

Toprak Sıkışması ve Tarımsal Açıdan Önemi

Ekrem Lütfi AKSAKAL

Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, 25240 Erzurum (ekremaksakal@hotmail.com)

Geliş Tarihi : 17.11.2003

ÖZET: Topraklardaki hacimsel değişim, ıslanma-kuruma gibi doğal olaylar sırasında ortaya çıkan iç kuvvetlerle veya toprak işleme ve yoğun makine kullanımı gibi mekaniksel dış kuvvetlerle meydana gelmektedir. Toprak fiziksel koşullarının uygun olmaması; toprak suyu, havası, sıcaklığı ve çimlenme açısından olumsuz bir etki meydana getirmektedir. Bu etki, kök gelişimi ve sürgün çıkışına karşı mekanik bir engellemeye neden olmaktadır. Toprak ortamında mekanik engellemeye neden olan en önemli faktör kabuk tabakası gibi toprak yüzeyinde ve pulluk tabanı gibi işleme derinliği altında ortaya çıkan toprak sıkışmasıdır. Tarım tekniklerinin bilinçsizce kullanılması, toprakların organik madde bakımından giderek yoksullaşması, strüktürel yapının ve agregasyonun bozulması yapısal degradasyona uğraması, toprak sıkışabilirliğini ve yüzeyde kabuk tabakası oluşumunu arttırmaktadır. Bunun doğal bir sonucu olarak toprakların üretkenlik potansiyelleri önemli ölçüde azalmaktadır.

Anahtar kelimeler: Toprak sıkışması, sıkışma tipleri, sıkışmanın etkileri.

Soil Compaction and Its Importance for Agriculture

ABSTRACT: Volumetric changes in soils occur either by inner forces (natural processes) such as wetting-drying or by outer forces (mechanical forces) including soil tillage and the use of heavy-machines. Unproper soil physical properties affect soil water, air, temperature and seeding negatively, and also form mechanical resistance against root development and seed emergence. One of the most important factor causing mechanical resistance in soil is soil compaction due to crust formation in soil surface or hard-pan in bottom of tillage depth. Misuse of agricultural practices, low organic matter in soil, and soil structural degradation increase the risk of crusting and compaction, which result in low productivity in soils.

Key words: Soil compaction, compaction types, effects of compaction.

GİRİŞ

Toprak sıkışması, toprağın birçok özelliğini etkileyen önemli bir faktör olup, dinamik bir yük veya basınç altında toprak tanelerinin tertiplenme tarzının bozulması birbirine daha yakın bir şekilde yeniden tertiplenmeleri suretiyle porozite ile boşluk oranının azalması ve toprak hacim ağırlığının artması şeklinde tanımlanmaktadır (Demiralay, 1977; Allmaras vd., 1993; Swan vd., 1994). Toprak tanelerinin birbirlerine daha yakın yerleşmelerinde yağmur damlalarının toprağa çarpma etkisi, toprak işleme, ekim ve hasat alet ve makineleri ile çiftlik hayvanlarının toprak üzerindeki hareketliliğinden ileri gelen kuvvetler etkilidir.

Sıkışma derecesi, bu alet ve makineler ile toprağın özelliklerine bağlıdır. Alet ve makinelerin ağır veya hafif, toprağın kuru veya nemli, kaba veya ince bünyeli olması, toprak işleme alet ve makinelerinin toprağı işleme tarzı ve etki süresi toprak sıkışmasını etkileyen faktörlerdir.

Toprak sıkışması bitkisel üretimde bitkinin gelişimini engelleyen fiziksel bir etmendir. Yapılan çalışmalar, 80 kPa ve üzerindeki toprak sıkışıklığının bitkilerde kök gelişimini engellediğini ortaya çıkarmıştır (Bowen ve Coble, 1967; Okursoy, 1992). Godwin (1990)'a göre, farklı ürünler için değişmekle birlikte, 0.9-1.5 MPa (9-15 bar) arasındaki toprak dirençleri genellikle kök gelişimini sınırlandırmaktadır. Benzer şekilde, topraktaki boşluk oranının %35'in altına düşmesi (Okursoy, 1992; 2000) ve makro porların %10'dan daha az olması bitkiler için zararlı olan toprak sıkışıklığının oluştuğunu göstermektedir (Gupta vd.,

1990; Hakansson ve Lipiec, 2000).

Toprak sıkışması belirtilen bu olumsuz yanları yanında bazı tarımsal faaliyetlerde yarar sağlanabilen bir uygulama olarak da karşımıza çıkabilmektedir. Özellikle Orta Anadolu'da baskılı mibzerler kullanılarak yapılan ekimlerde, tohum yatağında birim hacime düşecek nem miktarı artırılmak suretiyle, tohumun çimlenme dönemi içerisinde yeteri kadar nem bulması sağlanmaktadır. Ayrıca, yarıyışlı suyunu çok hızlı kaybeden topraklarda, tohum ekildikten sonra taban veya merdane çekilmek suretiyle sıkışma sağlanmaktadır. Bu sıkışmanın amacı, tohum yatağını mümkün olduğu kadar alt katmanlardan kapillar yükselmeye yukarı doğru hareket eden toprak suyuna yaklaştırmak ve çimlenmeyi sağlamaktır. Bunun yanında, kurak dönemlerde düşen sağanaklardan yararlanmayı artırmaktır (Munsuz, 1985).

Toprak Sıkışmasını Etkileyen Toprak Özellikleri

Toprak sıkışmasını etkileyen en önemli toprak özelliği toprağın nem içeriğidir. Toprak bünyesi, toprak yapısı ve toprağın organik madde miktarı da sıkışmayı etkileyen önemli toprak özellikleridir (Demiralay, 1977; Jones, 1995; Özdemir, 1998; Stiegler, 2001).

Toprak nem miktarı çok düşük olduğu zaman toprak-su çözeltilisinin, yüksek viskozitesi veya toprak taneleri arasındaki kohezyonun yüksek oluşu sebebiyle sıkıştırma enerjisi, toprak tanelerine yer değiştirmekte fazla etkili olamamakta ve dolayısıyla düşük seviyede bir sıkışma elde edilmektedir. Toprak nem miktarı belli oranlarda artırıldığında sıkışma enerjisinin sağlayacağı

sıkışma giderek azalan oranlarda artmaktadır. Toprak havası ile birlikte su miktarı daha ileri bir sıkıştırılmaya müsaade etmeyecek derecede gözenek basıncı gelişince maksimum sıkışma elde edilmektedir. Bu maksimum sıkışmanın elde edildiği nemden daha yüksek nem miktarlarından, doygunluk noktasına kadar gittikçe azalan sıkışma ile sonuçlanmaktadır (Demiralay ve Güresinli, 1979; Özdemir, 1998).

Belli bir sıkıştırma enerjisi altında, toprak bünyesi kabadan inceye doğru değişirken maksimum kuru yoğunluk azalmakta ve optimum nem artmaktadır. Toprağın organik madde ve suya dayanıklı agregat miktarı arttıkça maksimum kuru yoğunluk azalmakta ve optimum nem artmaktadır (Demiralay, 1977; Jones, 1995; Özdemir, 1998; Stieglers, 2001).

Demiralay ve Güresinli (1979) tarafından Erzurum ovasından alınan 40 toprak örneği üzerinde yapılmış bir çalışmada toprakların kil, organik madde ve kireç miktarları arttıkça sıkışabilirliğin azaldığı, silt miktarının sıkışabilirliği etkilemediği ve kum miktarı arttıkça toprak sıkışabilirliğinin arttığı belirlenmiştir.

Canbolat vd. (2002) toprakların sıkışabilirlikleri üzerine yaptıkları çalışmalarında; topraklara uygulanan darbe sayısının artması ile kuru hacim ağırlığının arttığını ve maksimum hacim ağırlığını elde etmek için gerekli olan optimum nemin düştüğünü bildirmektedirler. Üzerinde çalışılan topraklardan organik madde içeriğinin en yüksek olduğu toprağın maksimum kuru hacim ağırlığının en düşük olduğu bildirilmektedir. Ayrıca, kum içeriği fazla olan toprakların maksimum hacim ağırlıklarının en yüksek, optimum nem içeriğinin ise en düşük olacağı ve ince bünyeye sahip toprakların optimum nem içeriklerinin daha yüksek olacağı vurgulanmaktadır.

Toprak Sıkışmasına Yol Açan Etmenler ve Sıkışma Tipleri

Topraklarda meydana gelen sıkışmada yoğunluğu yüksek yağmur yağışları ve bilinçsiz sulama sonrası ıslanma-kuruma gibi doğal olaylar sırasında ortaya çıkan iç kuvvetler, tekerlek trafiği veya tarla içi trafik, uygun olmayan nem koşullarında yapılan toprak işleme ve hayvan otlatma gibi mekaniksel dış kuvvetler etkilidir (Kirişçi, 1999).

Toprak sıkışması; neden olan etkenlere göre toprak yüzeyinde veya toprak profilinin farklı derinliklerinde meydana gelebilmekte ve oluştuğu yere göre kaymak tabakası, yüzey toprak sıkışması, pulluk tabanı veya alt (derin) toprak sıkışması gibi isimler almaktadır (Kirişçi, 1999).

Yağmur damlaları toprak agregatları ve keseklerin üzerine düştüğü zaman toprağın küçük parçacıklara ayrılmasına ve toprağın infiltrasyon kapasitesinin düşmesine neden olmaktadır. Yağmur damlalarının toprağa aktardıkları momentuma bağlı olarak iki etki söz konusudur. Birincisi; bazı toprak parçacıklarının dispersiyonu ve havaya doğru sıçratılması ve ikincisi

toprakta sıkışmaya neden olan konsolidasyon kuvvetidir.

Yağmur damlaları yüzeye vurdukça toprak yüzeyinde bulanık çamurlu bir su filmi oluşmakta ve bu çamurlu suyun toprağın içine infiltre olması esnasında ince toprak zerreleri filtre edilmektedir. Dolayısıyla yüzeyde geçirimsizliği, yağmur başlamadan önceki nazarın, çok az olan, kurduğunda sağlam ve kütle yoğunluğu yüksek bir katman oluşmaktadır. Toprak yüzeyinde oluşan bu katman kaymak tabakasıdır ve özellikle yoğunluğu yüksek olan yağışlarda meydana gelmektedir (Çanga, 1995).

Traktör, ekim ve hasat makinesi gibi tarımsal araçların tekerlekleri en önemli sıkışma vasıtalarıdır. Bunları, özellikle nemin uygun olmadığı koşullarda toprakların işlenmesi veya hasat sonrası tarla yüzeyindeki bitkisel artıkların hayvanlara otlatılması izlemektedir.

Tarım sektöründe makinalaşmanın paralelinde gelen intensif tarım, toprak üzerinde daha fazla alet ve makinanın kullanılmasına, yani toprağa yapılan baskının artmasına neden olmuştur. Örneğin, 1948 yılında ülkemizdeki traktör sayısı 3000 dolaylarında iken, bugün bu sayı 650000 civarındadır (Sabancı vd., 1988). Ayrıca, Özdemir (1995)'in bildirdiğine göre, 1948 ile 1968 yılları arasında ortalama traktör ağırlığı 2.7 ile 4.5 ton arasında iken bugün ortalama traktör ağırlığının 6.8 ton olduğu ve traktöre bağlanan komple makinelerle bu ağırlığın daha da artacağı belirtilmektedir.

Tarla trafiği, bitkisel üretimin gerçekleştirildiği ortamlarda çok sık makine kullanımını ifade eden bir kavramdır. Bir bitkisel üretim sezonunda, toprak işleme ve tohum yatağı hazırlamadan makineli ekime, ekimden, bakım ilaçlama ve gübreleme işlemleri ile hasat faaliyetlerine kadar geniş bir zaman süreci içerisinde yoğun makine kullanımının tarım toprakları üzerindeki sıkıştırma etkisi, yoğun tarla trafiği olarak tanımlanmaktadır. Yoğun tarla trafiği, toprak yüzeyinden başlayarak, belirli bir derinliğe kadar olan katmanı zamanla sıkıştıran ve bitkisel üretim için oldukça olumsuz olabilecek koşulları oluşturan bir faktördür (Okursoy, 2000).

Tarla trafiği toprak sıkışmasının esas sebebidir. Yoğun tarımsal üretim yapan işletmelerde, bir üretim yılında tarla yüzeyi, alanın 4-5 katından daha fazla tekerlek izine maruz kalmaktadır (Abebe vd., 1989; Koger vd., 1985). Mısır, soya gibi ürünlerde bir üretim yılı içerisinde tarlanın %80'inin tekerlek trafiğine maruz kaldığı bildirilmektedir (Erbach, 1986).

Tahıllar gibi çok sık ekilen bitkilerin tohum yataklarının hazırlanması sırasında toprak yüzeyinin %90 kadarı tohum ile çignenmektedir. Hasat esnasında çigneme %35 ve balyalama sırasında da %60 dolaylarındadır. Bunun sonucu, tohum yatağının hazırlanması esnasında 30 cm derinliğe kadar hacim ağırlığı artmakta ve bitki yetişinceye kadar bu durum devam etmektedir (Munsuz, 1985).

Her bir aks üzerinde 5 tondan daha az ağırlık

bulunması durumunda meydana gelen tekerlek trafiği sıkışması olan yüzey toprak sıkışması, genellikle toprağın üst 10 cm'lik kısmında etkisini gösterir. Bu bölgede meydana gelen sıkışma toprağın işlenmesiyle ortadan kaldırılabılır (Swan vd., 1994). Ayrıca üst toprak sıkışıklığının azaltılması, traktör lastikleri havasının düşük iç basınca göre ayarlanmasına bağlıdır. Yapılan çalışmalarda, her 5-10 adet traktör geçişine ihtiyaç duyulan bir çalışma programı için lastiklerin toprağa yaptığı basıncın 70 kPa değerinden küçük olacak şekilde ayarlanması ile toprak sıkışıklığının önemli oranda azaltılabileceğine dikkat çekilmektedir (Okursoy, 2000).

Pulluk tabanı; genellikle uzun yıllar kulaklı pulluk ve diskaro başta olmak üzere birinci sınıf toprak işleme aletleri ile çalışılması durumunda meydana gelir. Her toprak işleme makinesi belirli ölçüde sıkışmaya yol açabilmektedir. Ancak, toprak işleme makineleri içerisinde pulluk ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Özellikle iyi ayarlanmamış ve kesme açıları aşınmış kulaklı pullukların uç demirlerinin, toprak işleme sırasında toprak işleme derinliğinin (20-25 cm derinliğindeki çizi tabanının) hemen altında çizi tabanına yaptığı basınç nedeniyle, her yıl belirli bir derinlikteki toprak katmanı sıkıştırılarak taban taşı veya pulluk tabanı denilen genellikle de 5-10 cm kalınlığında sert ve geçirimsiz toprak katmanları meydana gelmektedir (Kirişçi, 1999; Okursoy, 2000).

Pulluk tabanı en fazla 35-40 cm derinliklerde oluştuğundan yüzeysel toprak işleme ve tohum yatağı hazırlığı sırasında kolay fark edilememektedir. Toprak içerisinde oluşan bu sert ve geçirimsiz tabakaların varlığı, doğal yağışlarla toprağa düşen suların infiltrasyonunu ve alt katmanlara sızmasını engellemektedir. Böylece, tarım topraklarında artan yağışların da bir sonucu olarak topraklarda göllenmeye bağlı balçıklaşma oluşmakta, gözeneklerdeki oksijen oranı ise hızla düşerek, çimlenen bitki tohumları ve diğer toprak canlıları için ölümcül ortamların meydana gelmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda, bitkisel üretimin yapıldığı toprak katmanları kesin sınırlarla birbirinden ayrıldığından üst toprak katmanı sürekli bitkisel üretimde kullanılmakta ve zamanla bitki besin elementleri yönünden fakirleşerek toprak yorgunluğu adı verilen durum meydana gelmektedir. Topraktaki nem dengesinin sağlanması, toprak yorgunluğunun önüne geçilerek bitkisel üretimdeki verimliliğin artırılması bu sert ve geçirimsiz tabakanın her 3-4 yılda bir iş derinliği en fazla 80 cm'ye kadar çıkabilen ve dipkazan adı verilen aletlerle kırılmasına bağlıdır (Okursoy, 2000).

Alt toprak sıkışması veya derin sıkışma; nemli toprak koşullarında her bir aks üzerine 10 tondan daha fazla ağırlık bulunan ağır çiftlik araçları nedeniyle meydana gelir (Swan vd., 1994).

Ağır makineler nedeniyle toprak sıkışmasının yüzeye uygulanan yükün bir fonksiyonu olduğu ve yüzeye uygulanan yük ne olursa olsun makinenin dingil

ağırlığındaki artışın, işlenen kısmın altındaki katın sıkışma derecesini artırdığı belirtilmektedir (Voorhees vd., 1986).

Voorhees vd. (1986) killi tınlı topraklar üzerinde, ağır çiftlik makinelerinin tekerleklerinin trafiği ile sıkışma artışı arasındaki ilişkiyi incelemişlerdir. Alt toprağın nispeten kuru olduğu ve aks yükünün 9-18 Mg olması durumunda, 20-30 cm toprak derinliğinde hacim ağırlığının, penetrometre direncinin ve hidrolik iletkenlik değerinin önemli derecede değişmediği, bununla birlikte alt toprağın nispeten ıslak olduğu 30-50 cm toprak derinliğinde ise hacim ağırlığının 0.08 Mg/m³ yükseldiği, hidrolik iletkenlik değerinin ise 18 Mg aks yükünde 2'den 0.2 cm/h'a düştüğünü belirlemişlerdir.

Hammel (1994), yüksek aks yükünün toprağın alt katmanlarındaki özelliklerine etkilerini incelediği çalışmada, 9 Mg'dan küçük aks yüklerinin fazla nemli toprak koşullarında toprağın 0.75 m'ye kadarki katmanındaki özellikle de toprak işleme bölgesi altındaki fiziksel özelliklere etkili olduğunu, 20 Mg aks yüküne bağlı olarak artan toprak altı direncinin ise bitki büyümesini sınırlandırıp, toprağın alt katmanlarına suyun hareketini yavaşlattığını belirlemiştir.

Toprak sıkışmasının diğer bir sebebi de uygun olmayan rutubet koşullarında yaptırılan otlatmadır. Bazı araştırmacılar hayvan otlatma ile üst toprağın hacim ağırlığının 1.22'den 1.43 gr/cm³'e yükseldiğini, buna uygun olarak hava dolu gözeneklerin %17.3'den %7.2'ye düştüğünü ve penetrometre direncinin ise 3.2'den 19.5 bar'a yükseldiğini saptamışlardır (Munsuz, 1985).

Toprak Sıkışmasının Etkileri ve Bitki Gelişimi

Bitki köklerinin içerisinde geliştiği toprağın mekanik direncinin düşük olması istenir. Ancak, mekanizasyondaki artış ve yoğun tarımsal faaliyetler tarım alanlarında önemli sıkışma problemleri meydana getirmektedir. Sıkışmanın derecesine bağlı olarak toprak özelliklerinde çeşitli değişimler olmaktadır.

Toprak sıkışmasının etkileri aşağıdaki şekilde dört ana başlıkta toplanabilir:

1. Toprağın fiziksel özelliklerine etkisi: Sıkışma en fazla toprak gözenekliliği üzerinde etkiye sahiptir. Gözeneklilik bazı araştırmacılar tarafından; bünyesel ve yapısal olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır (Gupta ve Allmaras, 1987; Tamir, 1994; Şeker ve Işıldar, 2000). Yapısal gözenekler iklim, toprak işleme, biyolojik aktivite ve tarla trafiğinden önemli ölçüde etkilenirken, bünyesel gözenekler toprak tanelerinin büyüklüğü ve en küçük agregat birimleri içerisindeki yerleşim şekillerinden etkilenmektedir. Belli bir toprak için tekstürel gözenekler daima aynı iken, strüktürel gözenekler önemli değişimler gösterebilir. Toprakta suyun aşağıya ve yanlara doğru olan hareketini sağlayan, ayrıca bitki köklerinin ihtiyacı olan havayı ileten strüktürel gözeneklerdir. Toprak sıkışması, makro

gözeneklerin miktarını azaltırken, bitkiye faydalı suyun tutulduğu gözeneklerin miktarını bazı durumlarda artırabildiği belirtilmektedir (O'Sullivan ve Ball, 1993; Şeker ve İşildar, 2000).

Kruger (1971), tarafından yapılan çalışmada, traktör tekerleklerinin etkisi ile topraktaki 50 µm'den büyük porların azaldığı, infiltrasyona karşı direncin arttığı ve ağır bünyeli topraklarda sıkışma sonucu önemli derecede verim azalması görüldüğü belirtilmektedir. Talha vd. (1978), alüviyal ve kireçli topraklarda sıkışma ile toprakların hacim ağırlıklarının 1.1 gr/cm³'den 1.5 gr/cm³'e çıktığını, toplam boşluklar, hidrolik iletkenlik ve havalanma boşluklarının oranında önemli derecelerde azalmaların meydana geldiğini belirlemiştir.

Conover ve Poole (1981), farklı oranlarda peat ve çam kabuğu karıştırılmış topraklara 0, 0.1, 0.2, 0.3 kg/cm²'lik basınç uygulandığında kapillar olmayan boşluklar yüzdesinin artan basınçla birlikte azaldığını belirtmişlerdir.

Swinford ve Boevey (1984), toprağa 3.7 ton ve 5.7 tonluk yüklerle uyguladıkları sıkıştırma işleminden sonra toprağın hacim ağırlığının ortalama %5 arttığını, hava dolu boşluklar miktarının ise %40 azaldığını saptamışlardır.

Şeker ve İşildar (2000), tarla kapasitesine yakın su içeriğine sahip kumlu tın tekstüre sahip toprak üzerinden farklı sayıda traktör geçişleri yaparak, toprak profilinde meydana gelen gözeneklilik değişimlerini ve sıkışma durumlarını incelemiştir. Toprak yüzeyinden bir, iki ve dört defa traktör geçişleri yapılmış. Traktör geçişi, kontrol parseli ile kıyaslandığında, toprağın kütleli yoğunluğunu ve penetrasyon direncini artırırken, toplam gözenekliliği, boşluk oranını, havalanma ve drenaj gözenekleri yüzdesini azaltmıştır.

Yukarıda belirtildiği gibi toprak sıkışması, toprağın por büyüklük dağılımını ve boşlukların sürekliliğini olumsuz yönde etkilediği için havalanmayı, infiltrasyonu ve hidrolik iletkenliği azaltır.

2. Toprağın kimyasal özelliklerine etkisi: Toprak sıkışması ile toprağın besin elementleri dinamiği de değişir. Özellikle amonifikasyon, nitrifikasyon ve çoğu kez de N-fiksasyonunun önemli ölçüde gerilediği, buna karşın negatif değerlendirilen denitrifikasyonun arttığı bildirilmektedir (Müller ve Mosel, 1984; Bal, 1985). Ayrıca, sıkışmış topraklarda yüzey akışın sıkışmamış topraklara göre daha erken başladığı ve yüzey akış miktarının daha fazla olduğu, buna paralel olarak yüzey akış suyu ile bitki besin maddesi kayıplarının daha fazla olduğu belirtilmektedir.

3. Toprağın biyolojik özelliklerine etkisi: Sıkışma ile toprağın hacim ağırlığı artmakta, porozitesi ve havalanması düşmekte ve bu da mikrobiyal faaliyetleri olumsuz etkilemektedir (Busscher, 1990; Whalley vd., 1995). Yapılan çalışmalar oksijen konsantrasyonunun %2-5'den, hava dolu porozitenin %10'dan az olması

aerobik mikrobiyal aktivitenin azalmasına neden olduğunu göstermektedir (Linn ve Doran, 1984; Dick vd., 1988).

4. Bitkisel üretime olan etkisi: Toprak sıkışması, toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısını etkilediği için bitkilerin gelişimi ve veriminde azalmalara neden olur. Bir çok araştırmacı, kök çapından küçük çaptaki gözeneklerden köklerin geçemeyeceğini ve sıkışmış tabaka içinde büyürken köklerin geçebileceği gözenekleri genişletmek için katı tanelerin yer değiştirmesi gerektiği ve bu işlem sırasında da toprağın mekanik direncini aşan bir basınç ortaya koyduğunu saptamışlardır. Kök gelişmesinin mekanik direnci üzerine yapılan bir araştırmada; arpa köklerinin gözenekleri büyütme için 0.2 bar'lık bir basıncı yenebildiği, bu durumda kök uzamasının %50 azaldığı, topraktaki basıncın 0.5 bar olması durumunda kök uzamasının %80 azaldığı bildirilmektedir. Kök geçirgenliği az olan, hava, su ve besin elementleri dengesi bozuk sıkışmış toprakta, kuvvetli bir kök ve vejetatif aksam gelişimi sağlanamadığından bitkiden alınan ürün daima düşüktür (Munsuz, 1985).

Hoffmann (1984), sıkışma ile olan verim azalmasının, şeker pancarında %1-26, kışlık arpada %45'e kadar ve kışlık buğdayda %15-34 arasında olduğunu belirtmektedir. Friesleben vd., (1984) toprak sıkışmasının patates bitkisinde %87'ye yaklaşan kök miktarı azalmasına ve %17 verim azalmasına sebep olduğunu bildirmektedirler.

Toprak sıkışmasından doğan zararları oluşturan ana unsurları Oskoui ve Voorhees (1991), ürün verimi kaybı, ilave enerji masrafı, ilave hava kirliliği masrafı, ilave sermaye masrafı, ilave zamanlılık masrafı, drenaj sistemi masrafı ve ilave erozyon masrafı olarak belirtmektedirler. Belirtilen bu faktörler, her bir tarla işlemi için ayrı ayrı hesaplanıp toplanarak toprak sıkışmasından doğan zararların hesaplanacağını belirtmektedirler.

Aşırı toprak sertliği, ıslak ve granülsüz toprak, etkili olmayan drenaj ve düzensiz bitki gelişimi, sıkışmanın belirtileri olarak tanımlanmaktadır (Jakobsen ve Dexter, 1989).

Ayrıca, penetrasyon direncinin 2000 kPa'dan büyük olmasının aşırı sıkışmayı tanımlayan en önemli kriterlerden biri olduğu (Gupta vd., 1990; Allmaras vd., 1993) ve penetrasyon direncinin 3000 kPa ve daha fazla olmasının, kök gelişimini engelleyici sınır olarak kabul edildiği bildirilmektedir (Busscher ve Sojka, 1987; Hakansson ve Lipiec, 2000).

Toprak sıkışması, toprakların gelecekteki üretkenliğini, verimliliğini ve sürdürülebilirliğini tehlikeye sokan, toprak bozulmasına yol açabilecek en önemli faktörlerin başında gelmektedir. Sıkışma, ayrıca bitki gelişimi ve verimini doğrudan, artan erozyon ve yüzey akışını dolaylı olarak etkileyen bir faktördür.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Toprakların sıkışma derecesi arttıkça hacim ağırlığında artışlar olmakta (Karakaplan, 1982; Gomez vd., 2002) ve boşluklar, özellikle büyük boşluklar (> 50 µm çap) azalmakta (Gupta ve Allmaras, 1987; Gomez vd., 2002), kök bölgesindeki oksijen difüzyonu yetersiz kalmakta, mikrobiyal faaliyetler bundan olumsuz etkilenmekte (Busscher, 1990; Whalley vd., 1995; Li vd., 2002), ayrıca; çimlenme ve sürgün çıkışı ile bitki köklerinin gelişimi fiziksel olarak engellenmekte (Ehlers vd., 1983; Unger ve Kaspar, 1994), bitki besin elementlerinin alınışı, infiltrasyon ve buharlaşma olumsuz etkilenmekte (Karakaplan, 1982; Brais, 2001), ürün verimi ve kalitesinde düşüşler olmaktadır (Unger ve Kaspar, 1994; Hakansson ve Medvedev, 1995). Toprak sıkışması taban arazilerde drenaj problemleri oluşturmakta, eğimli alanlarda ise yüzey akışı arttırarak erozyona neden olmaktadır (Barfield vd., 1988; Tamir, 1994; Brais, 2001). Bunların yanı sıra toprak sıkışması, toprağın kesme ve penetrasyon dirençlerini arttırmakta, toprağın işlenebilmesi için daha fazla enerji gereksinimi ortaya çıkmaktadır (Karakaplan, 1982; Whalley vd., 1995; Brais, 2001).

Bitkisel üretimde verimi ve kaliteyi yükseltmek tarımcıların temel amaçlarındandır. Bunun için ise çeşitli çalışmalar ve sonuçlarında da öneriler ortaya konulmaktadır. Toprak sıkışmasının azaltılması da bunlardan biridir. Bu amaçla;

1. Birinci ve özellikle ikileme ve üçleme diye adlandırılan toprak işleme kademeleri ortadan kaldırılmalı yada en aza indirilmelidir. Bir geçişte birçok işlemin yapılmasına olanak sağlayan kombine tarım alet-makineleri kullanılmalı veya sıfır toprak işleme ve minimum toprak işleme teknikleri uygulanmalıdır.

2. Toprak işleme, ekim ve hasat faaliyetleri iyi bir zamanlama ile toprağın en az sıkışacağı nem seviyesinde yapılmalı, toprağın nemli koşullarında toprak işleme yapılmamalıdır (Lavoit vd., 1984; Meek vd., 1992).

3. Gereksiz tarla trafiğinden kaçınarak, uygun çalışma planları yapılmalı ve traktör tekerleklerinin tarlanın %10'undan fazlasına temas etmesinin önüne geçilmeli, bir toprak işleme uygulaması için geçiş sayısı minimumda tutulmalıdır (Lavoit vd., 1984; Oljaca, 1987).

4. Uygun lastik basıncında çalışılmalıdır. Üst toprak sıkışıklığının azaltılması, traktör lastikleri havasının düşük iç basınca göre ayarlanmasına bağlıdır (Okursoy, 2000).

5. Çok büyük tarım alet ve taşıtlarının yerine çok sayıda küçük ve hafiflerinin ikame edilip edilemeyeceği düşünülmeli, büyük yapılı yumuşak lastiklerin avantajlarından faydalanılmalıdır.

6. Yapılan çalışmalar, anızla kaplı toprakların aynı koşullar altında anız bulunmayan topraklara kıyasla 2/3 oranında daha az sıkıştığını göstermektedir. Anıza ekim metodlarının geliştirilmesi, aynı zamanda toprak sıkışıklığını önleyici çalışmaları beraberinde

getirmektedir (Okursoy, 2000).

7. Hem sıkışma hem de penetrasyon direncinin azaltılabilmesi için toprak strüktürünün geliştirilmesine yönelik olarak organik gübreleme, yeşil gübreleme ve kireçleme gibi girdiler uygulanmalıdır (Karakaplan, 1982; Bal, 1985).

8. Ekim nöbeti uygulanmalı ve münavebede derin köklü yem bitkilerine yer verilmelidir.

9. Drenaj iyileştirilmelidir. Bu durum çok nemli bir tarlada çalışma zorunluluğuyla karşı karşıya olma tehlikesini azaltacaktır (McBride vd., 2001). İlkbahar yağışları ve kışın yağın kar toprak profiline yüzey kısmını tarla kapasitesi seviyesine getirmektedir. Doğal drenaj toprak nemini tarla kapasitesi altına düşürememekte ve buharlaşma sadece en üstteki toprak katmanını kurutmaktadır. Bu nedenle, ilkbaharda tüm tarla işlemleri tarla kapasitesi ve üzerindeki nem içeriklerinde yapılmakta, dolayısıyla da toprak yoğun şekilde sıkışmaya eğilim göstermektedir.

10. Düzenli toprak işleme zaman zaman işleme derinliği değiştirilmeli ve kurak geçen yıllarda daha derin toprak işleme yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abebe, A.T., T. Tanaka, M. Yamazaki, 1989. Soil compaction by multiple passes of a rigid wheel for optimization of traffic. *J. Terramechanics*, 26: 139-148.
- Allmaras, R.R., J. Juzwik, R.P. Overton, S.M. Copeland, 1993. Soil compaction: causes, effects, Management in bareroot nurseries. Northeastern and Intermountain Forest Nursey Associations, General Tech. Report RM-243. U.S. Depart. Of Agri., Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station.
- Bal, H., 1985. Toprak sıkışması, sorunları ve çözüm yolları. Tarımsal Mekanizasyon 9. Ulusal Kongresi, 131-138, 20-22 Mayıs, Adana.
- Barfield, B.J., R.I. Barnhisel, M.C. Hirschi, I.D. Moore, 1988. Compaction effects on erosion of mine spoil and reconstructed topsoil. *Trans. of the ASAE*, 31 (2): 447-452.
- Bowen, H.D., C.G. Coble, 1967. Environmental requirements for seed germination and emergence. *Transaction of the ASAE*, 28 (3): 731-737.
- Brais, S., 2001. Persistence of soil compaction and effects on seedling growth in Northwestern Quebec. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 65 (4): 1263-1271.
- Busscher, W.J., R.E. Sojka, 1987. Enhancement of subsoiling effect on soil strength by conservational tillage. *Transactions of the ASAE*, 30 (4): 888-892.
- Busscher, W.J., 1990. Adjustment of flat-tipped penetrometer resistance data to a common water content. *Transactions of the ASAE*, 33 (2): 519-524.
- Canbolat, M.Y., T. Oztas, K. Barik, E.L. Aksakal, 2002. Compactibility of soils at different moisture contents. International Conference on Sustainable Land Use and Management, p 110-112, Çanakkale-TURKEY.
- Conover, C.A., R.T. Poole, 1981. Effect of soil compaction on physical properties of potting media and growth of pilea pubescens lieb. *Silver tree. Journal of the Aler. Soc. for Horticultural Sci.*, 106 (5): 604-607.
- Çanga, M., 1995. Toprak ve Su Koruma. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayın No: 1386, Ders Kitabı: 400, Ankara.
- Demiralay, İ., Y.Z. Güresinli, 1979. Erzurum ovası topraklarının kıvam limitleri ve sıkışabilirliği üzerine bir araştırma. *Atatürk Üniv. Ziraat Fak. Dergisi* 10(1-2): 77-93.

- Demiralay, İ., 1977. Toprak Fiziği Ders Notları. Atatürk Üni. Ziraat Fak., Erzurum.
- Dick, R.P., D.D. Myrold, E.A. Kerle., 1988. Microbial biomass and soil enzyme activities in compacted and rehabilitated skid trail soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 52(2): 512-516.
- Ehlers, W., V. Kopke, F. Hesse, W. Bohm, 1983. Penetration resistance and root growth of oast in tilled and untilled loess soil. *Soil Tillage Res.*, 3: 262-275.
- Erbach, D., 1986. Farm Equipment and Soil Compaction. ASAE Paper No: 860730.
- Frieesleben, R., H. Gall, F. Frieesleben, 1984. Einfluss der fahrspuren auf kartoffelertrage und bodenstruktur sowie möglichkeiten zu ihrer verminderung. *Agrartec.*, H.7: 295-298.
- Godwin, R.J., 1990. Agricultural engineering in development: Tillage for crop production in areas of low rainfall. Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO Agri. Services Bulletin, 83.
- Gomez, A., R.F. Powers, M.J. Singer, W.R. Horwath, 2002. Soil compaction effects on growth of young ponderosa pine following litter removal in California's Sierra Nevada. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 66(4): 1334-1343.
- Gupta, S.C., R.R. Allmaras, 1987. Models to assess the susceptibility of soil with excessive compaction. *Adv. Soil Sci.*, 6: 65-100.
- Gupta, S.C., A. Hadas, W.B. Voorhees, D. Wolf, W.E. Larson, P.P. Sharma, 1990. Development of guides on the susceptibility of Soils to excessive compaction. University of Minnesota BARD Report, St Paul.
- Hakansson, I., J. Lipiec, 2000. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. *Soil and Tillage Research*, 53 (2): 71-85.
- Hakansson, I., V.W. Medvedev, 1995. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil and Til. Res.*, 35 (1-2): 85-97.
- Hammel, J.E., 1994. Effect of high-axle load traffic on subsoil physical properties and crop yields in the Pacific Northwest USA. *Soil and Tillage Research*, 29: 195-203.
- Hoffmann, M., 1984. Beetkultur gegen bodenverdichtung. *Landtechnik*, H.3, 112-113.
- Jakobsen, B.F., A.R. Dexter, 1989. Prediction of soil compaction under pneumatic tyres. *Journal of Terramechanics*, 28 (4): 297-308.
- Jones, A.J., 1995. Soil compaction tips. Nebraska Cooperative Extension NF95-243. Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska-Lincoln.
- Karakaplan, S., 1982. Değişik nem ve basınçta sıkıştırmanın toprakların hacim ağırlığı, penetrasyon ve permeabilite değerlerine etkileri. Atatürk Üni. Basımevi, Erzurum.
- Kirişçi, V., 1999. Pulluk tabanı ve dipkazan kullanımı. *Cine Tarım Dergisi*, sayı: 17: 18-20.
- Koger, J.L., E.C. Brut, A.C. Trowse, 1985. Multiple pass effects of skidder tires on soil compaction. *Transaction ASAE*, 28 (1): 11-16.
- Kruger, W., 1971. Effect of different degrees of soil compaction on soil physical properties and plant growth. *Soil and Fertilizers*, 34 (2): 116-121.
- Lavoit, G., K. Guriel, G.S.V. Raghauen, 1984. Soil compaction and optimum crop planing. *Transaction of the ASAE*, 33 (3): 744-748.
- Li, C.H., B.L. Ma, T.Q. Zhang, 2002. Soil bulk density effects on soil microbial populations and enzyme activities during the growth of maize (*Zea mays L.*) planted in large pots under field exposure. *Can. J. Plant Sci.*, 82 (2): 147-154.
- Linn, D.M., J.W. Doran, 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non tilled Soils. *Soil Sci. Am.J.*, 48: 1267-1272.
- McBride, R.A., H. Martin, B. Kennedy, 2001. La compaction du sol. Ontario Minestere de l'Agriculture, de l'Alimentation et des Affaires Rurales. Fiche Technique, ISSN 1198-7138, Agdex: 510, Commande No:89-055, Ontario – Canada.
- Meek, B.D., E.R. Rechel, L.M. Carter, W.R. Detar, 1992. Bulk density of a sandy loam: Traffic, tillage and irrigation-method effects. *Soil Sci. Soc.Amer. J.*, 56 (2): 562-565.
- Munsuz, N., 1985. Toprak Mekaniği ve Teknolojisi. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayınları: 922 Ders Kitabı:260, Ankara.
- Müller, E., B. Mosel, 1984. Zur entstehung von bodenverdichtungen im weinbau durch das befahren mit traktoren. *Landtechnik*, H.9: 396-398.
- O'Sullivan, M.F., B.C. Ball, 1993. The shape of the water release characteristic as affected by tillage, compaction and soil type. *Soil and Tillage Res.*, 25: 339-349.
- Okursoy, R., 1992. Toprağın kompaksiyon modeli. Tarımsal Mekanizasyon 14. Ulusal Kongresi, 14-16 Ekim, s 564-573, Samsun.
- Okursoy, R., 2000. Tarım topraklarının yoğun tarla trafiğine bağlı sıkışma sorunları ve toprak sıkışıklığının bitkisel üretime olan etkileri. Bursa'da Tarım Dergisi, Sayı:7: 20-22.
- Oljaca, M.V., 1987. Compaction of hydromorphic black soil by IMT-5360 heavy tractor wheels. *Savremena Poljoprivredna Tehnika*, 13 (4): 133-137.
- Oskoui, K.E., W.B. Voorhees, 1991. Economic consequences of soil compaction. *Transsaction of the ASAE*, 34 (6): 2317-2323.
- Özdemir, N., 1995. Toprak sıkışmasının mekanizması ve kontrolü. *O.M.Ü.Z.F. Dergisi*, 10 (2): 191-198.
- Özdemir, N., 1998. Toprak Fiziği. O. M. Ün. Ziraat Fak. Ders Kitabı No: 30, Samsun.
- Sabancı, A., A. Işık, Y. Zeren, 1988. Türkiye'de mekanizasyon düzeyi gelişimi ve sorunları. Tarımsal Mekanizasyon 11. Ulusal Kongresi Bildiri Kitabı, 1-11, Erzurum.
- Stiegler, J.H., 2001. Soil compaction and crusts. Oklahoma Cooperative Extension Service F-2244, Division of Agr. Sci. and Natural Resources, Oklahoma State Univ.
- Swan, J.B., J.F. Moncrief, W.B. Voorhees, 1994. Soil compaction: causes, effects, and control. Uni. Of Minnesota Extension Service, BU-3115-GO.
- Swinford, J.M., T.M.C. Boevey, 1984. The effects of soil compaction due to infield transport on ratoon cane yields and soil physical characteristics. *Proceedings South African Sugar Technologists, Association No:58: 198-203.*
- Şeker, C., A.A. Işıldar, 2000. Tarla trafiğinin toprak profilindeki gözenekliliğe ve sıkışmaya etkisi. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 24 (1): 71-77.
- Talha, M., S.Y. Metwally, E. Abu-Gabol, 1978. The effect of compaction on some physical properties of alluvial and calcareous soil. *Egyptian Journal of Soil Sci.*, 18 (1): 29-38.
- Tamir, S., 1994. Relations between pore-space and hydraulic properties in compacted beds of silty-loam aggregates. *Soil Technology*, 7: 57-73.
- Unger, P.W., T.C. Kaspar, 1994. Soil compaction and rooth growth: A review. *Agronomy Journal*, 86 (5): 759-766.
- Voorhees, W.B., W.W. Nelson, G.W. Randall, 1986. Extent and persistence of subsoil compaction caused by heavy axle loads. *Soil Sci. Soc. of Amer. J.*, 50 (2): 428-433.
- Whalley, W.R., E. Dumitru, A.R. Dexter, 1995. Biological effects of soil compaction. *Soil and Tillage Research*, 35 (1-2): 53-68.