışma ile doğal yoğunluk artar. Islak koşullarda çoğu topraklar yeterli bir taşıma gücüne erişinceye değin sıkıştırılamazlar. Çünkü, toprak suya doğun olduğunda daha ileri bir sıkışma söz konusu olamaz. Bu durumda çiğnenme zararı ortaya çıkar. Gradwell (1956), en ıslak koşullarda en yüksek sıkışmanın olamayacağını gözlemiştir. Daha ileri bir sıkışma için su topraktan uzaklaşmalıdır. Bu uzaklaşma süresi, sığırın bir adımının toprak üzerinde kalma süresinden daha uzun olmaktadır.

Wind ve Schothorst (1964), taşıma gücü ile gözenek hacmi arasındaki ilişkiyi araştırmak amacıyla bir laboratuvar çalışması yapmışlardır. Araştırmacılara göre tarlada gözenek hacmi bakımından yeterli bir değişim bulmak ve organik madde ile nem içeriğini belli sınırlar arasında tutmak olanaksızdır. Bu araştırmacılar, organik maddesi sıfır

ile % 92 arasında olan sekiz topraktan çok gevşek ile çok yoğun arasında değişen altı yapay toprak örneği hazırlamışlardır. Her örneğin (100 cm<sup>3</sup>) nem tansiyon eğrisini, 2,5 cm ile 200 cm arasında değişen çeşitli tansiyonlar uygulayarak elde etmişlerdir. Örneklerin 2,5 - 100 ve 200 cm lik tansiyonlardaki (pF 0,4 - 2,0 ve 2,3) taşıma güçlerini 1 cm<sup>2</sup> lik bir mil yardımıyla ölçmüşlerdir. Bir kumlu ve bir de organik toprak için elde edilen taşıma gücü, gözenek hacmi ve nem tansiyonu arasındaki ilişkiler Çizim 3 de verilmiştir. Çizimden görüleceği üzere gözenek hacmi düştükçe, eşdeğışle hacim ağırlığı arttıkça, kumlu toprak hem ıslak ve hemde kurak koşullarda yeterli bir taşıma gücü göstermektedir. Çok gevşek olan toprağın taşıma gücü de çok düşük bulunmuştur. Diğer topraklarda da buna benzer bulgular elde edilmiştir. Sonuç olarak, yüksek doğal yoğunluklu çayır toprakları çiğnenme ile fazlaca zarar görmezler ve yüksek taşıma gücü yüksek doğal yoğunluk-

tan ileri gelir. Toprağın yeterli bir taşıma gücü göstermesi durumunda hava içeriği çok düşük olmaktadır. Eşdeğişle, havalanma ve taşıma gücü birbirleriyle

çelişir durumdadır. Bu uraştırmada ele alınan tüm toprakların yeterli bir taşıma gücü gösterdiklerinde hava içerikleri % 5 den az bulunmuştur.



Çizim 3. İki toprağın gözenek hacmi ile ilgili olarak laboratuvarında okunan taşıma gücü (Wind ve Sclenhorst, 1964).

Gevşek toprak üzerinde hayvan otlatılınca toprak kolayca sıkışır. Toprağın doğal yoğunluğu ve bununla ilişkili olarak taşıma gücü hayvanın uyguladığı ayak basıncına eşit oluncaya değin artar. Kurak koşullarda yeterli bir taşıma gücüne az bir sıkışma sonucunda erişilebilir. Bu durumdaki doğal yoğunluk, ıslak koşullardaki otlatmalar için yeterli bir taşıma gücü sağlayamaz. Böylelikle, ıslak koşullarda bile taşıma gücü 5 kg/cm<sup>2</sup> ye erişinceye değin daha ileri bir sıkışma görülecektir. Ama yeterli taşıma gücüne erişmeden önce toprak suya doymun durma gelebilir. Örneğın 100 cm<sup>2</sup> lük bir toprakta 50 cm<sup>3</sup> su bulunsun. Bu durumda toprağın nem içeriği % 50 dir. Toprak 80 cm<sup>3</sup> e sıkıştırılırsa nem içeriği % 62,5 a yükselir. Sıkıştırma işlemi sürdürülürse gözenek hacmi

ve nem içeriği % 71,4 olur ve böylelikle toprak suya doymun duruma gelir. Toprağın taşıma gücü daha fazla artırılmadığında hayvanın ayakları altındaki toprak çığnenme ile yanlara doğru itilir ve derinliği 10 cm ye varan bir takım çukurluklar oluşur. Yüzey toprağının bozulması ve yer değıştirmesi sonucu balçıklaşma görülür. Bu olay dayanıklı olmayan bir strüktür ve gevşek bir yüzey toprağı oluşturur. Toprak bir kez çığnenme zararına uğrayınca, daha sonraki çığnenmelere karşı çok daha duyarlı bir duruma gelir.

Sonuç olarak, bir toprağın taşıma gücü, onun özellikle doğal yoğunluğuna ve nem içeriğine bağıdır. Toprağın sıkışma derecesi onun nem içeriği ile yakından ilgilidir. Özetle, taşı-

ma gücü, nem içeriği ve doğal yoğunluk birbirleriyle karşılıklı sıkı ilişkileri olan toprak özellikleridir.

*Taban suyu derinliği ve taşıma gücü:* Yağışın buharlaşmadan fazla olduğu dönemlerde yüzey toprağının nem içeriği tarla kapasitesine eşittir veya biraz daha yüksektir. Taban suyu oldukça derinde ise tarla kapasitesi yaklaşık olarak 150 cm lik bir tansiyondaki nemdir. Çoğu humuslu ve peat topraklarda taban suyu düzeyi önemli derecede yüzeye yakındır. Bu durumlarda tarla kapasitesinin nem tansiyonu, cm olarak, taban suyunun derinliğine eşittir. Humuslu ve peat toprakların taban suyu derinliği 100 - 150 cm civarında olmalıdır. Taban suyunun daha az derinde olması durumunda, ıslak aylarda otlatma ile çiğnenme zararı ortaya çıkmaktadır.

Büzülme ve dönüşümsüz kuruma tehlikesi nedeniyle humuslu ve peat topraklarda taban suyu düzeyi yüzeye yakın tutulur. Yapılan bir çalışmada (Wind ve Schothorst, 1964), taban suyu düzeyi 150 cm ye indirildiğinde söz konusu toprakların ıslak dönem boyunca iyi bir taşıma gücü gösterdikleri gözlenmiştir. Buna karşın, iki çayır toprağında taban suyu yaklaşık olarak 70 cm derinlikte olduğunda, ıslak dönemde, yeterli bir taşıma gücü saptanmıştır ve taban suyu düzeyinin daha yükseğe çıkması durumunda bile taşıma gücü 5 kg/cm<sup>2</sup> nin altına düşmemiştir. Bu araştırmacılar, ıslak dönemdeki otlatma süresince çiğnenme zararından kaçınmak için peat topraklarda taban suyu düzeyinin toprak yüzeyinden en az 60 cm derinlikte olmasını önermişlerdir.

Wind ve Schothorst'un (1964) toprak özelliklerinin otlatılmaya elverişliliği ve otlatmanın toprak özellikleri üzerine etkisi konusunda yaptıkları araştırmadan şu sonuçlar çıkarılabilir.

(1) Peat ve peatli topraklar, doğal yoğunlukları oldukça yüksek olduğunda, ıslak dönemde otlatma için yeterli bir taşıma gücü gösterirler. Taban suyu düzeyi yeteri bir derinlikte tutulursa, gerekli olan sıkışma hayvan otlatılmasıyla sağlanabilir.

(2) Toprağın gözenek hacmi düşük olduğunda taşıma gücü yüksektir. Düşük gözenek hacmi havalanma yetersizliği nedeniyle çayırın gelişmesi yönünden uygun değildir. Sıkışmaya konu olan kesim üst 5 cm lik katmandır ve gazlar difüzyonla bu katmanı geçme durumundadır. Sürekli çayırın yüzlek köklü olmaları, üst katmanın sıkışmasının neden olduğu yetersiz havalanmadan ileri gelebilir. Çayırın büyümesi ve otlatma için istenen koşullar her ikisi için de çoğu kez uygun durumda olmayabilir. Taşıma gücünün sürekli olarak yeterli olduğu durumlarda havalanma kısıtlıdır. Büyüme koşullarının en uygun düzeyde olduğu durumlarda ise, o koşulları bozmadan otlatma yapmak olanaksızdır.

(3) Havalanma ve taşıma gücü arasındaki denge düzeyi yapay yollarla artırılabilir. Örneğin Hollanda'da peat topraklar ince bir kaba kum katmanı ile örtülmektedir. Bu katman çok yüksek bir taşıma gücünün yanısıra yeterli bir hava boşluğuna sahiptir. Söz konusu katmanın altındaki peatin çok güç sıkışması nedeniyle toprakta yüksek bir gözenek hacmi korunmuş olmaktadır. Diğer bir çözüm yoluda, sığırın toprağa bastığı yüzeyi artırmak olabilir. Ayak

alanın iki katına çıkarmakla, eşdeğişle basancı yarıya indirmekle, özellikle üst toprak katmanının daha az sıkışması sağlanabilir. Bu konuda geliştirilecek olan geniş sığır ayakkabıları ucuz ve yeterince dayanıklı olarak yapılabilirse, yukarıda belirtilen zararlar bir ölçüde azaltılabilir.

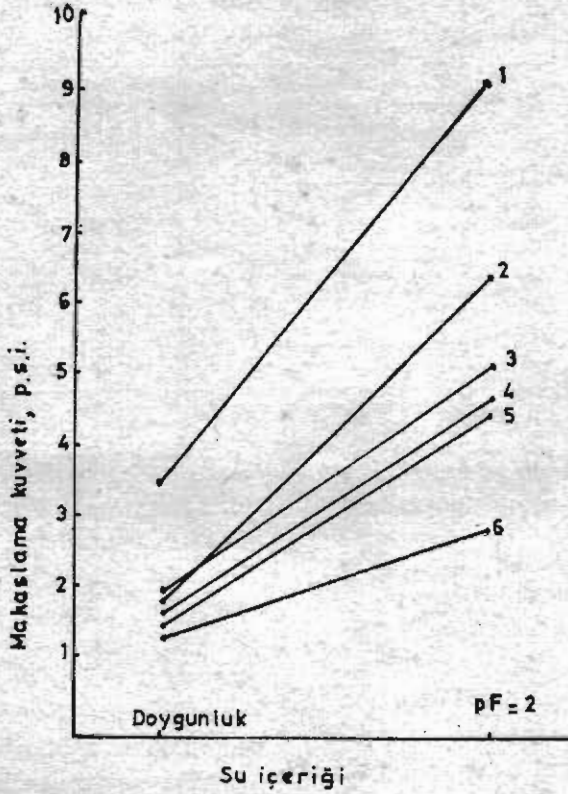
### 3.2. Drenajın Önlediği Durumdaki Makaslama Kuvveti

Hayvan otlatma toprağın bir takım özellikleri üzerine kötü etkiler yapmaktadır. Toprağın bu bozucu etkilere karşı gösterdiği direnç onun kendine özgü kuvvetine, eşdeğişle dayanma gücüne bağlıdır. Toprağın zayıf olduğu ölçüde uğrayacağı zarar fazladır. Bu gerçeğin ışığı altında, toprağın otlatma koşullarındaki strüktürel dayanıklılığını ortaya koymada drenajın sağlanmadığı durumdaki makaslama kuvvetinin bir ölçüt olabileceği düşünülmüştür. Makaslama kuvveti değerlerinin toprakları strüktürel dayanıklılıkları bakımından derecelendirmede yardımcı olacağı ileri sürülmüştür. Buna göre en yüksek makaslama kuvveti gösteren toprak en dayanıklıdır. Toprağın makaslama kuvveti ve dolayısıyla strüktürel dayanıklılığı, içerdiği nem ile yakından ilgilidir. Otlatmanın toprağın strüktürü üzerine yaptığı zarar, otlayan hayvanların ayaklarını toprağa aniden basmalarıyla ortaya çıkmaktadır. Bu zarar, toprağın nem içeriğinin plastiklik sınırından fazla olması durumunda belirginleşmektedir.

Burke ve birlikte çalışanlar (1964), drenajın sağlanmadığı koşullardaki makaslama kuvveti değerlerinin, toprakların otlatılma zararlarına karşı gösterdiği direncin bir ölçüsü olup olamayacağını araştırmak amacıyla otlatma zararına

uğradığı bilinen 6 İrlanda toprağını seçmişlerdir. Bu topraklarda nem tan-siyonu (doymunlukta ve pF 2 de) ile drenajın sağlanmadığı koşullardaki makaslama kuvveti arasında elde edilen ilişki Çizim 4 de verilmiştir. Bu çizimden anlaşılacağı üzere 1 nolu toprak pF 2 de en yüksek makaslama kuvveti göstermektedir ve dolayısıyla en dayanıklı olandır. Ancak söz konusu toprağa ilişkin makaslama kuvveti 9,2 p.s.i. (0,65 kg/cm<sup>2</sup>) dir ve bu değer de oldukça düşüktür. Buna göre, bu araştırmada ele alınan tüm topraklar tarla kapasitesinde iken veya daha ıslakken otlatılmaya karşı dayanıklı değillerdir. Bu araştırmada elde edilen bulgular, strüktürel dayanıklılığın değerlendirilmesi amacıyla önerilen plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranı (Boekel oranı) ile de karşılaştırılmıştır. Topraklar strüktürel dayanıklılıkları bakımından sıraya konulduğunda, Çizelge 1 den görüleceği üzere, her iki yöntemle göre aynı sıralama ortaya çıkmaktadır. Ancak, makaslama kuvveti değerleri diğerlerinden daha geniş bir dağılım göstermektedir. Bu durum, makaslama kuvveti ölçümüne dayanan yöntemle plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranından daha güvenilir olduğunu ortaya koymaktadır. Yine ıslak eleme yönteminin uygulanması sonucu strüktürel dayanıklılığı çok yüksek bulunan bir takım toprakların, otlatma koşulları altında çok dayanıksız olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak, makaslama kuvvetinin ölçümüne dayanan yöntem, çayır topraklarını strüktürel dayanıklılık bakımından karşılaştırılarda belli bir üstünlük göstermektedir.

İrlanda'da birçok çayır toprağı plastiklik sınırında veya üzerinde nem



Çizim 4. Toprakların doyguntluk ve tarla kapasitesinde drenajın önlendiği durumdaki makaslama kuvveti (Burke et al, 1964).

içerdiğinde kolayca bozulmakta ve strüktürel değişime uğramaktadır. Sık sık düşen yağışlar nedeniyle bu topraklar uzun bir süre tarla kapasitesinde bulunmaktadırlar. Bir toprağın tarla kapasitesindeki nem içeriği plastiklik sınırından fazla ise bu toprak yağışın sık olarak düştüğü koşullarda dayanıksızdır. Yeterli drenajın sağlanması toprağın tarla kapasitesine çok çabucak erişmesine yardım eder, ama nemin plastiklik sınırının altına düşmesi veya toprağın kuruması yalnız buharlaşma ve terleme ile sağlanabilir. Tarla kapasitesi ile plastiklik sınırı arasında

tutulan nem buharlaşma ve terleme ile topraktan uzaklaşır. Bu uzaklaşmanın hızı, toprağın ıslandıktan sonra dayanıklı duruma gelmesi için gerekli olan süreyi belirler. Tarla kapasitesi ile plastiklik sınırı arasındaki nem farkı büyüdükçe toprağın dayanıklı olarak kalma süresi kısalmır. Buna göre, 6 nolu toprağın çığneme zararına 1 nolu topraktan daha fazla konu olduğu söylenebilir. Bu iki sınır arasındaki nem farkı 6 nolu toprakta % 17 (47-30) ve 1 nolu toprakta 3 % ((38-35) dür. Sonuç olarak, toprağın nem içeriği tarla kapasitesi ile plastiklik sınırı arasında iken oluşa-

Çizelge 1. Toprakların doyumluk, tarla kapasitesi, plastiklik sınırı ve drenajın sağlanmadığı koşullardaki makaslama kuvveti değerleri (Burke et al, 1964).

Toprak no.	Doygunluk	Tarla kapasitesi (pF 2,0)	Plastiklik sınırı	Makaslama kuvveti (pF 2,0) p.s.i.	Plastiklik sınırı
					Tarla kapasitesi
1	50	38	35	9,2	0,92
2	80	65	44	6,4	0,68
3	82	72	47	5,1	0,65
4	59	47	30	4,6	0,64
5	113	97	54	4,4	0,56
6	182	147	Plastik değil	2,8	—

çak çığnenme zararının derecesi, bu koşullar altında toprağın göstereceği makaslama kuvvetine bağlıdır

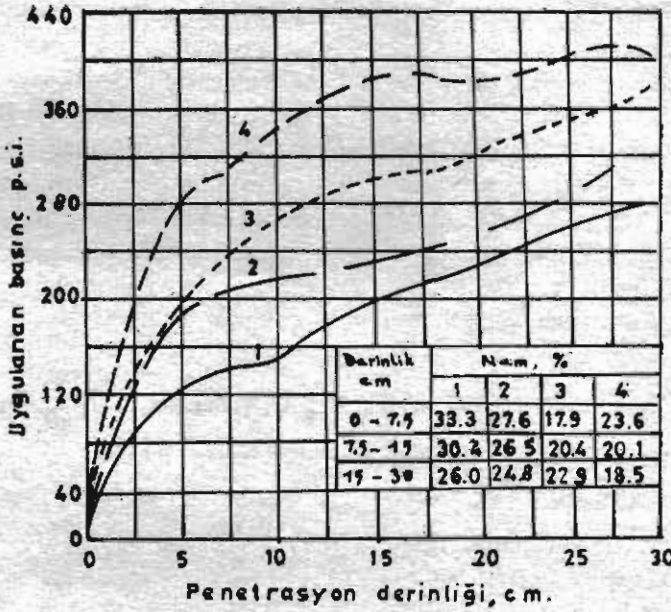
### 3.3. Penetrasyon Direnci

Islak koşullarda çayırların yoğun bir biçimde otlatılması yüzey toprağının sıkışmasına ve balçıklaşmasına neden olmaktadır. Toprakların balçıklaşmaya karşı gösterdikleri duyarlılık topraktan toprağa önemli derecede ayrıcalık gösterir. Toprakların balçıklaşmaya karşı duyarlılığının bilinmesi, en uygun toprak yönetiminin uygulanmasını ve böylelikle balçıklaşma zararının azaltılmasını sağlar.

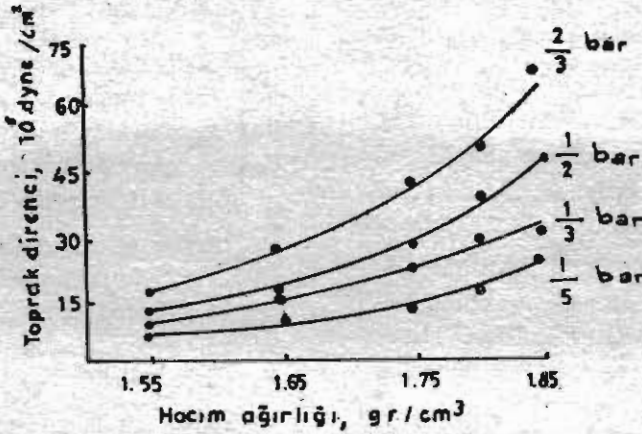
Hayvan otlatmanın yüzey toprağı üzerine olan zararlı etkisine karşı toprağın gösterdiği duyarlılığı ortaya koymada penetrasyon ölçümlerinden yararlanılmaktadır. Bu ölçümler yardımıyla toprakların balçıklaşmaya karşı duyarlılıkları oransal olarak ortaya konulabilmektedir. Penetrasyona karşı toprakların göstermiş oldukları direnç veya penetrasyon derinliği, toprağın hacim ağırlığı ve nem içeriği ile yakından ilgilidir. Çizim 5 den görüleceği üzere, nem içeriğinin azalması ile toprağın direnci hızla artmaktadır. Toprak

nemi, penetrasyona etkileyen başat etmendir, ama bu ikisi arasında yalın bir ilişki bulunamamıştır. Yapılan bir çalışmada, yapay olarak hazırlanan topraklarda, toprağın gösterdiği direnç ile nem tansiyonu ve hacim ağırlığı arasında Çizim 6 da verilen ilişki elde edilmiştir. Bu çizimden anlaşılacağı üzere, hacim ağırlığı ve nem tansiyonu arttıkça toprağın ölçülen direnci de artmaktadır

Gradwell (1974), çayır topraklarının balçıklaşmaya karşı oransal duyarlılıklarını ölçmek ve bu konuda tarla gözlemleri ile iyi uyum gösteren testi seçmek amacıyla 6 Yeni Zelanda toprağını ele almıştır. Otlatılan çayırlarda üst yüzeyleriyle birlikte 4 cm derinlikten örnekleme yapmıştır. Bu bozulmamış toprak örnekleri üzerine iki ayrı test uygulamıştır. Testlerden birinde, örnekler suya doymun duruma getirilmiş ve doyumluk ile tarla kapasitesi arasında değişen tansiyonlarla dengeye getirilmek üzere drene edilmişlerdir. Her tansiyonda, bozulmamış örneklerin üst yüzeylerinin direnci 8 mm çapındaki bir statik penetrometre ile birçok noktada ölçülmüştür. İkincisinde ise, örnekler suya doymun duruma geti-



Çizim 5. Toprak neminin penetrometre değerlerine etkisi (Baver, 1956).



Çizim 6. Toprağın bir statik penetrometre ile ölçülen direnci üzerine nem tansiyonu ve hacim ağırlığının etkisi (Taylor ve Gardner, 1963).

rılmışler ve sonra 10 cm lik bir tansiyon ile dengeye getirilmek üzere drene edilmişlerdir. Her bozulmamış toprak örneğinin üst yüzeyine eşit olarak dağılmış dokuz noktaya, çapı 3,8 cm olan silindirik bir mil yardımıyla 3,3 kg/

cm<sup>2</sup> lik bir basınç uygulanmıştır. Bu basınç vuruş yapılmaksızın uygulanmış ve 1 dakika toprak üzerinde tutulmuştur. Milin toprak içerisine girme derinliği, ilk 4 uygulamanın ortalaması olarak alınmıştır. Elli cm lik

tansiyonda örneklerdeki havanın hacmi "geniş gözenekler" ve 200 cm lik tansiyondaki nem içeriği de tarla kapasitesi olarak benimsenmiştir. Bu araştırmada, toprakların tarla kapasitesinde plastik bozulmaya karşı gösterdikleri direnci ortaya koymada, plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranından da yararlanılmıştır. Sonuç olarak, toprağın ıslakken penetrasyona direnci ve

plastiklik sınırının tarla kapasitesine oranı otlatma koşulları altında çok fazla değişmektedir. Söz konusu bu oran ve penetrasyon testleri toprakları karşılaştırmada yararlı olabilirler. Balçıklaşmaya karşı toprakların gösterdikleri direnç, ıslak örneklerin laboratuvarında taklit edilen çığnenmeden sonra arta kalan geniş gözeneklerin miktarı ile daha iyi bir biçimde ortaya konulabilir.

### YARARLANILAN KAYNAKLAR

Baver, L. D. (1956) Soil physics. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Burke, W., J. Galvin and L. Galvin (1964) Measurements of structure stability of pasture soils, Trans. 8th Int. Congr. Soil Sci. Bucharest, 2: 581-586

Freitag, D. R. (1968) Penetration tests for soil measurements. Trans. of the ASAE, 1: 750-753.

Gradwell, M. (1956) Effects of animal treading on a wet alluvial soil under pasture. Proc. N. Z. Soc. Soil Sci. Soc., 2: 37-39.

Gradwell, M. W. (1974) Laboratory test methods for the structural stabilities of soils under grazing. Trans. 10 th Int. Congr. Soil Sci. Moscow, 1: 341-349.

Hillel, D. (1971) Soil and water: Physical principles and processes. Academic Press, New York.

Mazurak, A. P., H. R. Cospes and H. F. Rhoades (1955) Rate of wa-

ter entry into an irrigated chestnut soil as affected by 39 years of cropping and manurial practices. Agron. Journal, 47: 490-493.

Reeve, R. C. (1965) Air-to - water permeability ratio. In: C. A. Black (ed.) Methods of soil analysis. Part 1, Agronomy 9: 520-531, Amer. Soc. Agron. Madison, Wisconsin.

Taylor, H. M. and H. R. Gardner (1963) Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content and strenght of soil. Soil Sci. 96: 153-156.

Taylor, S. A. and G. L. Ashcroft (1972) Physical edaphology: The physics of irrigated and nonirrigated soils. W. H. Freeman and Company, San Francisco.

Wind, G. P. and C. J. Schothorst (1964) The influence of soil properties on suitability for grazing and of grazing on soil properties. Trans. 8 th Int. Congr. Soil Sci. Bucharest, 2: 571580.