



Tarım Bilimleri Dergisi
Tar. Bil. Der.

Dergi web sayfası:
www.agri.ankara.edu.tr/dergi

Journal of Agricultural Sciences

Journal homepage:
www.agri.ankara.edu.tr/journal

Penetrasyon Direncini Etkileyen Bazı Toprak Özelliklerinin Yersel Değişiminin Belirlenmesi

Bülent TURGUT^a

Taşkın ÖZTAŞ^b

^a Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Peyzaj Mimarlığı Bölümü, Artvin, TÜRKİYE

^b Atatürk Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü, Erzurum, TÜRKİYE

ESER BİLGİSİ

Araştırma Makalesi--Tarım Teknolojileri DOI: 10.1501/Tarimbil_0000001199
Sorumlu Yazar: Bülent TURGUT, e-posta: bturgut@artvin.edu.tr, Tel: +90 (533) 648 71 88
Geliş Tarihi: 3 Aralık 2011, Düzeltmelerin gelişi: 18 Ağustos 2012, Kabul: 16 Aralık 2012

ÖZET

Bu araştırma geleneksel toprak işleme uygulamalarının yapıldığı flavaquent topraklarda karşılaşılan toprak sıkışması probleminin penetrasyon direnci ölçümleriyle belirlenmesi, penetrasyon direnci değerlerine etki edebilecek toprak özelliklerinin saptanması ve dağılım desenlerinin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür. Toplam 2.24 ha büyüklüğündeki çalışma alanında hakim tekstür toprak sınıfının killi tınlı olduğu belirlenmiştir. Arazi kuzey-güney ve doğu-batı yönlerinde 80 m aralıklara sahip birbirine paralel hatlarla gridlere bölünmüştür. Gridlerin kesişme yerlerindeki, 48 noktadan 30-60 cm'lik derinlikten toprak örnekleri alınmış ve aynı noktalarda penetrasyon direnci değerleri ölçülmüştür. Alınan toprak örneklerinde hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, nem içeriği, kum içeriği, silt içeriği, kil içeriği, organik madde miktarı, kireç içeriği, ortalama ağırlık çap ve pH değerleri belirlenmiştir. En yüksek değişkenlik gösteren toprak özelliği kireç içeriği ve en düşük değişkenlik gösteren toprak özellikleri ise pH ve hacim ağırlığı olmuştur. Penetrasyon direnci değerleri 2.04-6.69 MPa arasında değişmiş ve ortalama 4.47 MPa olarak belirlenmiştir. Uzun zamandan beri kulaklı pulluk, diskli tırmık ve kültivatörün birlikte kullanıldığı arazide toprak işleme uygulamalarına bağlı olarak bir pulluk tabanının oluştuğu tespit edilmiştir. Elde edilen dağılım haritalarında hacim ağırlığı ile penetrasyon direnci değerleri arasında pozitif bir ilişki olduğu ve benzer dağılım gösterdiği belirlenmiştir. Bunun yanında agregat stabilitesi, nem içeriği ve organik madde miktarı ile penetrasyon direnci değerleri arasında ise negatif bir ilişki olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Flavaquent; Jeostatistik; Kriging; Penetrasyon direnci; Sıkışma; Yersel değişkenlik

Spatial Variation in Some Soil Properties Influencing Penetration Resistance

ARTICLE INFO

Research Article--Agricultural Technologies
Corresponding Author: Bülent TURGUT, e-mail: bturgut@artvin.edu.tr, Mobil Tel: +90 (533) 648 71 88
Received: 3 December 2011, Received in revised form: 18 August 2012, Accepted: 16 December 2012

ABSTRACT

This study was conducted to assess soil compaction via penetration measurements, to determine soil properties that may influence penetration resistance values and to investigate spatial variation in flavaquent soils where traditional soil tillage methods are used. Soil textures of fields studied were clayey loamy. The study area (2.24 ha) was divided into 80 m-by-80 m transect in north to south and east to west direction. At each grid point (48) soil penetration resistance was measured and soil samples were collected from 30-60 cm depth. Bulk density, aggregate stability, moisture, sand content, silt content, clay content, organic matter, lime content and pH of the soil samples were measured. Variability was the highest in lime content and the lowest in pH and bulk density. Mean value of penetration resistance was 4.47 MPa (range: 2.04-6.69 MPa). A plow pan formation was detected as a result of continuous soil tillage using mouldboard plough, cultivator and disc harrow for a long time. Distribution maps showed that there is a positive correlation and a similar spatial variation between bulk density and penetration

resistance. Aggregate stability, moisture and organic matter, on the other hand, are negatively correlated with penetration resistance.

Keywords: Flavaquent; Geostatistics; Kriging; Penetration resistance; Compaction; Spatial variability roads

© Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi

1. Giriş

Toprak sisteminin doğal durumdaki strüktürel yapısında yağış veya mekaniksel dış kuvvetlerin etkisi altında meydana gelen bozulmalar, genellikle toprak parçacıklarının daha sıkı bir şekilde yeniden dizilimleri ile sonuçlanmakta ve toprağın kütle yoğunluğundaki artış olarak tanımlanan toprak sıkışması ortaya çıkmaktadır. Ülkemizdeki tarımsal arazilerin önemli bir kısmında da görülen toprak sıkışması bitkisel üretimde karşılaşılan en önemli sorunların başında gelmekte (Soane & Van Ouwerkerk 1994) ve özellikle kurak geçen dönemlerde bitki kök büyümesini engelleyerek bitkisel üretimde kayıplara neden olmaktadır (Camp & Lund 1968).

Son yıllarda toprak işleme alet ve makinelerinin boyutlarının büyümesi, üretim alanlarında tarımsal alet ve makinelerin kullanımının yoğunluk kazanması, aşırı toprak işleme ve yönetim uygulamalarında ekim nöbetine yer verilmemesi gibi nedenlerden dolayı toprak sıkışması ciddi bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır (Kok et al 1996; Eltz & Norton 1997). Günümüzde kullanılan tarım aletlerinin ağırlıkları bile tek başlarına toprakların ilk 10–20 cm'lik kısmında sıkışmanın oluşması için yeterli bir sebep olmaktadır (National Research Council 1993).

Toprak sıkışması, kütle yoğunluğu, gözenek dağılımı, gözenek devamlılığı, havalanma, mekaniksel özdirenç, porozite ve hidrolik iletkenlik gibi birçok önemli toprak özelliğini etkilemektedir (Panayiotopoulos et al 1994; Flowers & Lal 1998; Radford et al 2000; Richard et al 2001; Pagliai et al 2003; Hamza & Anderson 2005). Toprakların temel özelliklerinde meydana gelen bu değişiklikler, toprakta suyun infiltrasyonunda ve bitkiler tarafından kullanılabilen suyun depolanma kapasitesinde olumsuz etkiler doğurmaktadır (Zhang et al 2006).

Toprak sıkışması sonucu yetişme ortamında meydana gelen olumsuz koşullar, bitkisel üretimde verim kayıplarına neden olmaktadır. Taylor et al (1966), farklı toprak tiplerinde sıkışmış tabakaya nüfuz edebilen kök sayısını tespit etmiş ve bunun yanında koni penetrometre yardımıyla sıkışmanın derecesini karakterize etmişlerdir. Bu araştırmacılar penetrasyon direncinin 2 MPa seviyesine yaklaştığında toprağa nüfuz edebilen köklerin sayısının belirgin bir şekilde düştüğünü, bunun yanında direncin 2MPa'ın üzerinde olduğu durumlarda ise hiç bir kök gelişiminin

olmadığını belirlenmiştir. Sıkışmanın bitki kök gelişimini, su ve bitki besin elementlerinin alımını engelleyerek ayçiçeğinde (Botta et al 2006), soyada (Botta et al 2010), mısırda (Stenitzer 2003; Korucu & Arslan 2009) ve buğdayda (Ahmad et al 2009) verim kayıplarına neden olduğu bildirilmektedir.

Penetrasyon direncini etkileyen toprak özellikleri arasında tekstür, gözeneklilik, strüktür, su içeriği, çimentolayıcı maddeler ve sıkışma gelmektedir (Grunwald 2001). Toprak penetrasyon direnci ile ilişkili olabilecek toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yürütülen bir çalışmada, killi tınlı topraklarda penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı, kil ve kum içeriği arasında, tınlı topraklarda ise penetrasyon direnci ile hacim ağırlığı ve nem içeriği arasında önemli seviyede bir korelasyon tanımlanmıştır (Kılıç et al 2004).

Toprak özelliklerinin yersel değişkenliklerini belirlemek amacıyla jeoistatistiksel yöntemler yaygın olarak kullanılmaktadır. Carrara et al (2007), traktör geçiş sayısının toprak penetrasyon direncine etkisini belirleyebilmek amacıyla jeoistatistiksel yöntemler kullanmış ve kök gelişimi için kritik değer olan 2.0 MPa'ın üzerindeki alan oranının traktör geçiş sayısının 5 olduğu yerlerde %20'den %40'a çıktığını belirlemiştir. Tekeste et al (2005), tekstürü kumlu tın olan bir alanda yaptıkları çalışmada, toprağın nem içeriğindeki azalmaya bağlı olarak pik koni indeks değerlerinin ve bunun yersel değişkenliğinin arttığını belirlemişlerdir. Zhao et al (2007), otlama sıklığının toprak özelliklerine etkisini jeoistatistiksel yöntemlerle belirlemiş ve toprak özelliklerinin yersel değişkenliklerinin en iyi şekilde üstel ve küresel modeller ile tanımlandığını ortaya koymuşlardır. Tuz ve sodyum etkisi altındaki toprakların bazı kimyasal özelliklerindeki uzaysal değişkenliğin incelendiği çalışmada değişebilir sodyum, elektriksel iletkenlik ve bor içeriğinin farklı toprak derinliklerinde uzaysal değişkenlikler gösterdiği, pH'nın ise farklı derinliklerde farklı dağılım özellikleri gösterdiği belirlenmiştir (Ardahanlioglu et al 2003). Ersahin & Brohi (2006), toprak nemine ait yersel değişkenliğin üst ve alt toprak katmanlarında benzerlik gösterdiğini ve toprak tekstürünün yersel değişkenliği kontrol ettiğini bildirmişlerdir.

Bu araştırma, Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü Ilıca Deneme İstasyonu arazisindeki hububat üretim alanlarında karşılaşılan toprak sıkışması

probleminin penetrasyon direnci ölçümleriyle belirlenmesi ve penetrasyon direnç değerlerine etki edebilecek toprak özelliklerinin saptanması ve dağılım desenlerinin ortaya konulması amacıyla yürütülmüştür.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Araştırma alanının genel özellikleri

Çalışmanın yürütüldüğü Doğu Anadolu Tarımsal Araştırma Enstitüsü (DATAE) Ilıca Deneme İstasyonuna ait koordinatlar 39 56'45"-39 57'14" kuzey ve 41 06'50"-41 07'25" doğudur (Şekil 1). Alüvyial ana materyal üzerinde oluşmuş Daphan Ovası topraklarının hemen hemen tamamında toprak işlemeli tarım yapılmaktadır. Deneme alanı topraklarında da uzun zamandan beri kulaklı pulluk, kültivatör ve diskli tırmık kullanılarak geleneksel toprak işleme uygulanmaktadır. Bu topraklar yakın zamana kadar yılın önemli bir kısmında suya doygun olduğundan toprak oluşumu engellenmiş, suların karasu kanalının açılmasına bağlı olarak çekilmesi ile mineralizasyon süreci hızlanmış ve toprak oluş faktörlerinin etkinliği artmıştır. Araştırma alanı toprakları, ABD toprak taksonomisine göre Entisol ordosu, Aquent alt ordosu ve Flavaquent büyük toprak grubuna dâhildir (Özgül 2003).

Ovada karasal iklimin hâkimiyetinden dolayı yüksek basınç şartları etkili olmaktadır. Ayrıca gece ile gündüz, yaz ile kış ayları arasındaki sıcaklık farkları oldukça yüksektir. Yetmiş üç yıllık verilere göre yıllık toplam yağış 411.1 mm dir. Aylık ortalama yağış en fazla Mayıs (71.2 mm), en az Ağustos (15 mm) ayında düşmektedir. Sıcaklık ortalaması 6.0 °C, en sıcak aylar Temmuz (19.3 °C) ve Ağustos (19.4 °C) aylarıdır (Anonim 2007).

2.2. Toprak örnekleme ve laboratuvar analiz yöntemleri

Toplam 2.24 ha büyüklüğündeki deneme alanı, kuzey-güney ve doğu-batı doğrultularında 80 x 80 m büyüklüğündeki gridlere bölünmüş ve bu gridlerin kesişme yerlerinde toplam 48 noktadan hasattan hemen sonra toprak neminin örnekleme için uygun olduğu dönemde 30-60 cm'lik derinlikten toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 2). Örnekleme derinliğinin belirlenmesinde penetrasyon direnç ölçümleri esas alınmıştır. Tüm alanda yapılan ölçümlerde toprağın 0-30 cm'lik kısmında penetrasyon direnç değerlerinin 2 MPa'ın altında olduğu, 30-60 cm'lik kısmında ise daha yüksek değerler aldığı belirlenmiştir. Bu ölçümlerden yola çıkarak pulluk tabanının 20 cm'nin altındaki derinlikte oluştuğuna ve örneklerin 30 cm'den itibaren alınmasına karar verilmiştir (Şekil 3).



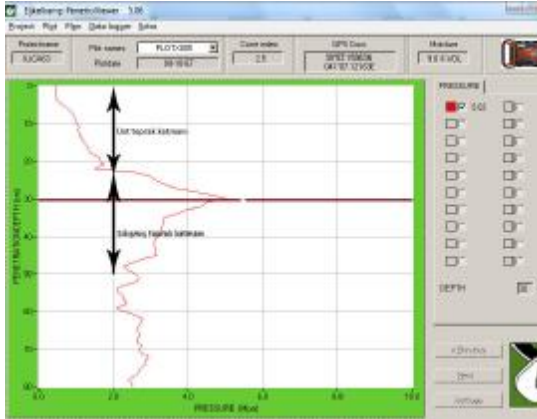
Şekil 1- Çalışma alanının coğrafi konumu

Figure 1- Study site location



Şekil 2- Örnekleme noktalarının arazideki dağılımı

Figure 2- Sampling design



Şekil 3-Penetrasyon direnç grafiğinde üst ve sıkışmış katmanlar

Figure 3-Top soil and compacted layers in penetration resistance graphic

Penetrasyon direnci ölçümleri toprak örneklerinin alındığı tarihte, 30-60 cm'lik derinlikte bulunan toprak katmanında yapılmış ve ölçümlerde dijital penetrolöger kullanılmıştır. Dijital penetrolöger her 1 cm için direnç okuması yaptığından, her bir ölçüm noktasında 30 cm'lik toprak katmanı için ortalama direnç değerleri hesaplanmıştır. Toprakların tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle (Gee & Bauder 1986), hacim ağırlıkları kesek yöntemi ile belirlenmiştir (Demiralay 1981). Toprakların ageagat stabilitesi Yoder tipi ıslak eleme aleti kullanılarak (Kemper & Rosenau 1986), nem içerikleri Penetrolöger'a takılabilen nem sensörü yardımıyla hacim esasına göre belirlenmiştir. Toprakların organik madde miktarları Smith-Weldon yöntemiyle (Nelson & Sommers 1982) ve kireç içerikleri ise Scheibler kalsimetresi ile hacimsel olarak belirlenmiştir (Nelson 1982). Ortalama ağırlık çap değerlerinin belirlenebilmesi için Rotary eleği ile agregatlara ait çeşitli büyüklük gruplarının her birinin miktarı tayin edilmiştir (Demiralay 1981). Toprakların pH'ları 1:2 (toprak:su) çözeltisinde cam elektrotlu pH metre ile belirlenmiştir (McLean 1982).

2.3. İstatistiksel analizler

Veri setinde yeralan tüm toprak örneklerine tanımlayıcı istatistiksel analizler uygulanmıştır. Bu amaçla, her bir değişken için en düşük ve en yüksek değer, ortalama, standart sapma, % varyasyon katsayısı, çarpıklık ve basıklık değeri hesaplanmıştır. Verilerin normal dağılıma uygunluğu ise Shapiro Wilk W testi ile belirlenmiştir. İncelenen toprak özellikleri ile penetrasyon direnç değerleri arasındaki ilişkinin belirlenmesi için korelasyon analizi yapılmıştır. Uygulanan klasik istatistiksel analizlerde JMP 5.0 yazılımı kullanılmıştır.

2.4. Jeostatistiksel analizler

Her bir toprak özelliğinin uzaysal bağımlılığı semivariogram analizi ile belirlenmiştir. Semivariogram belli bir h mesafesi ile birbirlerinden ayrılan örnek çiftleri arasındaki varyansın mesafeye olan ilişkisini gösterir. Diğer bir ifade ile semivariogram, örnekleme çiftleri arasındaki mesafenin bir fonksiyonu olarak uzaysal bağımlılığı tanımlar ve matematiksel olarak aşağıdaki eşitlikle ifade edilmektedir (Journel & Huijbregts 1978).

$$g(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

Burada, $\gamma(h)$, semivaryans; $N(h)$ h, mesafesi ile ayrılan örnek çiftlerinin sayısı; $Z(x_i)$, incelenen özelliğin i. noktadaki ölçüm değeri ve $Z(x_i+h)$ incelenen özelliğin (i+h). noktadaki ölçüm değeridir. Mesafenin bir fonksiyonu olan ve uzaysal olarak ayrılmış veri noktaları arasındaki semivaryansı grafik ile sunan bir semivariogram, toprak özelliklerinin uzaysal ilişkilerini iyi bir şekilde tanımlamaktadır (Warrick et al 1986; Buchter et al 1991).

Çalışmada incelenen toprak özellikleri için uygun izotropik modelin seçiminde, kullanılan 4 ayrı semivariogram modeli içerisinde (üstel, küresel, doğrusal ve Gaussian) en yüksek R^2 ve en düşük hata kareler toplamını (RSS) veren model en uygun model olarak seçilmiştir. Belirlenen semivariogram modelleri kullanılarak "ordinary kriging" yöntemi ile inceleme alanı içerisinde her 10 m için bir tahmin yapılmıştır. Bu tahminlerin yapılmasında kullanılan komşu noktaların sayısı ilgili özelliğin semivariogram değişim aralığı esasına göre belirlenmiştir (Akgül et al 1995). Jeostatistik analizlerinin yapılmasında ve haritaların oluşturulmasında GS^+ (sürüm 9.0) yazılımı kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

İncelenen toprak özellikleri içerisinde pH hariç tüm veriler normal dağılım göstermiştir. Uygulanan logaritmik ve karekök transformasyonlarına rağmen normal dağılım göstermeyen pH değerleri için jeostatistiksel analizler uygulanmamıştır (Çizelge 1). Varyasyon katsayısı bir toprak özelliğinin değişkenliğinin tanımlanmasındaki en önemli faktördür (Zhou et al 2010). Varyasyon katsayısı değerinin 10^{-1} 'un altında olması incelenen özelliğin yersel değişkenliğinin çok düşük olduğu, bu değer 10^{-1} olması durumunda ise yersel değişkenliğin çok yüksek olduğu söylenebilir (Wang et al 2008). İncelenen toprak özellikleri içerisinde en yüksek varyasyon katsayısı kireç içeriği değerlerinde (%45.90) ve en düşük varyasyon katsayısı ise pH (%4.36) ve hacim

ağırlığı değerlerinde (%4.86) hesaplanmıştır (Çizelge 1). Varyasyon katsayısının yüksek olması, incelenen özelliklerin klasik istatistikler kullanılarak yorumlanmasında hata payını yükseltmektedir (Akgül et al 1995). Elde edilen sonuçlara benzer şekilde Sun et al (2003) ve Barbizzi et al (2004) inceledikleri toprak özellikleri içerisinde en düşük varyasyon katsayısını pH değerlerinde, Kılıç et al (2004) ve Ferrero et al (2005) ise hacim ağırlığında hesaplamışlardır.

Penetrasyon direnç değeri ile hacim ağırlığı, agregat stabilitesi ve nem içeriği arasındaki korelasyon katsayısı istatistiki anlamda önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Daha önce yapılmış çalışmalara benzer olarak (Carrara et al 2007; Kılıç et al 2004) penetrasyon direnç değeri ile hacim ağırlığı arasında pozitif, penetrasyon direnç değerleri ile agregat stabilitesi ve nem içeriği değerleri arasında ise negatif bir korelasyon tespit edilmiştir (Çizelge 2).

İncelenen toprak özelliklerinin araştırma alanı içerisindeki değişiminin isotropik veya anisotropik olup olmadığını belirlemek amacıyla dört ayrı yön için (kuzey-güney, kuzeydoğu-güneybatı, doğu-batı,

güneydoğu-kuzeybatı) yöne bağımlı semivariogramlar hesaplanmıştır. İncelenen özelliklerin tamamı isotropik bir değişim göstermiştir. İncelenen örnekler için belirlenen semivariogram modelleri ve model parametreleri Çizelge 3'te verilmiştir.

Semivaryans analizi sonucunda elde edilen $C_0/(C_0+C)$ değerlerinden yola çıkarak incelenen toprak özelliklerine ait uzaysal bağımlılık derecelerinin farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Araştırma konusu toprak özelliklerinden penetrasyon direnci, agregat stabilitesi, nem içeriği ve silt içeriği değerleri üstsel model, hacim ağırlığı ve organik madde miktarı Gaussian model, kireç içeriği, ortalama ağırlık çap, kil içeriği ve kum içeriği ise küresel model ile tanımlanmışlardır (Şekil 4). İncelenen özellikler için semivariogram modeline ait regresyon katsayıları ise sırasıyla 0.843, 0.917, 0.994, 0.998, 0.975, 0.991, 0.913, 0.971, 0.989 ve 0.733 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 3.). Bu değerler incelenen toprak özellikleri için tanımlanan teorik modellerin, yersel yapısal özellikleri etkili bir şekilde yansıttığını göstermektedir.

Çizelge 1- İncelenen toprak özelliklerine ait tanımlayıcı istatistikler

Table 1- Descriptive statistics of studied soil properties

Toprak özelliği	En düşük değer	En yüksek değer	Ortalama	Standart sapma	Varyasyon katsayısı %	Çarpıklık	Basıklık	W Testi
Penetrasyon direnci (MPa)	2.04	6.69	4.47	1.00	22.37	-0.05	-0.41	0.983ns
Hacim ağırlığı(gcm^{-3})	1.21	1.53	1.40	0.068	4.86	-0.11	0.24	0.967ns
Agregat stabilitesi (%)	28.48	87.91	54.18	13.61	25.12	0.34	-0.39	0.975ns
Nem içeriği (%)	14.70	28.56	20.63	3.25	15.75	0.49	0.12	0.953ns
Organik madde (%)	1.33	2.91	2.078	0.40	19.25	0.06	-0.72	0.967ns
Kireç içeriği (%)	0.63	4.98	2.44	1.12	45.90	0.49	-0.40	0.952ns
pH	7.18	8.27	7.57	0.33	4.36	0.73	-0.75	0.874**
Ortalama ağırlık çap (mm)	3.52	7.07	5.17	0.95	18.38	0.41	-0.68	0.952ns
Kil içeriği (%)	28.26	52.27	39.80	6.72	16.88	0.27	-0.75	0.983ns
Silt içeriği (%)	26.09	46.67	35.11	5.07	14.44	0.03	-0.52	0.967ns
Kum içeriği (%)	18.18	33.33	24.23	4.25	17.54	0.34	-0.27	0.948ns

ns: önemsiz; **: 0.01 seviyesinde önemli

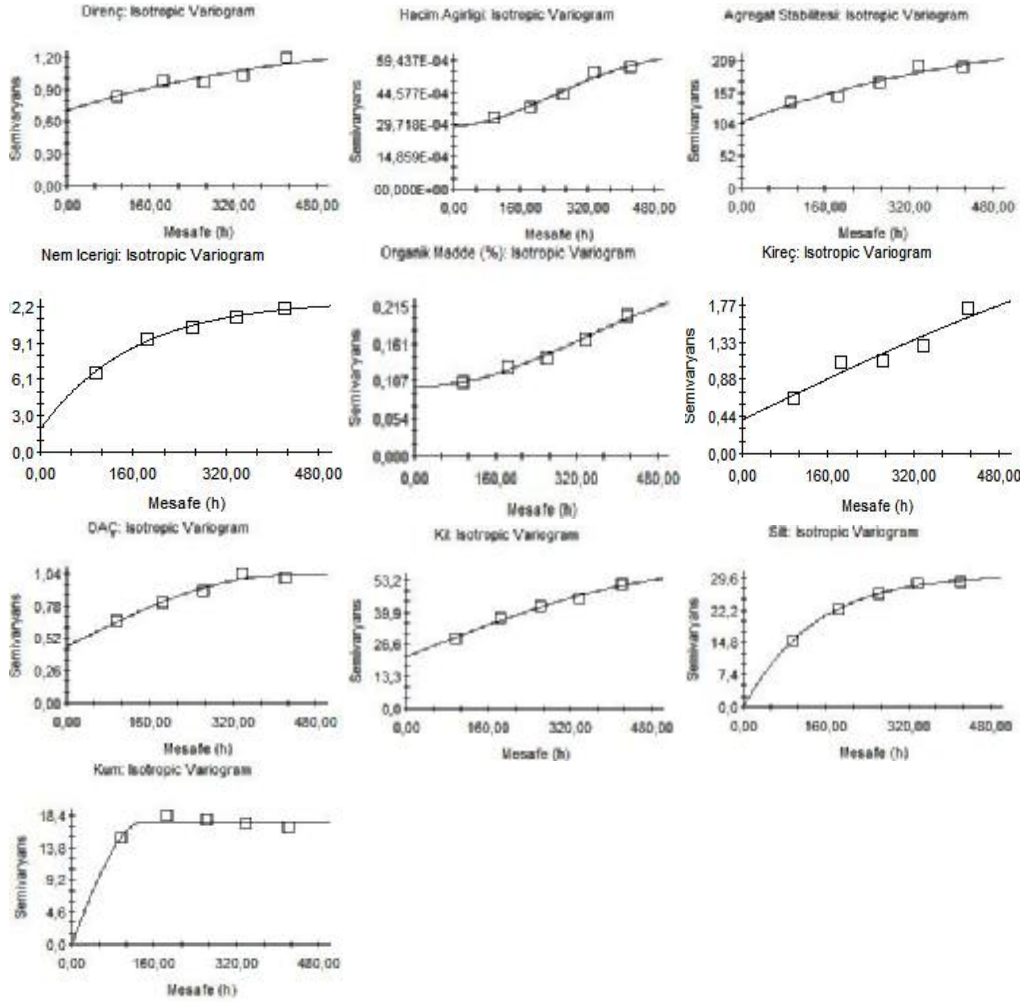
Çizelge 2-Penetrasyon direnç değeri ile diğer toprak özellikleri arasındaki korelasyonlar
 Table 2- Correlations between soil properties and penetration resistance

	<i>Penetrasyon direnci</i>	<i>Hacim ağırlığı</i>	<i>Agregat stabilites</i>	<i>Nem İçeriği</i>	<i>Organik madde</i>	<i>OAÇ</i>	<i>Kil</i>	<i>Silt</i>
Hacim ağırlığı	0,3842**							
Agregat stabilites	-0,3912**	-0,1423						
Nem İçeriği	-0,5276**	-0,2179	0,4780**					
Organik madde	-0,2827	-0,3219*	0,4187**	0,1879				
OAÇ	-0,0045	-0,1954	0,0743	0,2207	-0,0414			
Kil	-0,2726	-0,2265	0,4486**	0,7174**	0,2577	0,3169*		
Silt	0,1733	-0,0219	-0,2092	-0,4804**	-0,0614	-0,0728	-0,6780**	
Kum	0,1968	0,3000*	-0,3293*	-0,4368**	-0,1629	-0,3116*	-0,5366**	-0,0887

*: 0.05 seviyesinde anlamlı; **: 0.01 seviyesinde anlamlı, OAÇ: Ortalama ağırlık çap

Çizelge 3- İncelenen toprak özelliklerine ait semivariogram modelleri
 Table 3- Best-fitted isotropic semivariogram models and parameters

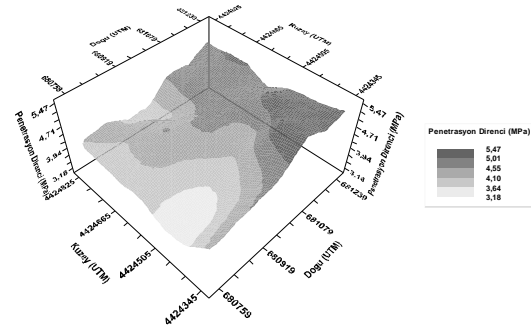
<i>İncelenen toprak özelliği</i>	<i>Model</i>	<i>Nugget (C₀)</i>	<i>Sill (C₀+C)</i>	<i>C₀' (C₀+C)</i>	<i>Range (m)</i>	<i>R²</i>	<i>RSS</i>
Penetrasyon direnç (MPa)	Üssel	0.706	1.462	0.48	1490	0.843	0.0108
Hacim ağırlığı (g cm ⁻³)	Gaussian	0.0029	0.0064	0.45	570	0.975	0.000
Agregat stabilitesi (%)	Üssel	107.50	263.20	0.41	1368	0.917	233
Nem içeriği (%)	Üssel	1.94	12.71	0.15	480	0.994	0.109
Organik madde (%)	Gaussian	0.099	0.286	0.35	847	0.991	0.000
Kireç içeriği (%)	Küresel	0.405	2.475	0.16	1011	0.913	0.0511
Ortalama ağırlık çap (mm)	Küresel	0.458	1.028	0.44	411	0.971	0.002
Kil içeriği (%)	Küresel	21.60	55.13	0.39	602	0.989	3.26
Silt içeriği (%)	Üssel	0.01	30.58	0.01	413	0.998	0.223
Kum içeriği (%)	Küresel	0.01	17.56	0.01	139	0.733	0.0183



Şekil 4- Deneysel semivaryanslar ve semivariogram modelleri

Figure 4- Experimental semivariations (open square) and the fitted semivariogram models (lines).

Çalışma alanında ölçülen penetrasyon direnç değerleri bitki kök büyümesi için kritik değer olan 2 MPa'nın üzerinde tespit edilmiştir yani alanın tamamında bir sıkışma söz konusudur. Penetrasyon direnç değerlerine ait dağılım haritası incelendiğinde arazinin doğu kısımlarında toprak sıkışması sorununun daha önemli boyutlarda olduğu, batıya doğru gidildikçe bu sorunun hafiflediği görülebilmektedir. Çalışma alanının kuzey-güney doğrultusunda penetrasyon direnç değerlerindeki değişim daha düşük, doğu-batı doğrultusunda ise bu değişim daha önemli seviyelerde gerçekleşmiştir (Şekil 5). Arazinin tamamında toprak işleme uygulamaları ve uygulama zamanları arasında herhangi bir farklılık olmamasından dolayı, penetrasyon direnç değerlerindeki değişimin toprak özelliklerinden kaynaklandığı sonucu ortaya çıkmaktadır.



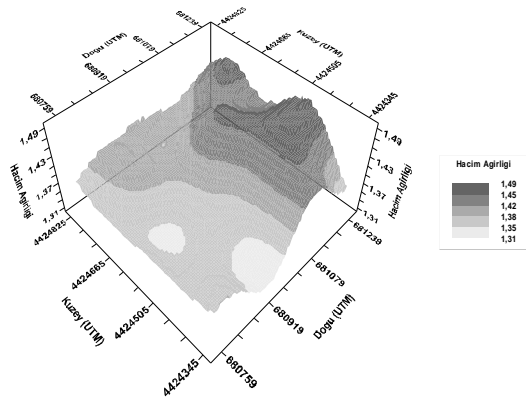
Şekil 5- Penetrasyon direnç değerlerine ait dağılım haritası

Figure 5- Spatial distribution patterns of penetration resistance

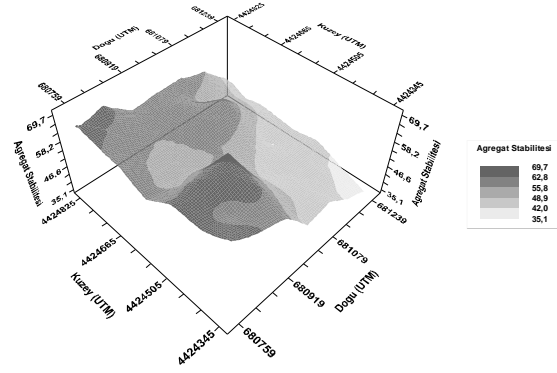
Penetrasyon direnç değerlerine benzer olarak toprakların hacim ağırlığı değerleri de doğu-batı yönünde azalış göstermiş ve arazi genelinde penetrasyon direnç değerlerinin yüksek olduğu alanlarda hacim ağırlık değerlerinin de yüksek değerler aldığı belirlenmiştir (Şekil 6). Bu sonuçlara benzer olarak araştırmacılar toprak sıkışması ile hacim ağırlığı arasında pozitif bir korelasyonun var olduğunu bildirmişlerdir (Alexandrou & Earl 1998; Hakansson 2000; Kılıç et al 2004; Turgut et al 2010)

Toprakların agregat stabilitesi, nem içeriği ve organik madde miktarı değerleri ise ters bir durum sergileyerek doğu batı yönünde artış göstermiştir. Genel itibariyle penetrasyon direnç değerlerinin düşük olduğu alanlarda agregat stabilitesi (Şekil 7), nem içeriği (Şekil 8) ve organik madde miktarı değerlerinin (Şekil 9) yüksek değerler aldığı tespit edilmiştir. Organik madde miktarı, nem içeriği ve agregat stabilitesindeki artışa bağlı olarak toprak sıkışmasında bir azalma meydana geldiği araştırmacılar tarafından bildirilmiştir (Alexandrou and Earl 1998; Kılıç et al 2004; Saffih-Hdadi et al 2009).

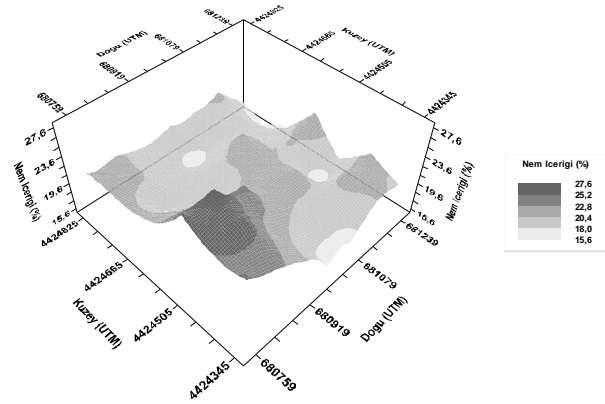
Toprakların kireç (Şekil 10) ve ortalama ağırlık çap (Şekil 11) değerleri ile penetrasyon direnç değerleri arasında bir ilişki tespit edilememiştir. Ayrıca değişim paterni haritaları incelendiğinde toprakların kil (Şekil 12), silt (Şekil 13) ve kum (Şekil 14) içerikleri ile penetrasyon direnç değerleri arasında da bir ilişkinin olmadığı görülmüştür. Benzer şekilde Kılıç et al (2004), tane büyüklük dağılımı ile penetrasyon direnci arasında bir korelasyonun olmadığını bildirmiştir.



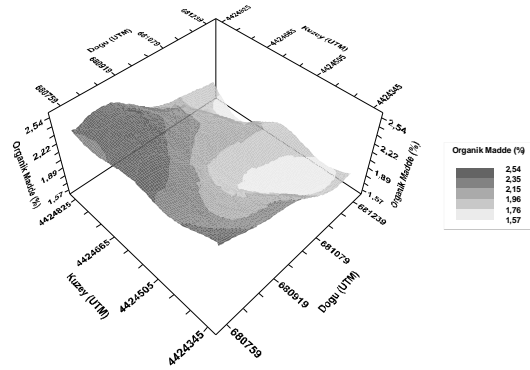
Şekil 6- Hacim ağırlığına ait dağılım haritası
Figure 6- Spatial distribution patterns of bulk density



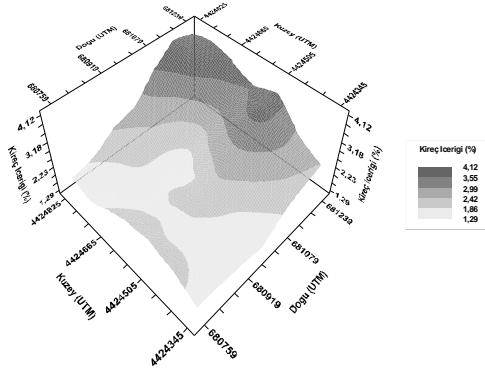
Şekil 7-Agregat stabilitesine ait dağılım haritası
Figure 7-Spatial distribution patterns of agregat stability



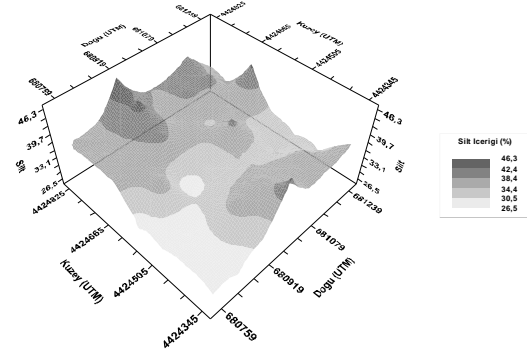
Şekil 8- Nem içeriğine ait dağılım haritası
Figure 8- Spatial distribution patterns of water content



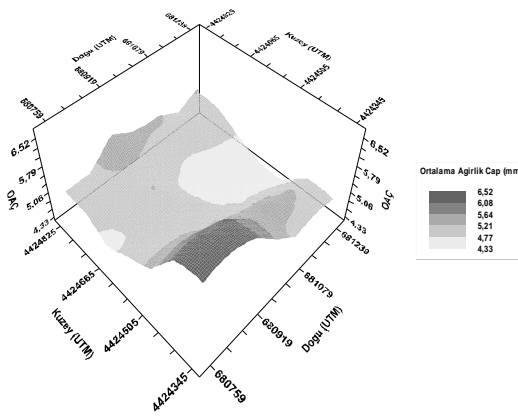
Şekil 9- Organik madde miktarına ait dağılım haritası
Figure 9- Spatial distribution patterns of organic matter



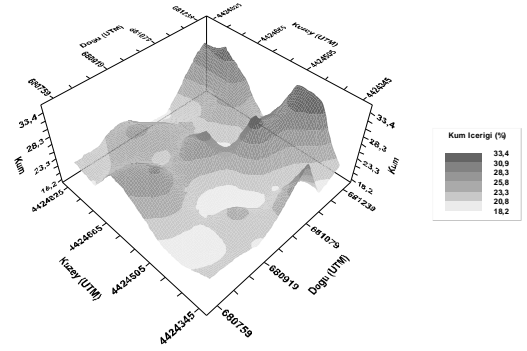
Şekil 10- Kireç içeriğine ait dağılım haritası
Figure 10- Spatial distribution patterns of lime contents



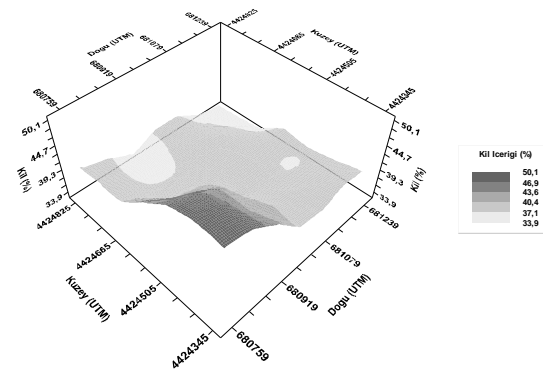
Şekil 13-Silt içeriği değerlerine ait dağılım haritası
Figure 13- Spatial distribution patterns of silt content



Şekil 11- Ortalama ağırlık çap değerlerine ait dağılım haritası.
Figure 11- Spatial distribution patterns of mean weight diameter



Şekil 14- Kum içeriği değerlerine ait dağılım haritası
Figure 14- Spatial distribution patterns of sand content



Şekil 12- Kil içeriği değerlerine ait dağılım haritası
Figure 12- Spatial distribution patterns of clay content.

4. Sonuç

Çalışmada incelenen toprak özellikleri mesafeye bağlı olarak önemli derecede yersel bağımlılık göstermiştir. Aynı toprak işleme uygulamalarının söz konusu olduğu alanda, oluşan pulluk tabanının penetrasyon direnci değerlerindeki değişimin hacim ağırlığı, agregat stabilitesi, nem içeriği ve organik madde miktarındaki değişime bağlı olduğu belirlenmiştir. Organik madde miktarının yüksek olduğu alanlarda agregat stabilitesi değerlerinin de yüksek olduğu ve buna bağlı olarak hem hacim ağırlığı değerlerinin hem de penetrasyon direnci değerlerinin düşük değerler aldığı da belirlenmiştir. Bu değerlerden yola çıkarak toprak sıkışması sorunu görülen alanlarda organik madde ilavesinin penetrasyon direnci değerlerini düşürebileceği, toprak sıkışması sorununun ortadan kaldırılması amacıyla uygulanan dip kazanla toprak işleme gibi mekanik yöntemlerle birlikte organik madde miktarını artırıcı kültürel önlemlerin de göz önünde bulundurulması gerektiği ortaya konulmuştur.

Teşekkür

Bu araştırma TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG-1070640 no'lu projeden üretilmiştir. Desteklerinden dolayı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkür ederiz

Kaynaklar

- Ahmad N, Hassan F & Belford R (2009). Effects of soil compaction in the sub-humid cropping environment in Pakistan on uptake of NPK and grain yield in wheat (*Triticum aestivum*) II: Alleviation. *Field Crops Research* **110**(1): 61-68
- Akbaş F (2004). Entisol ordosuna ait bir arazide bazı toprak özelliklerinin değişiminin geleneksel ve jeostatiksel yöntemlerle belirlenmesi. Doktora tezi, Gazi Osmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Tokat
- Akgül M, Öztaş T & Canbolat M Y (1995). Atatürk Üniversitesi topraklarında tekstürel değişimin jeostatiksel yöntemlerle belirlenmesi. İ. Akalın Toprak ve Çevre Sempozyumu. Bildiriler (I): 82-91. Ankara
- Alexandrou A & Earl R (1998). The Relationship among the pre-compaction stress, volumetric water content and initial dry bulk density of oil. *Journal of Agricultural Engineering Research* **71**(1): 75-80
- Anonim (2007). Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü Uzun Yıllar İklim Verileri Bülteni.
- Ardahanlioglu O, Oztas T, Evren S, Yilmaz H & Yildirim Z N (2003). Spatial variability of exchangeable sodium, electrical conductivity, soil pH and boron content in salt- and sodium-affected areas of the Iğdir plain (Turkey). *Journal of Arid Environments* **54**(3): 495-503
- Barbizzi S, Zorzi P D, Belli M & Pati A (2004). Characterization of a reference sit for quantifying uncertainties related to soil sampling. *Environmental Pollution* **127**: 131-135
- Botta G, Jorajuria D, Balbuena R, Ressia M, Ferrero C, Rosatto H & Tourn M (2006). Deep tillage and traffic effects on subsoil compaction and sunflower (*Helianthus annuus* L.) yields. *Soil and Tillage Research* **91**(1-2): 164-172
- Botta G F, Tolon-Becerra A, Lastra-Bravo X & Tourn M (2010). Tillage and traffic effects (planters and tractors) on soil compaction and soybean (*Glycine max* L.) yields in Argentinean pampas. *Soil and Tillage Research* **110**(1): 167-174
- Buchter B, Aina P O, Azari A S & Nielsen D R (1991). Soil Spatial Variability Along Transects. *Soil Technology* **4**: 297-314
- Camp Jr C R & Lund Z F (1968). Effect of Mechanical Dependence on Cotton Root Growth. *Transaction of the ASAE*: 189-190
- Carrara M, Castrignano A, Comparetti A, Febo P & Orlando S (2007). Mapping of penetrometer resistance in relation to tractor traffic using multivariate geostatistics. *Geoderma* **142**(3-4): 294-307
- Demiralay İ (1981). Toprakta Bazı Fiziksel Analiz Yöntemleri. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum
- Eltz F L F & Norton L D (1997). Surface Roughness Changes as Affected by Rainfall Erosivity, Tillage, and Canopy Cover. *Soil Science*. **61**: 1746-1754
- Ersahin S & Brohi A R (2006). Spatial variation of soil water content in topsoil and subsoil of a Typic Ustifluven. *Agricultural Water Management* **83**: 79-86
- Ferrero A, Usowicz B & Lipiec J (2005). Effects of tractor traffic on spatial variability of soil strength and water content in grass covered and cultivated sloping vineyard. *Soil and Tillage Research* **84**(2): 127-138
- Flowers MD & Lal R (1998). Axle load and tillage effects on soil physical properties and soybean grain yield on a mollic ochraqualf in Orthwest Ohio. *Soil Tillage Research* **48**: 21-35
- Gee G W & Bauder J V (1986). Particle size analysis, methods of soil analysis. part 1. physical and mineralogical methods. 2nd edition. *Agronomy* **9**: 383-411, 1188 p, Madison, Wisconsin USA
- Grunwald S (2001). Profile cone penetrometer data used to distinguish between soil materials. *Soil and Tillage Research* **62**(1-2): 27-40
- Hakansson I (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
- Hamza M & Anderson W (2005). Soil compaction in cropping systems a review of the nature, causes and possible solutions. *Soil and Tillage Research* **82**(2): 121-145
- Journel A G & Huijbregts Ch. J (1978). Mining Geostatistics, Academic Press, London, p: 600
- Kemper W D & Rosenau R C (1986). Aggregate stability and size distribution. In A. Klute et al., Methods of Soil Analysis, part 1, Physical and Mineralogical Methods, pp.425-442. 2d ed. Agronomy Monograph 9. Soil Science Society of America. Madison
- Kılıç K, Özgöz E & Akbaş F (2004). Assessment of spatial variability in penetration resistance as related to some soil physical properties of two fluvents in Turkey. *Soil and Tillage Research* **76**(1): 1-11
- Kok H, Taylor R K, Lamond R E & Kessen S (1996). Soil Compaction Problems and Solutions. www.oznet.ksu.edu/library/CRPSL2/AF115.pdf
- Korucu T, Arslan S (2009). Effects of direct and conventional planting on soil properties and yield characteristics of second crop maize. *Tarım Bilimleri Dergisi* **15**(2): 157-165
- McLean E O (1982). Soil pH and requirement. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. Agronomy No:9. 199-224, 1159 p, Madison, Wisconsin USA
- National Research Council (1993). Soil and Water Quality: An Agenda for Agriculture. National Academic Press, Washington DC

- Nelson RE (1982). Carbonate and Gypsum. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd. edition. *Agronomy* **9**: 181-197, 1159 p,
- Madison, Wisconsin USA. Nelson D W & Sommers L E (1982). Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd edition. *Agronomy* **9**: 539-579, 1159 p, Madison, Wisconsin USA.
- Özgül M (2003). Erzurum yöresinde yaygın olarak bulunan büyük toprak gruplarının sınıflandırılması ve haritalanması. Doktora tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Basılmamış), Erzurum
- Pagliai M, Marsili A, Servadio P, Vignozzi N & Pellegrini S (2003). Changes in some physical properties of a clay soil in central Italy following the passage of rubber tracked and wheeled tractors of medium power. *Soil and Tillage Research* **73**: 119-129
- Panayiotopoulos K P, Papadopoulou C P & Hatjioannidou A (1994). Compaction and penetration resistance of an alfisol and entisol and their influence on root growth of maize seedlings. *Soil and Tillage Research* **31**: 323-337
- Radford B J, Bridge B J, Davis R J, McGarry D, Pillai U P, Rickman J F, Walsh P A & Yule D F (2000). Changes in the properties of vertisol and responses of wheat after compaction with harvester traffic. *Soil and Tillage Research* **54**: 155-170
- Richard G, Cousin I, Sillon J F, Bruand A & Gue´rif J (2001). Effect of compaction on the porosity of a silty soil: influence on unsaturated hydraulic properties. *European Journal of Soil Science* **52**: 49-58
- Saffih-Hdadi K, Defosse P, Richard G, Cui Y C, Tang A M & Chaplain V (2009). A method for predicting soil susceptibility to the compaction of surface layers as a function of water content and bulk density. *Soil and Tillage Research* **105**(1): 96-103
- Soane B D & Van Ouwerkerk C (1994). Soil Compaction Problems in World Agriculture. In Soane, B. D., and C. Van Ouwerkerk. (Eds.), *Soil Compaction in Crop Production*. Amsterdam, The Netherlands, Elsevier
- Stentzer E (2003). Impact of soil compaction upon soil water balance and maize yield estimated by the SIMWASER model. *Soil and Tillage Research* **73**(1-2): 43-56
- Sun B, Zhou S & Zhao Q (2003). Evaluation of spatial and temporal changes of soil quality based on geostatistical analysis in the hill region of subtropical China. *Geoderma* **115**: 85-99
- Taylor H M, Roberson G M & Parker J J (1966). Soil strength-root penetration relations for medium coarse-textured soil materials. *Soil Science* **102**: 18-22
- Tekeste M Z, Raper R L & Schwab E B (2005). Spatial Variability of Soil Penetration Resistance as Influenced by Soil Moisture on Pacolet Sandy Loam Soil in the Southeastern United States. Southern Conservation Tillage Systems Conference, 73-82
- Turgut B, Aksakal E L & Öztaş T (2010). Toprak sıkışmasına bağlı fiziksel ortam özelliklerindeki etkileşimler. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi. Bildiriler (IV): 1439-1446. 20-22 Mayıs 2010, Artvin
- Wang Y G, Li Y & Xiao D N (2008). Catchment scale spatial variability of soil salt content in agricultural oasis, Northwest China. *Environmental Geology* **56** (2): 439-446
- Warrick A W, Myers D E & Nielsen D E (1986). Geostatistical Methods Applied to Soil Science. P. 53-57. In A. Klute (ed) *Methods of Soil Analyses Part I: Physical and Mineralogical Methods*. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Zhang S, Grip H & Lövdahl L (2006). Effect of soil compaction on hydraulic properties of two loess in China. *Soil & Tillage Research* **90**: 117-125
- Zhao Y, Peth S, Krümmelbein J, Horn R, Wang Z, Steffens M, Hoffmann C & Peng X (2007). Spatial variability of soil properties affected by grazing intensity in Inner Mongolia grassland. *Ecological Modelling* **205**(1-2): 241-254
- Zhou H H, Chen Y N & Li W H (2010). Soil properties and their spatial pattern in an oasis on the lower reaches of the Tarim River, Northwest China. *Agricultural Water Management* **97**(11): 1915-1922