

BAZI YÖNTEMSSEL FAKTÖRLER VE TOPRAK ÖZELLİKLERİNİN TOPRAKLARIN KIRILMA DEĞERİ ÜZERİNE ETKİLERİ (1)

İbrahim DEMİRALAY (2)

Mine ASLAN (2)

ÖZET : *Bu çalışma, bazı yöntemsel faktörlerin yapay toprak briketlerinin kırılma değerinin ölçümünü üzerine etkilerini ve bazı toprak özellikleri ile kırılma değeri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla yapılmıştır.*

Çalışmada, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat İşletmesi arazisinin 12 farklı mahallinden 0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri kullanılmıştır.

Kırılma değeri, normal prosedür ile hazırlanan briketlerde 83-515 mbar ve toprak macunu ile hazırlanan briketlerde ise 14322-27310 mbar olarak tespit edilmiştir ve macunlaştırma ile 36-285 kat artmıştır.

Normal prosedür ve toprak macunu ile hazırlanan briketlerde, briket nem içeriği ile tınlı bir toprakta log kırılma değeri arasında ve killi tınlı bir toprakta ise kırılma değeri arasında doğrusal önemli ($P<0.01$) negatif ilişkiler elde edilmiştir.

Kırma kuvveti uygulanma hızının 400 g'da olması 800 g'd'ya nazaran, ölçülen kırılma değerinde önemli ($P<0.05$) bir azalmaya sebep olmuştur.

Normal prosedür ile hazırlanan toprak briketlerinde kırılma değeri ile büzülme limiti arasında önemli ($P<0.05$) negatif bir ilişki elde edilmiştir. Fakat kırılma değeri ile kil içeriği organik madde içeriği-briket hacim ağırlığı ve kil içeriği-agregat stabilitesi-briket hacim ağırlığı arasında $P<0.01$ düzeyinde önemli çoklu ilişkiler bulunmuştur.

Macunla hazırlanan toprak briketlerinde ise, kırılma değeri ile kil içeriği, mil içeriği, likit limit, plastik limit, plastiklik indeksi, büzülme indeksi, doğrusal büzülme, hacımsal büzülme arasında önemli ($P<0.05$) pozitif ilişkiler ve plastik limit/pF 2 nemi oranı arasında önemli ($P<0.05$) negatif bir ilişki elde edilmiştir.

(1) Bu çalışma 26.11.1992 tarihinde Yüksek Lisans Tez çalışması olarak kabul edilmiştir.

(2) Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Erzurum.

EFFECTS OF SOME METHODOLOGICAL FACTORS AND SOIL PROPERTIES ON THE MODULUS OF RUPTURE OF SOILS

SUMMARY : *The purpose of this study was to determine the effects of some methodical factors on the measurement of the modulus of rupture of artificial soil briquets and the relations between some soil properties and modulus of rupture.*

Soil samples taken from the 0-20 cm depth of 12 different sites on the from of the Agricultural Faculty of Atatürk University Erzurum were used in the work.

Modulus of rupture values were obtained between 83 and 515 mbar for the briquets prepared with the normal procedure and between 14322 and 27310 mbar for the briquets prepared with the puddled soil and increased as much as 36 to 285 times upon puddling.

Linear negative relations were found between the moisture content of the briquets and logarithm of the modulus of rupture value for a loam soil and between the moisture content of the briquets and the modulus of rupture value for a clay loam soil.

With 400 g/d application rate of breaking force it was obtained significant ($P < 0.05$) decrease in the modulus of rupture measured with compared to 800 g/d.

For the soil briquets prepared with th enormal procedure it was found significant ($P < 0.05$) negative relation between modulus of rupture and shrinkage limit, but significant ($P < 0.01$) multiple relations between, modulus of rupture and clay content-organik matter content- briquet bulk density, and between modulus of rupture and clay conten briquet bulk density-aggregate stability.

For the briquets prepared with the puddled soil it was found significant positive relations between modulus of rupture and clay cocntent, between modulus of rupture and silt conten, between modulus of rupture and liquid limit, between modulus of rupture and plastic limit, between modulus of rupture and plasticity index, between modulus of rupture and shrinkage inde, between modulus of rupture and linear shrinkage, between modulus of rupture and volumetric shrinkage, but significant negative relation between modulus of rupture and the ratio of plastic limit pF 2 moisture content.

GİRİŞ

Tarım alanlarının üretkenliğini sınılandıran sorunlardan biri de toprak yüzeyinde kaymak (kabuk) tabakası oluşmasıdır. Kaymak tabakası, yağmur (McIntyre, 1958 a,b) ve sulamadan (Hanks ve Thorp, 1957; Hillel, 1960; Israelsen ve Hansen, 1965;

Cary ve Evans, 1974) sonra kuruma ile ortaya çıkmaktadır. Yağmur damlalarının esas itibariyle çarpma ve ıslatma (Lemos ve Lutz, 1957) ve sulama suyunun ise ıslatma ve kalitesi (Ben-Hur ve ark., 1985; Levy ve ark., 1986; Wilcox ve Durum, 1967; Agassi ve ark., 1981; Shainberg ve Singer, 1985) etkisiyle toprak agregatları gevşeyip dağılmakta ve dispers olmakta, dispers olan ince taneler ve sulama suyunun içerdiği sedimentler suyun toprağa infiltrasyonu sırasında yüzey toprağı boşluklarına taşınmaktadır. Toprağın kurumasından sonra kaymak tabakası adı verilen ince bir yüzey toprak tabakası oluşmaktadır. Kaymak tabakası alttaki toprağa nazaran daha yüksek hacim ağırlığı ve sertliğe sahip olmakta ve değişik kalınlıklarda (1 mm'den daha ince ile 5 cm'den daha kalın) olabilmektedir (Hillel, 1960; Tackett ve Pearson, 1965; Gazel ve Dinçer, 1977).

Kaymak tabakası toprak havalanmasını (Domby ve Kohnke, 1956; Allison ve Moore, 1956), toprak su geçirgenliğini (Allison ve Moore, 1956; Shainberg ve Singer, 1985; Kemper ve miller, 1974) azaltmakta yüzey akış zararlarını artırmakta (Shainberg ve Singer, 1985; Kemper ve Miller, 1974), fide çıkışını önlemektedir (Shainberg ve Singer, 1985; Hillel, 1960; Bennett ve ark., 1964; Ells, 1965; Johnso ve Law, 1967). Bazı durumlarda ikinci defa ekim zorunlu olmaktadır.

Kaymak tabakasının sertlik değerinin belirlenmesinde en güvenilir ve kolay bir yöntem olarak görülen "kırılma değeri" (Modulus of Rupture) yöntemi (Allison, 1923; Richards, 1953) en yaygın olarak kullanılmaktadır (Hanks ve Thorp, 1957; Lemos ve Lutz, 1957; Berkman, 1979).

Kırılma değeri yöntemi ilk olarak Allison (1923) tarafından kullanılmıştır. Richards (1953) yöntemde değişiklik yaparak yönteme bugünkü durumunu kazandırmıştır. Bu yöntemde < 2 mm toprak materyalinden yapay olarak hazırlanan toprak briketlerinin kırılma değeri, briketin kırılmasını sağlayan kırma kuvveti ve briketin enine kasit alanı değerinden hesaplanmaktadır.

Kırılma değeri yöntemiyle ölçülen briket kırılma değeri, toprakların potansiyel kaymak tabakası sertliği için bir indeks görevi yapmakta ve oluşması muhtemel kaymak tabakası sertlikleri bakımından topraklar arasında nispi bir değerlendirmeye imkan vermektedir. Kırılma değeri ölçülen briketlerim, yüzey (özellikle karık) sulaması sonucunda sıra üstlerinde oluşan kaymak tabakasını temsil ettiği düşünülmektedir (Lemos ve Lutz, 1957; Berkman, 1979).

Bu yöntem ile tarla koşullarında doğal olarak oluşan kaymak tabakalarından alınan belli boyutlardaki örnekler kullanılarak da kırılma değeri belirlenebilmektedir (Lemos ve Lutz, 1957; Hillel, 1960). Ancak doğal toprak kaymak tabakalarının sertliklerinin ölçülmesindeki birçok güçlükler sebebiyle, yapay toprak briketleri ile

kırılma değerinin ölçülmesi gayet kolay ve kullanışlı bulunmaktadır (Lemos ve Lutz, 1957).

Yapay toprak briketlerinde kırılma değerinin ölçümü üzerine etkileri incelenmiş başlıca yönetsel faktörler olarak; toprak örneklerinin ezilme derecesi arttıkça kırılma değerinin arttığı (Richard ve ark., 1971; Canbolat, 1990), toprak briketinin kurutulma sıcaklığı arttıkça kırılma değerinin azaldığı (Lemos ve Lutz, 1957), toprak briketinin kurutulma süresi arttıkça veya kırma kuvvetinin uygulandığı andaki briket nem içeriği azaldıkça kırılma değerinin arttığı (Lemos ve Lutz, 1957; Hanks, 1960; Hillel, Berkman, 1979), toprak örneğinin macunlaştırılmasının kırılma değerini çok büyük ölçülerde artırdığı (Lemos ve Lutz, 1957; Hillel, 1960; Berkman, 1979), briket hacim ağırlığı arttıkça kırılma değerinin arttığı (Hanks, 1960; Berkman, 1979), kırma kuvveti uygulanma hızının kırılma değerini etkilemediği (Canbolat, 1990) tespit edilmiştir.

Kaymak oluşumunu etkileyen başlıca toprak özellikleri olarak; mil içeriği ile kırılma değeri arasında önemli pozitif bir ilişki (Canbolat, 1990) ve mil içeriği kum ve kile oranla daha egemen olduğunda kırılma değerinin arttığı (Richard ve ark., 1971) bulunmuştur. Kil içeriği ile kırılma değeri arasında pozitif bir ilişki müşahade edilmiştir (Lemos ve Lutz, 1957). 2:1 Tipi killerin egemen olduğu toprakların genellikle yüksek kırılma değerleri verdikleri belirtilmiştir (Jamison, 1954; Lemos ve Lutz, 1957). Kırılma değeri ile değişebilir sodyum yüzdesi (Allison ve Moore, 1956; Reeve ve ark., 1954; Canbolat, 1990), kation değişim kapasitesi (Reeve ve ark., 1954; Gill ve Reaves, 1957), plastiklik indeksi (Gill ve Reaves, 1957) arasında pozitif ve organik madde (Hanks, 1960; Canbolat, 1990) arasında ise negatif ilişkiler tespit edilmiştir. Değişebilir potasyum yüzdesi arttıkça kırılma değerinin etkilenmediği veya azaldığı (Reeve ve ark., 1954) bulunmuştur.

Yukarıda üzerinde durulan ve fakat yeterli derecede ayrıntısına girilememiş olan konularda henüz tam olarak aydınlatılamamış noktalar vardır.

Aşağıdaki çalışma bazı yönetsel faktörlerin yapay toprak briketlerinin kırılma değerinin ölçümü üzerine etkilerini ve bazı toprak özellikleri ile kırılma değeri arasındaki ilişkileri incelemek amacıyla laboratuvar koşullarında yürütülmüştür.

MATERYAL VE METOT

Çalışma, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ziraat İşletmesi arazisinde 12 farklı mahalden ve 0-20 cm derinlikten alınan toprak örnekleri üzerinde yürütülmüştür. Toprak örnekleri Ziraat İşletmesi arazisini güney-kuzey doğrultusunda kateden çiftlik ana yolu boyunca yolun yaklaşık 100 m batısında olmak üzere, numara sırasıyla, hava alanı yolu-çiftlik ana yolu kesişme noktası ile Tivnik köy yolu-çiftlik

ana yolu kesişme noktası arasından alınmışlardır. Çalışma 2 mm'den küçük toprak materyali üzerinde yürütülmüştür.

Toprak örneklerinin tane büyüklük dağılımı hidrometre yöntemi (Day, 1956), organik madde içeriği Smith-Weldon yöntemi (Hocaoğlu, 1966), kireç içeriği Scheibler kalsimetresi (Hızalan ve Ünal, 1966), elektriki iletkenlik değeri elektriki iletkenlik köprüsü aygıtı (Richards, 1954), reaksiyonu cam elektrodlu pH metre (Jackson, 1958), katyon değişim kapasitesi Richards (1954)'e göre atomik absorpsiyon spektrofotometresi (Anon., 1973), agregat stabilitesi ıslak eleme yöntemi (Kemper, 1965; Demiralay, 1975), tane yoğunluğu piknometre yöntemi (Black, 1965), tarla kapasitesi Black (1965), pF 2 nemi Boekel (1956)'e göre basınçlı tabla aleti, toprak briketi nem içeriği fırında kurutma (Black, 1965) ve toprak briketi hacim ağırlığı parafin yöntemi (Black, 1965) ile belirlenmiştir. Plastiklik parametreleri (likit limit, plastik limit, plastiklik indeksi) Sowers (1965)'e göre, büzülme parametreleri (büzülme limiti, büzülme indeksi, doğrusal büzülme, hacımsal büzülme) Mertdoğan (1982)'a göre ve kuru agregatlar büyüklük dağılımı Black (1965)'e göre belirlenmiştir. Toprak örneklerinin fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları Tablo 1'de verilmiştir.

Kırılma değeri "kırılma değeri" yöntemi (Richards, 1953; Richards, 1954; Canbolat, 1990) ile "normal prosedür" olarak belirlenmiştir. Prosedür değişiklikleri ise yeri geldikçe tanıtılacaktır.

Yöntemde hava kurusu 2 mm'den küçük toprak materyali kullanılmıştır. Her bir tayin 6 tekrarlamalı olarak yürütülmüştür. Toprak alt örnekleri Richards (1965) tarafından açıklanan prosedüre göre alınmışlardır. Alt örnekler, tel kafes tabanlı tepside küçük dikdörtgen kaput bezi parçaları üzerine yerleştirilen, iç kısmı ince bir tabaka halinde vazelin ile yağlanan briket kalıplarına bir huni vasıtasıyla aktarılmıştır. Toprak yüzeyi kalıp üst yüzeyi ile aynı seviyede olacak şekilde düzeltilmiştir. Tepsi üzerindeki briketler bir küvet içinde oda sıcaklığındaki (20 ± 2 °C) su ile alttan bir saat süre ile ıslatılmıştır. Sonra 15 dakika süre ile drene edilmiş ve 50 °C'deki fırında sabit ağırlığa ulaşmaya kadar kurutulmuştur. Kuruyan briketler desikatörde soğutulmuş ve hacim ağırlığı ve kırılma değerinin hesaplanması için tartım ve kompasla boyut ölçümleri yapılmıştır.

Kuru briket, kırma aygıtında normal prosedürdeki 2000 g/d (dakikada gram) yerine 800 g/d (Canbolat, 1990) kırma kuvveti uygulanma hızı kullanılarak kırılmış ve aşağıdaki formülden kırılma değeri hesaplanmıştır.

$$S = 3FL/2bd^2$$

Burada; S = kırılma değeri (din/cm²), F = briketin ortasına uygulanan kırma kuvveti

Örneklerin Bazı Fiziksel ve Kimyasal Analiz Bulguları.
 Results of Some Physical and Chemical Analysis of The Soil Samples.

Özellikleri Properties	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Düğümlülük Clay	Kil Clay	19	24	19	24	30	30	29	32	30	28	17	20
	Mil Silt	35	30	34	39	48	47	48	45	49	52	28	34
	İnce kum Fine sand	27	27	28	21	15	17	17	16	16	17	31	30
	Kaba kum Course sand	20	19	20	16	07	06	06	06	05	04	25	17
Fine Kıvamsız	L	L	L	L	CL	CL	CL	CL	CL	CL	SL	L	
Yağda (%) Water	1.8	2.1	1.3	1.4	2.7	2.5	3.1	3.0	3.6	3.2	2.7	2.9	
Organik (%) Organic	0.2	0.6	0.2	0.4	6.7	11.0	14.3	17.8	9.2	10.0	3.6	4.6	
Yoğunluk (g/cm) Density	0.4	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.5	2.0	1.8	
Yağda (g) Water (g)	7.6	7.3	7.9	7.7	8.0	8.1	8.1	8.2	7.9	8.1	8.6	8.3	
Yağda (g) Water (g)	31	29	34	36	39	40	38	36	37	37	20	30	
Yağda (g) Water (g)	30	18	24	25	57	65	57	53	54	84	70	59	
Yoğunluk (g/cm ³) Density	2.69	2.69	2.70	2.71	2.66	2.66	2.65	2.65	2.65	2.66	2.66	2.66	
Yağda (%) Water (%)	24	24	22	26	31	29	31	30	33	32	23	27	
Yağda (%) Water (%)	32	31	29	34	41	38	38	39	42	41	30	37	
Yağda (%) Water (%)	Likit Limit Liquid Limit	36	37	34	40	47	40	43	41	46	46	37	39
	Plastik Limit Plastic Limit	23	22	21	23	27	27	27	28	29	29	23	26
	Plastiklik İndeksi Plasticity index	13	15	13	17	20	13	16	13	17	17	14	13
Yağda (%) Water (%)	1.13	1.19	1.17	1.18	1.15	1.05	1.13	1.05	1.10	1.12	1.23	1.05	
Yağda (%) Water (%)	0.72	0.71	0.72	0.68	0.66	0.71	0.71	0.72	0.69	0.71	0.77	0.70	
Büzülme Limiti Shrinkage Limit	19	16	17	17	20	17	17	19	19	20	21	23	
Büzülme İndeksi Shrinkage Index	04	06	06	06	07	10	10	09	10	09	02	03	
(%) Doğrusal Büzülme Linear Shrinkage	11	13	53	13	15	14	14	13	15	15	12	11	
% Hacimsel Büzülme Volumetrik Shrinkage	44	52	31	53	63	55	56	53	63	60	45	43	
2-1 mm (%)	33	41	33	31	39	37	41	40	35	45	45	47	
1-0.5 mm (%)	21	25	25	25	26	27	26	24	26	24	23	21	
0.5-0.25 mm (%)	08	12	15	16	14	14	13	13	14	12	11	09	
< 0.25 mm (%)	38	22	28	28	21	22	20	23	25	19	21	23	
Ortalama ağırlık Çap (mm) Average Weight Diameter	0.73	0.88	0.77	0.75	0.86	0.84	0.89	0.86	0.80	0.92	0.92	0.93	

(din), L = briketin yerleştirildiği destekler arası uzaklık (cm), b = briket kırılma yüzeyinin eni (cm), d = briket kırılma yüzeyinin kalınlığı (cm)'dir.

Toprak kırılma değerinin mbar (1 mbar = 10^3 din/cm²) olarak ifade edilmesi daha kullanışlı bulunmaktadır.

İstatistiksel değerlendirmeler düzgüneş (1963), Yıldız (1986), Yurtsever (1984)'e göre yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bazı Yöntemsel Faktörlerin Kırılma Değerinin Ölçümü Üzerine Etkileri

Toprak Örneğinin Balçıklaştırılmasının Kırılma Değeri Üzerine Etkisi : Toprak briketinin normal prosedür ile hazırlanmasına göre toprak macunu ile hazırlanmasının araştırma konusu toprakların kırılma değerlerini nasıl etkilediğini incelemek ve potansiyel maksimum kırılma değerlerini belirlemek amacıyla 12 toprak örneği üzerinde çalışılmıştır. Normal prosedür ve toprak macunu ile herbir toprak örneğinden 6 tekrarlamalı olarak briketler hazırlanmıştır. Toprak macunları, likit limit neminde (Lemos ve Lutz, 1957) bir spatula ile karıştırmak ve 24 saat bekletmek suretiyle elde edilmiştir. Sonra briket kalıpları bu macun ile doldurulmuştur. Her iki yöntemle hazırlanan briketler 50 °C'de sabit ağırlığa ulaşınca kadar kurutulmuş ve 800 g/d kırma kuvveti uygulanma hızı ile kırılmışlardır. Kırılan briketin bir parçası briketin kırıldığı andaki nem miktarının, diğer parçası ise hacim ağırlığının belirlenmesinde kullanılmıştır. Normal prosedür ve toprak macunu ile hazırlanan briketlerin nem içeriği, hacim ağırlığı ve kırılma değerleri Tablo 2'de verilmiştir.

Toprak örneğini balçıklaştırılması normale göre kırılma değerini 36-285 katı arasında artırmıştır (Tablo 2). Çeşitli araştırmacılar da benzer bulgular elde etmişlerdir (Lemos ve Lutz, 1957; Berkman, 1979; Sönmez, 1982).

Balçıklaştırmanın kırılma değeri üzerindeki bu arttırıcı etkisinin büyük ölçüde hacim ağırlığı ve belki de ilaveten briket nem miktarı üzerindeki etkisinden kaynaklanmış olması gerekir. Briket hacim ağırlığı değerleri normal prosedür ile hazırlanan briketlerde 1.02-1.25 g/cm³ arasında (ortalama 1.13 g/cm³) ve toprak macunu ile hazırlanan briketlerde ise 1.63-1.77 g/cm³ arasında (ortalama 1.69 g/cm³) değişmektedir (Tablo 2). Balçıklaştırma, briket hacim ağırlığında 0.48-0.66 ünite arasında bir artışa sebep olmuştur. Hacim ağırlığında 0.1 ünitelik bir artış (macun/normal) oranı değerinde 24.1 kat gibi bir artış ile sonuçlanmıştır. Berkman (1979), normal toprak macunu ile hazırlanan briketlerde ise % 1.41-2.69 arasında

Tablo 2. Normal Prosedür ve Toprak Macunu ile Hazırlanan Toprak Briketlerinin Nem İçeriği, Hacim Ağırlığı ve Kırılma Değerleri.

Table 2. The Moisture Content, Bulk Density and Modulus of Rupture Values of the Soil Briquets Prepared With the Normal Procedure and the Puddled Soil.

Toprak No Soil Number	Kırılma Değeri (Modulus of Rupture)			Hacim Ağırlığı (g/cm ³) (Bulk Density)		
	Normal Prosedür (mbar) Normal Procedure	Toprak Macunu (mbar) Puddled Soil	(Macun oranı / Normal) (Puddled/ Normal)	Normal Prosedür Normal Procedure	Toprak Macunu Puddled Soil	(Macun Farkı Normal) (Puddled- Normal)
1	263 (1.73)*	21899 (1.62)	83	1.25	1.76	0.51
2	341 (2.98)	24559 (1.52)	72	1.21	1.76	0.55
3	214 (1.62)	17093 (1.61)	80	1.22	1.76	0.54
4	210 (2.01)	21622 (1.76)	103	1.20	1.77	0.57
5	85 (2.45)	24240 (2.07)	285	1.04	1.70	0.66
6	515 (3.24)	18739 (2.55)	36	1.15	1.66	0.51
7	256 (3.62)	19819 (2.25)	77	1.07	1.63	0.56
8	369 (2.33)	22710 (1.96)	62	1.15	1.63	0.48
9	187 (2.28)	27310 (2.47)	146	1.04	1.66	0.62
10	91 (3016)	25649 (2.69)	282	1.02	1.66	0.64
11	83 (1.32)	14322 (1.41)	173	1.10	1.68	0.58
12	102 (1.50)	22551 (1.83)	221	1.09	1.63	0.54
Ortalama Average	226 (2.35)	21709 (1.98)	135	1.13	1.69	0.56

* : Briket nem içeriği değerleri parantez içerisinde verilmiştir.

Values of the briquet moisture content are given in paranthesis.

(ortalama % 1.98) değişmektedir. Briket nem içeriğinde normal prosedüre nazaran balçıklaştırmanın sebep olduğu fark miktar olarak önemsiz görünmesine rağmen istatistiksel olarak önemli ($P < 0.05$) bulunmuştur. Fırında kuruluğa yakın bir konumda toprak nem içeriğindeki bu azalma toprak kohezyonunda önemli bir artışa sebep olmak suretiyle kırılma değerindeki artışa bir katkıda bulunmuş olabilir.

Bu bulgular, arazi koşullarında normal şartlar altında zayıf kaymak oluşumu

görülen topraklarda bile, tava göre nemli koşullarda toprak işleme gibi toprak balçıklaşmasına neden olan olayların kırılma değerlerini son derece büyük ölçüde arttırabileceğini ve toprakların tav neminde işlenmesinin ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Briket Nem İçeriğinin Kırılma Değeri Üzerine Etkisi

Kırılma değeri yönteminde 50 °C'de sabit ağırlığa ulaşma nemindeki toprak briketlerinin kırılma değerleri ölçülmektedir. Halbuki doğal koşullarda çimlenceen tohumdan sürgün çıkışı sabit ve her zaman kuru olmayan çeşitli toprak nemi koşulunda vukubulabilmektedir. Bu nedenle, toprak nem miktarının kırılma değerini nasıl etkilediği incelemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma farklı sertlikte briket verdikleri tesbit edilmiş olan ve aynı zamanda tekstürleri de farklı olan (3 no'lu toprak tınlı ve 8 no'lu toprak killi tınlı) iki toprak örneği ile yürütülmüştür. Normal prosedür ve ayrıca toprak macunu ile 6 tekrarlamalı olarak hazırlanan toprak briketlerine 50 °C'de fırında bir seri farklı süreler ile kurutulmak suretiyle bir seri farklı nem içeriği kazandırılmış ve kırılma değeri ölçümleri yapılmıştır. Böylece, esas amaca ilaveten, sözkonusu etkinin tabiatını briket hazırlamada kullanılan toprak materyalinin macunlaştırılmasının etkileyip etkilemediğini de tesbit etmek amaçlanmıştır. Çalışmada kullanılan topraklar kuru iken bile oldukça zayıf briket verdiklerinden, yüksek nem içeriklerinde ölçüm yapabilmeye imkan verecek sağlamlıkta briket elde edebilmek için normal prosedür ile briket hazırlamada kullanılan < 2 mm toprak materyali, 0.5-2 mm fraksiyonundaki 0.5 mm'den küçük primer tanelerin yaklaşık tamamı 0.5 mm'lik elek altına geçinceye kadar ezilerek kullanılmıştır. Kırılma değeri ölçümü yapıldıktan sonra kırılan briket parçasının biri üzerinde kırılma anındaki nem içeriği ve diğer parçası üzerinde hacim ağırlığı belirlenmiştir.

Toprak briketlerinin nem içeriği, hacim ağırlı ve kırılma değerlerine ait ölçüm sonuçları Tablo 3'te verilmiştir. Her iki briket hazırlama yöntemiyle her iki toprakta da briket nem içeriği azaldıkça kırılma değeri artmıştır. Tınlı bir bünyeye sahip olan 3 no'lu toprakta briket nem miktarı azalırken kırılma değeri doğrusal olmayan ve buna karşılık killi tınlı bir bünyeye sahip olan 8 no'lu utoprakta ise yaklaşık doğrusal olarak artış göstermiştir. Hanks (1960), Berkman (1979) 3 no'lu topraktakine, Lemos ve Lutz (1957) ve Hillel (1960) ise 8 no'lu topraktakine benzer ilişkiler elde etmişlerdir. Lemos ve Lutz (1957) her toprak için daima doğrusal bir ilişki beklenemeyebileceğini, kaba tekstürlü toprakların doğrusal ve fakat ağır killerin doğrusal olmayan bir ilişki gösterebileceğini ifade etmişlerdir. Bu çalışmadaki bulgular Lemos ve Lutz (1957)'un görüşüne ters düşme eğiliminde gözükmektedir.

Tablo 3. Normal Prosedür ve Toprak Macunu ile Hazırlanan Toprak Briketlerinin Farklı Nem Seviyelerinde Hacim Ağırlığı ve Kırılma Değerlerine Ait Ölçüm Sonuçları.

Table 3. Results of the Measurement of Bulk Density and Modulus of Rupture Values of the Soil Briquets Prepared With the Normal Procedure and the Puddled Soil at Different Soil Moisture Contents.

Toprak No Soil Number	Nem Seviyesi Moisture Content	Normal Prosedür Normal Procedure			Toprak Macunu Puddled Soil		
		Pv *	Hacim Ağırlığı (g/cm ³) Bulk Density	Kırılma Değeri (mbar) Modulus of Rupture	Pv *	Hacim Ağırlığı (g/cm ³) Bulk Density	Kırılma Değeri (mbar) Modulus of Rupture
	1	44	1.22	319	40	1.54	940
3	2	24	1.24	437	30	1.68	3588
	3	10	1.27	575	26	1.70	3862
	4	6	1.28	685	17	1.70	5119
	5	6	1.29	804	12	1.72	8490
	6	3	1.30	854	7	1.73	12549
	7	-	-	-	5	1.73	14324
	8	-	-	-	2	1.35	15502
	8	1	41	1.10	216	47	1.43
2		33	1.15	570	43	1.52	2057
3		24	1.22	967	40	1.58	4744
4		23	1.26	1040	30	1.60	6982
5		11	1.27	1525	24	1.58	9465
6		10	1.24	1366	16	1.63	11778
7		3	1.26	1645	5	1.63	15243
8		-	-	-	3	1.62	18473

* Toplam toprak hacmi yüzdesi olarak briket nem içeriği.
Briquet moisture content based on the total volume of soil.

Elde edilen bulgular, her iki toprakta toprak örneğinin macunlaştırılmasının normal prosedüre nazaran briket nem içeriğinin kırılma değeri üzerindeki etkisinin tabiatında herhangi bir değişikliğe sebep olmadığını göstermektedir.

İstatistiksel değerlendirme doneleri burada verilmemiş olmakla beraber, her iki toprakta her iki yöntemle de hazırlanan briketlerde, briket nem içeriği ile briket hacim ağırlığı arasında önemli ($P<0.01$) negatif, 3 no'lu toprak için briket hacim ağırlığı ile kırılma değerinin logaritması arasında ve 8 no'lu toprak için ise briket hacim ağırlığı ile kırılma değeri arasında önemli ($P<0.01$) pozitif ilişkiler bulunmuştur. Buradan, kırılma değeri ile briket nem içeriği arasındaki ilişkinin büyük ölçüde briket nem içeriği azalırken toprak kütleindeki büzülme ve bunun sonucunda hacim ağırlığındaki artış tarafından yansıtılmakta olduğu ortaya çıkmaktadır.

Kırma kuvveti Uygulanma Hızının Kırılma Değeri Üzerine Etkisi

Kırılma değeri yönteminde kullanılan kırma kuvveti uygulanma hızının kırılma değeri ölçmeleri üzerine etkisini incelemek amacıyla 10 toprak örneği üzerinde iki farklı hızda (400 ve 800 g/d) kırma kuvveti uygulanmıştır. Elde edilen kırılma değerleri Tablo 4'de ve varyans analiz sonuçları ise Tablo 5'de verilmiştir. Kırma kuvveti uygulanma hızının bu etkisi önemli ($P\leq 0.05$) bulunmuştur (Tablo 5). Bu bulgu, muhtemelen kırılma değerinin düşük (özellikle < 5000 mbar) olduğu

Tablo 4. Kırma Kuvveti Uygulanma Hızının Kırılma Değeri Üzerine Etkisi ile İlgili Ölçüm Sonuçları.

Table 4. Results of The Effect of The Application rate of Breaking Force on The Modulus of Rupture.

Toprak No Soil Number	Kırılma Değeri (mbar) (Modulus of Rupture)	
	Kırma Kuvveti Uygulanma Hızı (g/d) (Rate of Breaking Force)	
	400	800
1	189	187
2	262	269
3	164	241
4	191	214
6	425	481
8	328	361
9	140	154
10	118	126
11	93	135
12	135	130
Ortalama Average	205	230

topraklarda kırma kuvvetinin 400 g/d gibi düşük bir hızda uygulanmasının daha sağlıklı bir ölçüm yapılmasını sağladığını göstermektedir. Nitekim, kırma kuvveti uygulanma hızı olarak Richards (1953) ve Reeve (1965) 2000 g/d'yı önerdikleri

Tablo 5. Kırma Kuvveti Uygulanma Hızının Kırılma Değeri Üzerine Etkisi ile İlgili Varyans Analiz Sonuçları.

Table 5. Variance Analysis Results of The Effect of The Application Rate of Breaking Force on The Modulus of Rupture.

Varyasyon Kaynağı Source of variation	Serbestlik Derecesi Degree of Freedom	Kareler Ortalaması Mean of Squares	F
Topraklar (T) Soils	9	23831.12	67.19**
Kırma Kuvveti Uygulama			
Hızları (KKUH)	1	3200.45	9.02*
Rate of Breaking Forces			
Hata (Error)	9	354.67	

* : P < 0.05, ** : P < 0.01

halde, daha sonra bazı araştırmacıların (Nuttvall, 1970; Sönmez, 1982; Canbolat, 1990) daha düşük (800-871 g/d arasında) hızlar kullandıkları dikkati çekmektedir. Özellikle zayıf briketlerde kırılma anını daha iyi tesbit etmek amacıyla Lemos ve Lutz (1957) 450 g/d ve Hanks (1960) 1100 g/d hızını kullanmışlardır.

Canbolat (1990), 250-3000 g/d arasında kırma kuvveti uygulanma hızının yaklaşık 500-3500 mbar arasında kırılma değerini etkilemediğini bulmuştur.

Bu bulgular, zayıf briket (özellikle < 500 mbar) elde edilen topraklarda kırılma değerinin ölçülmesinde 400 g/d veya daha düşük hızda kırma kuvveti uygulanması ile daha sağlıklı bir ölçüm yapılabileceğini göstermektedir.

Bazı Toprak Özellikleri ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişkiler Kil İçeriği ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişki

Toprak örneklerinin kil içeriği ile kırılma değeri arasında, normal prosedür ile hazırlanan briketlerde önemsiz ve macunla hazırlananlarda ise ancak tek yönlü test edildiğinde önemli (P<0.05) pozitif bir ilişki ($r = 0.533$) bulunmuştur. Normal prosedür ile hazırlanan briketlerde Lemos ve Lutz (1957) ve Canbolat (1990) 'da benzer bulgular saptamışlardır.

Mil İçeriği ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişki

Toprak örneklerinin mil içeriği ile kırılma değeri arasında normal prosedür ile hazırlanan briketlerde önemsiz ve macunla hazırlananlarda ise ancak tek yönlü test edildiğinde önemli (P<0.05) pozitif bir ilişki ($r = 0.497$) bulunmuştur. Lemos ve Lutz (1957), elde ettikleri araştırma bulgularına istatistiksel değerlendirme uygulamamış

olmakla beraber, özellikle egemen kil minerali kaolin olduğunda kırılma değerinin mil içeriği ile, herhangi bir diğer fraksiyon veya fraksiyonlar grubundan daha yakın ilişkili olduğu şeklinde bir değerlendirme yapmışlardır. Canbolat (1990) ise toprak mil içeriği ile normal prosedür ile hazırlanan briketlerin kırılma değeri arasında önemli ($P<0.05$) pozitif bir ilişki tespit etmiştir. Macunla hazırlanan briketlerde, toprak mil+kil içeriği ile kırılma değeri arasında yine ancak tek yönlü test edildiğinde önemli ($P<0.05$) pozitif bir ilişki ($r = 0.528$) bulunmuştur. Lemos ve Lutz (1957), bazı topraklarda kırılma değerini etkileyen en belirgin toprak özelliğinin mil içeriği olurken, diğer bazılarında mil+kil veya mil+kil+ince kum içeriğinin kırılma değeri ile daha yakın ilişkili olduğu şeklinde bir yorum yapmışlardır.

Elde edilen bulgular, toprak tane büyüklük dağılımının kaymak sertliği üzerinde, normal oluşum koşullarına nazaran balçıklaşma gibi maksimum sertlikte kaymak oluşum koşullarında daha etkin olduğunu göstermektedir.

Plastiklik Parametreleri ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişkiler

Toprak örneklerinin likit limiti (LL), plastik limiti (PL) ve plastiklik indeksi (PI) ile kırılma değeri arasında normal prosedür ile hazırlanan briketlerde önemsiz negatif ve macunla hazırlananlarda ise LL ile önemli ($P>0.05$) ve PL ve PI ile ise ancak tek yönlü test edildiğinde önemli ($P<0.05$) pozitif ilişkiler (sırasıyla $r = 0.634$; 0.533 ; 0.510) bulunmuştur. Gill ve Reaves (1957), PI ile kırılma değeri arasında önemli ($P<0.01$) pozitif bir ilişki tespit etmişlerdir.

LL/pF 2 Nemi ve PL/pF 2 Nemi Oranları ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişkiler

LL/pF 2 nemi oranı ile her iki yöntemle de hazırlanan briketlerin kırılma değeri arasında önemsiz negatif ilişkiler ve PL/pF 2 nemi oranı ile normal prosedür ile hazırlanan briketlerin kırılma değeri arasında önemsiz pozitif bir ilişki ve macunla hazırlanan briketlerin kırılma değeri arasında ise önemli ($P<0.05$) negatif bir ilişki ($r = -0.680$) bulunmuştur. Bu bulgular, strüktür stabilitesi için birer indeks olarak kullanılan adı geçen oran değerlerinin de agregat stabilitesi gibi kırılma değeri ile önemsiz ilişkiler verebileceğini göstermektedir.

Büzülme Parametreleri ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişkiler

Toprak briketlerinin kırılma değeri ile büzülme limiti (SL) arasında normal prosedür ile hazırlanan briketlerde önemli ($P<0.05$) negatif bir ilişki ($r = -0.660$) ve macunla hazırlananlarda ise önemsiz pozitif bir ilişki; büzülme indeksi (SI) ve

doğrusal büzülmesi (Ls) arasında normal prosedür ile hazırlanan briketlerde önemsiz ve macunla hazırlananlarda ise ancak tek yönlü test edildiğinde önemli ($P<0.05$) pozitif ilişkiler ($r = 0.530$; $r = 0.530$); hacımsal büzülmesi (Vs) arasında normal prosedür ile hazırlananlarda önemsiz negatif bir ilişki ve macunla hazırlananlarda ise önemli ($P<0.05$) pozitif bir ilişki ($r = 0.620$) elde edilmiştir.

Organik Madde İçeriği, Kireç İçeriği, Katyon Değişim Kapasitesi, agregat Stabilitesi ve Kuru Agregatlar Büyüklük Dağılımı ile Kırılma Değeri Arasındaki İlişkiler

Toprak örneklerinin organik madde içeriği, kireç içeriği, katyon edğişim kapasitesi, agregat stabilitesi ve kuru agregatlar büyüklük dağılımı (2-1; 1-05; 0.5-0.25; < 0.25 mm fraksiyonları ve ortalama ağırlık çapı) ile kırılma değeri arasında önemli ilişkiler bulunmamıştır. Canbolat (1990) organik madde ile, Berkman (1979) ve Canbolat (1990) kireç içeriği ile, Canbolat (1990) katyon edğişim kapasitesi ve agregat stabilitesi ile bu çalışmada bulunanlara benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Reeve ve ark., (1954) ve Gill ve Reaves (1957) katyon edğişim kapasitesi ile kırılma değeri arasında önemli ($P<0.01$) pozitif bir ilişki tespit etmişlerdir.

Kırılma Değeri Üzerindeki Çoklu Etkiler

Normal prosedür ile hazırlanan briketlerde bazı toprak özelliklerinin (kil içeriği-briket hacim ağırlığı-agregat stabilitesi, kil içeriği-briket hacim ağırlığı, organik madde içeriği) kırılma değeri üzerindeki müşterek etkilerinin önemli ($P<0.01$) olduğu saptanmıştır. Buna karşılık, toprak macunu ile hazırlanan briketlerde ise incelemeye alınan bazı toprak özelliklerine ait önemli bir müşterek etki bulunmamıştır.

KAYNAKLAR

- Agassi, M., I. Shainberg and J. Morin., 1981. Effect of eletrolyte concentration and soil sodicity on the infiltration rate and crust formation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 45 : 848-851.
- Allison, R.V., 1923. The modulus of rupture of a soil as an index of its physical structure. J. of the Amer. Soc. of Agron. 15 : 409-415.
- Allison, L.E. and D.C. Moore., 1956. Effect of VAMA and HPAN soil conditioners on aggregation, surface crusting and moisture retention in alkali soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 20 : 143-146.
- Anonymous, 1973. Analytical methods for A.A. spektrofotometry. Perkin Elmer. Norwalk, connecticut, USA.
- Ben-hur, M., I. Shainberg, R.Keren and M.Gal., 1985. Effect of water quality and drying on soil crust properties. Soil Sci. Soc. Amer. J. 49 : 191-196.
- Bennett, O.L., D.A. Ashley and B.D. Doss., 1964. methods of reducing soil crusting to increase cotton seedlings emergence. Agron. J. 56 : 162-165.

- Berkman, A., 1979. Topraklarda kaymak tabakası oluşumu ve laboratuvar koşullarında kaymak sertliği ile toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması. Doçentlik tezi. Çukurova Üni. Ziraat Fak. Adana, (Yayınlanmamış).
- Black, C.A., 1965. Methods of soil analysis. Part I. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA, Agron. No : 9
- Boeckel, P., 1956. Evaluation of the structure of clay soil by means of soil consistency, Medelingen Lanbeuwlogesholl Chent, 24, 353-356.
- Canbolat, M.Y., 1990. Iğdır yöresi topraklarında kaymak sertliği (kırılma değeri) ile ilgili araştırmalar. Doktora tezi, Atatürk Üni. Ziraat Fak., Erzurum (Yayınlanmamış).
- Cary, J.W. and D.D.Evans., 1974. The influence of soil crusts on heat and water storage. Soil Crusts, J.W. Cary and D.D.Evans (Ed) by, A Western Regional Research Publication, The University of Arizona Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 214, p 44-45.
- Day, P.R., 1956. Report of the Committee on physical analysis. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21, 167-169.
- Demiralay, I., 1975. Islak eleme yönteminde kullanılan darbe uzunluğu ve frekansının agregat stabilitesi ölçmesine etkisi ve Erzurum ovası topraklarının bazı özellikleri ile agregat stabilitesi arasındaki ilişkiler üzerinde araştırmalar. (Doçentlik tezi). Atatürk Üni. Ziraat Fak. Erzurum, s. 43 (Yayınlanmamış).
- Domby, C.W. and H. Kohnke., 1956. The influence soil crusts on gaseous diffusion. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 20, 1-5.
- Düzgüneş, O., 1963. Bilimsel araştırmalarda istatistiksel prensipleri ve metotları. Ege Üni. Yayını, İzmir.
- Ells, J.E., 1965. Prevention of stand losses in tomato due to soil crust formation. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 87, 433-437.
- Gill, R.W. and C.A. Reaves., 1957. Relationships of atterberg limits and cation-exchange capacity to some physical properties of soil. Soil Sci. Soc. Proc., 21 : 491-494.
- Güzel, N. ve D. Dinçer., 1977. Van bölgesinde tarla yüzeyinde kabuk oluşumunun mekanizması. TÜBİTAK, VI. Bilim Kong., Tarım ve Ormanlık Araş. Grubu. Ankara, s. 21-29.
- Hanks, R.J., 1960. Soil crusting and seedling emergence. Trans. 7th. Int. Congr. Soil Sci. Madison, Wisconsin, 1, 340-346.
- Hanks, R.J. and F.C. Thorp., 1957. Seedling emergence of wheat grain sorghum, and soybeans as influenced by soil crust strength and moisture content. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 21, 357-359.
- Hızalan, E. ve H. Ünal., 1966. Topraklarda önemli kimyasal analizler. Ankara Üni. Ziraat Fak. Yayını, 278, 5-7.
- Hillel, D., 1960. Crust formation in loessial soils. Trans. 7th. Int. Congr. Soil Sci., Madison, Wisconsin, 1, 330-339.
- Hocaoğlu, Ö.L., 1966. Topraklarda organik madde, nitrojen ve nitrat tayini. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Ziraat Araştırma Enstitüsü Teknik Bülteni, 6, 14-18.
- Israelsen, O.W. and V.E. Hansen., 1965. Irrigation principles and practices. John Wiley and Sons, Inc., New York (Second Edit) p 392.
- Jamison, V.C., 1954. The effect of some soil conditioners on friability and compactibility of soils. Soil Sci. Soc. Proc., 391-394.
- Johnson, R.C. and J.B. Law., 1967. Controlling soil crusting in sugar beet fields by applying concentrated sulfuric acid. J. of the Amer. Soc. of Sugar Beet technologists, 615-618.
- Kemper, W.D., 1965. Agregat stability. Method of soil analysis. C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (Ed.) by, Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA, Agron No 9, Part I, p 511-519.
- Kemper, W.D. and D.E. Miller., 1974. Management of crusting soils : some practical possibilities. Soil crusts, J.W. Cary and D.D. Evans (Ed.) by, A Western Regional Research Publication, The University of Arizona Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 214, 1-6.
- Lemos, P. and J.F. Lutz., 1957. Soil crusting and some factors affecting it. Soil Sci. Amer. Proc., 21, 485-491.

- Levy, G., I. Shainberg and J. Morin., 1986. Factors affecting the stability of soil crusts in subsequent storms. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 50, 196-201.
- McIntyre, D.S., 1958a. Permeability measurements of soil crusts formed by raindrop impact. *Soil Sci.*, 85, 185-189.
- McIntyre, D.S., 1958b. Soil splash and formation of soil crusts by raindrop impact. *Soil Sci.*, 85, 261-265.
- Mertdoğan, S., 1982. Toprak mekaniği laboratuvar el kitabı. Köy İşleri ve Kooperatifler Bakanlığı, Topraksu Genel Müd., Yayın No. 713.
- Nuttall, W.F., 1970. Effect of organic amendmets on some physical properties of luvisolic soils in relation to emergence of rapeseed in a growth chamber. *Can. J. Soil Sci.*, 50, 397-402.
- Reeve, R.C., 1965. Modulus of rupture. *Methods of soil analysis*, C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (Ed.) by. Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA, Agron No 9, Part I, p 466-471.
- Reeve, R.C., C.A. Bower, R.H. Brooks and F.B. Gschwend., 1954. A comparison of the effects of exchangeable sodium and potassium upon the physical condition of soils. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 18, 130-132.
- Richard, A.M., G.A. Nielsen and R.T. Choriki., 1971. Soil crust studies : Evaluation of chemical and physical treatments using modulus of rupture techniques. Montana Agricultural Experiment Station, Montana State Univ. Bozeman, Research Report, 6, 1-15.
- Richards, L.A., 1953. Modulus of rupture as an index of soil crusting. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 17, 321-323.
- Richards, L.A., 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. *Agricultural Handbook*, 60.
- SHainberg, I. and M.J. Singer, 1985. Effect of eletrolytic concentration on the hydraulic properties of depositional crust. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 49, 1260-1263.
- Sowers, G.F., 1965. Consistency. *Methods of soil analysis*. C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark (Ed.) by, Amer. Soc. of Agron., Madison, Wisconsin, USA, Agron. No. 9, Part I, p 391-399.
- Sönmez, K., 1982. Van yöresi topraklarında fosforik asit, triple süper fosfat ve ahır gübresinin agregasyon, agregat stabilitesi ve kırılma değeri üzerine etkileri. Atatürk Üni. Ziraat Fak. Erzurum (Yayınlanmamış).
- Tackett, J.L. and R.W. Reapson., 1965. Some characteristics of soil crusts formed by simulated rainfall. *Soil Sci.*, 99, 407-413.
- Wilcox, L.J. and W.H. Durum., 1967. Quality of irrigation water. *Irrigation of agricultural lands*. Amer. Soc. Agron, madison, Wisconsin, p 104-120.
- Yıldız, N., 1986. Araştırma ve deneme metotları. Atatürk Üni. Ziraat Fak., Ders Notları, Erzurum.
- Yurtsever, N., 1984. Deneysel istatistik metotlar. Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı Köy Hizmetleri Genel Müd. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müd. Yayını, Genel Yayın No. 121, Teknik Yayın No. 56, Ankara.