

**KÖMÜR KÜLÜNÜN TOPRAKLARIN
KİMYASAL ÖZELLİKLERİNE VE
BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ**
Seyide YILMAZ
Yüksek Lisans Tezi
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ
BESLEME Anabilim Dalı
Danışman:Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ
2015

T.C.

NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÖMÜR KÜLÜNÜN TOPRAKLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİNE

VE BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ

Seyide YILMAZ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ

TEKİRDAĞ-2015

Her hakkı saklıdır

Bu tez Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından NKUBAP.00.24.YL.14.01 numaralı proje ile desteklenmiştir

Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ danışmanlığında, Ziraat Mühendisi Seyide YILMAZ tarafından hazırlanan “Kömür Külünün Toprakların Kimyasal Özelliklerine ve Bitki Gelişimine Etkisi” isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

İmza :

Üye: Yrd. Doç. Dr. Orhan YÜKSEL

İmza :

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ

İmza :

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KÖMÜR KÜLÜNÜN TOPRAKLARIN KİMYASAL ÖZELLİKLERİNE VE BİTKİ GELİŞİMİNE ETKİSİ

Seyide YILMAZ

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ

Bu çalışmada; küçümsenmeyecek oranlarda sanayide ve ısınma amaçlı kullanılan linyit kömürünün yakılması sonucu oluşan külün tarım toprağında toprak düzenleyicisi olarak kullanılıp kullanılmayacağını, kullanılabilir değerlerde olması durumunda hangi dozların uygulanabileceğini belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için iki farklı tekstür sınıftaki toprağa %0- %5- %15- %20 dozlardaki kömür külü uygulanarak kömür külünün çevre kirliliği oluşturmaması ve atık durumundaki külün içeriğindeki bazı özelliklerinden de yararlanılması esas olmuştur. Deneme sonuçları, kömür külünün %5 ve altı değerlerde toprağa karıştırılarak kullanılmasıyla azot, organik madde, bitkiye yararışlı potasyum, bakır, mangan, demir, kalsiyum, çinko, magnezyum gibi bitki besin elementlerince toprağı zenginleştirdiğini göstermiştir. Bitki gelişiminde (bitki boyu ve çıkışı açısından) en iyi sonucun %5 kül uygulamasında olduğu; düşük pH'lı toprağın pH'ını yükseltirken yüksek pH'lı topraklarda sıkıntı oluşturmadığı belirlenmiştir. Her iki toprakta da kül uygulaması nikel, çinko, kadmiyum, kurşun, cıva, krom, kalay, bakır elementleri mevcut yönetmeliklere göre ağır metal kirliliği oluşturmamaktadır. Ancak istatistiksel analiz sonuçlarına göre %15 ve %20 kül dozlarının uygulanmasıyla topraklarda önemli krom miktarı artışı ve % 20 kül dozu uygulamasın da nikel ve bakır değerleri artışı önemli bulunmuştur. Topraklarda ağır metal birikimi istenilmediğinden %5 kül dozunun fazlası uygulanmamalıdır. Kömür külünün %5 dozunu geçmeyecek şekilde kontrollü bir uygulama yapılmasıyla bol miktarda çıkan külün çevre kirliliği oluşturmasının önüne geçilerek, doğal kaynakların etkin ve doğru kullanılması sağlanmış olup toprağa yarattığı olumlu etkisinden de yararlanılmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Kömür külü, toprak kirliliği, adi fiğ, toprak düzenleyicisi

2015, 93 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

THE EFFECTS OF COAL DUST on THE CHEMICAL PROPERTY OF SOIL and THE GROWING of PLANTS.

Seyide YILMAZ

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Science and Plant Nutrition

Supervisor: Assistant Professor Duygu BOYRAZ

In this study; we examined whether the ash of the lignite coal, which is being used widely both in industry and heating, can be used on soil as a fertilizer, and if so what amount of lignite coal ash is appropriate to this process. In order to find out the out come two different kind of soil have been exposed to lignite coal ash in diferent levels as 0,5,15 and 20%. By applying the given amount of lignite ash on the soil the environmental pollution has been avoided and some benefits of the lignite coal ash has been aimed. The study showed that applying 5% and below limits of lignite coal ash on the soil leads to an increase of the elements which is beneficial to the soil such as nitrogen, organic matter, potassium, copper, manganese, iron, calcium, zinc, magnesium. In order to obtain the best result for plant growing the amount of coal ash should be limited at 5%. The study also showed that the coal ash increases the pH of the soil which has lower limits and does not harm the soil which has high pH degree. The examined soils shows no sign of polluting agent like nickel, zinc, cadmium, lead, mercury, chrome, tin, copper with respect to current regulations. According to the statistical analysis the chrome levels increased significantly after applying 15 and 20% of coal ash while applying 20% of ash leads to an increase of nickel and copper. To avoid high volume of heavy metals in the soil the coal ash should be limited on 5%. By using 5% of lignite coal ash on the soil a huge amount of environmental disaster will be avoided and the natural resources will be used both efficiently and rightly by taking advantage of the benefits of the lignite coal ash.

Keywords: Coal ash, soil pollution, common vetch, soil conditioner.

2015, 93 pages

İÇİNDEKİLER	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	iv
ŞEKİL DİZİNİ	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1.Kömür Külünün Özellikleri.....	3
2.2.Yönetmeliklere Göre Ağır Metallerde Sınır Değerler.....	4
2.3.Kömür Külünün Tarımda Kullanımı.....	6
3. METERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Kullanılan külün özellikleri.....	12
3.1.2. Kullanılan toprakların özellikleri.....	13
3.2. Yöntem.....	14
3.2.1. Denemenin kurulması	14
3.2.2. Analiz yöntemleri.....	16
3.2.3 Materyalin yönetmeliklere göre değerlendirilmesi.....	17
3.2.4. İstatistiksel analizler.....	18
4.ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	19
4. 1 Toprak Örneklerinin Bazı Kimyasal Özellikleri.....	19
4.1.1 Toprakların pH değerlendirmesi	19
4.1.2. Toprakların organik madde değerlendirmesi	23
4.1.3. Toprakların elektriki iletkenlik değerlendirmesi	26
4.1.4 Toprakların azot değerlerinin değerlendirilmesi	29
4.2 Deneme Saksıları Topraklarının Bazı Ağır Metal İçerikleri	32
4.2.1 Toprakların cıva, kalay, kadmiyum içeriklerinin değerlendirilmesi	32
4.2.2 Toprakların toplam krom değerlerinin değerlendirilmesi	33
4.2.3 Toprakların toplam nikel içeriklerinin değerlendirilmesi	36
4.2.4 Toprakların toplam kurşun içeriğinin değerlendirilmesi	39

4.2.5 Toprakların toplam çinko içeriğinin değerlendirilmesi	42
4.2.6 Topraklardaki toplam bakır içeriğinin değerlendirmesi	44
4.3 Deneme Saksıları Topraklarının Bazı Makro Mikro Yarayışlı Besin Elementi İçerikleri.....	48
4.3.1 Toprakların yarayışlı potasyum içerikleri değerlendirilmesi	48
4.3.2 Toprakların yarayışlı kalsiyum değerlerinin değerlendirilmesi	52
4.3.3 Toprakların yarayışlı magnezyum içeriğinin değerlendirilmesi	55
4.3.4. Toprakların yarayışlı demir içeriğinin değerlendirilmesi	59
4.3.5 Toprakların yarayışlı bakır içeriği değerlendirilmesi	63
4.3.6 Toprakların yarayışlı çinko içeriği değerlendirilmesi	66
4.3.7 Toprakların yarayışlı mangan içeriği değerlendirilmesi	68
4.3.8 Toprakların yarayışlı fosfor içeriğinin değerlendirilmesi	72
4.4.Denemede Yetiştirilen Bitkinin Gelişim Aşamalarında Morfolojik Gözlemler.....	75
5.SONUÇ VE ÖNERİLER.....	88
6. KAYNAKLAR.....	90
ÖZGEÇMİŞ.....	93

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

No

Çizelge 2.1. Anonim (2014)'te göre ağır metal sınır değerleri	5
Çizelge 2.2. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim 2010)	5
Çizelge 2.3. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması (Yıldız 2004)	6
Çizelge 2.4.Çeşitli topraklarda uçan kül uygulamasının farklı bitkilerde verim üzerine etkisi (Kumar ve ark.2005)	9
Çizelge 3.1. Denemede kullanılan külün ağır metal analiz sonuçları	12
Çizelge 3.2. Denemede kullanılan külün bazı kimyasal analiz sonuçları	13
Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprakların ağır metal analiz sonuçları.....	13
Çizelge 3.4. Denemede kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları.....	14
Çizelge 3.5. Deneme saksıları ve dozlarının oluşum tablosu	15
Çizelge 3.6. Araştırmada kullanılan külün analiz sonuçları ile ilgili yönetmeliklerdeki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması.....	18
Çizelge 4.1. Toprakların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988).....	19
Çizelge 4.2. Deneme konularına pH değerleri	20
Çizelge 4.3. pH değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	20
Çizelge 4.4. pH değerine ilişkin LSD testi sonuçları	21
Çizelge 4.5 Toprakların organik madde içeriklerinin sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988)	23
Çizelge 4.6. Deneme konularına organik madde (%) değerleri	23
Çizelge 4.7. Organik madde içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları	24
Çizelge 4.8. Organik madde içeriğine ilişkin LSD testi sonuçları	24
Çizelge 4.9.Tuzluluk durumunun sınıflandırılması (Richard1954).....	26
Çizelge 4.10. Deneme konularına EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$) değerleri	26
Çizelge 4.11. EC değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	27
Çizelge 4.12. EC değerine ilişkin LSD testi sonuçları	27
Çizelge 4.13. Toprakların azot içeriklerinin sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988).....	29
Çizelge 4.14. Deneme konularına azot (%) değerleri	30
Çizelge 4.15. Azot değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	30

Çizelge 4.16. Azot değerlerine ilişkin LSD testi sonuçları	30
Çizelge 4.17. Topraklarının toplam kalay, cıva ve kadmiyum içerikleri (ppm)	33
Çizelge 4.18. Deneme konularına toplam krom (ppm) değerleri.....	34
Çizelge 4.19. Krom değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	34
Çizelge 4.20. Krom değerine ilişkin LSD testi sonuçları	35
Çizelge 4.21. Deneme konularına toplam nikel (ppm) değerleri	36
Çizelge 4.22. Nikel değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	37
Çizelge 4.23. Nikel değerine ilişkin LSD testi sonuçları	37
Çizelge 4.24. Deneme konularına toplam kurşun (ppm) değerleri	39
Çizelge 4.25. Kurşun değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	39
Çizelge 4.26. Kurşun değerine ilişkin LSD testi sonuçları	40
Çizelge 4.27. Deneme konularına toplam çinko (ppm) değerleri	42
Çizelge 4.28. Çinko değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	42
Çizelge 4.29. Çinko değerine ilişkin LSD testi sonuçları	43
Çizelge 4.30. Deneme konularına toplam bakır (ppm) değerleri	45
Çizelge 4.31. Bakır değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	45
Çizelge 4.32. Bakır değerine ilişkin LSD testi sonuçları	46
Çizelge 4.33. Toprakların toplam K bakımından sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1998)..	49
Çizelge 4.34. Deneme konularına yarayırlı potasyum (ppm) değerleri.	49
Çizelge 4.35. Potasyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	50
Çizelge 4.36. Yarayırlı potasyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları	50
Çizelge 4.37. Toprakların değışebilir Ca bakımından sınıflandırılması (Anonymous1990)	52
Çizelge 4.38. Deneme konularına yarayırlı kalsiyum (ppm) değerleri	52
Çizelge 4.39. Yarayırlı kalsiyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	53
Çizelge 4.40. Yarayırlı kalsiyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları	53
Çizelge 4.41. Toprakların değışebilir Mg miktarlarının sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1998)	56
Çizelge 4.42. Deneme konularına yarayırlı magnezyum (ppm) değerleri	56
Çizelge 4.43. Yarayırlı magnezyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	57
Çizelge 4.44. Yarayırlı magnezyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları	57
Çizelge 4.45. Toprakların bitkilere yarayırlı Fe bakımından sınıflandırılması (Lindsay ve Norvell 1978).....	60
Çizelge 4.46. Deneme konularına yarayırlı demir (ppm) değerleri	60
Çizelge 4.47. Demir değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	60
Çizelge 4.48. Yarayırlı demir değerine ilişkin LSD testi sonuçları	61
Çizelge 4.49. Toprakların bitkilere yarayırlı Cu bakımından sınıflandırılması (Lindsay	

ve Norvell 1978).....	63
Çizelge 4.50. Deneme konularına yarayışlı bakır (ppm) değerleri	63
Çizelge 4.51. Bakır değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	64
Çizelge 4.52. Yarayışlı bakır değerine ilişkin LSD testi sonuçları	64
Çizelge 4.53. Toprakların bitkilere yarayışlı Zn bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990).....	66
Çizelge 4.54. Deneme konularına yarayışlı çinko (ppm) değerleri	66
Çizelge 4.55. Çinko değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	67
Çizelge 4.56. Çinko içeriğine ilişkin LSD testi sonuçları	67
Çizelge 4.57. Toprakların bitkilere yarayışlı Mn bakımından sınıflandırılması(Anonymous 1990).....	69
Çizelge 4.58. Deneme konularına yarayışlı mangan (ppm) değerleri	69
Çizelge 4.59. Mangan değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	70
Çizelge 4.60.Mangan değerine ilişkin LSD testi sonuçları	70
Çizelge 4.61. Toprakların bitkilere yarayışlı P bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990)	72
Çizelge 4.62. Deneme konularına yarayışlı fosfor (ppm) değerleri	72
Çizelge 4.63. Fosfor değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	73
Çizelge 4.64. Yarayışlı fosfor değerine ilişkin LSD testi sonuçları	73
Çizelge 4.65. Deneme konularına 8. gün bitki çıkış (adet) değerleri	78
Çizelge 4.66 Sekizinci gün bitki çıkış değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	79
Çizelge 4.67 Sekizinci gün bitki çıkış değerine ilişkin LSD testi sonuçları	79
Çizelge 4.68. Deneme konularına 15. gün bitki çıkış (adet) değerleri	80
Çizelge 4.69 On beşinci gün bitki çıkış değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları.....	80
Çizelge 4.70 On beşinci gün bitki çıkış değerine ilişkin LSD testi sonuçları	81
Çizelge 4.71. Deneme konularına 8. gün bitki boyu (cm) değerleri	81
Çizelge 4.72 Sekizinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	82
Çizelge 4.73 Sekizinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları	82
Çizelge 4.74. Deneme konularına 15. gün bitki boyu (cm) değerleri	83
Çizelge 4.75 On beşinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	83
Çizelge 4.76 On beşinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları	84
Çizelge 4.77. Deneme konularına 58. gün bitki boyu (cm) değerleri	85
Çizelge 4.78 Elli sekizinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları	85
Çizelge 4.79 Elli sekizinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları	86

ŞEKİL DİZİNİ	Sayfa
	No
Şekil 3.1. Deneme saksılarının 8 farklı karışım ve 3 tekerrürlü oluşturulması.....	16
Şekil 4.1. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının pH değerlerinin grafiği.....	22
Şekil 4.2. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının pH değerlerinin grafiği.....	22
Şekil 4.3. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının organik madde (%) içerikleri grafiği.....	25
Şekil 4.4. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının organik madde (%) içeriği grafiği.....	25
Şekil 4.5. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının EC tuzluluk ($\mu\text{s/cm}$) değerleri grafiği.....	28
Şekil 4.6. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının EC Tuzluluk değerleri ($\mu\text{s/cm}$) grafiği.....	29
Şekil 4.7. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakları azot değerlerinin (%) grafiği.....	31
Şekil 4.8. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakları azot değerlerinin (%) grafiği.....	32
Şekil 4.9. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarında krom (ppm) değerlerinin grafiği.....	35
Şekil 4.10. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki krom (ppm) değerlerinin grafiği.....	36
Şekil 4.11. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarının nikel (ppm) değerlerinin grafiği.....	38
Şekil 4.12. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki nikel (ppm) değerlerinin grafiği.....	38
Şekil 4.13. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki kurşun (ppm) değerleri grafiği.....	41
Şekil 4.14. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki kurşun (ppm) değerleri grafiği.....	41
Şekil 4.15. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki çinko (ppm) değerlerinin grafiği.....	44

Şekil 4.16. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki çinko (ppm) değerlerinin grafiği.....	44
Şekil 4.17. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarında toplam bakır (ppm) değerleri grafiği.....	47
Şekil 4.18. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki toplam bakır (ppm) değerleri grafiği.....	47
Şekil 4.19 Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı potasyum (ppm) değerleri grafiği.....	51
Şekil 4.20. Kumlu tınlı toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı potasyum (ppm) değerlerinin grafiği.....	51
Şekil 4.21. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı kalsiyum (ppm) değerleri grafiği.....	54
Şekil 4.22. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı kalsiyum (ppm) değerleri grafiği.....	55
Şekil 4.23. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı magnezyum değerleri grafiği.....	58
Şekil 4.24. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı magnezyum (ppm) değerleri grafiği	59
Şekil 4.25. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı demir (ppm) değerleri grafiği.....	62
Şekil 4.26. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı demir (ppm) değerleri grafiği.....	62
Şekil 4.27. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı bakır (ppm) değerleri grafiği.....	65
Şekil 4.28. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı bakır(ppm) değerleri grafiği.....	65
Şekil 4.29. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı çinko (ppm) değerleri grafiği	68
Şekil 4.30. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı çinko(ppm) değerleri grafiği.....	68
Şekil 4.31. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı mangan (ppm) değerleri grafiği.....	71

Şekil 4.32. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı mangan (ppm) değerleri grafiği.....	71
Şekil 4.33. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı fosfor (ppm) değerleri grafiği.....	74
Şekil 4.34. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı fosfor (ppm) değerleri grafiği.....	75
Şekil 4.35.Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin 8. gün fotoğrafı	75
Şekil 4.36.Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin 15. gün fotoğrafı	76
Şekil 4.37. Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin hasat öncesi fotoğrafı.....	76
Şekil 4.38.Killi toprakta 4 farklı dozda kül uygulaması ve 3 tekerrürlü saksı denemesinde yetiştirilen fiğ bitkisinin hasat edildikten sonraki fotoğrafı.....	77
Şekil 4.39.Kumlu toprakta 4 farklı dozda kül uygulaması ve 3 tekerrürlü saksı denemesinde yetiştirilen fiğ bitkisinin hasat edildikten sonraki fotoğrafı.....	78

TEŞEKKÜR

Bu araştırma sürecinde;

Bana her türlü yardımı sağlayan, ihtiyacım olduğu her an ulaşabildiğim ve her konuda elinden gelen desteği veren, planlı çalışmasıyla, göstermiş olduğu ilgi ve kurmuş olduğu diyalogla hayat boyu örnek alınması gerektiğini düşündüğüm Tez Yöneticisi Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Duygu BOYRAZ'a, tezimin son şeklini almasında harcamış oldukları mesailerinden, yapmış oldukları bilgilendirme ve yönlendirmelerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Türkan AKTAŞ'a ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan YÜKSEL'e, araştırmayı destekleyen Namık Kemal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü (BAP)'ne, beni her zaman destekleyen, bana her türlü olanakları sunan, sınırsız anlayış gösteren çok değerli aileme, toprak örnekleri analizlerinin yapılmasında yardımcı olan NABİLTEM Toprak Laboratuvarı personeli Sayın Uzman Elif Burcu BAHADIR ve Sayın Uzman Ayşenur ÖZVARDARLI'ya,

Teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2015

Seyide YILMAZ

1.GİRİŞ

Ülkemizin toplam kömür rezervi MTA verilerine göre 8,2 milyar ton olup, ülkemizin sanayi ve evlerde kullanılan sobalarda yakılan kömür ihtiyaçları 988.044.000 ton üretimle karşılanmaktadır (Anonim 2006). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ankara Kömür Sektör Raporu 2008 verilerine göre 2007 yılı itibariyle Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu'nun linyit kömürü üretiminin % 76'sı termik santrallerinde, % 24'ü sanayi ve ısınma sektöründe kullanılarak tüketilmiştir. 2008 yılı itibariyle ülkemizin yaklaşık 17 milyon ton kömür ihtiyacı olduğu öngörülmüş ve ihtiyacının yaklaşık yarısı ithalat yoluyla yarısı ise Türkiye Kömür İşletmeleri ve diğer yerli üreticiler tarafından karşılanmıştır (Anonim 2008a). Linyit kömürlerimizin kül miktarlarının genel olarak %15–30 olduğu bildirilmektedir (Karatekin 1945). Yıllık 17 milyon ton kullandığımız kömürün ortalama %20 sinin kül olduğunu ele alarak hesaplırsak yıllık linyit kömür kullanımımızdan 3.400.000 ton kül atık madde olarak çıkmaktadır. Bir yılda atık olarak çıkan 3.400.000 ton külün hacimsel olarak kapladığı alan hesaplandığında (1 tonu 1,74482 m³) 5.932.388. m³'lük bir hacim kaplamaktadır.

Kömürün enerji üretimi ve ısınma amaçlı yakılması sonucu arta kalan materyal olan kömür külü gelişi güzel doğaya bırakıldığında çevre kirliliği oluşturmakta olup, yığılma yapıldığında ise kapladığı hacim hesaplandığında ciddi yer bulma sorunu oluşmaktadır. Oysa toprak düzenleyicisi olarak kül kullanımı toprak dokusunu ve su tutma kapasitesini düzeltebilir, toprak pH'ını arttırabilir ve toprak verimliliğini zenginleştirebilir. Barman ve ark. (1999) termik santrallerinden çıkan uçucu külün problemli toprakların fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzeltmedeki etkisi nedeniyle tarımsal toprakların verimini arttırmada kullanılabileceği belirtilmektedir. Das ve ark. (2000) uçucu külün toprağa katılmasının, toprak dokusunun düzelmesini (kaba ve ince taneli toprakların her ikisi için), su tutma kapasitesinin artmasını (kaba taneli topraklar için), pH'ının artmasını (asidik topraklar için) ve çoğu makro mikro besinlerin yoğunluğunun artmasını sağladığını belirtmektedir.

Ülkemizde DİE 2001 verilerine göre turbo başlığı altında leonardit vb. organik materyaller ithal edilmekte ve ithalat rakamları 31.293 ton'dur (Anonim 2001). Bunun döviz karşılığı ise 3.607 Dolar/ yıl'dan daha fazladır. Ayrıca ülkemizde yılda 3.000 ton humik asit çeşitli ülkelerden ithal edilmekte ve bunun ekonomik değeri ise 3 milyon dolar/yıl'dır. Bu rakamların yıllara göre artma potansiyeli yüksektir. Bu nedenle organik gübre üretiminde organik materyalin tarımsal önemi nedeni ile bulunduğu kıt kaynaklar daha da önem kazanmaktadır (Anonim 2008b).

Ülkemizde termik santrallerde kömürün enerji üretiminde kullanımı sonucu atık olarak çıkan uçucu külün farklı alanlarda kullanılması ile ilgili yapılan araştırmalar olmasına karşın sanayi ve ısınmada kullanılan kömürün yanması sonucu oluşan külle ilgili yapılmış yaygın araştırma bulunmamaktadır. Bu çalışmada küçümsenmeyecek oranlarda sanayide ve ısınma amaçlı kullanılan linyit kömürünün yakılması sonucu oluşan külün tarım toprağında toprak düzenleyicisi olarak kullanılıp kullanılmayacağını, kullanılabilir değerlerde olması durumunda hangi dozların uygulanabileceğini belirlemek amaçlanmıştır. Bunun için iki farklı tekstür sınıfındaki toprağa farklı dozlardaki kömür külü uygulanarak kömürün yanması sonucu oluşan külün evre kirliliği oluşurmaması ve atık durumundaki külün içeriğindeki bazı özelliklerinden de yararlanılması esas olmuştur.

2.KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Kömür Külünün Özellikleri

Kömür homojen olmayan, kompakt, çoğunlukla bitki parçalarından meydana gelen, tabakalaşma gösteren, içerisinde çoğunlukla C, az miktarlarda H–O-S ve N elementlerinin bulunduğu ama inorganik (kil, silt, iz elementleri gibi) maddelerin de olabildiği, bataklıklarda oluşan, kahverengi ve siyah renk tonlarında, yanabilen, katı fosil organik kütlelerdir.

Kömürler, bataklık ortamlarda, uygun şartların sağlanması durumunda, bitki parçalarının bozuşması, parçalanması, bataklık suyu ile bir jel haline gelmesi, bazı kimyasal reaksiyonlar sonucu bu organik malzemenin fiziksel ve kimyasal değişiklere uğraması sonucu meydana gelmektedir (Anonim 2009).

Bozulan canlı organizma bitkisel ise linyit veya taşkömürü, hayvansal ise genellikle petrol oluşmuştur. Bazı kömürler hem bitkisel hem de hayvansal bozulma ürünleri içerirler. Oluşum yaşına ve jeolojik etmenlere göre oksijen, hidrojen ve karbon içeriği bakımından farklılıklar gösteren kömürler oluşur. Kömürleşmede zamanın dışında biyolojik faktörler, hidroliz, oksidasyon, yer kabuğu katmanlarının basıncı ve sıcaklık önemli rol oynar. Kömürleşme derecesine göre antrasit %87-94 karbon içerir ve yandığında 9000-9500 kcal/kg ısı verir, taş kömürü %75-87 karbon içerir ve yandığında 7000-9000 kcal/kg ısı verir, linyit %55-75 karbon içermektedir ve yandığında 4000-7000 kcal/kg ısı verir (Anonim 1971).

Katı mineral bir yakıt olan kömürün yapısında çeşitli minerallerden oluşan inorganik maddeler yer alır. Kömür külü kömürün yanması sonucu oluşan oksitlenmiş yanmayan artıktır ve mineral madde içeriği ile yakından ilişkilidir (Bayburt ve Yener 2001).

Kömürde bulunan ve yakma sonucu külü oluşturan mineraller esasen dört grupta toplanabilirler; alimünasilikatlar (killer), karbonatlar, sülfürler ve silika (Hemmings ve Berry 1986). Yüksek sıcaklık koşullarında kimyasal olarak değişmeyen silika (kuarz) dışında, diğer kömür minerallerinin çoğu ayrışır. Kil mineralleri su kaybeder çoğu camsı veya kristalin bileşiklere dönüşürler. Karbonatlar CO₂, CaO, MgO ve kompleks oksit bileşiklere dönüşürler. Sülfürler büyük oranda metalik oksitler (hematit, magnetit ve spinel) ve SO₂ şeklinde yükseltgenirler. Klorürler, buharlaşma ve sülfirizasyon ile HCl ve sülfatlara dönüşürler. Kazan alevinde yüksek sıcaklık koşulları altında parçacıklarda bir dizi karışık fizikokimyasal dönüşümler oluşur. Parçacıklar erimeleri sırasında etkin olan yüzey gerilim kuvvetlerinin bir sonucu olarak hızla küresel bir yapıya dönüşürler. Bunların soğuma hızları fazlasıyla parçacık

büyüklüğüne bağlıdır. Büyük parçacıklar daha yavaş soğuyacak ve böylece kristallenme daha iç kısımda oluşacaktır. İnce partiküller çoğunlukla camsı yapıda soğur (Şengül 2002).

Termik santrallerinde enerji üretimi için yakılan kömürden atık materyal olarak çıkan uçucu kül, koyu gri renkte, çok ufak taneli bir malzemedir. Renginin koyuluğu açıklığı, elde edildiği kömüre ve yanış özelliğine bağlıdır. Yanmanın tam olmadığı durumda oluşan uçucu küle siyah renk veren içindeki yanmamış karbondur. İyi yanma sonucu oluşan uçucu kül değerine göre daha açık renktedir. Uçucu külün inceliği öncelikle kazana verilen kömürün öğütülme derecesine bağlıdır, inceliğe etki eden ikinci faktör, küllerin mümkün olabildiğince bacadan kaçmasına mani olunarak tutulmasıdır. Bacadan kaçan kısım azaldıkça incelik artar. Boyutları genellikle 0,5 ile 200 mikron arasında değişen, camsı ve çoğunlukla küresel karakterdeki parçacıklardır. Spesifik yüzeyleri 1800– 5000 cm²/gr arasında değişmekle birlikte, ortalama 2800-3800 cm²/gr dolayındadır. Uçucu külün yoğunluğu, inceliğine ve mineralojik yapısına bağlıdır. İçi dolu küresel tanelerden meydana gelen uçucu küllerin mutlak yoğunluğu 2,2 – 2,7 gr/cm³ arasındadır (Güler ve ark. 2005).

Tuna ve Girgin (2005) yaptıkları araştırmada Yatağan Termik Santralinden çıkan uçucu kül örneğinin elementel analizi yaptırılmış ve ağır metal değerleri demir (Fe) %2,5, çinko (Zn) 76,7 ppm, mangan (Mn) 246,1 ppm, bakır (Cu) 38,5 ppm, kadmiyum (Cd) 0,93 ppm, kobalt (Co) 13,5 ppm, krom (Cr) 33,4 ppm, nikel (Ni) 47,0 ppm, kurşun (Pb) 11,8 ppm bulunmuştur.

2.2 Yönetmeliklere Göre Ağır Metallerde Sınır Değerler

Ülkemizde topraklarımızın korunması ve amacına yönelik kullanılması Toprak Koruma Kanunu ve Çevre Kanununun da belirtilen hususlar doğrultusunda yürütülmektedir. Bu kanunlara dayanılarak çıkarılan yönetmeliklerde tarım topraklarına karıştırılabilecek gübre, toprak düzenleyicisi ve atık madde gibi materyallerin ne özellikte ve içeriğinde kirletici özelliği bulunan elementlerin izin verilebilir miktarlarının nasıl olduğu aşağıda ayrıntılı verilmektedir.

Amacı toprakların fiziksel, kimyasal ve biyolojik yapısının iyileştirilmesi, bitkisel üretimde verimliliğin artırılması, insan sağlığının korunması ve çevre kirliliğinin önlenmesi amacıyla, organik, organomineral gübreler ve toprak düzenleyiciler ile mikrobiyal, enzim içerikli ve diğer ürünlerin kullanımını yaygınlaştırmak, tanımlamak, bunlara ait analiz metotlarını belirlemek ve bu ürünlerin ithali, ihracı, üretimi, piyasaya arzı ile kayıt altına alınmasına ilişkin uyulması gereken usul ve esaslar ile bu usul ve esaslara uyulmaması halinde uygulanacak olan yaptırımları belirlemek olan ve 29 Mart 2014 Tarih ve 28956 Sayılı

Resmi Gazetede yayımlanan Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler İle Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik'in madde 5(1) bendinde yönetmelikte ifade edilen ürünlerdeki (gübreler ve toprak düzenleyicilerdeki) ağır metal oranları mg/kg (ppm) cinsinden Çizelge 2.1'deki değerleri geçemeyeceği belirtilmektedir (Anonim 2014).

Çizelge 2.1. Anonim (2014)'te göre ağır metal sınır değerleri

Element	Sembolü	Birimi (mg/kg) (ppm)
Kadmiyum	Cd	3
Bakır	Cu	450
Nikel	Ni	120
Kurşun	Pb	150
Çinko	Zn	1100
Cıva	Hg	5
Krom	Cr	350
Kalay*	Sn	10

(*) Sadece hayvansal orijinli organik gübrelerin üretiminde kullanılan hammaddelerde ve mamul ürünlerde kalay aranır.

Amacı alıcı ortam olarak toprağın kirlenmesinin önlenmesi, kirlenmenin mevcut olduğu veya olması muhtemel sahalarda ve sektörleri tespit etmek, kirlenmiş toprakların ve sahaların temizlenmesi ve izlenmesi esaslarını sürdürülebilir kalkınma hedefleriyle uyumlu bir şekilde belirlemek olan 08.06.2010 Tarih ve 27605 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'te belirtilen ağır metal sınır değerleri Çizelge 2.2 belirtildiği gibidir (Anonim 2010).

Çizelge 2.2. Topraktaki ağır metal sınır değerleri (Anonim 2010)

Ağır Metal (Toplam)	Toprağın yutulması ve deri teması yoluyla emilim (mg/kg Fırın Kuru Toprak)
Kurşun	400
Kadmiyum	70
Krom	235
Bakır	3129
Nikel	1564
Çinko	23464
Cıva	23

Özgül ağırlıkları 5 gr/ cm³ den, atom numarası 20'den fazla olan elementler periyodik cetvelin geçiş elementleri olarak tanınan geniş bir gruba aittirler. Aslında ağır metal terimi literatüre çevre kirliliği ile girmiştir. Kirlenme ve toksisite bakımından bir yan anlam olarak kullanılmaktadır. Bu grubun içine 70 kadar element girmekle birlikte ekolojik bakımdan önemli 20 element dikkati çekmektedir (Fe, Mn, Zn, Cu, V, Mo, Co, Ni, Cr, Pb, Be, Cd, Tl, Sb, Se, Sn, Ag, As, Hg, Al). Bunların bir kısmı Çizelge 2.4'te görüldüğü gibi bitki ve hayvanlar için mikro besin (Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, Ni) maddesi olabilmekte, izin verilebilir sınırı aşmadığı sürece toksik olmamaktadır (Yıldız 2004).

Çizelge 2.3. Önemli ağır metallerin ekolojik sınıflaması (Yıldız 2004)

Element	Özgül ağırlık (g/cm ³)	Bitki ve hayvan için gereklilik	Kirletici olup olmadığı
Gümüş (Ag)	10,5	-	K
Kadmiyum (Cd)	8,5	-	K
Krom (Cr)	7,2	G	K
Kobalt (Co)	8,9	G	K
Bakır (Cu)	8,9	G	K
Demir (Fe)	7,9	G	K
Cıva (Hg)	13,6	-	K
Mangan (Mn)	7,4	G	--
Kurşun (Pb)	11,3	--	K
Molibden (Mo)	10,2	G	K
Nikel (Ni)	8,9	G	K
Platin (Pt)	21,5	--	--
Talyum (Tl)	11,9	--	K
Kalay (Sn)	7,3	--	K
Uranyum (U)	19,1	G	K
Vanadyum (V)	6,1	G	K
Tungsten (W)	19,3	G	K
Çinko (Zn)	7,1	G	K
Zirkon (Zr)	6,5	---	--

2.3 Kömür Külünün Tarımda Kullanımı

Dünyada ve ülkemizde termik santrallerinde kömürün enerji üretiminde kullanımı sonucu atık olarak çıkan uçucu külün farklı alanlarda kullanılması ile ilgili yapılan araştırmalar olmasına karşın sanayi ve ısınmada kullanılan kömürün yanması sonucu oluşan külle ilgili yapılmış yaygın araştırma bulunmamaktadır.

Muğla ili Yatağan Termik Santralinden kaynaklanan uçucu küllerin mısır (*Zeamays L.*) bitkisinde büyüme, mineral beslenme ve ağır metal içeriği üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla bir çalışma yapılmıştır. Asıl kaynağı kömür olan uçucu kül, zengin bir mineral içeriğe sahip olup, bitki beslenmesine ve gelişmesine katkıda bulunabilir. Denemede bitki yetiştirme ortamı olarak torf ve kum kullanılmış ve ortama %6,25, 12,5, 18,75 ve 25,00 oranlarında uçucu kül karıştırılmıştır. Yetiştirme ortamına karıştırılan uçucu kül, yaprak ve köklerin mineral besin elementi içeriklerinde değişikliklere neden olurken, bitkideki ağır metal içeriği toksik düzeye ulaşmamıştır. Yüksek oranda uçucu kül uygulaması % kuru madde, gövde çapı, yaprak alanı ve toplam klorofil içeriğinde azalmaya neden olmasına rağmen, düşük oranda kül uygulaması, büyüme parametreleri ve mineral beslenme üzerinde olumlu etkilere neden olmuştur. Tuna ve Girgin (2005) yaptıkları bu araştırmada termik santralinde yakılan kömür külünün yoğun toksik element içermediğini ve kısmen de olsa bitki gelişimi ve elemental kompozisyon üzerine katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir.

Asit toprakları iyileştirmek için kömür külünün kullanımı üzerine Land Kalkınma Bölgesel Ofisi 1, Pathum Thani Province, Central Tayland'da Ocak-Mayıs 2003 tarihlerinde serada bir araştırma gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarda toprağı iyileştirmek için değişik oranlarda 0, 6.25, 12.5, 18.75 ve 25 t/ha uçan kül karışımı ve cürufllu kül karışımı kullanmışlardır. Bu çalışmanın amacı, kömür külü uygulamasının asit toprak ve sebze (Çin lahanası) büyümesi üzerine etkisini belirlemektir. Çin lahanası tohumlarını tesadüf blokları deneme deseninde üç tekerrürlü olarak dikilmiştir. Pak Chong toprak serisi (Ultisols) büyüme ortamı olarak kullanılmıştır. Yirmi gün yaşlı fideler farklı miktarda kömür külü muamelesi içeren asit topraklı 270 saksıya (saksı başına iki bitki) 1) kontrol, 2) uçucu kül miktarı 6.25 t/ha, 3) uçucu kül miktarı 12.5 t/ha, 4) uçucu kül miktarı 18.75 t/ha, 5) uçucu kül miktarı 25 t/ha, 6) cürufllu kül miktarı 6.25 t/ha, 7) cürufllu kül miktarı 12.5 t/ha, 8) cürufllu kül miktarı 18.75 t/ha ve 9) cürufllu kül miktarı 25 t/ha. şeklinde aktarılmıştır. Kimyasal gübre olarak 250 kg/ha 15-15-15 NPK uygulanmıştır. Bitkiler dikimden 40 gün sonra hasat edilmiştir. Kömür külü karışımının kullanılması N'un bitkiler tarafından alım konsantrasyonları yanı sıra katyon değişim kapasitesini, temel saturasyon yüzdesini ve toprakta Ca, Mg ve S içeriklerini arttırmıştır. Toprakta ağır metaller (Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, As) izin verilebilir seviyelerde bulunurken, bitkilerde Cd, Cr ve Ni insan sağlığı için kritik seviyelerde bulunmuştur (Bamroongrugsu ve ark. 2004).

Hindistan'da uçucu küllerin toprak ve bitki üzerine etkilerinin araştırıldığı tarla denemesi şeklinde düzenlenen diğer bir çalışmada, 10-50 t/ha arasında değişen dozlarda uçucu kül toprağı karıştırılmış ve uçucu külün buğday (*Triticumaestivum L.*), hardal

(Brassicajuncea L.), mercimek (*Lensesculenta* Moench.), pirinç (*Oryzasativa* L.) ve mısır (*Zeamays* L.) bitkilerinin verim ve gelişmeleri ile toprağın bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, kül uygulaması toprak özellikleri ile verim üzerine olumlu etkiler yapmıştır (Kalra ve ark. 2003).

Kül yığınlarında çimentolaşmış ve sıkışmış tabakaların oluşumu, suyun içeriye süzülmesi ve kökün ilerlemesini azaltır. Organik maddelerin veya toprağın küle karıştırılması bu tabakaların parçalanmasına yardımcı olabilir. Külün havuzlara doldurulduktan sonra önemli oranda bağlayıcı özellikler göstermesiyle oluşan çimentolaşmış tabakalar başlı başına bir problem oluşturur. Külün başka bir alanda biriktirmek üzere havuzlardan çıkarılması tırmıklama yöntemi ile yapılırsa mevcut tabakalar bozulur ve artık problem oluşturmaz (Şengül 2002).

1993 ve 1996 yıllarında yapılan bir alan çalışmasında Centipedegrass çim türlerinin büyümesini ve pazarlanabilmesini etkilemeden toprakların su tutmasını geliştirmek için toprağa değişik oranlarda kömür uçucu külü olağan dışı yüksek oranları uygulayarak faydaları değerlendirilmiştir. Bir Latin Kare parsellerde mg/ ha da 0 (kontrol, uygulanan hiç kül yok), 280, 560, ve 1120 dahil olduğu miktarlarda uygulanmış. Ayrışmamış uçucu kül uygulama oranları uçucu külün her parsel alanı üzerinde eşit biçimde yayılması için rototillerle dağıtılmış ve ekimden önce 8 ay boyunca doğal şartlarda bırakılmış. Muamele edilmiş toprak içinde önemli ölçüde daha düşük çimlenme sayımlarının gösterildiği gibi bor (B) için belirgin bir fitotoksik etki ile birlikte toprak özelliklerinden elektriki iletkenlik (EC), ile gösterilen çözünen tuzların yüksek seviyeleri, görünüşe göre ilk bitki kuruluştta inhibe etmiş. Kuru madde çalışma süresi boyunca verimler olduğu gibiydi. Ancak, bitki boyu ve köklenme derinliği olumsuz etkilenmedi. Kül tedavisi, su sızıntıları hızı, kütle yoğunluğu, toprak sıcaklığı önemli ölçüde iyileştirilmiş ancak su tutma kapasitesi ve yarayışlı su etkilenmemiştir (Adriano ve Weber 2001).

Kumar ve ark. (2005) termik santralinden çıkan uçan külü farklı topraklarda farklı bitkiler üzerinde bir hektara 10 ton ile 200 ton aralığında değişen miktarlarda kullanmışlar ve tarımda kül kullanımının ekonomik olarak faydalar sağladığını Çizelge 2.4'de görüldüğü gibi bitkilerde %6-42 arasında verim artışı olduğunu belirtmişlerdir.

Çizelge 2.4. Çeşitli topraklarda uçan kül uygulamasının farklı bitkilerde verim üzerine etkisi (Kumar ve ark.2005)

Toprak grubu	Yer	Uygulama Oranı ve Süresi	Ürünler	Yüzde ürün artışı
Alüvyal toprak	Dadri (U P)&IARI (Delhi)	10-20 t/ha/1 yıl	Hardal, pirinç, mısır, buğday	6-18
Alüvyal toprak	Hissar (Haryana)	20% kül 1yıl	Darı, buğday	32
Alüvyal toprak	Murshidabad (W . B.)	200 t/h a /3 yıl	Buğday, pirinç	29
Siyah toprak	Vidarbha Region (Maharashtra)	10-15 t/ha/1yıl	Tohum pamuk, sorgum, Gram, soya, yaz Yer fistiği, buğday	10-46
Kırmızı toprak	Raichur (Karn ataka)	30-60 t/ha /3 yıl	Ayçiçek, yerfistiği	10-26
Siyah toprak	Raichur (Karn ataka)	30-60 t/ha /3 yıl	Ayçiçek, mısır	22-42
Kırmızı Laterit toprak	Coimbatore & Vridhichalam (Tamilnadu)	40 t/ha/1 yıl	Pirinç, yerfistiği	14-25
Laterit toprak	Kharagpur (W. B.)	10 t/ha/1 yıl	Hardal, pirinç	12
Kırmızı toprak	Birbhum (W. B.)	200 t/ha/3yıl	Pirinç, patates	31

1960 yıllarından bu yana yapılan çeşitli araştırmalarda Türkiye uçucu küllerinin genellikle iyi kalitede olduğu ve çeşitli alanlarda kullanılabilmesi ortaya konmuştur. Ancak malzeme, ülkemizde pratik açıdan yeterli düzeyde tanınmamakta, kullanım alanları, teknik ve ekonomik yararlarına gerektiği kadar önem verilmemektedir. Dolayısıyla kullanımı yaygın hale gelmemiş durumdadır. Bu konuda gelişim sağlanabilmesi için, uçucu kül özelliklerinin ve standartların belirlenmesinin de kalite kontrol yöntemlerinin geliştirilmesi, taşıma ve özellikle pazarlama gibi faktörlerin incelenmesi zorunludur. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda genel olarak Türkiye uçucu küllerinin, çimento katkı maddesi olarak değerlendirilmesi, hafif agrega ve beton yapımında kullanılması, su yapıları ve inşaatlarında yararlanılması önerilmiştir (Kefelioğlu 1998).

Kömürdeki orijinal azot yanma sırasında uçtuğundan dolayı, uçucu kül çok düşük oranda azot içerir. Küldeki P derişimi toprağa oranla daha yüksekken yüksek baziklikteki küllerde P'un küldeki Ca, Fe ve Al ile etkileşimlerinden dolayı bitkinin kullanabileceği durumda bulunmaz. Bu iki elementin eksikliği azotlu ve fosforlu gübrelerle kolayca giderilebilir. Yeni oluşmuş uçucu kül alanlarında, kül üzerinde bitki yetişmesini sınırlayan faktörlerden biri de yüksek pH'tır. Bazı bazik küllerin pH'ı 12'yi geçebilir. Bu yüksek pH'da temel besinlerin ve Cu, Fe, Mn, Zn gibi ana eser elementlerin eksikliğine neden olur. Bazik küller As, Se, V gibi çözünürlükleri pH'a bağlı ve gereksiz bazı eser elementlerin bitkide artarak birikimine neden olabilir (Church 1995).

De Vleeschauwer (1987)'ya göre termik santrallerinden çıkan uçucu kül biriktirme havuzlarında ve kül yığınlama yapılan yerlerde yeşillendirme yapılması ile külün su ve rüzgar erozyonundan korunması, yabani hayat için doğal ortam, barınak ve daha güzel kır manzaraları yaratması gibi avantajları vardır. Ama kül havuzları ve kül yığınlama alanlarında bitki yetiştirmek zordur. Kül yığınlama alanlarında bitki yetiştirmeyi engelleyen unsurların başında N ve P olmak üzere genellikle temel besin bileşenlerinin eksik olması, yüksek pH, yüksek derişimde çözünebilir tuzlar, yüksek B ve diğer potansiyel zararlı eser elementlerin yarattığı toksiklik, kül tabakalarının çimentolaşması ve sıkışmasıdır.

Cline ve Torrenueva (2000) Güney Ontario'da kömür uçan külünün bir toprak düzenleyici ve kireçleme materyali olarak tarım topraklarında kullanımını inceledikleri çalışmalarında termik santrallerinden çıkan uçan külün tarımda kullanımının çevresel faydalarını toprak tekstürünü geliştirmesi, toprağın nem tutma kapasitesini arttırması, toprak pH'ını arttırması (kireçleme materyali), çoğu makro ve mikro besin elementi konsantrasyonunu arttırması olarak ifade ederken, kaygılarını çözülebilir tuzların konsantrasyonlarında arttırması, bor ve selenyum düzeylerini arttırması, azot ve fosforun yararışlılığını azaltması olarak belirtmiştir.

Kömür külünün kullanımındaki engeller toprağa yığılan ya da besin zinciri veya yeraltı suyu sistemlerine karışan ağır metal içeren küllerin etrafında döner. Tarımsal olarak kullanılacak külde çevreye salınma riski bulunan As, B, Cd, Hg, Mo, Pb, Se, Sn, Cr, Cu, Ni, V, Zn ve Fe elementlerinin içeriklerinin az olması gerekmektedir. Bahsedilen bu elementler Avustralya kömürlerinde azdır ve aynı zamanda uçucu külde de azdır. Avustralya küllerinde çevreye salınma riski bulunan elementler yaygın gübrelerden ve bazı durumlarda kirletilmemiş topraklardan bile çok daha azdır (Yunusa ve ark. 2002).

Termik santrallerinden çıkan kömür külünün tarım topraklarında kullanımının incelenmesi çalışmasında uçan külün tarımda kullanımının faydalarını toprak tekstürünü geliştirmesi, toprağın nem tutma kapasitesini arttırması, toprak pH'ını arttırması, çoğu makro ve mikro besin elementi konsantrasyonunu arttırması olarak rapor etmişlerdir. Uçan külün kullanımının dezavantajları olarak çözülebilir tuzların konsantrasyonlarını arttırması, azot ve fosforun yararışlılığını azaltması, bor ve selenyum düzeylerini arttırması olarak belirtilmiştir (Şengül 2002).

Sing (2012) termik santrallerinden çıkan kömür külünün tarımda kullanımının faydaları ve riskleri olduğunu belirtmiştir. Faydaları toprak geçirgenlik durumunu iyileştirmesi, toprak verimlilik durumunu iyileştirmesi, toprağın dokusal özelliklerini ve toprak havalanmasını arttırması, kütle yoğunluğuyla kabuk ve kompakt oluşumunu azaltması,

su tutma kapasitesini, porozite geliştirmesi, bitkiler için optimum toprak pH'ı yapması, Mo- B- Mn- Fe- Zn- Cu gibi mikro besin elementleri ve Mg- S- K- P- Ca gibi makro besin elementleri sağlaması, sodyumlu topraklarla asidik toprakların ıslahı için kullanılan alçı alternatifi kireçleme materyali olması, diğer mikrobiyal faaliyetlerle birlikte organik maddede artış olması olarak belirtilmiştir. Riskleri ise kùltür bitkilerinde ağır metallerin birikimi toksik etki oluşturması, ağır metallerin toprak katmanlarında sızması nedeniyle yeraltı sularının kirlenmesi ve tarım alanlarında yüksek dozlarda kullanılması sonucunda toprak kısırlığına neden olabileceği olarak belirtilmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Çalışmada üç tekerrürlü saksı denemesi şeklinde sera koşullarında kumlu tın ve kil tekstürü olmak üzere iki tip toprağa dört farklı dozda kömür külü uygulaması yapılmıştır.

Denemede kullanılan kül; Tekirdağ İli, Malkara İlçesi'nden çıkan kömürünün kalorifer kazanında ısınma amaçlı yakılması sonucu atık olarak çıkan materyaldir.

Kil tekstürlü toprak; Tekirdağ İli, Kapaklı İlçesi, Bahçelievler Mahallesi, Sultan Kışla Mevkii, 2043 parsel nolu, G:27.99256 K:41.36692 koordinatlarındaki tarladan alınan topraktır.

Kumlu tın tekstürlü toprak; Tekirdağ İli, Saray İlçesi, Sinanlı Mahallesi, Saray Yolu Mevkii, 90 parsel nolu, G:27.78764 K:41.40178 koordinatlarındaki tarladan alınan topraktır.

Deneme kurulmadan önce denemede kullanılacak toprakların ve külün ağır metal içerikleri (Anonim (2010) ve Anonim (2014)'e göre Zn, Cu, Cd, Ni, Pb, Hg, Cr, Sn) ile besin elementi içerikleri (N, P, K, Mg, Fe, Mn, Ca) tespit edilmiştir.

Denemede kullandığımız külün ve toprakların Namık Kemal Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar ve Uygulama Merkezinde yapılan analizler sonucunda bazı fiziksel özellikleri, bitki besin elementleri toplam değerleri ve ağır metal analiz değerleri tespit edilmiştir.

3.1.1. Kullanılan külün özellikleri

Denemede kullanılan kömür külünün içerisindeki toplam ağır metal analiz değerleri Çizelge 3.1'de, bitki besin elementi ve bazı fiziksel analiz değerleri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Denemede kullanılan külün ağır metal analiz sonuçları

Elementler	Küldeki toplam miktar (ppm)
Çinko(Zn)	40,3
Nikel(Ni)	5,09
Kükürt(S)	7.083,30
Kadmiyum(Cd)	0,00
Kurşun(Pb)	12,19
Cıva(Hg)	0,00
Krom(Cr)	50,40
Kalay(Sn)	0,00

Çizelge 3.2. Denemede kullanılan külün bazı kimyasal analiz sonuçları

Elementler	Küldeki toplam miktar (ppm)
Sodyum(Na)	824,35
Magnezyum(Mg)	6809,2
Potasyum(K)	7970,1
Kalsiyum(Ca)	20906,7
Fosfor(P)	189,6
Demir(Fe)	26129,1
Bakır(Cu)	29,75
Bor(B)	476,4
Mangan(Mn)	148,35
Ph	9,56
EC (μ S/cm)	3150
Organik madde	1,02
Azot %	0,233
Saturasyon(%)	99

3.1.2. Kullanılan toprakların özellikleri

Denemede kullanılan toprakların içerisindeki toplam ağır metal analiz değerleri Çizelge 3.3’de, bitki besin elementi ve bazı fiziksel analiz değerleri Çizelge 3.4’de verilmektedir.

Çizelge 3.3. Denemede kullanılan toprakların ağır metal analiz sonuçları

Elementler	Kil tekstürlü toprak (toplam miktar) (ppm)	Kumlu tın tekstürlü toprak (toplam miktar) (ppm)
Çinko(Zn)	23,85	13,10
Nikel(Ni)	13,20	4,19
Kükürt(S)	157,75	28,3
Kadmiyum(Cd)	0,00	0,00
Kurşun(Pb)	6,13	4,64
Cıva(Hg)	0,00	0,00
Krom(Cr)	8,33	3,04
Kalay(Sn)	0,00	0,00

Çizelge 3.4. Denemede kullanılan toprakların bazı fiziksel ve kimyasal analiz sonuçları

Elementler	Kil tekstürlü toprak (toplam miktar) (ppm)	Kumlu tın tekstürlü toprak (toplam miktar) (ppm)
Sodyum(Na)	305,90	21,35
Magnezyum(Mg)	2004,45	211,55
Potasyum(K)	5356,90	236,24
Kalsiyum(Ca)	13984,80	1194,35
Fosfor(P)	31,65	100,80
Demir(Fe)	19944,05	3650,7
Bakır(Cu)	10,15	4,65
Bor(B)	8,9	1,97
Mangan(Mn)	231,35	239,45
Ph	8,14	4,7
EC (μ S/cm)	510	197
Organik madde	0,93	1,32
Azot %	0,13	0,097
Saturasyon(%)	88	27
Kum (%)	39,06	70,08
Silt(%)	12,73	10,16
Kil (%)	48,21	19,76
Tekstür Sınıfı	C	SL

3.2 Yöntem

3.2.1 Denemenin kurulması

Deneme saksılarında uygulanacak külün doz seçiminde Tuna ve Girgin (2005)'in uçucu kül ile yapmış oldukları bir çalışmada %6.50 ve %25 arasındaki değerler uygulandığında düşük değerlerdeki uygulamada yüksek değerlerdeki uygulamalardan daha iyi sonuç alındığından %5 düşük doz değerinden başlanmıştır. Kömür külünün fazlası uygulandığında zarar verebilecek durumun tespit edilmesi için en yüksek doz olarak %20 değere çıkmıştır. Deneme saksılarında uygulanacak kül miktarları %20-15-5-0 dozları olarak karar verilmiştir. Kül uygulanmadan önce dövülerek küçük parçacıklar haline getirilerek topraklarla karışımın daha iyi olması sağlanmıştır. Kömür külü toprağa %5- %15- %20 dozlarında uygulandığında bir dekar alana kil tekstürlü toprakta aynı sıra ile 10000- 30000- 40000 kg kül uygulanmış olmakta ve yine kumlu tın tekstürlü toprakta aynı sıra ile 15000-

45000- 60000 kg kül uygulanmış olmaktadır. Bir dekar kil tekstürlü toprak 200000 kg, bir dekar kumlu tın tekstürlü toprak 300000 kg. olarak alınmıştır (Bahtiyar ve ark. 1993).

Deneme tesadüf parsellerinde bölünmüş parseller deneme deseninde 3 tekerrürlü olarak yürütülmüştür (Yurtsever, 1984). Araştırma 2 farklı tekstür sınıfı özelliğine sahip 2 toprak üzerine kömür külünün 4 farklı dozunun uygulandığı saksılarda adi fiğ bitkisi yetiştirilerek kurulmuştur. Deneme saksıları Çizelge 3.5'te gibi toplam 24 saksıdan oluşmaktadır.

Çizelge 3.5. Deneme saksıları ve dozlarının oluşum tablosu

Kil tekstürlü toprak (A)	D1 (%0 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D2 (%5 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D3 (%15 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D4 (%20 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
Kumlu tın tekstürlü toprak (B)	D1 (%0 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D2 (%5 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D3 (%15 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür
	D4 (%20 doz)	1.tekerrür
		2.tekerrür
		3.tekerrür

Her bir saksıda toplam 1000 gr olacak şekilde yüzde oranlarına göre ağırlık hesabıyla karışımlar hazırlanmıştır. Şekil 3.1'de görüldüğü gibi her karışımdan 3 tekerrürlü yem bitkisi adi fiğ ekilen toplamda 24 saksı olarak deneme kurulmuştur.



Şekil 3.1. Deneme saksılarının 8 farklı karışım ve 3 tekerrürlü oluşturulması.

Çalışmada kömür külünün toprağa etkileri ve bitki besleyici özelliklerinin tespiti amaçlandığından bitkilere herhangi bir ilave gübreleme yapılmamıştır. Saksıların altından su çıkmayacak şekilde düzenli aralıklarla sulama yapılmıştır. Tohum ekim tarihinden itibaren 58 gün sonra deneme sona erdirilmiştir.

Bitkinin gelişim aşamalarında ve hasat sonunda morfolojik özellikleri tespit edilerek saksılardaki farklı doz uygulamalarında ki topraklarda ağır metal ve bitki besin elementi içerik analizleri yapılarak sonuçlar değerlendirilmiştir.

3.2.2 Analiz yöntemleri

Toprak reaksiyonu (pH); toprakların ve külün pH değerleri saturasyon ekstraktında elektrometrik olarak ölçülmüştür (Richards 1954).

Elektriki İletkenlik (EC) ($\mu\text{s}/\text{cm}$); kül ve toprak örneklerindeki suda eriyebilir toplam tuz saturasyon ekstraktında elektriksel iletkenlik ölçer cihazı ile belirlenmiştir (Anonymous 1951).

Organik madde (%); toprakların ve külün organik madde miktarları Walkley-Black yöntemi ile tayin edilmiştir (Sağlam 2008).

Toplam azot (%); Kjeldahl yaş yakma yöntemi kullanılarak H_2SO_4 ile kül ve toprak örneği önce yaş yakılarak organik N, $\text{NH}_4\text{-N}$ 'a dönüştürülmekte ve alkali ortamda yapılan

destilasyon sonucu açığa çıkan NH₃ miktarından toprağın toplam N miktarı belirlenmektedir (Kacar 1994).

Değişebilir Ca ve Mg; toprak örnekleri ve kül amonyum aselat ekstraktında EDTA ile titrasyon yöntemi ile belirlenmiştir (Jackson 1958).

Değişebilir Na ve K; toprak örnekleri ve kül amonyum aselat ekstraktında fleym fotometrik yöntem ile belirlenmiştir (Jackson 1958).

Bitkilere yararlı fosfor içerikleri; toprak örnekleri ve kül Olsen yöntemiyle ekstrakte edildikten sonra (Sağlam 2008), ICP (Inductively Coupled Plasma) cihazı yardımı ile belirlenmiştir.

Bitkilere yararlı bazı mikro elementler (Fe, Cu, Zn, Mn); toprak örnekleri ve kül yararlı mikro element analizi için 0.005 M DTPA+ 0.01 M CaCl₂ +0,1 M TEA (pH 7.3) ile ekstrakte edilmiştir (Lindsay ve Norvell 1978). Ekstraktaki yararlı Fe, Cu, Zn, ve Mn miktarları ICP'de belirlenmiştir.

Toplam nikel, kurşun, kadmiyum, krom, çinko, demir, kalay, bakır, cıva, belirlenmesinde; hidroflorik, nitrik, sülfürik ve perklorik asitlerle yaş yakılan toprak ve kül örneğinden çözültüye geçen nikel, kurşun, kadmiyum, krom, çinko, demir, kalay, bakır, cıva, atomik absorpsiyon spektrometrede belirlenmiştir (Jackson 1958, Kacar 1994).

3.2.3 Materyalin yönetmeliklere göre değerlendirilmesi

Yaptığımız çalışmada kullandığımız külün toprağa karıştırılmasının mevzuat açısından uygun olup olmadığını tespit etmek için yürürlükte olan topraklara katı atık veya toprak düzenleyicisi olarak karıştırılacak materyalde aranılacak özellikler aşağıdaki iki yönetmelikte belirlenmektedir. Külün analiz sonuçları ile “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik”(Anonim 2010) ve “Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler İle Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik” (Anonim 2014)'lerdeki değerlerin karşılaştırılması yapıldığında Çizelge 3.6'de görüldüğü gibi sınır değerleri geçmediği ve kömür külünün kontrollü olarak toprağa karıştırılarak kullanılmasında yönetmelikler açısından bir sakınca bulunmadığını göstermektedir.

Çizelge 3.6. Araştırmada kullanılan külün analiz sonuçları ile ilgili yönetmeliklerdeki ağır metal sınır değerlerinin karşılaştırılması

Elementler	Külün analiz sonuçları (ppm)	Anonim (2014)'teki ağır metal sınır değerleri (ppm)	Anonim (2010)'a göre ağır metal sınır değerleri (ppm)
Bakır(Cu)	29,75	450	3129
Çinko(Zn)	40,30	1100	23464
Nikel(Ni)	5,09	120	1564
Kadmiyum(Cd)	0	3	70
Kurşun(Pb)	12,19	150	400
Cıva(Hg)	0	5	23
Krom(Cr)	50,40	350	235
Kalay(Sn)	0	10	46929
Ph	9,56		

3.2.4 İstatistiksel analizler

Deneme konularından elde edilen parametrelerin arasındaki farklılıkların düzeyinin belirlenmesinde varyans analizi, farklılıkların sınıflandırılmasında ise LSD testi kullanılmıştır. Elde edilen veriler Yurtsever (1984)'de açıklanan esaslara göre değerlendirilmiştir.

Araştırmada kullandığımız külün ve toprakların analizleri Namık Kemal Üniversitesi Rektörlüğü Bilimsel ve Teknolojik Araştırmalar ve Uygulama Merkezinde yaptırılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1 Toprak Örneklerinin Bazı Kimyasal Özellikleri

Araştırma saksılarına farklı dozlarda kül uygulaması yapıldıktan sonra bitki yetiştirilmiştir. Bitkiler 58. gün hasat edilmiştir. Bitkiler hasat edildikten sonra saksılardaki toprak örneklerinin kimyasal analizleri yapılmıştır ve sonuçları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Toprağa uygulanan külün granül halde olması ve toprak analizleri için çok az miktarlar kullanılması (1-10 gr) nedeniyle tekerrürlerin analiz sonuçları arasında farklılıklar görülmektedir.

4.1.1 Toprakların pH Değerlendirmesi

Deneme saksılarına ait toprak reaksiyonu (pH) sonuçları Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kil tekstür sınıfındaki toprak 7,73 ile 8,10 arasında olup hafif alkali (Alpaslan ve ark. 1988’e göre) sınıfındadır (Çizelge 4.1). Kumlu tın tekstür sınıfındaki topraklarda 5,97 ile 7,87 arasında hafif asit ile hafif alkalın sınıflarında sınıflandırılmıştır. Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.3’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Toprakların pH değerlerine göre sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988)

pH	Reaksiyon
< 4,5	Kuvvetli Asit
4,5 – 5,5	Orta Asit
5,5 – 6,5	Hafif Asit
6,5 – 7,5	Nötr
7,5 – 8,5	Hafif Alkali
>8,5	Kuvvetli Alkali

Çizelge 4.2. Deneme konularına pH değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	7.5	7.7	8.0	7.73
	D ₂	8.0	8.2	7.9	8.03
	D ₃	8.2	8.1	8.0	8.10
	D ₄	8.1	8.0	8.2	8.10
B	D ₁	6.1	6.0	5.8	5.97
	D ₂	7.1	7.0	6.8	6.97
	D ₃	8.0	7.6	8.0	7.87
	D ₄	8.3	8.0	6.9	7.73

Çizelge 4.3. pH değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	4.420	4.420	34.445*
Hata 1	4	0.513	0.128	
Dozaj Uygulamaları	3	4.885	1.628	19.802**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	2.251	0.750	9.127**
Hata	12	0.987	0.082	
Genel	23	13.056	0.568	

*: $p < 0.05$ düzeyinde önemli

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

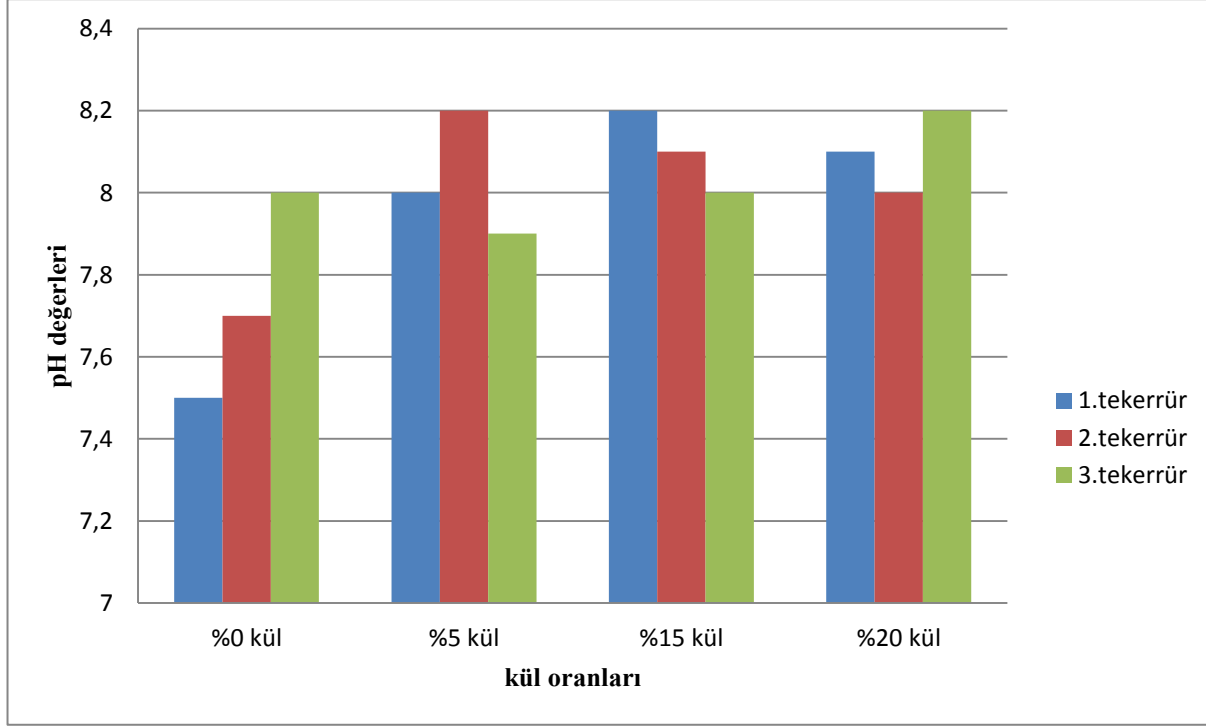
Çizelge 4.4. pH değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	pH	LSD grubu
A	7.99	a
B	7.13	b
LSD _{0.05}		0.673
Dozaj		
D3	7.98	a
D4	7.92	a
D2	7.50	a
D1	6.85	b
LSD _{0.01}		0.506
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D3	8.10	a
A-D4	8.10	a
A-D2	8.03	a
B-D3	7.87	a
A-D1	7.73	a
B-D4	7.73	a
B-D2	6.97	b
B-D1	5.97	c
LSD _{0.01}		0.684

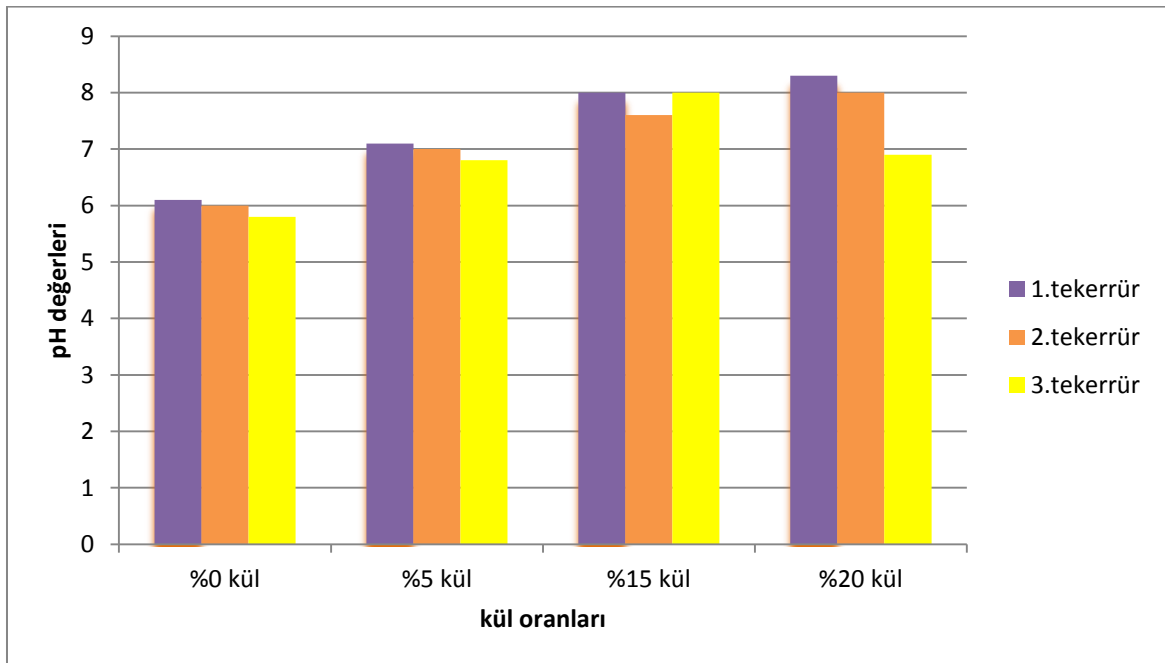
Toprağın pH'ında ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.05$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından sırasıyla %15, %20, %5 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta tümü, kumlu tın tekstürlü toprakta %15 ve %20 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Elde edilen bulgulara göre toprağa uygulanan kül dozlarının pH'da oluşturduğu değişim Şekil 4.1'de ve Şekil 4.2'de görülmektedir. Toprağa karıştırılan külün içeriğinde Ca ve Mg elementlerin yüksek oranda olması, külün kireçleme materyali olarak işlem görmesiyle toprak pH'ının artmasına neden olmuştur. Das ve ark. (2000), Cline ve Torrenueva (2000),

Church (1995) ve Şengül (2002) uçucu külün toprağa katılmasıyla külün kireçleme materyali olarak toprak pH'ını arttırdığını belirtmişlerdir.



Şekil 4.1. Kil tekstürlü toprakta kurulan deneme saksıları topraklarının pH değerlerinin grafiği



Şekil 4.2. Kumlu tın tekstürlü toprakta kurulan deneme saksıları topraklarının pH değerlerinin grafiği

4.1.2. Toprakların organik madde değerlendirmesi

Çizelge 4.6’da organik madde miktarlarını incelediğimizde kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan saksıların organik madde miktarı %1,39’dan %1,67 değerine, yine kil tekstürlü toprakla kurulan saksılarda %0,08’den %1,12’ye çıkmıştır. Kumlu tın tekstürlü topraklı saksılarda dört farklı kömür külü dozu uygulamasıyla toprak örneklerinin organik madde miktarı üç tekerrürün ortalaması alınarak %1,39 (az), %1,44 (az), %1,53 (az), 1,67 (az) değerlerinde bulunmuştur. Denemenin diğer 12 saksısında kullanılan kil tekstürlü toprakların organik madde miktarı üç tekerrür ortalaması alınarak %0,08 (çok az), %0,92 (çok az), %1,23 (az), 1,12 (az) değerlerinde bulunmuştur. Organik madde içeriği sınıflandırması Çizelge 4.5’e göre yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.7’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Toprakların organik madde içeriklerinin sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988)

Organik Madde (%)	Organik Madde Seviyesi
< 1	Çok Az
1 – 2	Az
2 – 3	Orta
3 – 4	İyi
>4	Yüksek

Çizelge 4.6. Deneme konularına organik madde (%) değerleri

Deneme Konuları	Tekerrür			Ort.	
	I	II	III		
A	D ₁	0,77	0,69	0,67	0,71
	D ₂	1,05	0,83	0,88	0,92
	D ₃	1,48	1,14	1,07	1,23
	D ₄	0,63	1,50	1,14	1,09
B	D ₁	1,14	1,64	1,41	1,40
	D ₂	1,58	1,64	1,11	1,44
	D ₃	1,31	1,66	1,62	1,53
	D ₄	1,92	1,38	1,73	1,68

Çizelge 4.7. Organik madde içeriğine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	1.649	1.649	134.663**
Hata 1	4	0.049	0.012	
Dozaj Uygulamaları	3	0.468	0.156	1.913ns
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	0.121	0.040	0.494ns
Hata	12	0.979	0.082	
Genel	23	3.265	0.142	

ns:Önemsiz

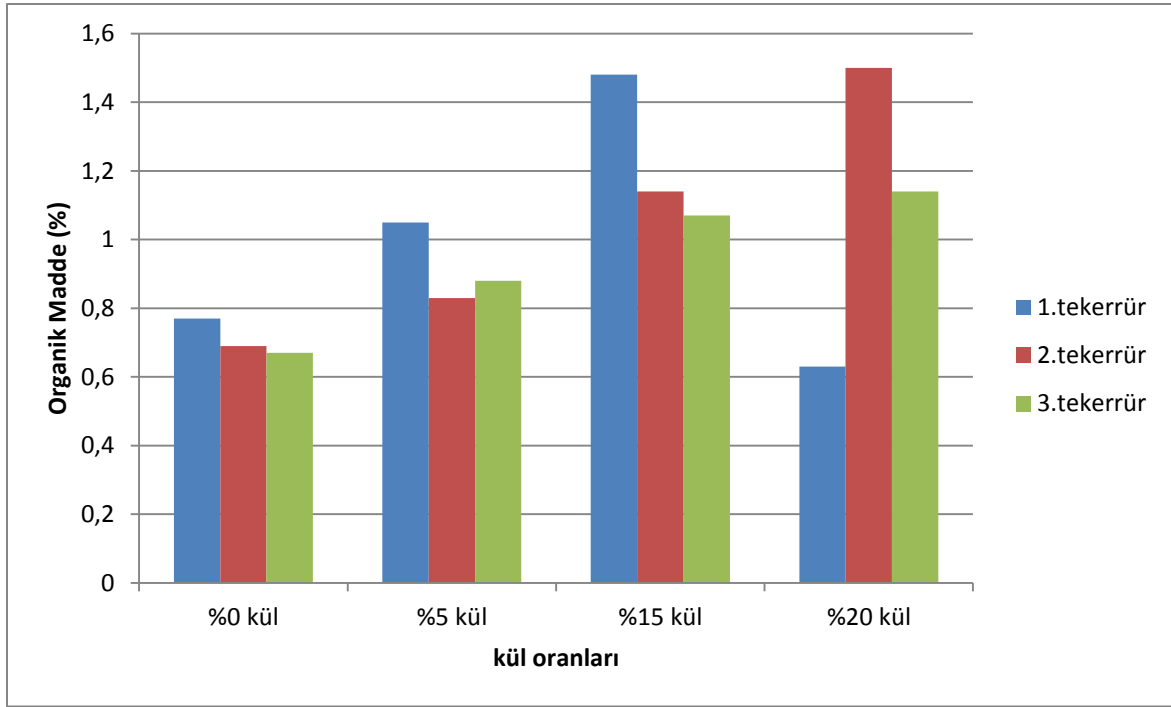
**p<0.01

Çizelge 4.8. Organik madde içeriğine ilişkin LSD testi sonuçları

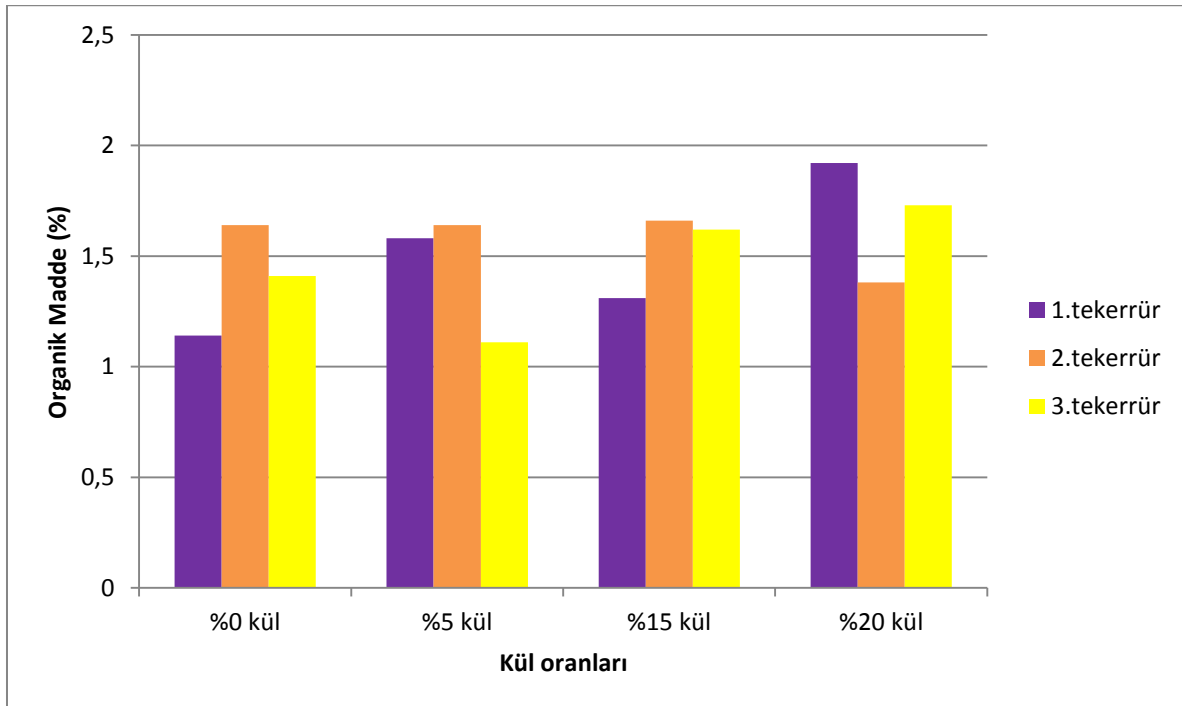
Toprak tekstürü	Organik madde içeriği (%)	LSD grubu
B	1.51	a
A	0.99	b
LSD _{0.01}		0.208

Toprağın organik madde içeriğinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde önemli, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksiyonu ise önemsiz düzeyde değerlendirilmiştir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprakta organik maddenin değişimi üst grupta sınıflandırılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre Şekil 4.3'te kil tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının organik madde içeriği grafiği ve Şekil 4.4'te kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının organik madde içeriği grafiği verilmektedir. Pichtel ve Hayes (1990) uçucu kül kullanılarak toprakların ıslah çalışması sonucunda tipik tarımsal toprakta yüksek organik madde, yeni dökülmüş külle ıslah edilmiş ve eski dökülmüş külle ıslah edilmiş toprakta daha düşük organik madde tespit edildiğini belirtmişlerdir. Ancak Sing (2012) tarımda kül kullanımının faydalarından biri olarak diğer mikrobiyal faaliyetlerle birlikte organik maddenin de arttığını belirtmiştir.



Şekil 4.3. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının organik madde (%) içerikleri grafiği



Şekil 4.4. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının organik madde (%) içeriği grafiği

4.1.3. Toprakların elektriki iletkenlik değerlendirmesi

Deneme topraklarında elektriki iletkenlik değerleri %0- %5- %15- %20 kül uygulamasıyla yetiştirilen bitkiler hasat edildikten sonraki saksı toprak örneklerinin tuzluluk durumu aynı sırasıyla kil tekstürlü toprakla oluşturulanlarda Çizelge 4.10' da verildiği gibi 1877- 2749- 2837- 2375 $\mu\text{s/cm}$ EC değerlerinde bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla oluşturulan saksı toprak örneklerinin tuzluluk durumu 536- 1405- 1773- 2503 $\mu\text{s/cm}$ EC değerlerinde bulunmuştur.

Deneme saksılarından kil tekstürlü topraklarda tuzluluk durumu kül uygulaması ile hafif tuzlu (Richards 1954) sınıfa (Çizelge 4.9.) yükselmektedir. Kumlu tın tekstürlü topraklarda kül uygulaması %20'nin altında tuzsuz sınıfta olup, %20 kül uygulamasında hafif tuzlu sınıfına gelmiştir.Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.11'de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Tuzluluk durumunun sınıflandırılması (Richard1954)

Tuz (%)	Elektriki İletkenlik (EC) ($\mu\text{s/cm}$)	Tuzluluk Durumu
< 0,15	0 – 2000	Tuzsuz
0,15 – 0,35	2000 – 4000	Hafif Tuzlu
0,35 – 0,65	4000 – 8000	Tuzlu
>0,65	8000 – 16000	Çok Tuzlu

Çizelge 4.10. Deneme konularına EC ($\mu\text{S/cm}$) değerleri

Deneme Konuları	Tekerrür				
	I	II	III	Ort.	
A	D ₁	2075	1549	2007	1877
	D ₂	2616	2963	2670	2750
	D ₃	2983	2804	2726	2838
	D ₄	1861	2912	2353	2375
B	D ₁	332	810	468	537
	D ₂	1583	965	1669	1406
	D ₃	1760	1830	1731	1774
	D ₄	2033	2378	3100	2504

Çizelge 4.11. EC değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	4914150.000	4914150.00	69.677**
Hata 1	4	282110.333	70527.583	
Dozaj Uygulamaları	3	5529106.833	1843035.611	14.237**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	2212942.333	737647.444	5.698*
Hata	12	1553482.333	129456.861	
Genel	23	14491791.833	630077.906	

*: p<0.05 düzeyinde önemli

** : p<0.01 düzeyinde önemli

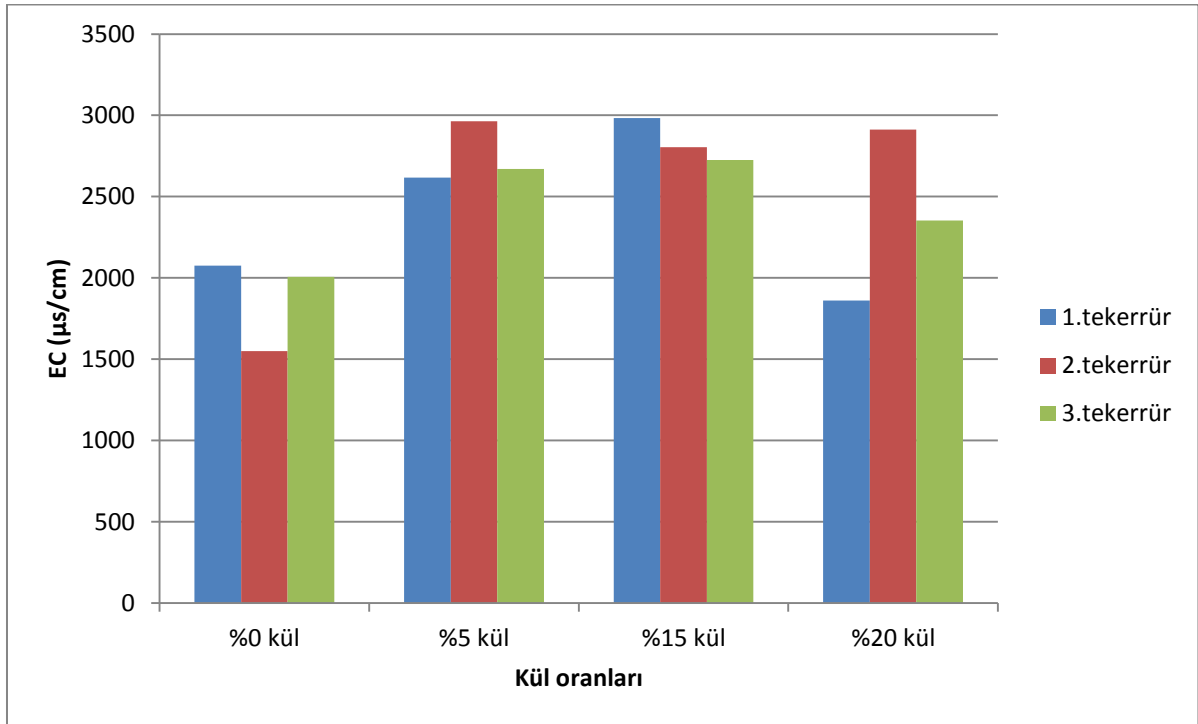
Çizelge 4.12. EC değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	EC	LSD grubu
A	2459.92	a
B	1554.92	b
LSD _{0,01}		499.16
Dozaj		
D4	2439.50	a
D3	2305.67	a
D2	2077.67	a
D1	1206.83	b
LSD _{0,01}		634.62
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D3	2838.00	a
A-D2	2750.00	a
B-D4	2504.00	ab
A-D4	2375.00	abc
A-D1	1877.00	bcd
B-D3	1774.00	cde
B-D2	1406.00	de
B-D1	537.00	f
LSD _{0,05}		640.14

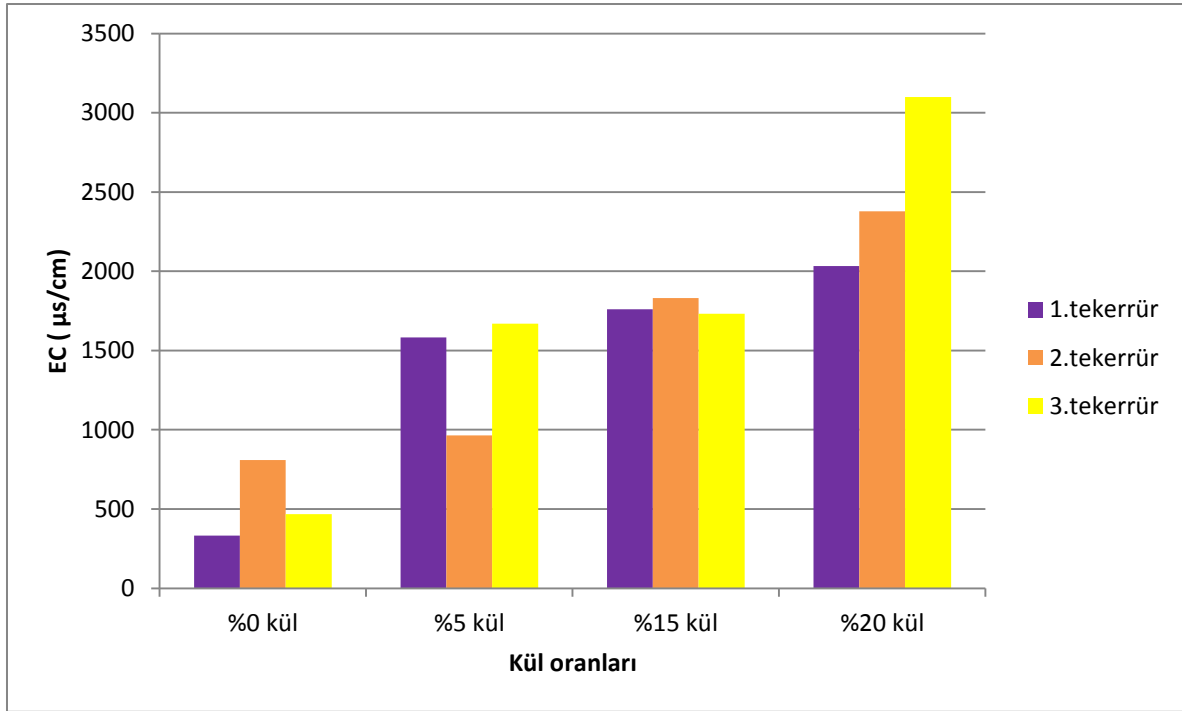
Toprağın elektriki iletkenlik değerinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından sırasıyla %20, %15, %5 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %15, %5 dozu üst grupları oluşturmuştur.

Termik santralinden çıkan kömür külünün tarım topraklarında kullanımının incelendiği çalışmalar sonucunda kaygılardan bir tanesi de çözülebilir tuzların konsantrasyonlarında artış olması olarak belirtilmiştir (Cline ve Torrenueva 2000, Adriano ve Weber 2001, Şengül 2002).

Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının elektriki iletkenlik değerlerinin grafiği Şekil 4.5'te, kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının elektriki iletkenlik değerlerinin grafiği Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının EC tuzluluk ($\mu\text{s/cm}$) değerleri grafiği



Şekil 4.6. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının EC tuzluluk değerleri (µs/cm) grafiği

4.1.4 Toprakların azot değerlerinin değerlendirilmesi

Çizelge 4.14’te azot değerlerini incelediğimizde kil tekstürlü topraklarda minimum % azot değeri 0.070 iken maksimum değer 0.130 bulunmuştur. Kil tekstürlü toprak örneklerinin azot miktarı kül uygulama dozu artıkaça %0,083 (az), %0,096 (yeterli), %0,105 (yeterli), %0,110 (yeterli) değerlerinde bulunmuştur. Kumlu gruptaki topraklarda minimum % azot değeri 0,083, maksimum % azot değeri de 0,166 bulunmuştur. Uygulanan kül dozu artışı ile toprak örneklerinin azot miktarı sırasıyla ortalama %0,129 (yeterli), %0,118 (yeterli), %0,112 (yeterli), %0,149 (yeterli) değerlerinde bulunmuştur. Azot miktarları sınıflandırılması Çizelge 4.13’e göre yapılmıştır. Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.15’te ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Toprakların azot içeriklerinin sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1988)

Azot(N) (%)	Azot Seviyesi
< 0,045	Çok Az
0,045 – 0,090	Az
0,090 – 0,170	Yeterli
0,170 – 0,320	Fazla
>0,320	Çok Fazla

Çizelge 4.14. Deneme konularına azot (%) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	0,071	0,096	0,083	0,083
	D ₂	0,107	0,070	0,113	0,097
	D ₃	0,110	0,103	0,102	0,105
	D ₄	0,110	0,130	0,093	0,111
B	D ₁	0,092	0,134	0,162	0,129
	D ₂	0,111	0,144	0,099	0,118
	D ₃	0,089	0,164	0,083	0,112
	D ₄	0,157	0,124	0,166	0,149

Çizelge 4.15. Azot değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	0.005	0.005	10.994*
Hata 1	4	0.002	0.0001	
Dozaj Uygulamaları	3	0.002	0.001	1.026ns
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	0.001	0.0001	0.605ns
Hata	12	0.009	0.001	
Genel	23	0.019	0.001	

*: p<0.05 düzeyinde önemli

ns: önemsiz

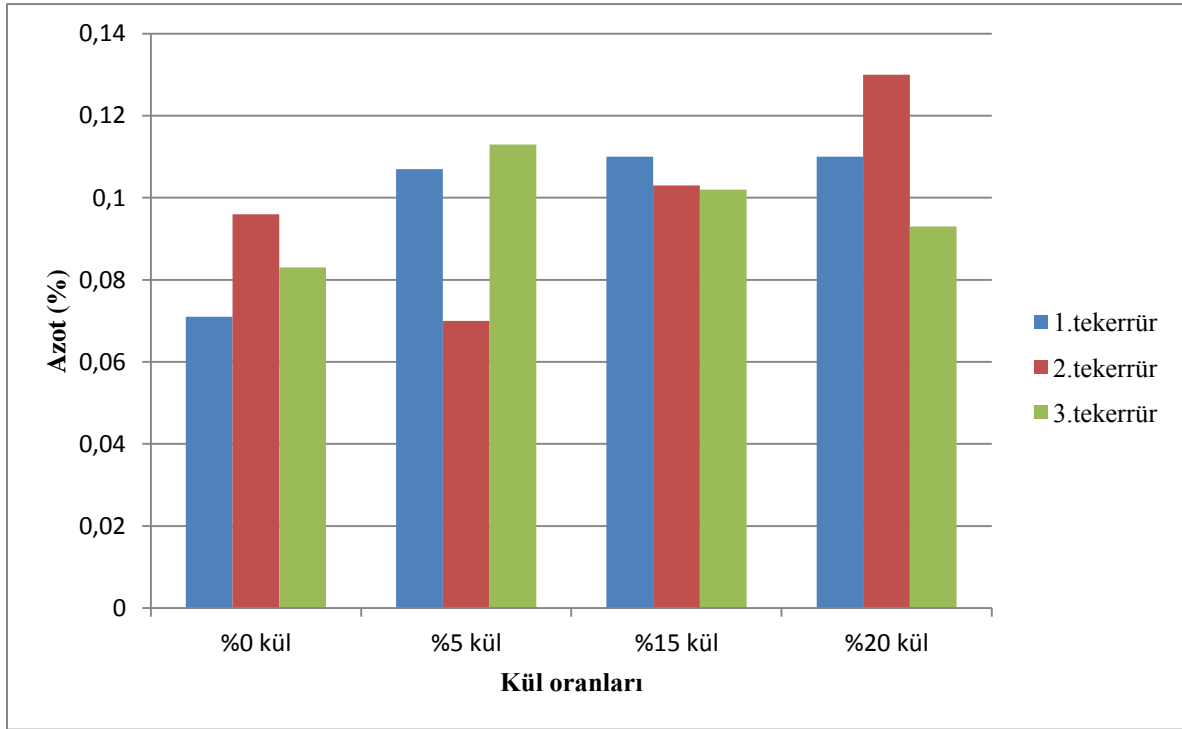
Çizelge 4.16. Azot değerlerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Azot içeriği (%)	LSD grubu
B	0.127	a
A	0.099	b
LSD _{0.05}		0.024

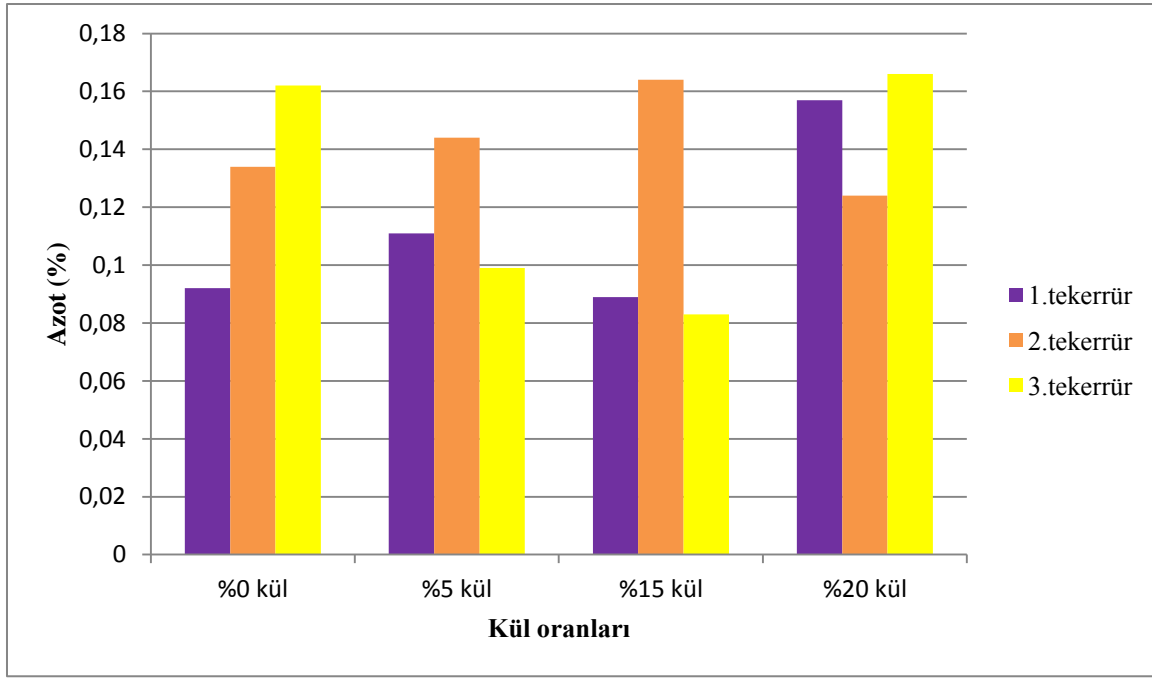
Toprağın % azot değerlerinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.05$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprak üst grupta sınıflandırılmıştır.

Bamroongruga ve ark. (2004), Church (1995) yaptıkları çalışma sonunda kömür külünün toprakla karıştırılarak kullanılması ile bitkiler tarafından azotun alım konsantrasyonunun arttığını belirtmişlerdir.

Uygulanan kül dozuyla azot değerlerindeki değişim grafiği kil tekstürlü topraklarda Şekil 4.7’de ve kumlu tın tekstürlü topraklarda Şekil 4.8’de verilmektedir.



Şekil 4.7. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakları azot değerlerinin (%) grafiği



Şekil 4.8. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakları azot değerlerinin (%) grafiği

4.2 Deneme Saksıları Topraklarının Bazı Ağır Metal İçerikleri

Denemenin 58. günü bitki hasadı yapıldıktan sonra saksılardaki topraklardan örnekler alınarak kömür külü uygulaması sonucunda toprakta çeşitli ağır metallerin birikip birikmediği belirlenmiştir. Bunun için saksılardan alınan toprak örneklerinde toplam çinko (Zn), kadmiyum (Cd), krom (Cr), nikel (Ni), kalay (Sn), cıva (Hg), bakır (Cu) ve kurşun (Pb) analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarında tekerrürler arasında fark görülmesinin sebebi toprağa uygulanan külün granül halde olması ve toprak analizleri sırasında da çok az miktarlar kullanılması (1-10 gr) nedeniyledir. Deneme topraklarında ki ağır metal analiz sonuçları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

4.2.1 Toprakların cıva, kalay, kadmiyum içeriklerinin değerlendirilmesi

Hem kil tekstürlü toprakta oluşturulan hem de kumlu tın tekstürlü toprakta oluşturulan deneme saksıları topraklarının Çizelge 4.17'de görüldüğü gibi toplam kadmiyum (Cd), kalay (Sn) ve cıva (Hg) içerikleri 0,0 ppm olarak bulunmuştur. Buna göre deneme topraklarında kullanılan kömür külünün kadmiyum, kalay ve cıva kirliliği açısından sorun oluşturmadığını göstermektedir. Tuna ve Girgin (2005) yaptıkları araştırmada termik santralinde yakılan kömür külünün yoğun toksit element içermediğini ve kısmen de olsa bitki gelişimi ve elemental kompozisyon üzerine katkıda bulunabileceğini belirtmişlerdir. Avustralya

küllerinde çevreye salınma riski bulunan ağır metallerin, yaygın gübrelere ve bazı durumlarda kirletilmemiş topraklardan bile çok daha az olduğu belirtilmiştir (Yunusa ve ark. 2002).

Çizelge 4.17. Topraklarının toplam kalay, cıva ve kadmiyum içerikleri (ppm)

Deneme Konuları		Cd (ppm) Tekerrürler			Hg (ppm) Tekerrürler			Sn (ppm) Tekerrürler		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
A	D ₁	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
B	D ₁	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₂	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₃	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	D ₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

4.2.2 Toprakların toplam krom değerlerinin değerlendirilmesi

Çizelge 4.18’de toplam krom değerine baktığımızda kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında %0- %5- %15- %20 kül kullanılan saksılarda üç tekerrürün ortalaması aynı sıra ile 8,33- 11,64- 19,96- 25,40 ppm Cr bulunmuştur. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’ye göre yapılan değerlendirmede krom değerleri izin verilebilir düzeyde olup kirlilik oluşturmamaktadır. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında %0- %5- %15- %20 kül kullanılan saksılarda aynı sıra ile üç tekerrür ortalaması 2,97- 6,28- 12,07- 14,16 ppm Cr bulunmuştur. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’ye göre yapılan değerlendirmede, deneme toprakların da izin verilebilir düzeyde krom (Cr) bulunduğu belirlenmiştir. Elde edilen bulgulara göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.19’da ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.20’de verilmiştir.

Toprağın toplam krom değerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki etkileşimi ise $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 dozu, toprak tekstürü ve uygulama dozları etkileşimi

açısından kil tekstürlü toprakta %20 ve %15 dozları üst grupları oluşturmuştur. İstatiksel açıdan %15 ve %20 dozlarında kül uygulaması topraklarda toplam krom miktarında 1. ve 2. derecede önemli artış olduğunu göstermiş olsa da yönetmelikler açısından kirlilik sınırlarının çok altında değerlerdir. Bamroongruga ve ark. (2004), Tuna ve Girgin (2005), Yunusa ve ark.(2002), Sings (2012) ve Yıldız (2004)'ın yaptıkları çalışmalar bu konudaki bulgularımızı desteklemektedir. Şekil 4.9'de kil tekstürlü toprakla, Şekil 4.10'da kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki krom değerlerinin grafikte gösterimi verilmektedir.

Çizelge 4.18. Deneme konularına toplam krom (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	6,75	8,52	9,72	8,33
	D ₂	13,34	9,93	11,65	11,64
	D ₃	20,40	20,17	19,33	19,97
	D ₄	26,86	24,54	24,82	25,41
B	D ₁	2,94	3,75	2,24	2,98
	D ₂	5,23	6,07	7,55	6,28
	D ₃	11,05	13,15	12,03	12,08
	D ₄	13,30	14,71	14,48	14,16

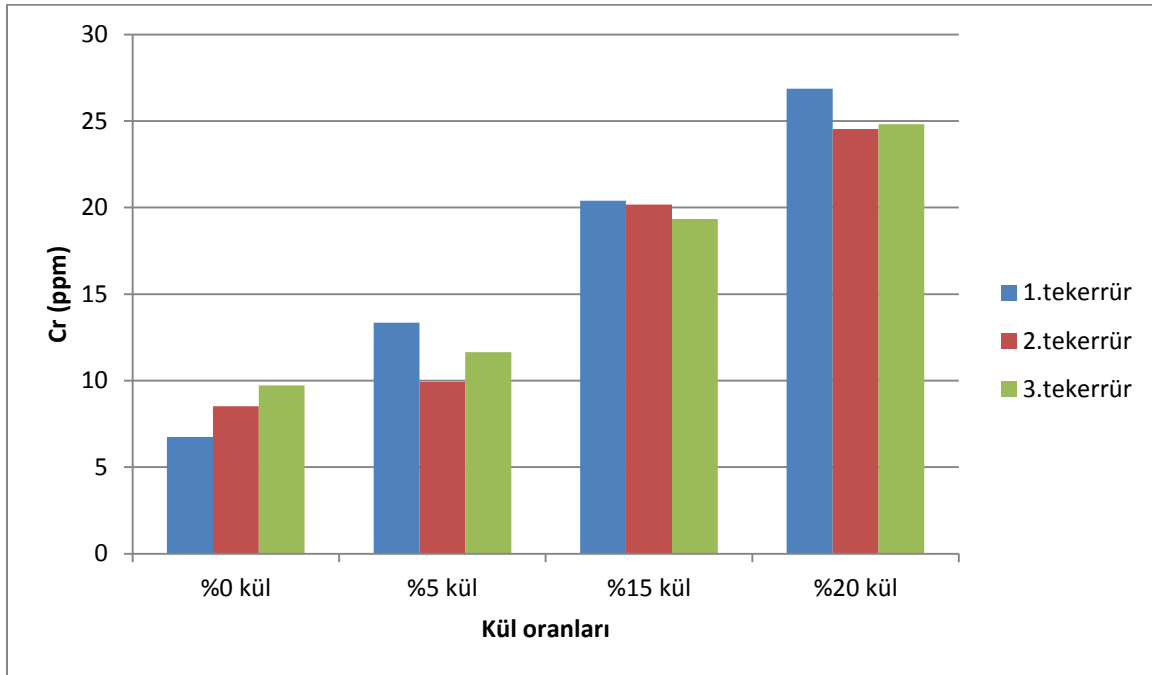
Çizelge 4.19. Krom değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	333.984	333.984	231.354**
Hata 1	4	5.774	1.444	
Dozaj Uygulamaları	3	748.953	249.651	192.032**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	35.041	11.688	8.984**
Hata	12	15.601	1.300	
Genel	23	1139.353	49.537	

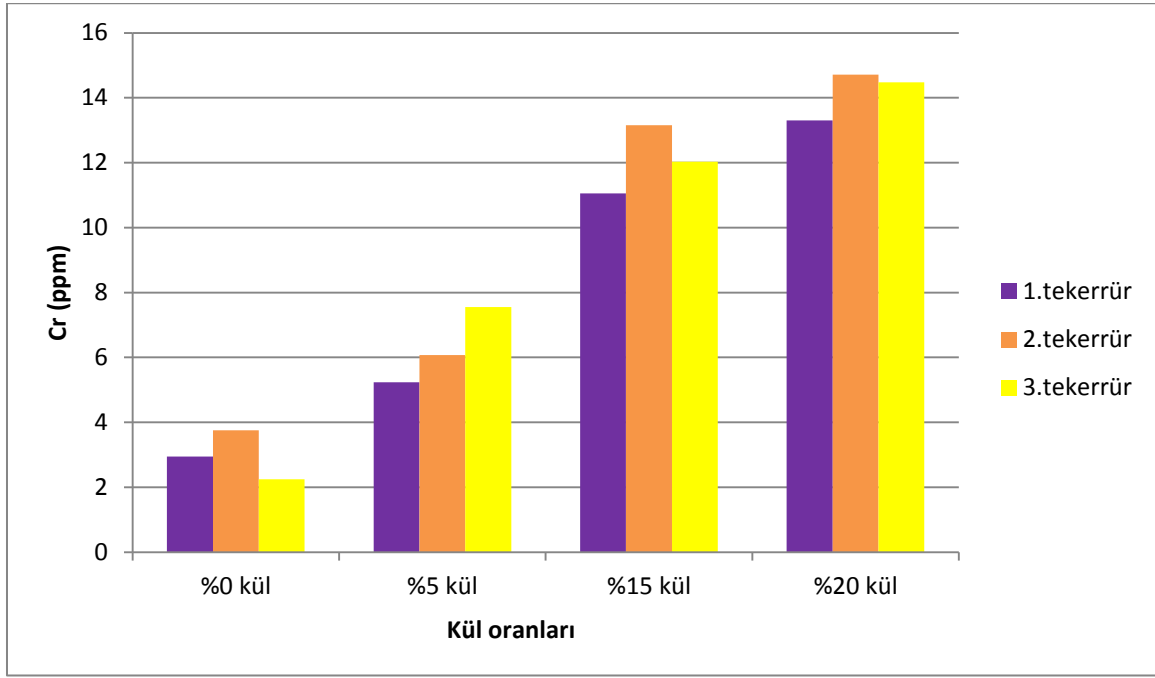
** : p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.20. Krom değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Krom içeriği (ppm)	LSD grubu
A	16.636	a
B	8.875	b
LSD _{0.01}		2.258
Dozaj		
D4	19.79	a
D3	16.02	b
D2	8.96	c
D1	5.65	d
LSD _{0.01}		2.011
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D4	25.41	a
A-D3	19.97	a
B-D4	14.16	ab
B-D3	12.08	abc
A-D2	11.64	bcd
A-D1	8.33	cde
B-D2	6.28	de
B-D1	2.98	f
LSD _{0.01}		2.850



Şekil 4.9 Kül tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarında krom (ppm) değerlerinin grafiği



Şekil 4.10. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki krom (ppm) değerlerinin grafiği

4.2.3 Toprakların toplam nikel içeriklerinin değerlendirilmesi

Çizelge 4.21’de toplam nikel değerlerini incelediğimizde hem kil tekstürlü toprakla hem de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının analiz sonuçları Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’ye göre yapılan değerlendirmede toprakların hepsinde izin verilebilir düzeyde nikel miktarı olup, toprak kirlilik parametreleri sınır değerlerini geçmediği belirlenmiştir. Elde edilen analiz değerlerine göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.22’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.23’te verilmiştir.

Çizelge 4.21. Deneme konularına toplam nikel (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	13,22	13,61	14,89	13,91
	D ₂	25,52	28,89	25,57	26,66
	D ₃	45,87	41,66	49,01	45,51
	D ₄	67,14	59,97	59,63	62,25
B	D ₁	3,72	4,66	4,21	4,20
	D ₂	11,85	11,36	16,24	13,15
	D ₃	30,37	39,24	34,24	34,62
	D ₄	33,69	41,53	58,45	44,56

Çizelge 4.22. Nikel değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	1006.474	1006.474	27.225**
Hata 1	4	147.875	36.969	
Dozaj Uygulamaları	3	7129.295	2376.432	95.377**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	56.242	18.747	0.752ns
Hata	12	298.995	24.916	
Genel	23	8638.881	375.604	

ns: önemsiz

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Çizelge 4.23. Nikel değerine ilişkin LSD testi sonuçları

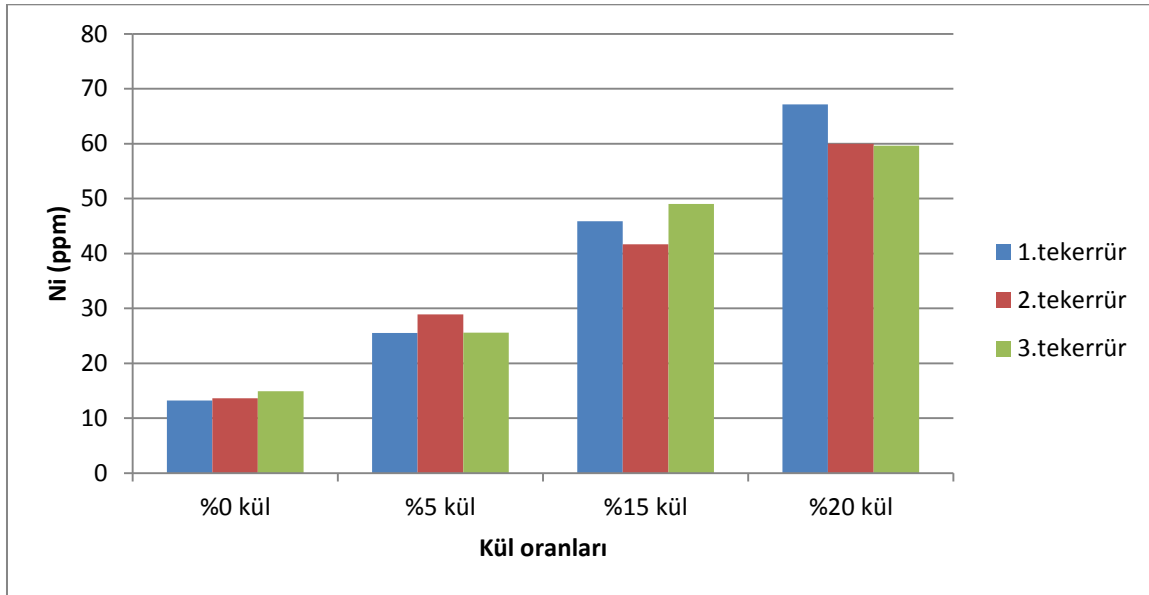
Toprak tekstürü	Toplam nikel (ppm)	LSD grubu
Kil	37.082	a
Kumlu tın	24.130	b
LSD _{0.01}		11.428
Dozaj		
D4	53.402	a
D3	40.065	b
D2	19.905	c
D1	9.052	d
LSD _{0.01}		8.804

Toprağın toplam nikel değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ düzeyinde önemli ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 dozları üst grupları oluşturmuştur. İstatistiksel açıdan % 20 dozunda kül uygulaması topraklarda toplam nikel miktarının da önemli artış gösterse de yönetmeliklere göre sınır değerlerin çok altında kalmaktadır.

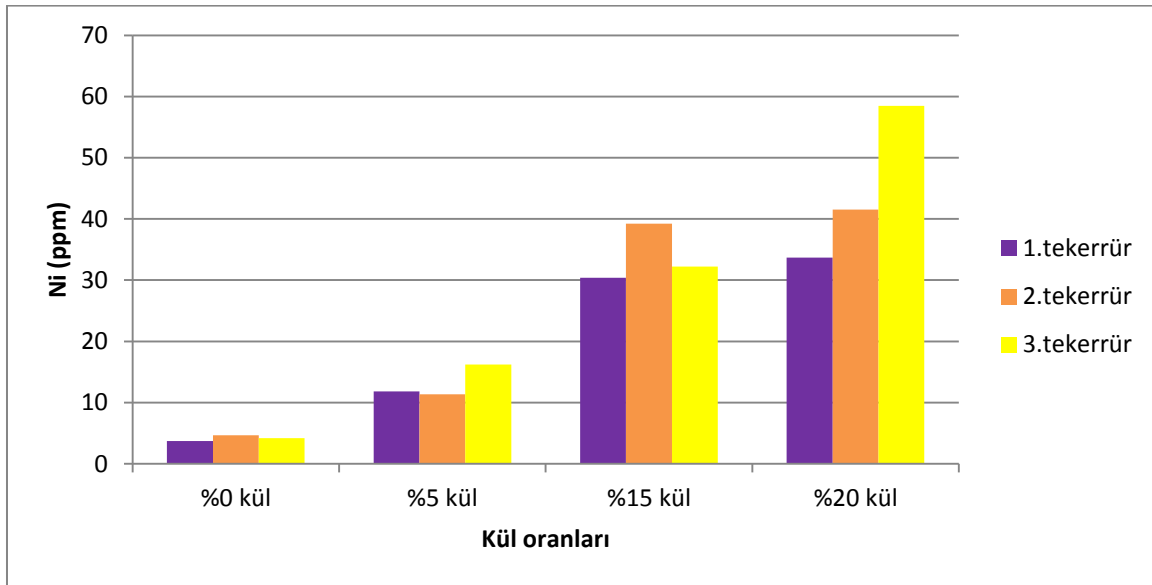
Bu sonuç kömür külünün topraklarda kullanımının topraklara zarar verecek boyutta herhangi bir nikel kirliliğinin bulunmadığını göstermektedir. Bamroongrugsa ve ark. (2004) kömür külünün toprağa karıştırılmasıyla yaptıkları çalışmada ağır metallere nikel elementinin toprakta izin verilir seviyelerde olduğunu belirtmişlerdir. Avustralya küllerinde

çevreye salınma riski bulunan ağır metallerin, yaygın gübrelerden ve bazı durumlarda kirletilmemiş topraklardan bile çok daha az olduğu belirtilmiştir (Yunusa ve ark. 2002). Bu bulgumuzu Tuna ve Girgin (2005), Yıldız (2004)'da çalışmalarıyla desteklemektedir.

Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarının nikel değerleri Şekil 4.11'de, kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarının nikel değerleri Şekil 4.12'de verilmektedir.



Şekil 4.11. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarının nikel (ppm) değerlerinin grafiği



Şekil 4.12. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki nikel (ppm) değerlerinin grafiği

4.2.4 Toprakların toplam kurşun içeriğinin değerlendirilmesi

Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakların toplam kurşun içerikleri Çizelge 4.24'te verildiği gibi %0 kül kullanılan saksılarda üç tekerrür ortalaması 7,76 ppm Pb, %5 kül kullanılan saksılarda 10,93 ppm Pb, %15 kül kullanılan saksılarda 6,97 ppm Pb, %20 kül kullanılan saksılarda 7,04 ppm Pb bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakların %0 kül kullanılan saksılarda ortalama 7,90 ppm Pb, %5 kül kullanılan saksılarda 7,69 ppm Pb, %15 kül kullanılan saksılarda 7,22 ppm Pb, %20 kül kullanılan saksılarda 7,70 ppm Pb bulunmuştur. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'ye göre yapılan değerlendirmede, deneme toprakların kurşun miktarı toprak kirlilik parametreleri sınır değerlerini geçmediği görülmüştür. Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.25'te ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.26'da verilmiştir.

Çizelge 4.24. Deneme konularına toplam kurşun (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
Kil	D ₁	8,41	7,21	7,67	7,76
	D ₂	11,49	11,93	9,39	10,94
	D ₃	7,06	7,15	6,71	6,97
	D ₄	6,98	8,42	5,73	7,04
Kumlu tın	D ₁	6,74	7,80	9,17	7,90
	D ₂	8,77	7,40	6,90	7,69
	D ₃	6,83	7,94	6,89	7,22
	D ₄	7,20	8,92	7,00	7,71

Çizelge 4.25. Kurşun değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	1.810	1.810	1.488ns
Hata 1	4	4.866	1.216	
Dozaj Uygulamaları	3	17.537	5.846	6.300**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	14.782	4.927	5.310*
Hata	12	11.135	0.928	
Genel	23	50.130	2.180	

*: p<0.05 düzeyinde önemli

** : p<0.01 düzeyinde önemli

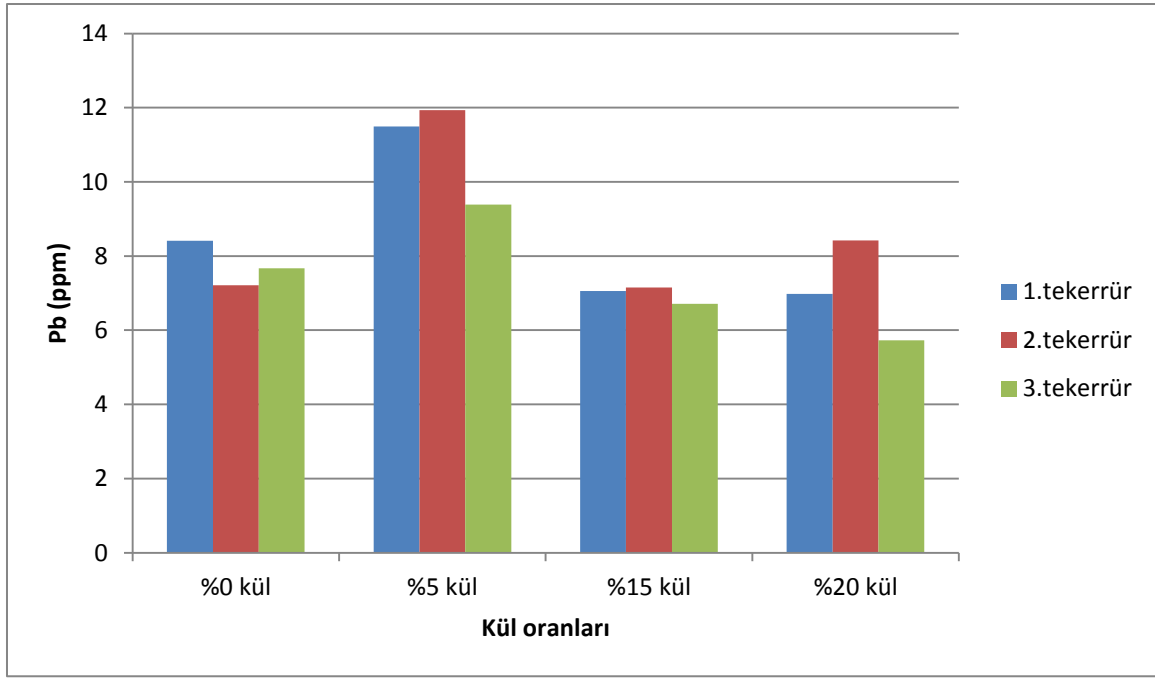
ns:önemsiz

Çizelge 4.26. Kurşun değerine ilişkin LSD testi sonuçları

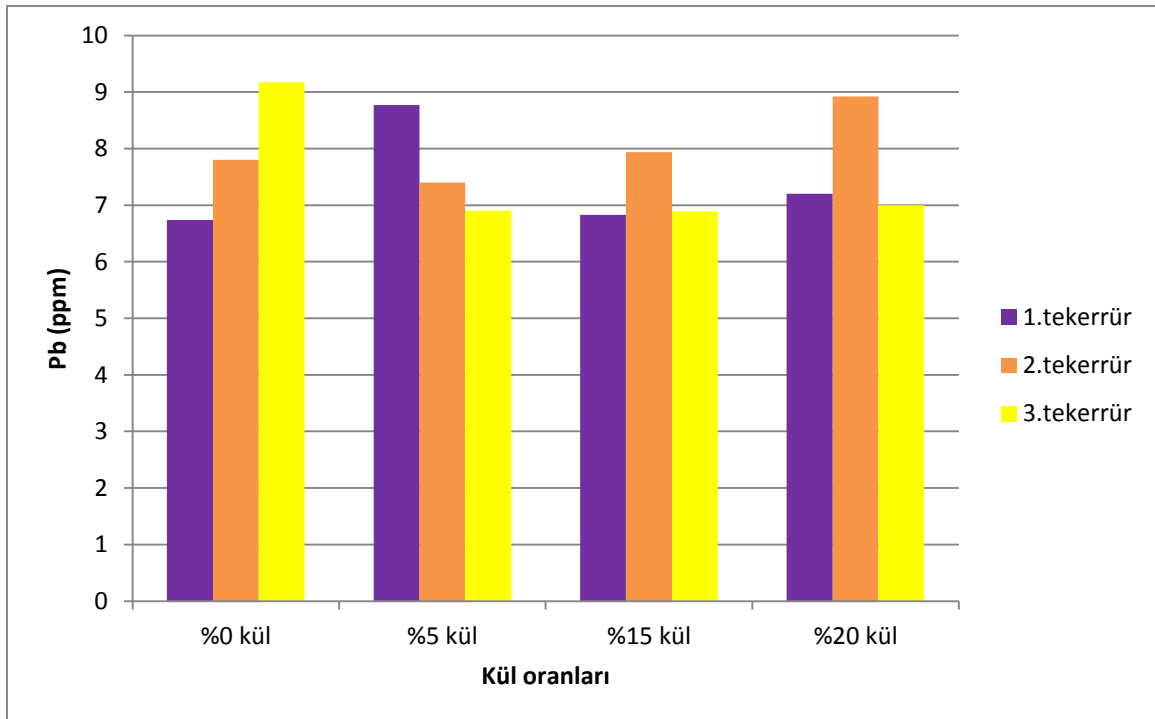
Toprak tekstürü	Toplam kurşun içeriği (ppm)	LSD grubu
Dozaj		
D2	9.313	a
D1	7.833	ab
D4	7.375	b
D3	7.097	b
LSD _{0,01}		1.699
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D2	10.94	a
B-D1	7.90	b
A-D1	7.76	b
B-D4	7.71	b
B-D2	7.69	b
B-D3	7.22	b
A-D4	7.04	b
A-D3	6.97	b
LSD _{0,01}		1.710

Toprağın toplam kurşun içeriğindeki değişikliğe toprağın tekstür sınıfı istatistiki açıdan önemsiz bulunmuştur. Uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; uygulama dozları açısından %5 dozu, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %5 dozu üst grupları oluşturmuştur.

Bu sonuç kil tekstürlü toprakta %5 dozu önemli düzeyde çıkmakta ve yönetmeliklere göre değerlendirildiğinde kömür külünün kullanımının deneme topraklarına zarar verecek boyutta herhangi bir kurşun kirliliği oluşturmadığını göstermektedir. Bu bulgumuzu Scotti ve ark. (1996), Yunusa ve ark. (2002), Tuna ve Girgin(2005), Bamroongrusa ve ark.(2004) yaptıkları çalışmalarıyla desteklemektedir. Şekil 4.13'te grafikte kil tekstürlü toprakla kurulan deneme toprakları kurşun içeriği değişimi grafiği, Şekil 4.14'te kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme toprakları kurşun içeriği değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.13. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki kurşun (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.14. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki kurşun (ppm) değerleri grafiği

4.2.5 Toprakların toplam çinko içeriğinin değerlendirilmesi

Çinko elementi hem bitkiler için gerekli bitki besin elementi olup, hem de mevcut yönetmeliklere göre belli değerlerin üzerinde olduğunda toprağı kirletici özelliğı bulunan ağır metallere sayılmaktadır. Çizelge 4.27’de toplam çinko değerlerini incelediğimizde hem kil tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarında, hem de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarında uygulanan kül miktarı Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2’ye göre yapılan değerlendirmede, toplam çinko (Zn) miktarı toprak kirlilik parametreleri sınır değerlerini geçmediğini ve kömür külünün kullanımının deneme topraklarında zarar verecek boyutta herhangi bir çinko (Zn) kirliliğı oluşturmadığını göstermektedir.

Elde edilen bulgulara göre yapılan varyans analizi Çizelge 4.28’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.29’da verilmiştir.

Çizelge 4.27. Deneme konularına toplam çinko (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	23,85	20,40	22,30	22,18
	D ₂	25,54	21,60	24,35	23,83
	D ₃	37,88	38,24	29,59	35,24
	D ₄	29,51	27,40	28,30	28,40
B	D ₁	13,39	14,46	14,50	14,12
	D ₂	12,93	14,05	13,87	13,62
	D ₃	16,90	17,12	16,43	16,82
	D ₄	17,47	18,33	16,93	17,58

Çizelge 4.28. Çinko değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	847.401	847.401	156.813**
Hata 1	4	21.616	5.404	
Dozaj Uygulamaları	3	249.750	83.250	22.017**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	91.769	30.590	8.090**
Hata	12	45.375	3.701	
Genel	23	1255.910	54.605	

** : p<0.01 düzeyinde önemli

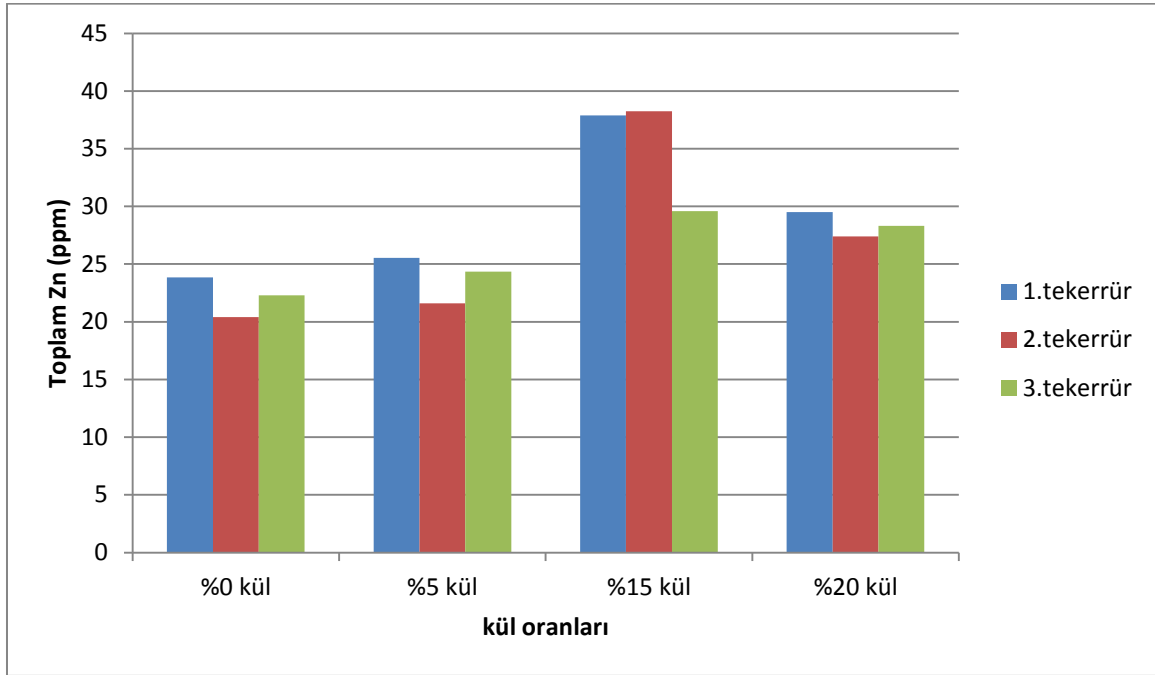
Çizelge 4.29. Çinko değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Toplam çinko (ppm)	LSD grubu
A	27.413	a
B	15.529	b
LSD _{0.01}		4.369
Dozaj		
D3	26.027	a
D4	22.985	a
D2	18.723	b
D1	18.150	b
LSD _{0.01}		3.430
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D3	35.24	a
A D4	28.40	b
A-D2	23.83	bc
A- D1	22.18	cd
B- D4	17.58	d
B- D3	16.82	e
B- D1	14.12	e
B- D2	13.62	e
LSD _{0.01}		4.810

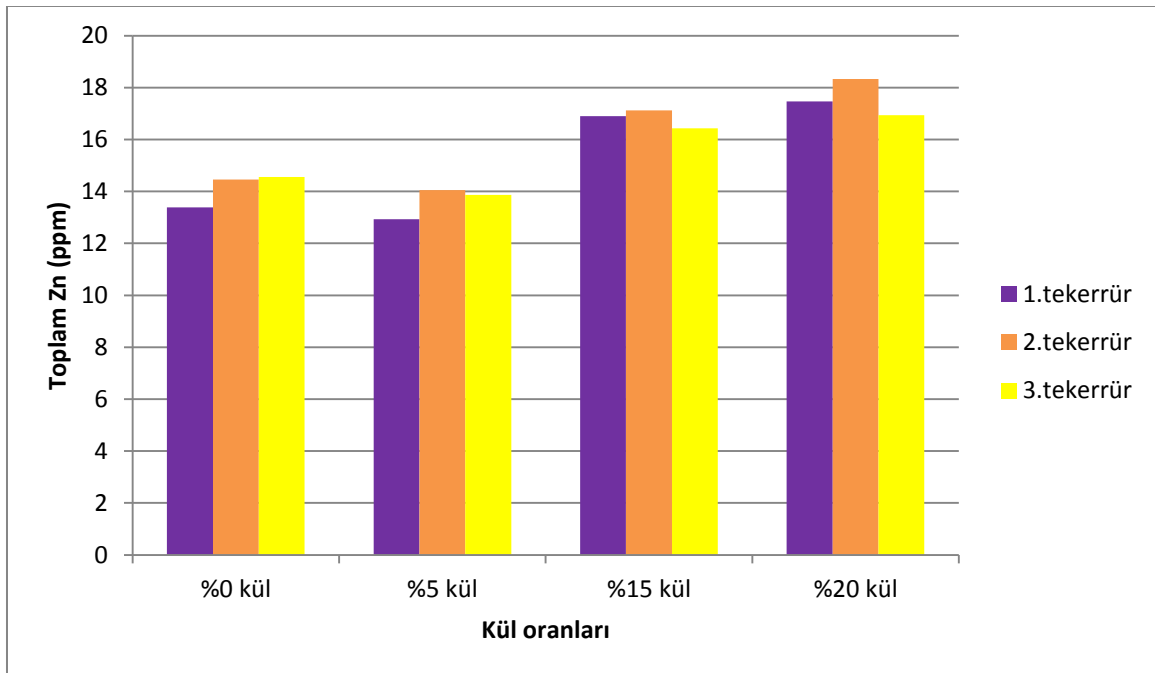
Toprağın toplam çinko miktarları değerlendirildiğinde toprağın tekstür durumu, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %15 ve %20 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %15 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Çinko elementi topraklarda belli değerlerin üzerine çıktığında topraklarda kirlilik oluşturmaktadır. Bizim sonuçlarımızda tüm topraklardaki toplam çinko değerleri yönetmeliklerdeki sınır değerleri geçmemiş olmasına karşın istatistiksel açıdan %15 ve %20 dozlarında kül uygulaması toprakta toplam çinko miktarında önemli artış olduğunu göstermektedir. Tuna ve Girgin(2005), Bamrongrugs ve ark.(2004) yaptıkları çalışmalar sonucunda kömür külünün toprakta kullanımının ağır metallere çinko değerinin izin verilebilir değerlerde olduğunu sorun oluşturmadığını rapor etmişlerdir. Şekil 4.15’de kil tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının toplam çinko değerlerinin değişimi grafiği ve

Şekil 4.16'de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının toplam çinko değerlerinin değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.15. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki çinko (ppm) değerlerinin grafiği



Şekil 4.16. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki çinko (ppm) değerlerinin grafiği

4.2.6 Topraklardaki toplam bakır içeriğinin değerlendirilmesi

Bakır elementi hem bitki besin elementi olup hem de mevcut yönetmeliklerimizde belli sınır değerleri aştığında toprak kirletici olarak değerlendirilmektedir. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında %0 - %5 - %15 - %20 kül kullanılmış ve saksılarda üç tekerrür ortalaması alınarak aynı sıralama ile Çizelge 4.30'da verildiği gibi 12,79- 14,46- 20,83- 25,17 ppm toplam bakır (Cu) bulunmuştur. Kumlu tın toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında 4,90- 6,68- 12,65- 13,54 ppm toplam Cu bulunmuştur. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'ye göre yapılan değerlendirmede, deneme topraklarının hepsinde bakır (Cu) miktarının toprak kirlilik parametreleri sınır değerlerini geçmediği görülmüştür.

Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.31'de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.32'de verilmiştir.

Çizelge 4.30. Deneme konularına toplam bakır (ppm) değerleri

Deneme Konuları	Tekerrür				
	I	II	III	Ort.	
A	D ₁	13,22	12,63	12,52	12,79
	D ₂	13,75	14,30	15,33	14,46
	D ₃	21,85	20,47	20,19	20,84
	D ₄	25,84	27,30	22,38	25,17
B	D ₁	5,27	4,61	4,83	4,90
	D ₂	6,24	6,43	7,38	6,68
	D ₃	14,36	10,70	12,91	12,66
	D ₄	12,78	14,67	13,17	13,54

Çizelge 4.31. Bakır değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	471.973	471.973	503.670**
Hata 1	4	3.748	0.937	
Dozaj Uygulamaları	3	446.947	148.932	81.528**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	15.412	5.137	2.811ns
Hata	12	21.928	1.827	
Genel	23	960.00	41.739	

ns: önemsiz

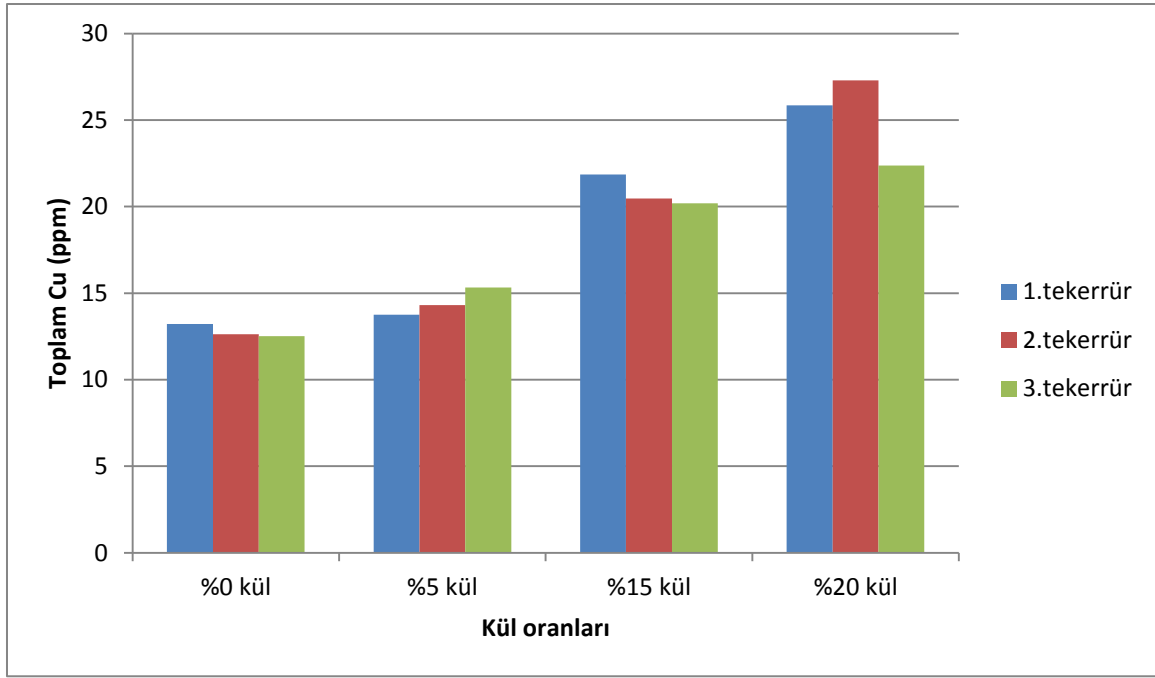
** : p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.32. Bakır değerine ilişkin LSD testi sonuçları

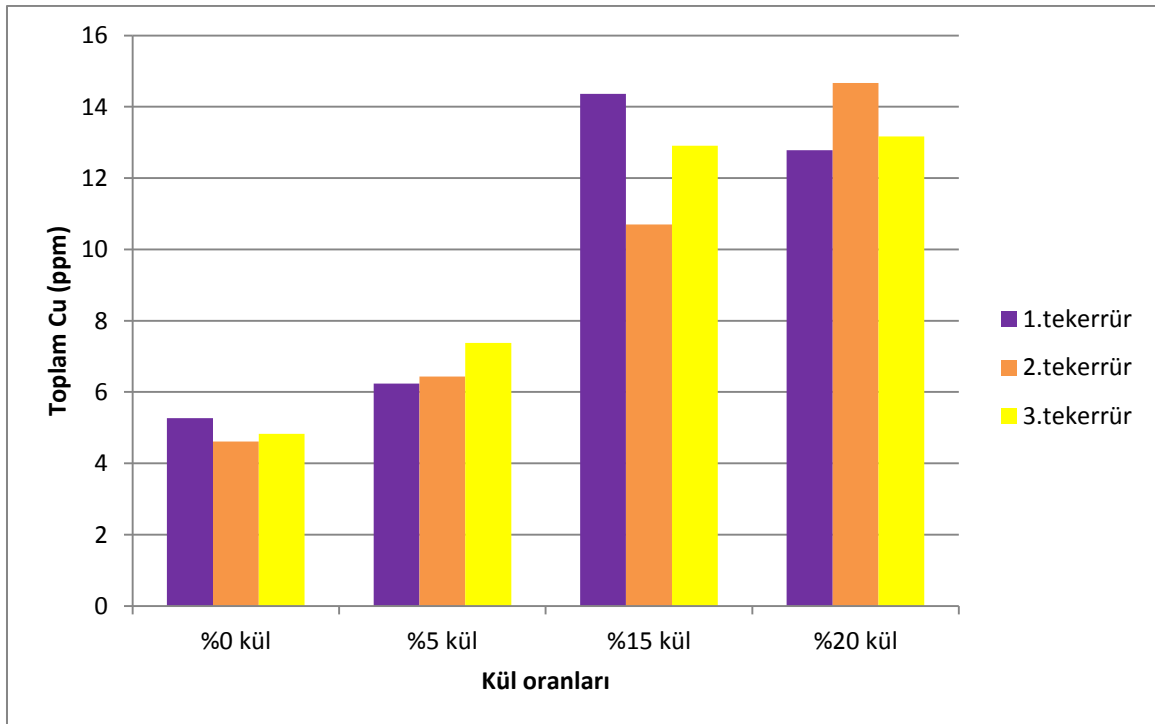
Toprak tekstürü	Toplam bakır (ppm)	LSD grubu
A	18.315	a
B	9.446	b
LSD _{0.01}		1.819
Dozaj		
D4	19.357	a
D3	16.747	b
D2	10.572	c
D1	8.847	c
LSD _{0.01}		2.384

Toprağın toplam bakır değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu ve uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ düzeyinde önemli bulunmuştur. Ancak tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksiyonu istatistiksel açıdan önemsiz çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Bu sonuç kömür külünün topraklarda kullanımının topraklara zarar verecek boyutta herhangi bir Cu kirliliğinin bulunmadığını göstermektedir. Yıldız (2004), Tuna ve Girgin (2005), Bamroongruga ve ark. (2004), Yunusa ve ark.(2002) yaptıkları çalışmaları sonucunda ortaya koydukları sonuçlarla kömür külünün tarımda kontrollü kullanımının bakır kirliliği oluşturmadığını teyit etmektedirler. Şekil 4.17’de kil tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarındaki toplam Cu miktarı grafiği ve Şekil 4.18’de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarında toplam Cu miktarı grafiği görülmektedir.



Şekil 4.17. Kül tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarında toplam bakır (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.18. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarındaki toplam bakır (ppm) değerleri grafiği

4.3 Deneme Saksıları Topraklarının Bazı Makro Mikro Yarayışlı Besin Elementi

İçerikleri

Denemenin 58. günün de bitki hasadı yapıldıktan sonra saksılardaki toprak örneklerinin külünün kimyasal analiz sonuçlarına göre bitkiye yarayışlı potasyum (K), fosfor (P), kalsiyum (Ca), demir (Fe), bakır (Cu), çinko (Zn), mangan (Mn) ve magnezyum (Mg) miktarları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Toprağa uygulanan külün granül halde olması ve toprak analizleri sırasında çok az miktarlar kullanılması (1-10 gr) nedeniyle tekerrürler arası farklılıklar oluşmuştur.

4.3.1 Toprakların yarayışlı potasyum içerikleri değerlendirmesi

Çizelge 4.34'te bitkiye yarayışlı potasyum (K) miktarını incelediğimizde; kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakların %0 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 132,45 ppm K, %5 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 162,55 ppm K, %15 kül kullanılan saksılar da (3 tekerrür ortalaması) 217,67 ppm K, %20 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 238,95 ppm K bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakların %0 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 276,36 ppm K, %5 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 282,57 ppm K, %15 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 353,90 ppm K, %20 kül kullanılan saksılarda (3 tekerrür ortalaması) 379,66 ppm K bulunmuştur. Buna göre değişebilir K miktarı kül kullanılmayan kil tekstürlü topraklarda bitkiler için az sınıfında (Çizelge 4.33'e göre) değerlendirilirken kül kullanılan kil tekstürlü topraklarda bitkiler için yarayışlı K yeterli değere yükselmiştir. Potasyum miktarı kül kullanılmayan kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiler için yeterli değerlendirme sınıfında olurken kül kullanılan kumlu topraklarda bitkiler için yarayışlı K miktarı kül oranı %5-%15 oranlarında yarayışlı K miktarı yeterli değerde kalırken %20 kül kullanılan kumlu toprakta yarayışlı K miktarı fazla değerlendirme sınıfına yükselmiştir.

Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre yapılan varyans analizi sonuçları Çizelge 4.35'te ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Toprağın yarayışlı potasyum değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu ve uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ düzeyinde önemli olurken tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu önemsiz düzeyindedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Şengül (2002), Sing (2012), Cline ve Torrenueva (2000) termik santralinde yakılan kömürden çıkan külün tarım toprağında kullanımı ile yapılan çalışmaların sonunda külün toprakta potasyum konsantrasyonunu arttırdığını belirtmişlerdir. Şekil 4.19’de kil tekstürlü toprakla ve Şekil 4.20’de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının yarıyışlı potasyum değerlerinin grafiği verilmiştir.

Çizelge 4.33. Toprakların yarıyışlı K bakımından sınıflandırılması (Alpaslan ve ark.1998)

K (ppm)	Değerlendirme
<50	Çok Az
50-140	Az
140-370	Yeterli
370-1000	Fazla
>1000	Çok Fazla

Çizelge 4.34. Deneme konularına yarıyışlı potasyum (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	126,19	139,63	131,55	132,46
	D ₂	153,98	157,51	176,18	162,56
	D ₃	231,83	218,46	202,73	217,67
	D ₄	220,73	237,04	259,09	238,95
B	D ₁	247,44	287,06	294,58	276,36
	D ₂	269,20	273,10	305,42	282,57
	D ₃	331,30	346,98	383,42	353,90
	D ₄	361,42	370,42	407,14	379,66

Çizelge 4.35. Potasyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

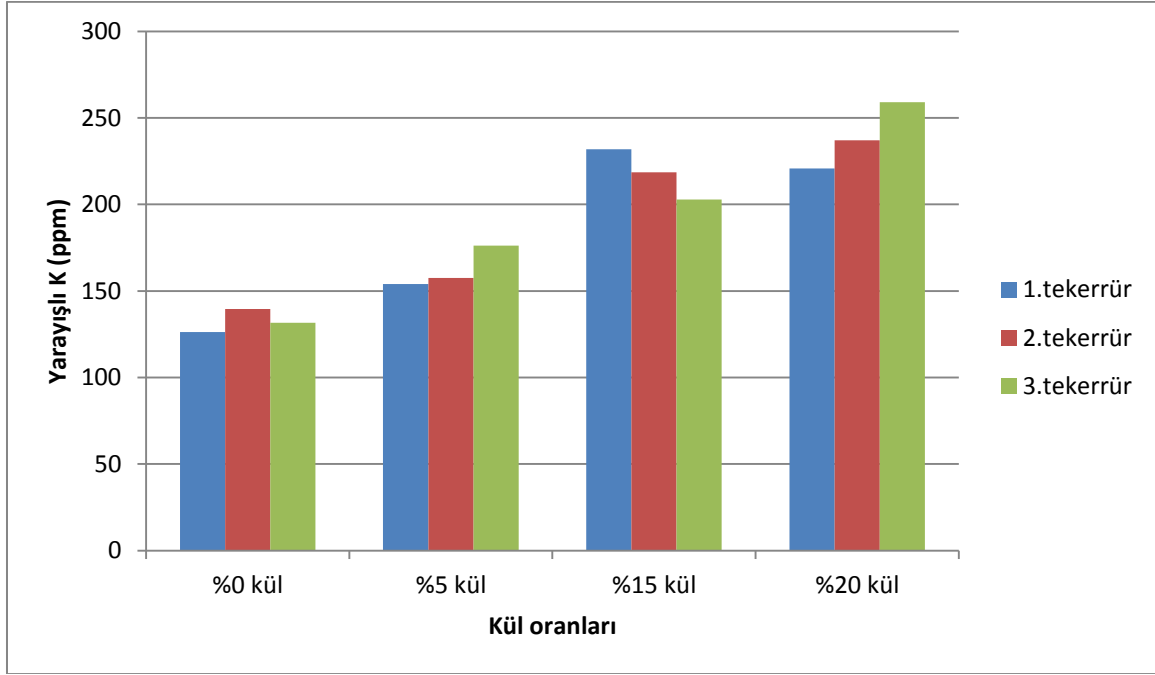
Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	106965.87	106965.87	100.693**
Hata 1	4	4357.646	1089.411	
Dozaj Uygulamaları	3	45045.066	15015.022	96.830**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	506.488	168.829	1.089ns
Hata	12	1860.784	155.065	
Genel	23	161465.85	7020.255	

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

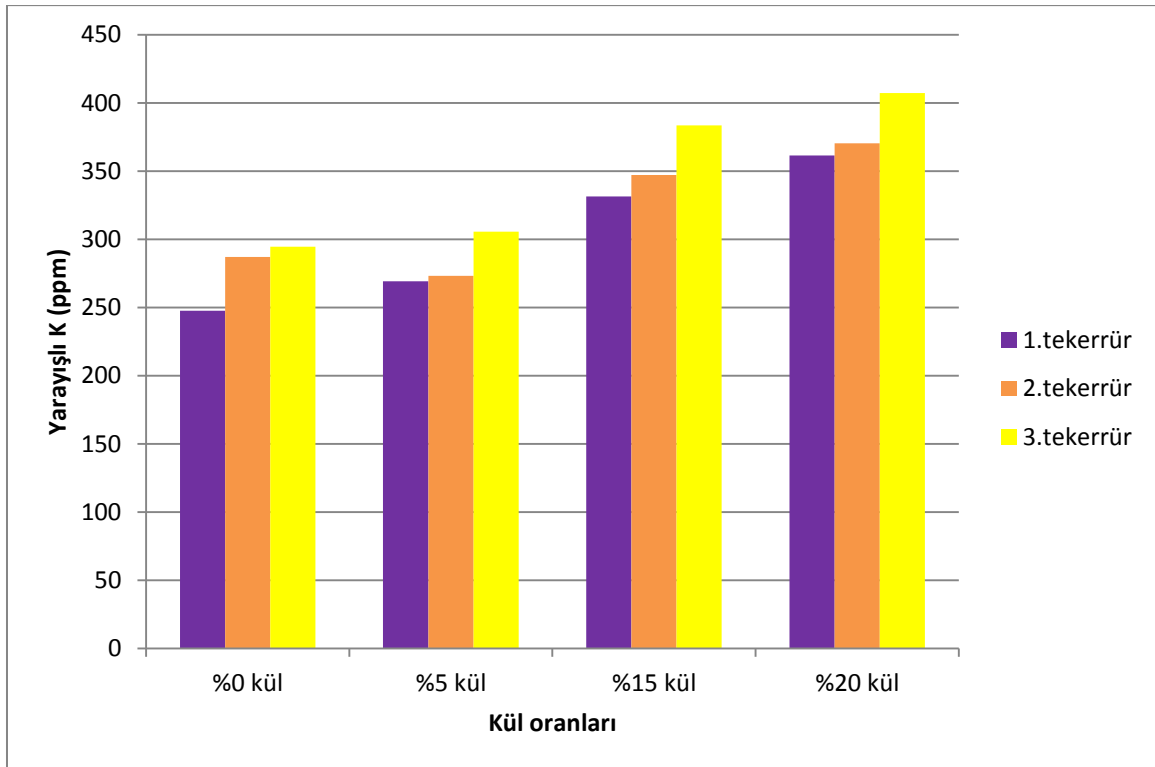
ns:önemsiz

Çizelge 4.36. Yarayırlı potasyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Yarayırlı K (ppm)	LSD grubu
B	323.123	a
A	187.910	b
LSD _{0.01}		62.038
Dozaj		
D4	309.307	a
D3	285.787	b
D2	222.565	c
D1	204.408	c
LSD _{0.01}		21.964



Şekil 4.19 Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı potasyum (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.20. Kumlu tınlı toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı potasyum (ppm) değerlerinin grafiği

4.3.2 Toprakların yarayışlı kalsiyum değerlerinin değerlendirmesi

Çizelge 4.38'de yarayışlı kalsiyum (Ca) miktarlarına baktığımızda %0- %5- %15- %20 kül uygulamalarında kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları toprakların 3 tekerrür ortalamaları aynı sıra ile 5726, 6746, 7610, 8283 ppm Ca fazla sınıfında değerlendirilmiştir. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında 1226, 1840 ppm Ca yeterli sınıfında, 3718, 4273 ppm Ca fazla sınıfında değerlendirilmiştir. Toprakların yarayışlı Ca içerikleri Çizelge 4.37'ye göre değerlendirilmiştir. Edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.39'da ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.40'ta verilmiştir.

Çizelge 4.37.Toprakların yarayışlı kalsiyum bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990)

Ca, ppm	Değerlendirme
<380	Çok Az
380-1150	Az
1150-3500	Yeterli
3500-10000	Fazla
>10000	Çok Fazla

Çizelge 4.38. Deneme konularına yarayışlı kalsiyum (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
Kil	D ₁	5893,76	5683,67	5600,79	5726,07
	D ₂	6814,87	6938,23	6485,20	6746,10
	D ₃	7988,32	7592,11	7251,74	7610,72
	D ₄	8100,54	8530,09	8219,56	8283,39
Kumlu tın	D ₁	1298,67	1195,73	1186,18	1226,86
	D ₂	1890,94	1885,46	1743,68	1840,02
	D ₃	3596,55	3696,74	3861,55	3718,28
	D ₄	3986,48	4522,72	4312,55	4273,91

Çizelge 4.39. Yarayırlı kalsiyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	112322992.483	112322992.483	1595.983**
Hata 1	4	281514.197	70378.549	
Dozaj Uygulamaları	3	29262282.421	9754094.148	261.576**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	982396.957	327465.652	8.782**
Hata	12	447475.816	37289.651	
Genel	23	143296661.875	6230289.647	

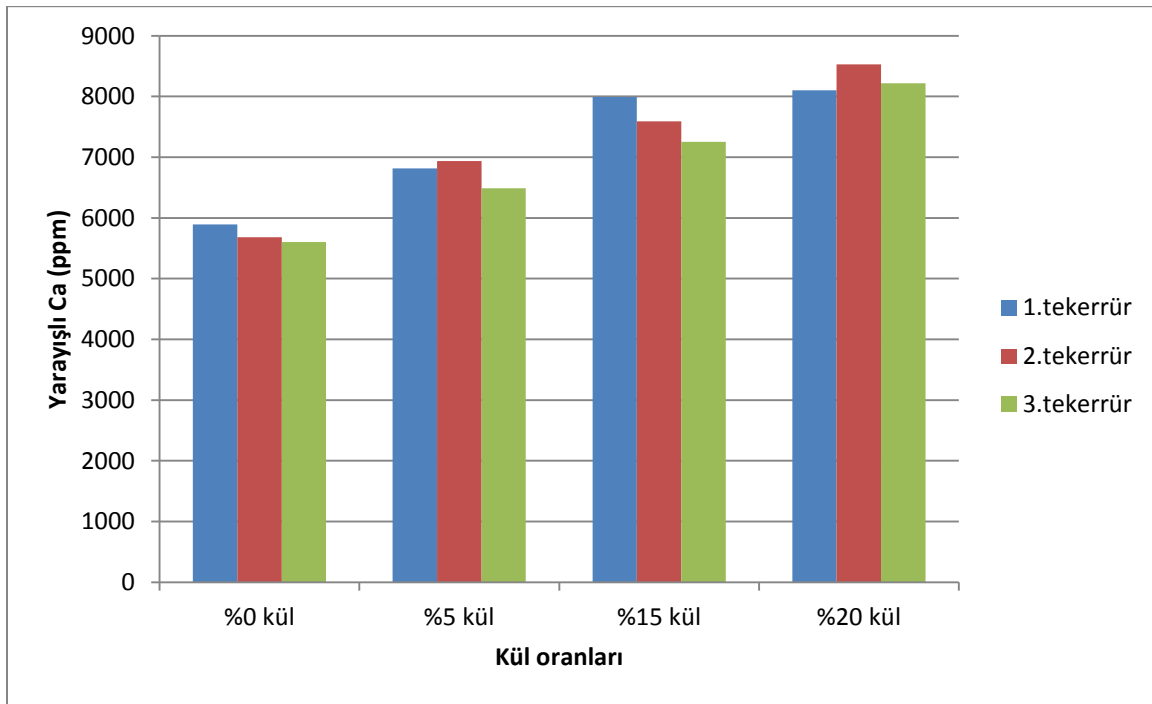
** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Çizelge 4.40. Yarayırlı kalsiyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları

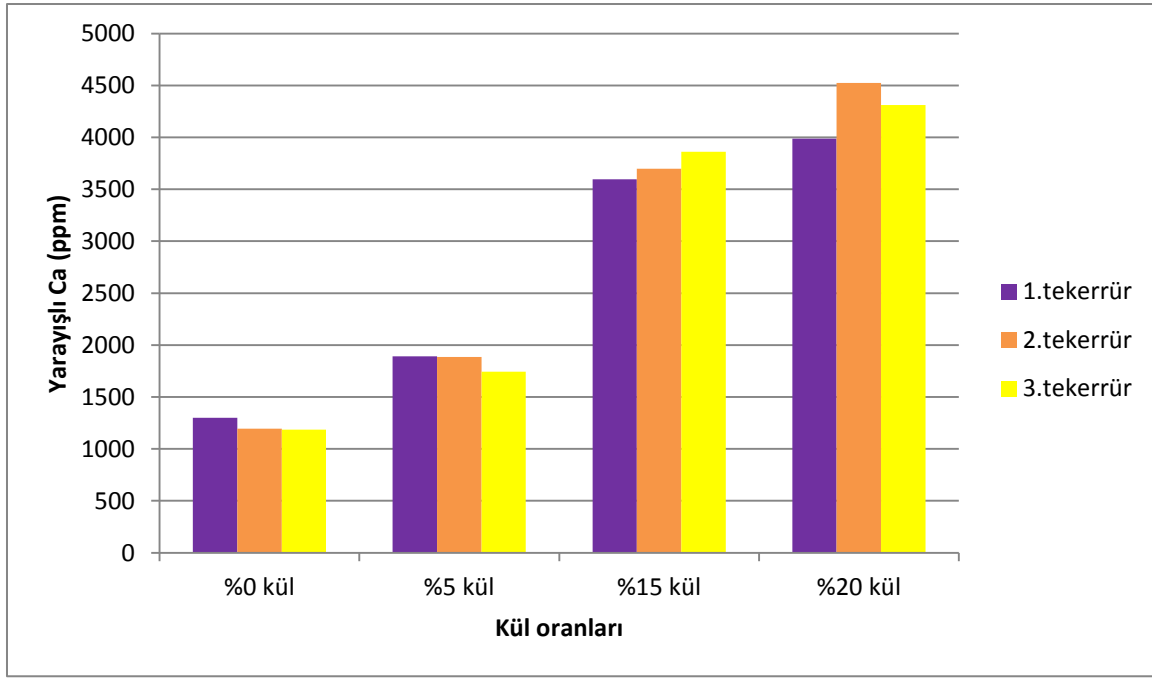
Toprak tekstürü	Yarayırlı kalsiyum (ppm)	LSD grubu
A	7091.573	a
B	2764.854	b
LSD _{0,01}		498.632
Dozaj		
D4	6278.657	a
D3	5664.668	b
D2	4293.063	c
D1	3476.467	d
LSD _{0,01}		242.935
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D4	8283.39	a
A- D3	7610.72	b
A-D2	6746.10	c
A- D1	5726.07	d
B- D4	4273.91	e
B- D3	3718.28	f
B- D2	1840.02	g
B- D1	1226.86	h
LSD _{0,01}		482.88

Toprağın yararışlı kalsiyum değerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu $p < 0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %20 dozları üst derecede ve dozların azalmasıyla da istatistiki dereceleri kötüleşmiştir.

Toprağın fiziksel özelliklerinin düzenlenmesinde ve buğday bitkisinin elemental kompozisyonu üzerine uçucu küllerin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada %1,5- 7,5 oranlarında toprağa ilave edilen uçucu külün toprakta Ca içeriğini artırdığını bildirmiştir (Kumar ve Singh 2003). Yine kül kullanımının toprakta kalsiyum miktarını artırdığını Cline ve Torrenueva (2000), Sing (2012), Bamroongruga ve ark. (2004) belirtmektedir. Şekil 4.21’de kil tekstürlü toprakla, Şekil 4.22’de kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme topraklarının yararışlı kalsiyum içeriklerinin grafiği görülmektedir.



Şekil 4.21. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı kalsiyum (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.22. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarıyışlı kalsiyum (ppm) değerleri grafiği

4.3.3 Toprakların yarıyışlı magnezyum içeriğinin değerlendirilmesi

Bitkiye yarıyışlı magnezyum (Mg) miktarları Çizelge 4.42’de incelendiğinde kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında minimum 215,75 ppm Mg ve maksimum 402,40 ppm Mg bulunmuştur. Mg değerleri kül dozu arttıkça 3 tekerrür ortalaması alınarak 220,51- 284,36- 361,82- 375,22 ppm bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında minimum 35,67 ppm iken maksimum 298,68 ppm Mg değeri çıkmıştır. Yine kumlu tın tekstürlü topraklara uygulanan kül oranı arttıkça 3 tekerrür ortalaması alındığında 38,92- 123,99- 225,42- 274,44 ppm Mg bulunmuştur. Buna göre yarıyışlı magnezyum (Mg) miktarı kül kullanılmayan kil tekstürlü topraklarda bitkiler için yeterli sınıftadır. Kül uygulanan kil tekstürlü topraklarda bitkiler için yarıyışlı Mg miktarı kül oranı artışıyla orantılı artış göstermiş ancak yeterli sınıfını değiştirmemiştir. Magnezyum (Mg) miktarı kül kullanılmayan kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiler için çok az değerde olurken kül kullanılan kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiler için yarıyışlı magnezyum (Mg) miktarı kül oranı artışıyla doğru orantılı olarak artmıştır. %5- %15 kül oranlarında yarıyışlı magnezyum (Mg) miktarı yeterli sınıfta, %20 kül kullanılan kumlu tın tekstürlü toprakta yarıyışlı magnezyum (Mg) miktarı fazla değere yükselmiştir. Toprakların bitkiler için yarıyışlı Mg içerikleri Çizelge 4.41’e göre değerlendirilmiştir.

Elde edilen yarıyırlı Mg analiz değerlerine göre yapılan varyans analiz sonuçları izelge 4.43’de ve LSD testi sonuçları izelge 4.44’te verilmiştir.

Çizelge 4.41. Toprakların bitkiler için yararlı Mg miktarları sınıflandırılması (Alpaslan ve ark. 1998)

Mg, ppm	Değerlendirme
<50	ok Az
50-160	Az
160-480	Yeterli
480-1500	Fazla
>1500	ok Fazla

Çizelge 4.42. Deneme konularına yarıyırlı magnezyum (ppm) değerleri

Deneme Konuları	Tekerrür			Ort.	
	I	II	III		
A	D ₁	220,18	225,57	215,78	220,51
	D ₂	267,50	299,24	286,35	284,36
	D ₃	377,21	356,50	351,76	361,82
	D ₄	356,46	366,82	402,40	375,23
B	D ₁	35,67	37,49	43,60	38,92
	D ₂	102,87	110,43	158,69	124,00
	D ₃	201,40	243,26	231,61	225,42
	D ₄	242,18	298,68	282,48	274,45

Çizelge 4.43. Yarayırlı magnezyum değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	125774.730	125774.730	186.670**
Hata 1	4	2695.127	673.782	
Dozaj Uygulamaları	3	141023.784	47007.928	145.191**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	5406.217	1802.072	5.566*
Hata	12	3885.197	323.766	
Genel	23	278785.054	12121.089	

*: p<0.05 düzeyinde önemli

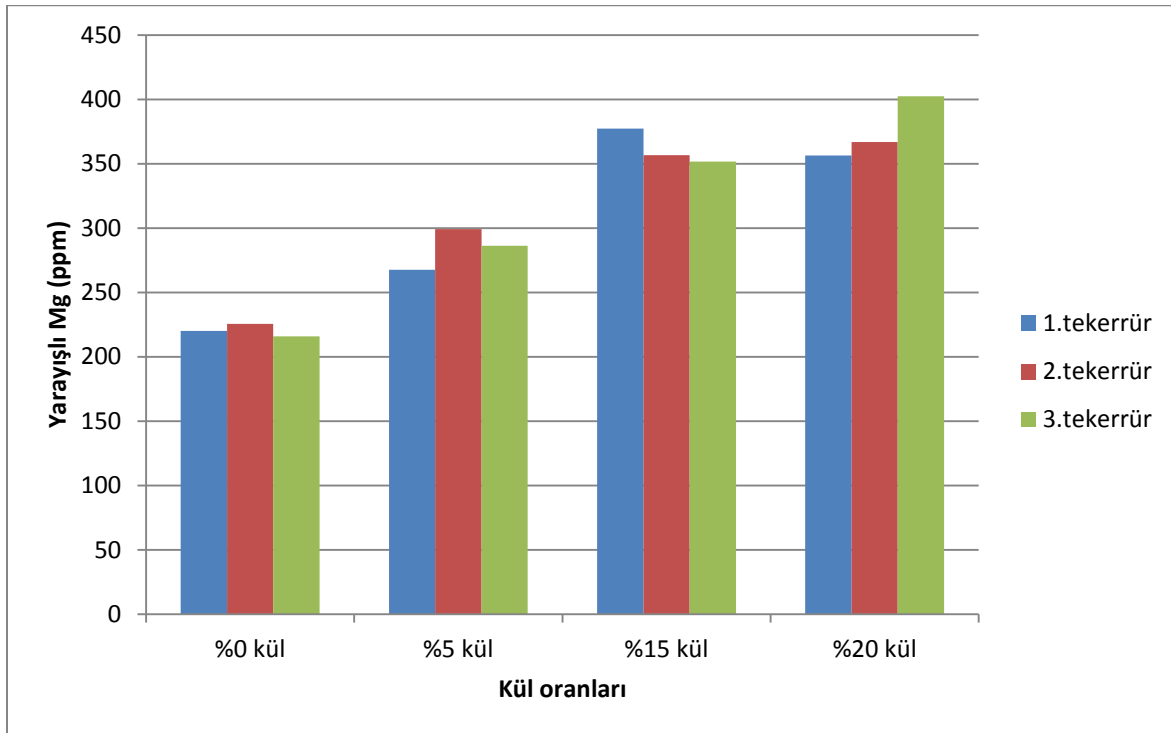
**: p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.44. Yarayırlı magnezyum değerine ilişkin LSD testi sonuçları

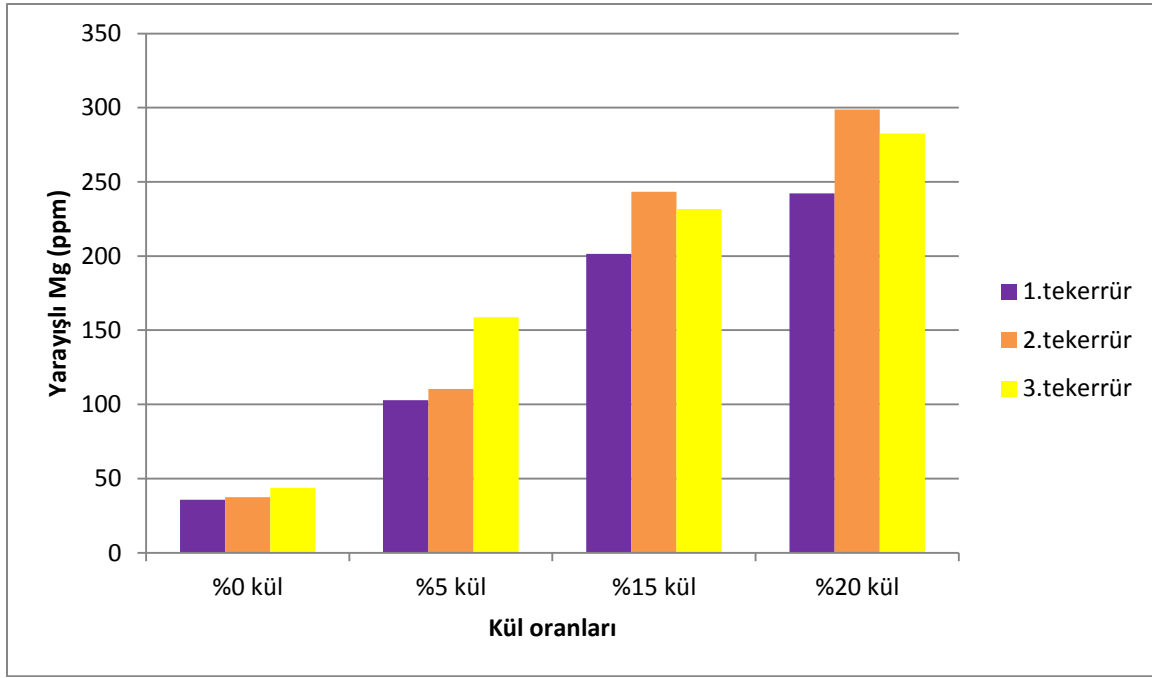
Toprak içeriği	Yarayırlı Mg (ppm)	LSD grubu
A	310.481	a
B	165.697	b
LSD _{0.01}		48.789
Dozaj		
D4	324.837	a
D3	293.623	a
D2	204.180	b
D1	129.715	c
LSD _{0.01}		31.737
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D4	375.23	a
A- D3	361.82	a
A-D2	284.36	b
A- D1	274.45	b
B- D4	225.42	c
B- D3	220.51	c
B- D2	124.00	d
B- D1	38.92	e
LSD _{0.01}		32.100

Toprağın yarayışlı magnezyum değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 ve %15 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %20 ve %15 dozları üst grupları oluşturmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakta LSD testine göre %15, %20 doz uygulamaları 3. Grup önemlilikte olsa da kül uygulanmayan topraktaki magnezyum miktarına göre 5 katı artış göstermiştir.

Kumar ve Singh (2003), Bamroongruga ve ark.(2004), Cline ve Torrenueva (2000), Sing (2012)'in sonuçları bulgularımızı desteklemektedir. Şekil 4.23'te kil tekstürlü toprakla kurulan Şekil 4.24'da kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı magnezyum içeriklerinin grafiği görölmektedir.



Şekil 4.23. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı magnezyum değerleri grafiği



Şekil 4.24. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı magnezyum değerleri grafiği

4.3.4. Toprakların yarayışlı demir içeriğinin değerlendirilmesi

Bitkiye yarayışlı demir miktarları Çizelge 4.46’da verildiği gibi kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında üç tekerrür ortalaması 11,51- 12,18- 18,33- 20,05 ppm bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında üç tekerrür ortalaması 87,83-48,90- 30,99- 32,42 ppm Fe bulunmuştur. Buna göre yarayışlı Fe miktarı kül kullanılmayan kil tekstürlü topraklarda ve kül kullanılan kil tekstürlü topraklarda bitkiler için yüksek değerde (Çizelge 4.45’e göre) çıkmıştır. Külün içeriğinde mevcut olan yüksek demir miktarı topraklara kül ilavesi ile orantılı olarak Fe miktarında artış olmasını sağlamıştır. Ancak Fe miktarı kül kullanılmayan kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiler için yarayışlı demir yüksek değerde olurken kül kullanılan kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiler için yarayışlı Fe miktarı kül kullanım oranı arttıkça düşüş göstermiştir. Bunun nedeni kül uygulanan kumlu tın tekstürlü topraklarda pH artışının olması demirin serbest hale geçmesini engellemesiyle açıklanabilir. Kül kullanımı arttıkça pH ve bazı bakır mangan çinko gibi besin elementlerinin konsantrasyonu toprakta artmıştır. Yüksek pH ve bakır, mangan, çinko gibi besin elementleri yarayışlı demir miktarını düşürmektedir (Sezen 2005). Bu bulgumuzu Kumar ve Singh (2003), Tuna ve Girgin (2005), Cline ve Torrenueva (2000), Yunusa ve ark. (2002), Sing (2012)’in yaptıkları çalışma sonuçları da desteklemektedir.

Elde edilen bu değerlere göre yapılan varyans analiz sonuçları izelge 4.47’de ve LSD testi sonuçları izelge 4.48’de verilmiştir.

Çizelge 4.45. Toprakların bitkilere yararılı Fe bakımından sınıflandırılması (Lindsay ve Norvell 1978)

Fe, ppm	Değerlendirme
<2,5	Az
2,6-4,5	Orta
>4,5	Yüksek

Çizelge 4.46. Deneme konularına yararılı demir (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	12,05	14,85	7,64	11,51
	D ₂	8,45	14,06	14,04	12,18
	D ₃	17,24	17,04	20,72	18,33
	D ₄	20,57	19,64	19,96	20,06
B	D ₁	84,77	91,06	87,68	87,84
	D ₂	42,65	47,22	56,84	48,90
	D ₃	35,78	21,49	35,71	30,99
	D ₄	37,92	21,27	38,25	32,48

Çizelge 4.47. Demir değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	7154.616	7154.616	157.089**
Hata 1	4	182.180	45.545	
Dozaj Uygulamaları	3	2392.353	797.451	26.933**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	4077.721	1359.240	50.509**
Hata	12	322.932	26.911	
Genel	23	14129.802	614.339	

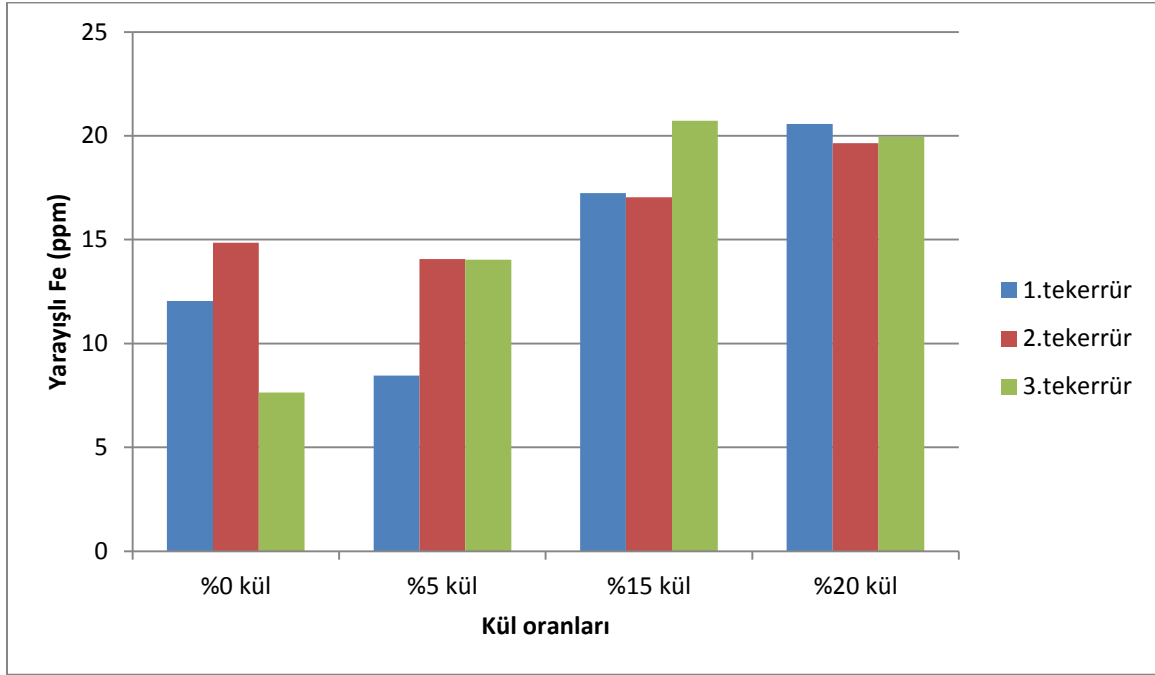
** : p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.48. Yarayırlı demir değerine ilişkin LSD testi sonuçları

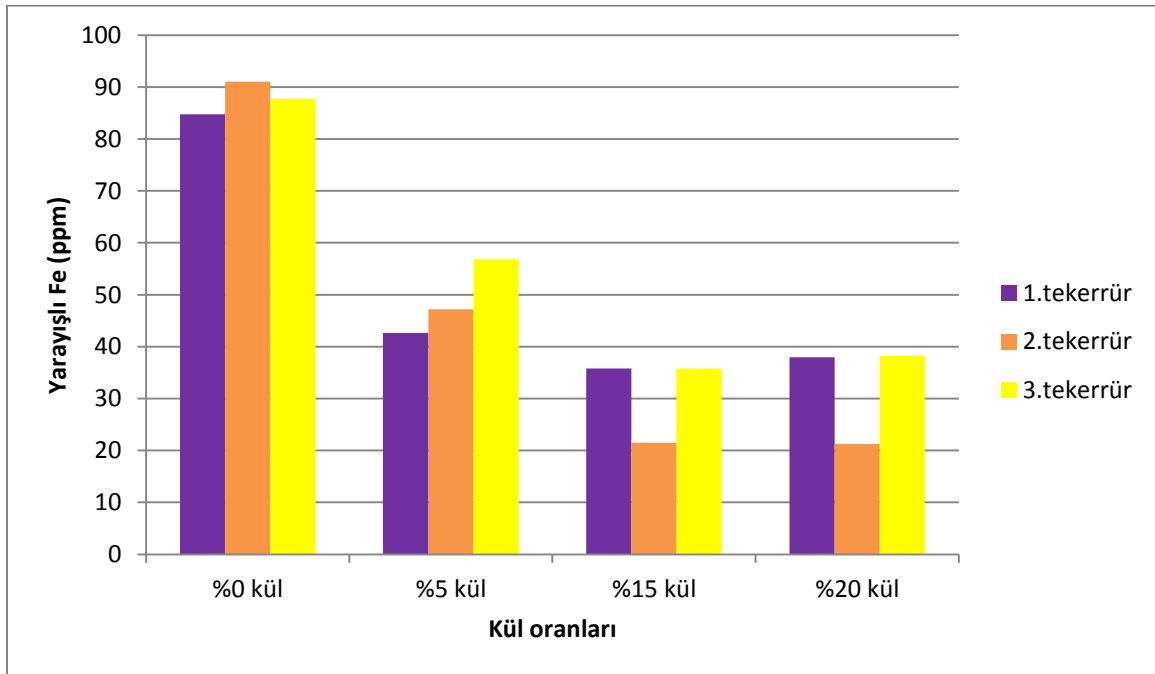
Toprak tekstürü	Yarayırlı demir içeriği (ppm)	LSD grubu
B	50.053	a
A	15.522	b
LSD _{0.01}		12.685
Dozaj		
D1	49.675	a
D2	30.543	b
D4	26.268	b
D3	24.663	b
LSD _{0.01}		9.150
Toprak tekstürü * Dozaj		
B- D1	87.84	a
B- D2	48.90	b
B- D4	32.48	c
B- D3	30.99	cd
A-D4	20.06	cd
A- D3	18.33	cde
A-D2	12.18	e
A- D1	11.51	e
LSD _{0.01}		12.970

Toprağın yarayırlı demir değerlerinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %0 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kumlu tın tekstürlü toprakta %0 dozları üst grupları oluşturmuştur. Bu durum da demir elementinin topraktaki aktivitesinin asidik koşullarda gerçekleşmesiyle açıklanmaktadır. Uygulanan kül dozları arttıkça pH'da gerçekleşen artışa doğru orantılı olarak yarayırlı demir miktarında azalma görölmektedir.

şekil 4.25'de kil tekstürlü toprakla şekil 4.26'da kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının demir içerikleri değişim grafikleri görölmektedir.



Şekil 4.25. Kül tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı demir (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.26. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı demir (ppm) değerleri grafiği

4.3.5 Toprakların yararılı bakır içeriği değerlendirmesi

Çizelge 4.50'ye göre kül uygulamalarının kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında üç tekerrür ortalaması alındığında 0,81-0,88-1,15-1,07 ppm Cu değeri bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında 0,73- 0,72-0,80-0,88 ppm Cu bulunmuştur. Çizelge 4.49'a göre yapılan değerlendirme sonucunda, deneme topraklarının tamamında bitkilere yararılı bakır (Cu) miktarları yeterli bakır değerlendirme sınıfında olduğunu göstermektedir.

Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analiz sonucu Çizelge 4.51'de ve LSD testi sonucu Çizelge 4.52'de verilmektedir.

Çizelge 4.49. Toprakların bitkilere yararılı Cu bakımından sınıflandırılması (Lindsay ve Norvell 1978)

Cu(ppm)	Değerlendirme
<0,2	Yetersiz
>0,2	Yeterli

Çizelge 4.50. Deneme konularına yararılı bakır (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	0,78	0,79	0,86	0,81
	D ₂	1,08	1,03	0,53	0,88
	D ₃	1,11	1,18	1,17	1,15
	D ₄	1,26	1,08	0,88	1,07
B	D ₁	0,72	0,74	0,74	0,73
	D ₂	0,71	0,71	0,73	0,72
	D ₃	0,80	0,85	0,77	0,81
	D ₄	0,88	0,89	0,88	0,88

Çizelge 4.51. Bakır değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	0.246	0.246	10.740*
Hata 1	4	0.092	0.023	
Dozaj Uygulamaları	3	0.210	0.070	4.585*
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	0.058	0.019	1.262ns
Hata	12	0.184	0.015	
Genel	23	0.789	0.034	

*: $p < 0.05$ düzeyinde önemli
ns:önemsiz

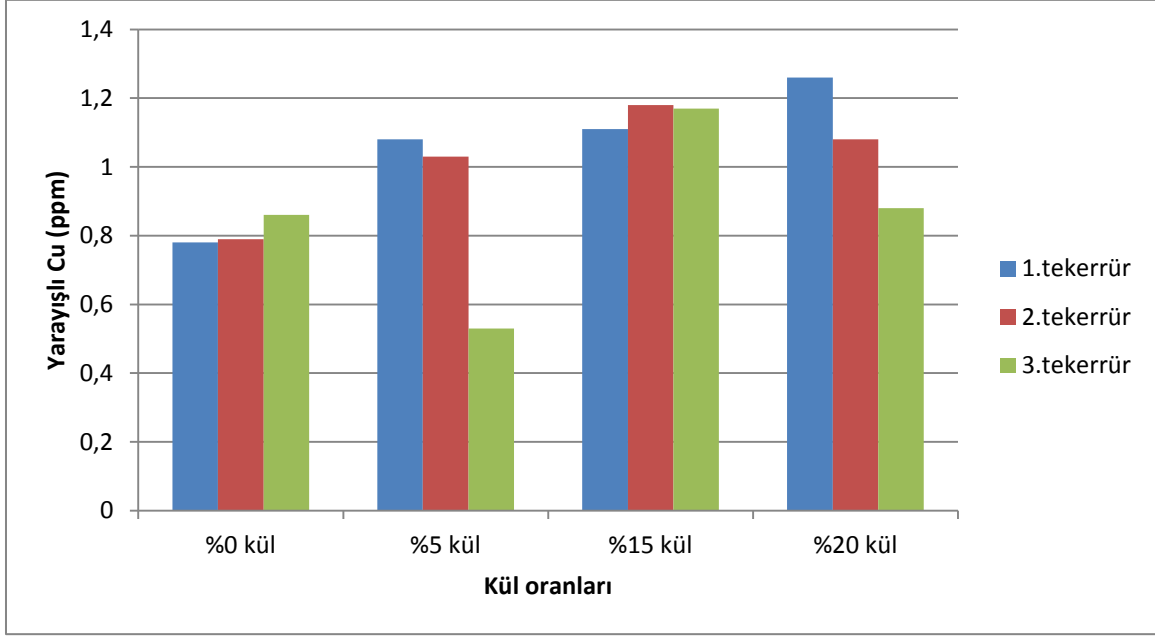
Çizelge 4.52. Yarayırlı bakır değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Yarayırlı bakır içeriği (ppm)	LSD grubu
A	0.979	a
B	0.777	b
LSD _{0.05}		0.172
Dozaj		
D3	0.980	a
D4	0.962	a
D2	0.798	b
D1	0.772	b
LSD _{0.05}		0.156

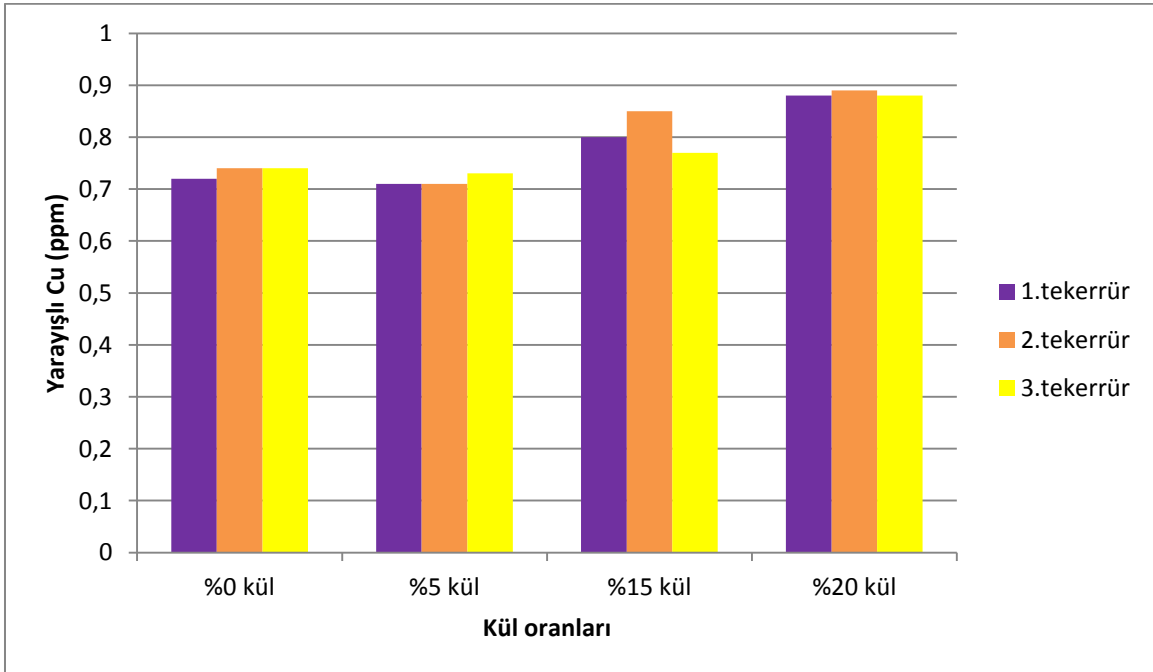
Toprağın yarayırlı bakır değerindeki değişiklik istatistiksel açıdan toprağın tekstür durumu $p < 0.05$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.05$ düzeyinde önemlidir. Tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksiyonu ise önemsiz düzeyindedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %15 ve %20 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Şengül (2002), Cline ve Torrenueva (2000), Tuna ve Girgin (2005), Bamroongruga ve ark.(2004), Sing (2012) termik santralinde yakılan kömürden çıkan külün tarım toprağında kullanımı ile yapılan çalışmaların sonunda külün toprakta bakır elementi konsantrasyonunu arttırdığını rapor etmişlerdir. Şekil 4.27’da kil tekstürlü toprakla ve Şekil 4.28’da kumlu tın

tekstürlü toprakla oluşturulan deneme saksılarındaki toprakların bakır içerikleri değişim grafiği görülmektedir.



Şekil 4.27. Kıl tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı bakır (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.28. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı bakır (ppm) değerleri grafiği

4.3.6 Toprakların yarıyışlı çinko içeriği değerlendirmesi

Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında kullanılan kül miktarıyla orantılı olarak çinko değerlerinde de artış olmuş ve üç tekerrür ortalaması Çizelge 4.54'te görüldüğü gibi 0,11- 0,29- 0,36- 0,40 ppm Zn bulunmuştur. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında üç tekerrür ortalaması 0,65-0,65-0,56-0,64 ppm Zn bulunmuştur. Çizelge 4.53'e göre yapılan değerlendirme sonucunda, killi topraklarda kül uygulanması yarıyışlı çinko değerini çok az değerlendirme sınıfından az sınıfına yükseltmiştir. Kumlu tın tekstürlü deneme topraklarının tamamında bitkilere yarıyışlı çinko (Zn) miktarları az değerlendirme sınıfındadır.

Elde edilen kimyasal analiz sonuçlarına göre yapılan varyans analizi Çizelge 4.55'te ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.56'da verilmiştir.

Çizelge 4.53.Toprakların bitkilere yarıyışlı Zn bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990)

Zn, ppm	Değerlendirme
<0,2	Çok Az
0,2-0,7	Az
0,7-2,4	Yeterli
2,4-8,0	Fazla
>8,0	Çok Fazla

Çizelge 4.54. Deneme konularına yarıyışlı çinko (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	0,12	0,11	0,10	0,11
	D ₂	0,25	0,34	0,28	0,29
	D ₃	0,34	0,33	0,43	0,37
	D ₄	0,44	0,42	0,35	0,40
B	D ₁	0,73	0,74	0,49	0,65
	D ₂	0,51	0,76	0,68	0,65
	D ₃	0,68	0,41	0,60	0,56
	D ₄	0,69	0,49	0,74	0,64

Çizelge 4.55. Çinko değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	0.670	0.670	456.821**
Hata 1	4	0.006	0.001	
Dozaj Uygulamaları	3	0.060	0.020	1.556ns
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	0.109	0.036	2.816ns
Hata	12	0.155	0.013	
Genel	23	1.001	0.044	

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

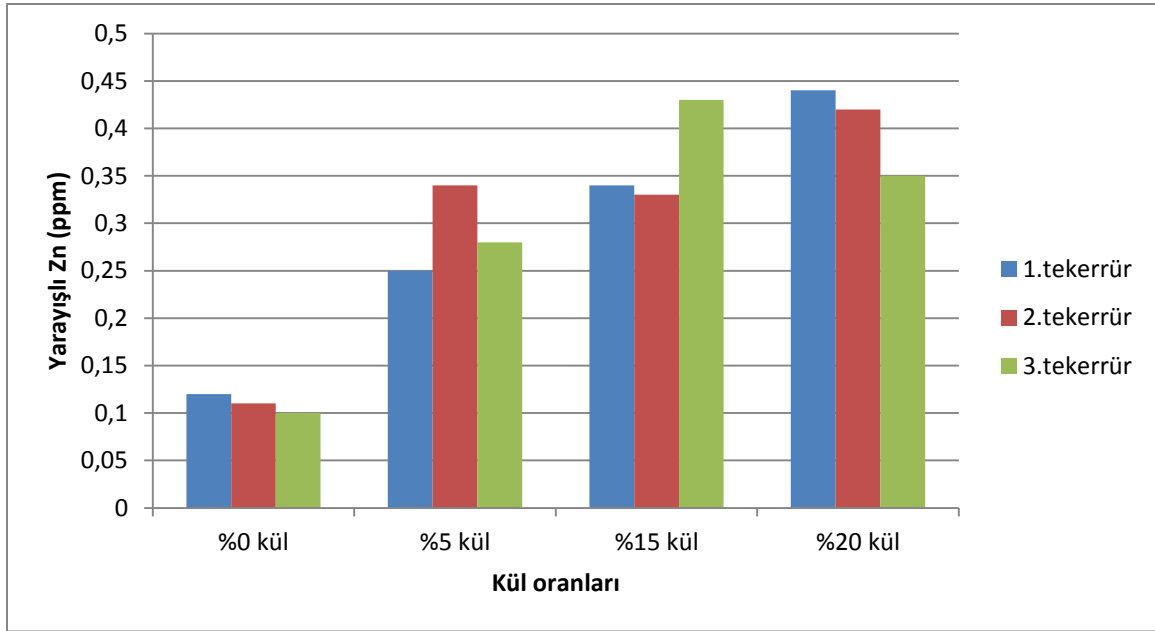
ns:önemsiz

Çizelge 4.56. Çinko içeriğine ilişkin LSD testi sonuçları

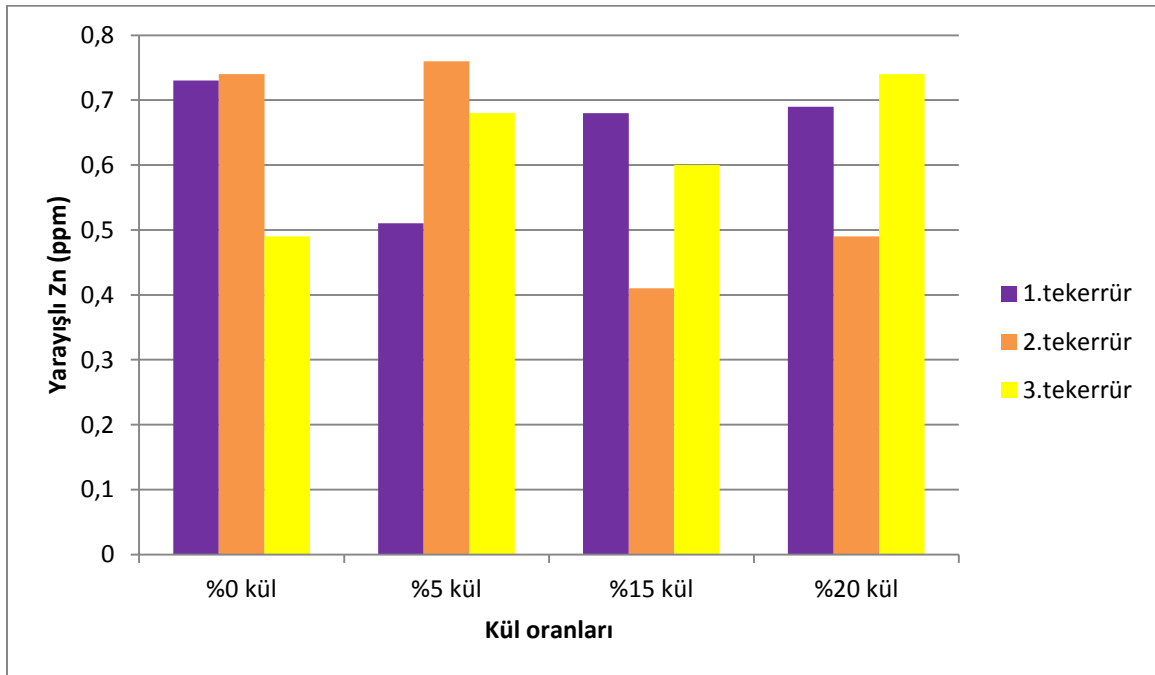
Toprak tekstürü	Yarayışlı çinko içeriği (ppm)	LSD grubu
B	0.63	a
A	0.29	b
LSD _{0.01}		0.072

Toprağın yarayışlı çinko değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu önemsiz düzeyindedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprak üst grupları oluşturmuştur.

Külden gelen çinko elementi kumlu tınlı tekstürlü toprakta artmıştır ancak yarayışlı çinko miktarı fazla artış göstermemiştir. Kumlu tın tekstürlü toprağa verilen kül miktarı artışıyla birlikte toprak pH'ıda artmıştır. Çinko elementinin yarayışlılığını etkileyen en önemli unsurlardan biride yüksek toprak pH'ıdır (Mengel ve Kirkby 2001).Termik santrallerinden çıkan külün tarım toprağında kullanımı ile yapılan çalışmaların sonunda külün toprakta çinko elementi konsantrasyonunu arttırdığı belirtilmiştir (Şengül 2002, Cline ve Torrenueva 2000, Yunusa ve ark.2002, Sing 2012, Bamroongrugsu ve ark. 2004, Tuna ve Girgin 2005).Şekil 4.29'da killi toprakla ve Şekil 4.30'da kumlu toprakla kurulan deneme topraklarının çinko içerikleri grafiği verilmektedir.



Şekil 4.29. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı çinko (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.30. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı çinko (ppm) değerleri grafiği

4.3.7 Toprakların yararışlı mangan içeriği değerlendirmesi

Deneme saksıları topraklarına %0-%5-%15-%20 dozlarında kül uygulaması sonucu kil tekstürlü toprakla oluşturulan saksılarda üç tekerrür ortalaması Şekil 4.31'de grafikte

görüldüğü gibi aynı sıra ile 1,83- 1,34- 1,56- 1,77 ppm Mn bulunmuştur. Kumlu tınlı tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarında Şekil 4.32’de görüldüğü gibi 1,17- 1,04- 1,10- 1,46 ppm Mn bulunmuştur. Çizelge 4.57’ye göre yapılan değerlendirme sonucunda, deneme topraklarının tamamında bitkilere yararışlı Mn miktarlarının çok az olduğu, kül kullanımıyla değerlendirmede sınıf farkı oluşturacak kadar artış olmadığı anlaşılmaktadır.

Elde edilen Çizelge 4.58’de ki topraklardaki yararışlı Mn miktarlarına göre yapılan varyans analiz sonuçları Çizelge 4.59’da ve LSD testi sonucu Çizelge 4.60’da verilmektedir.

Çizelge 4.57. Toprakların bitkilere yararışlı Mn bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990)

Mn, ppm	Değerlendirme
<4	Çok Az
4-14	Az
14-50	Yeterli
50-170	Fazla
>170	Çok Fazla

Çizelge 4.58. Deneme konularına yararışlı mangan (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	1,19	1,22	1,73	1,38
	D ₂	1,08	1,67	1,28	1,34
	D ₃	1,59	1,63	1,48	1,57
	D ₄	1,76	1,66	1,89	1,77
B	D ₁	1,12	1,10	1,31	1,18
	D ₂	0,95	1,17	1,01	1,04
	D ₃	1,12	0,88	1,31	1,10
	D ₄	1,38	1,65	1,36	1,46

Çizelge 4.59. Mangan değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	0.600	0.608	24.390**
Hata 1	4	0.100	0.025	
Dozaj Uygulamaları	3	0.605	0.202	4.830**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	0.052	0.017	0.416ns
Hata	12	0.501	0.042	
Genel	23	1.866	0.081	

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

ns: Önemsiz

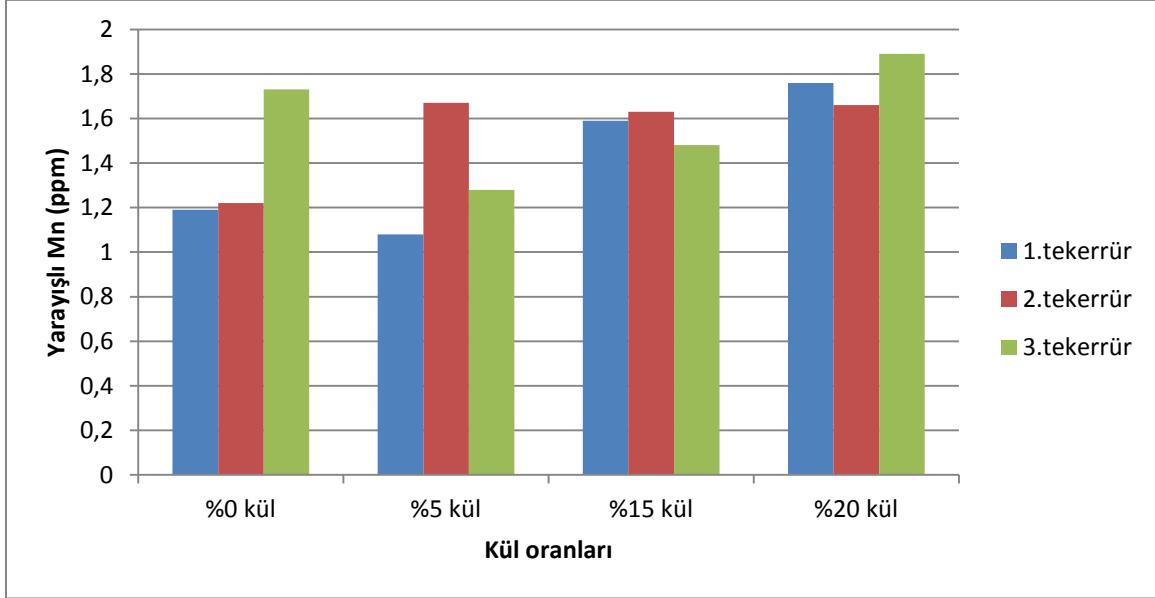
Çizelge 4.60. Mangan değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	Yarayışlı Mn İçeriği (ppm)	LSD grubu
A	1.515	a
B	1.197	b
LSD _{0.01}		0.297
Dozaj		
D4	1.617	a
D3	1.385	ab
D1	1.278	ab
D2	1.193	b
LSD _{0.01}		0.360

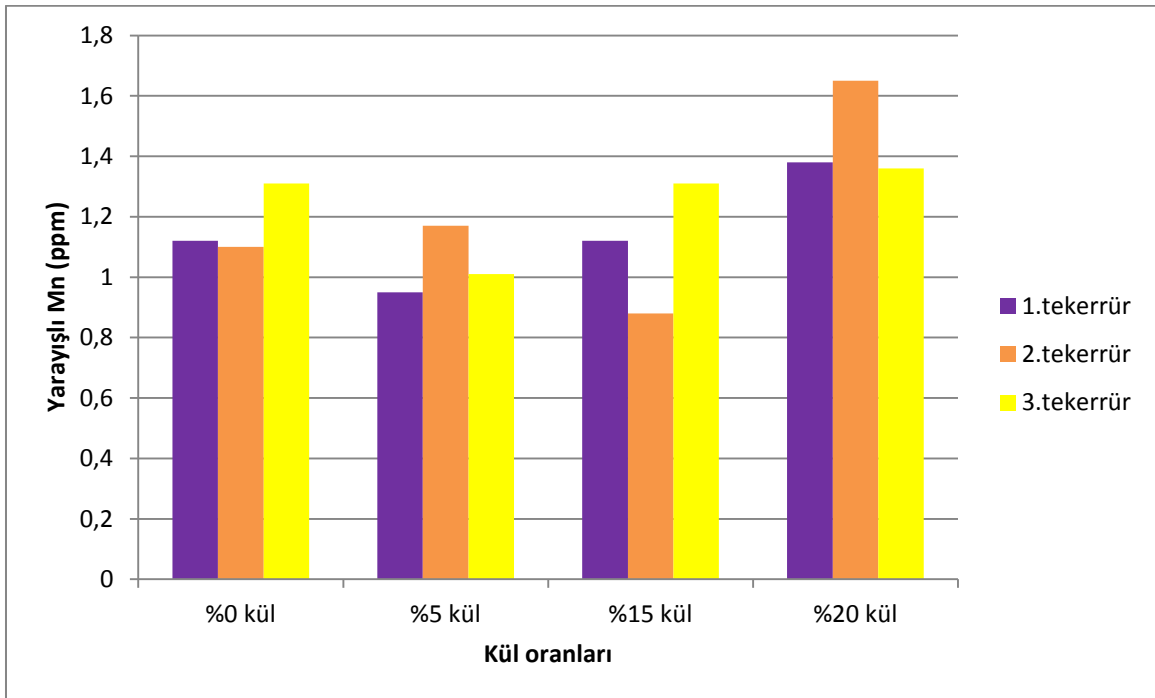
Toprağın yarayışlı mangan değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p < 0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ düzeyinde önemlidir ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise önemsiz düzeyindedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %20 üst grupları oluşturmuştur.

Şengül (2002), Cline ve Torrenueva (2000) termik santralinde yakılan kömürden çıkan külün tarım toprağında kullanımı ile yapılan çalışmaların sonunda külün toprakta çoğu makro mikro besin elementi konsantrasyonunu arttırdığını rapor etmişlerdir. Toprağın fiziksel özelliklerinin düzenlenmesinde ve buğday bitkisinin elementel kompozisyonu üzerine uçucu

küllerin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada %1,5-7,5 oranlarında toprağa ilave edilen uçucu kül toprakta Mn içeriğinin arttığı rapor edilmiştir (Kumar ve Singh 2003).



Şekil 4.31. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı mangan (ppm) değerleri grafiği



Şekil 4.32. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yararışlı mangan (ppm) değerleri grafiği

4.3.8 Toprakların yarayışlı fosfor içeriğinin değerlendirmesi

Çizelge 4.62’de ki bitkiye yarayışlı fosfor (P) değerlerine baktığımızda kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarından %0 kül kullanılan saksılarda üç tekerrür ortalaması az fosfor sınıfında (7,02ppm P), %5 kül kullanılan saksılarda az fosfor sınıfında (6,97 ppm P), %15 kül kullanılan saksılarda yeterli fosfor sınıfında (8,71ppm P), %20 kül kullanılan saksılarda yeterli fosfor sınıfında (8,94 ppm P) bulunmuştur. Kumlu tın toprakla kurulan deneme saksıları toprakların da %0- %5- %15- %20 kül kullanılan saksılarda aynı sıralama ile üç tekerrür ortalaması 79,22-65,62- 64,31- 61,40 ppm P bulunmuştur. Yarayışlı fosfor içeriği bakımından farklı dozlarda kül uygulamalarının hepsi fazla fosfor değerlendirme sınıfındadır (Toprakların yararlı fosfor içerikleri Çizelge 4.61’a göre değerlendirilmiştir.).

Elde edilen değerlere göre yapılan varyans analizi sonucu Çizelge 4.63’te ve LSD testi sonucu Çizelge 4.64’te verilmektedir.

Çizelge 4.61. Toprakların bitkilere yarayışlı P bakımından sınıflandırılması (Anonymous 1990)

P(ppm)	Değerlendirme
<2,5	Çok Az
2,5-8,0	Az
8,0-25	Yeterli
25-80	Fazla
>80	Çok Fazla

Çizelge 4.62. Deneme konularına yarayışlı fosfor (ppm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	7,52	6,74	6,80	7,02
	D ₂	6,78	6,98	7,14	6,97
	D ₃	8,42	9,14	8,58	8,71
	D ₄	8,62	8,96	9,24	8,94
B	D ₁	78,94	82,12	76,60	79,22
	D ₂	68,58	64,26	64,02	65,62
	D ₃	67,32	66,00	59,62	64,31
	D ₄	61,00	62,02	61,18	61,40

Çizelge 4.63. Fosfor değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	21404.843	21404.843	2711.613**
Hata 1	4	31.575	7.894	
Dozaj Uygulamaları	3	234.853	78.284	29.017**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	339.855	113.285	41.990**
Hata	12	32.375	2.698	
Genel	23	22043.500	958.413	

** : p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.64. Yarayırlı fosfor değerine ilişkin LSD testi sonuçları

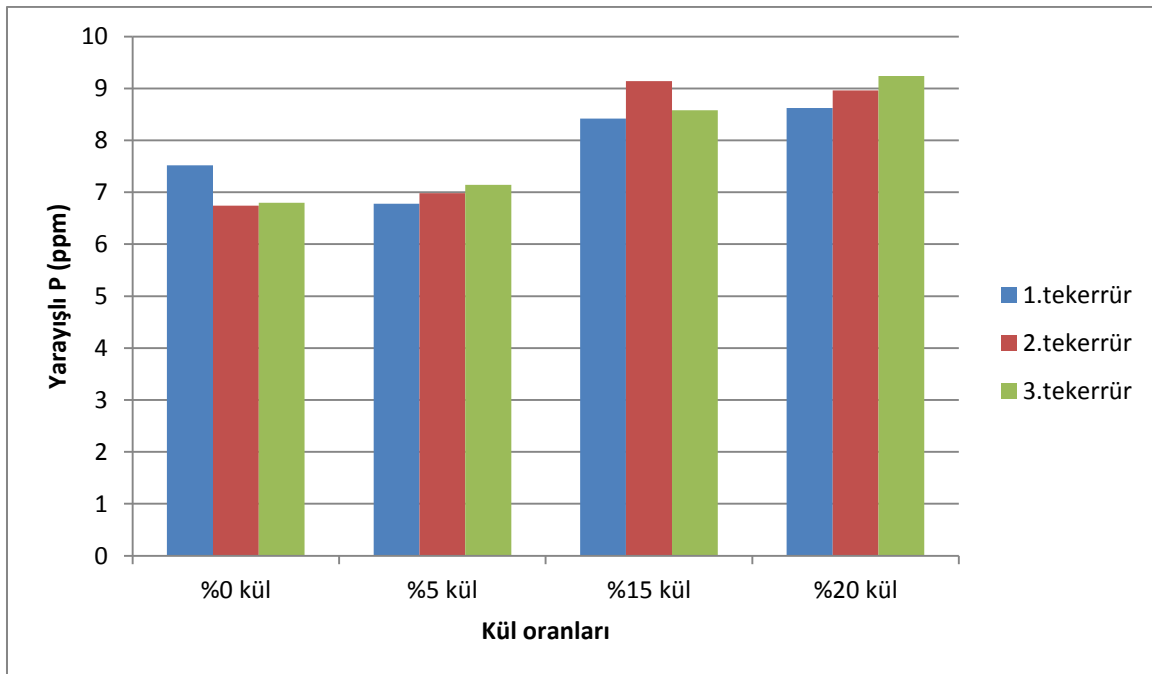
Toprak tekstürü	Yarayırlı fosfor içeriği (ppm)	LSD grubu
B	67.638	a
A	7.910	b
LSD _{0.01}		5.281
Dozaj		
D1	43.120	a
D3	36.513	b
D2	36.293	b
D4	35.170	b
LSD _{0.01}		2.897
Toprak tekstürü * Dozaj		
B- D1	79.22	a
B- D2	65.62	b
B- D3	64.31	bc
B- D4	61.40	c
A-D4	8.94	d
A- D3	8.71	d
A-D1	7.02	d
A- D2	6.97	d
LSD _{0.01}		4.110

Toprağın yarayışlı fosfor değerinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kumlu tın tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %0 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kumlu tın tekstürlü toprakta %0 dozları üst grupları oluşturmuştur.

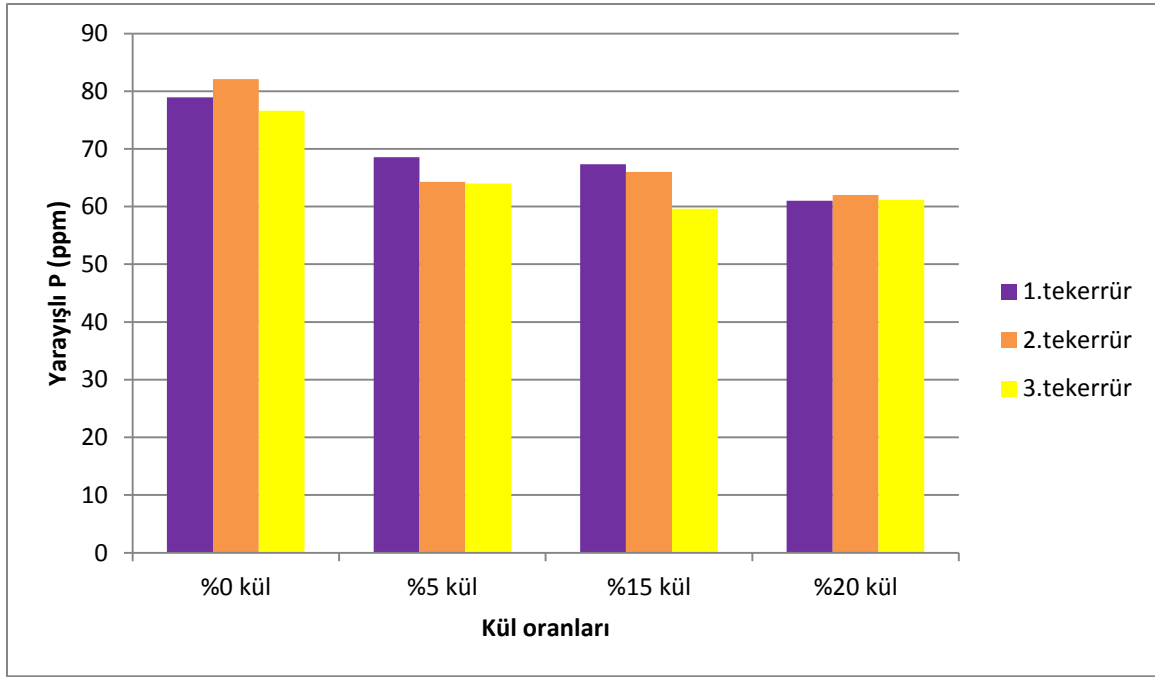
Külden gelen Ca, Mg, Fe gibi elementlerle fosfor iyonlarıyla birleşerek çökelti oluşturmak suretiyle yarayışlı fosfor miktarı azalmaktadır. Küldeki P derişimi toprağa oranla daha yüksekken yüksek baziklikteki küllerde P'un küldeki Ca, Fe ve Al ile etkileşimlerinden dolayı bitkinin kullanabileceği durumda bulunmadığı ve bu elementin eksikliği fosforlu gübrelerle kolayca giderilebileceği belirtilmektedir (Church 1995).

Cline ve Torrenueva (2000) Güney Ontario'da tarım topraklarında termik santrallerinden çıkan uçan külün kullanımını inceledikleri çalışmalarında fosforun yararlanılabilirliğinin azaldığını rapor etmişler.

Şekil 4.33'te kil tekstürlü toprakla Şekil 4.34'da kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı fosfor içeriklerinin grafikleri verilmektedir.



Şekil 4.33. Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarayışlı fosfor (ppm) değerleri grafiği



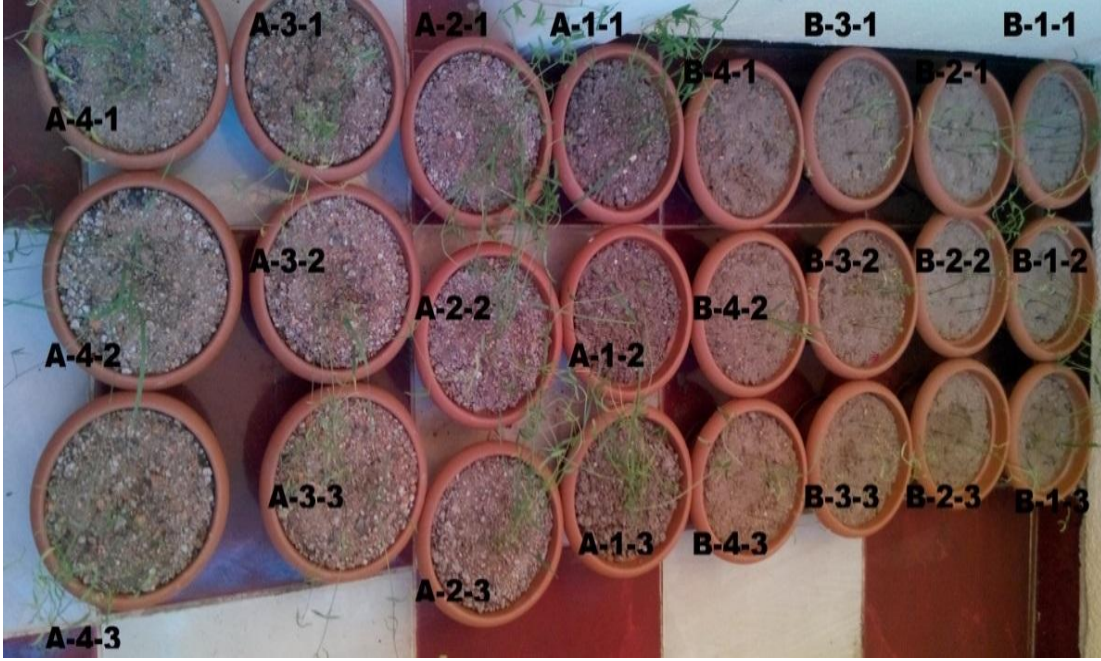
Şekil 4.34. Kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan deneme saksıları topraklarının yarıyışlı fosfor (ppm) değerleri grafiği

4.4 Denemede Yetiştirilen Bitkinin Gelişim Aşamalarında Morfolojik Gözlemler

Denemenin kuruluşunun 8. günü, 15. günü ve hasat öncesi saksılar gözlemlendiğinde fiğ bitkisinin çimlenmesi ve gelişmesine yönelik fotoğraflar Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37’te verilmiştir.



Şekil 4.35. Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin 8. gün fotoğrafı



Şekil 4.36. Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin 15. gün fotoğrafı



Şekil 4.37. Kumlu tın ve kil tekstürlü toprakta dört farklı dozda kül uygulaması ve üç tekerrürlü saksı denemesinin hasat öncesi fotoğrafı

Kil tekstürlü toprakla kurulan saksılarda fiğ bitkisinin gelişimi kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan saksılara göre daha iyidir. Fiğ bitkisinin toprak istekleri olarak killi topraklar daha iyi verim vermektedir.

Kil tekstürlü toprakla kurulan deneme saksılarında çimlenme ve gelişim %5 kül kullanılan saksılarda diğer %0, %15 ve %20 kül kullanılan saksılara göre daha iyi sonuç vermiştir. %5 kül uygulanan topraklarının kül uygulanmayan topraklara göre toprak pH'ı yükselmiş, organik madde miktarı, azot değeri artış göstermiştir. Yine yarayışlı çinko, mangan, fosfor, bakır, demir, potasyum, kalsiyum gibi besin elementleri artış göstermiştir. %15 ve %20 kül uygulanan topraklarda elektriki iletkenlik değeri yükselerek hafif tuzluluk sorunu oluşturmuş ve diğer yarayışlı bitki besin elementleri değerleri yükselmiş özellikle kalsiyum fazla artmıştır. Yine kumlu tın tekstürlü toprakla kurulan saksılarda kül kullanılmayan topraklar hafif asitken %5 kül kullanılan topraklar nötr toprak pH'ına yükselmiştir. Yarayışlı magnezyum çok az sınıfında iken az sınıfına yükselmiştir.

Denemede yetiştirilen fiğ bitkisi hasat edildikten sonra Şekil 4.38 ve Şekil 4.39'da görüldüğü gibi kil tekstürlü topraklı saksılardaki bitkilerin 8. gün bitki çıkış sayıları Çizelge 4.65'te, 15. gün bitki çıkış sayıları Çizelge 4.68'de, 8. gün bitki boyları Çizelge 4.71'de, 15. gün bitki boyları değerleri Çizelge 4.74'te ve 58. gün bitkilerin ortalama boyları Çizelge 4.77'de belirtilmektedir. %5 oranında kül karıştırılan kil tekstürlü ve kumlu tın tekstürlü topraklı saksılarda (A-D2-1, A-D2-2, A-D2-3, B-D2-1, B-D2-2, B-D2-3) bitkinin çıkışı, boyu ve gelişiminin en iyi değerlerde olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.38. Killi toprakta 4 farklı dozda kül uygulaması ve 3 tekerrürlü saksı denemesinde yetiştirilen fiğ bitkisinin hasat edildikten sonraki fotoğrafı



Şekil 4.39. Kumlu toprakta 4 farklı dozda kül uygulaması ve 3 tekerrürlü saksı denemesinde yetiştirilen fiğ bitkisinin hasat edildikten sonraki fotoğrafı

Denemenin 8. gününde saksılardaki bitkilerin çıkış sayılarına göre yapılan varyans analizi Çizelge 4.66'da ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.67'de verilmektedir.

Çizelge 4.65. Deneme konularına 8. gün bitki çıkış (adet) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	3	2	5	3,33
	D ₂	6	6	6	6,00
	D ₃	4	3	2	3,00
	D ₄	1	1	0	0,66
B	D ₁	3	0	0	1,00
	D ₂	2	0	0	0,66
	D ₃	0	0	0	0,00
	D ₄	0	0	0	0,00

Çizelge 4.66 Sekizinci gün bitki çıkış değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	47.912	47.912	41.362**
Hata 1	4	4.633	1.158	
Dozaj Uygulamaları	3	28.267	9.422	10.018**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	16.832	5.611	5.965**
Hata	12	11.287	0.941	
Genel	23	108.931	4.736	

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Çizelge 4.67 Sekizinci gün bitki çıkış değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	8.gün bitki çıkış sayısı	LSD grubu
A	3.251	a
B	0.425	b
LSD _{0,01}		2.023
Dozaj		
D2	3.337	a
D1	2.170	ab
D3	1.505	bc
D4	0.340	c
LSD _{0,01}		1.711
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D2	6.00	a
A- D1	3.33	b
A-D3	3.00	b
B- D1	1.00	bc
A- D4	0.66	c
B- D2	0.66	c
B- D3	0.00	c
B- D4	0.00	c
LSD _{0,01}		2.420

Bitki gelişimlerinin gözlemlendiği fotoğraflardaki durum istatistiki açıdan değerlendirildiğinde de; toprağın 8.gün bitki çıkışı toprağın tekstür durumu, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %5 dozu, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %5 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Denemenin 15. gününde saksılardaki bitkilerin çıkış sayılarına göre yapılan varyans analizi Çizelge 4.69'da ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.70'de verilmektedir.

Çizelge 4.68. Deneme konularına 15. gün bitki çıkış (adet) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	5	6	6	5,66
	D ₂	6	6	6	6,00
	D ₃	6	6	5	5,66
	D ₄	4	4	5	4,33
B	D ₁	5	4	5	4,66
	D ₂	5	5	4	4,66
	D ₃	3	4	1	2,66
	D ₄	2	3	1	2,00

Çizelge 4.69 On beşinci gün bitki çıkış değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	22.042	22.042	24.045**
Hata 1	4	3.667	0.917	
Dozaj Uygulamaları	3	18.125	6.042	11.447**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	3.792	1.264	2.395 ns
Hata	12	6.333	0.528	
Genel	23	53.958	2.346	

** : $p<0.01$ düzeyinde önemli

ns: önemsiz

Çizelge 4.70 On beşinci gün bitki çıkış değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak içeriği	15.gün bitki çıkış sayıları	LSD grubu
A	5.417	a
B	3.500	b
LSD _{0.01}		1.800
Dozaj		
D2	5.333	a
D1	5.167	a
D3	4.167	ab
D4	3.167	b
LSD _{0.01}		8.804

15. gün bitki çıkışında tekstür durumu $p < 0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.01$ düzeyinde önemlidir. Tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise önemsiz düzeydedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %5 ve %0 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Denemenin 8. gününde saksılardaki bitkilerin boylarının değerlerine göre yapılan varyans analizi Çizelge 4.72’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.73’de verilmektedir.

Çizelge 4.71. Deneme konularına 8. gün bitki boyu (cm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	2,33	1,50	2,40	2,07
	D ₂	2,00	1,66	2,50	2,05
	D ₃	1,00	1,00	1,00	1,00
	D ₄	1,00	1,00	0,00	0,66
B	D ₁	3,33	0,00	0,00	1,11
	D ₂	0,66	0,00	0,00	0,22
	D ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
	D ₄	0,00	0,00	0,00	0,00

Çizelge 4.72 Sekizinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	7.382	7.382	10.536*
Hata 1	4	2.802	0.701	
Dozaj Uygulamaları	3	6.075	2.025	3.833*
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	1.130	0.377	0.713ns
Hata	12	6.339	0.528	
Genel	23	23.728	1.032	

*: $p < 0.05$ düzeyinde önemli
ns:önemsiz

Çizelge 4.73 Sekizinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	8.gün bitki boyu (cm)	LSD grubu
A	1.450	a
B	0.341	b
LSD _{0.05}		0.949
Dozaj		
D1	1.597	a
D2	1.140	ab
D3	0.505	ab
D4	0.340	b
LSD _{0.05}		0.914

Toprağın 8.bitki boyu değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu ve uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p < 0.05$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. Tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise önemsiz düzeydedir. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %0, %5, %15 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Denemenin 15. gününde bitkilerin boylarının değerlerine göre yapılan varyanz analiz sonuçları Çizelge 4.75'te ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.76'da verilmektedir.

Çizelge 4.74. Deneme konularına 15. gün bitki boyu (cm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	3,80	3,33	4,00	3,71
	D ₂	5,00	6,00	6,50	5,83
	D ₃	5,33	4,00	3,80	4,37
	D ₄	2,75	2,00	3,20	2,65
B	D ₁	4,80	2,00	2,50	3,10
	D ₂	2,7	2,20	2,37	2,42
	D ₃	1,33	1,75	2,00	1,69
	D ₄	2,00	1,00	2,00	1,66

Çizelge 4.75 On beşinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	22.157	22.157	35.359**
Hata 1	4	2.507	0.627	
Dozaj Uygulamaları	3	12.089	4.030	7.439**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	8.094	2.698	4.981*
Hata	12	6.500	0.542	
Genel	23	51.347	2.232	

*: $p < 0.05$ düzeyinde önemli

** : $p < 0.01$ düzeyinde önemli

Çizelge 4.76 On beşinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	15. gün bitki boyu (cm)	LSD grubu
A	4.143	a
B	2.221	b
LSD _{0.01}		1.488
Dozaj		
D2	4.128	a
D1	3.405	ab
D3	3.035	ab
D4	2.158	b
LSD _{0.01}		1.298
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D2	5.83	a
A- D3	4.37	b
A-D1	3.71	bc
B- D1	3.10	bc
A- D4	2.65	cd
B- D2	2.42	cd
B- D3	1.69	d
B- D4	1.66	d
LSD _{0.05}		1.310

Toprağın 15. gün bitki boyu değerlerindeki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.05$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %5 dozu, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %5 dozları üst grupları oluşturmuştur.

Denemenin 58. gününde elde edilen bitki boyları değerlerinin varyans analizi Çizelge 4.78’de ve LSD testi sonuçları Çizelge 4.79’da verilmektedir.

Çizelge 4.77. Deneme konularına 58. gün bitki boyu (cm) değerleri

Deneme Konuları		Tekerrür			Ort.
		I	II	III	
A	D ₁	45	44	43	44,00
	D ₂	61	62	64	62,33
	D ₃	33	36	37	35,33
	D ₄	31	32	31	31,33
B	D ₁	30	25	22	25,66
	D ₂	46	41	42	43
	D ₃	25	25	20	23,33
	D ₄	25	22	22	23,00

Çizelge 4.78 Elli sekizinci gün bitki boyu değerlerine ilişkin varyans analizi sonuçları

Varyans kaynakları	Serbestlik derecesi	Kareler toplamı	Kareler ortalaması	F
Toprak tekstürü	1	1261.500	1261.500	91.745**
Hata 1	4	55.000	13.750	
Dozaj Uygulamaları	3	2409.667	803.222	317.758**
Toprak tekstürü* dozaj uygulamaları	3	123.500	41.167	16.286**
Hata	12	30.333	2.528	
Genel	23	3880.000	168.696	

** : p<0.01 düzeyinde önemli

Çizelge 4.79 Elli sekizinci gün bitki boyu değerine ilişkin LSD testi sonuçları

Toprak tekstürü	58. gün bitki boyu (cm)	LSD grubu
A	43.250	a
B	28.750	b
LSD _{0.01}		6.970
Dozaj		
D2	52.667	a
D1	34.833	b
D3	29.333	c
D4	27.167	c
LSD _{0.01}		2.804
Toprak tekstürü * Dozaj		
A-D2	62.33	a
A- D1	44.00	b
B- D2	43.00	b
A-D3	35.33	c
A- D4	31.33	d
B- D1	25.66	e
B- D3	23.33	e
B- D4	23.00	e
LSD _{0.01}		3.970

Toprağın 58. gün bitki boyu değerlerinde ki değişikliğe toprağın tekstür durumu $p<0.01$ düzeyinde, uygulanan külün dozları arasındaki farklılık $p<0.01$ ve tekstür sınıfıyla uygulanan külün dozları arasındaki interaksyonu ise $p<0.01$ düzeyinde istatistiksel açıdan önemli çıkmıştır. LSD testi sonuçlarına göre; toprak özellikleri açısından kil tekstürlü toprak, uygulama dozları açısından %5 dozları, toprak tekstürü ve uygulama dozları interaksyonu açısından kil tekstürlü toprakta %5 dozları üst grupları oluşturmuştur.

İstatistiksel analiz sonuçları da deneme topraklarında kil tekstürlü topraklarda bitki çıkışı ve boyunun daha iyi olduğunu yine %5 kül uygulanan topraklarda bitki çıkış ve gelişiminin daha iyi olduğunu göstermektedir.

Kalra ve ark. (2003)'ın Hindistan'da uçucu küllerin toprak ve bitki üzerine etkilerini araştırdıkları bir çalışmada 10-50 ton/ha arasında değişen dozlarda uçucu külü toprağa

kariştirmişlar ve uçucu külün buğday, hardal, mercimek, pirinę ve mısır bitkisinin verim ve gelişmeleriyle toprağın bazı önemli fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine olumlu etkiler yaptığını saptamışlardır.

Kumar ve ark.(2005) termik santralinden ęıkan uçucu külü farklı topraklarda farklı bitkiler üzerinde bir hektara 10 ton ile 200 ton aralığında değişen miktarlarda kullanmışlar ve tarımda kl kullanımının ekonomik olarak faydalar sağladığını ęizelge 2.4’de grldği gibi bitkilerde %6-42 arasında verim artışı olduğunu belirtmişlerdir.

5.SONUÇ VE ÖNERİLER

Enerji üretiminde, ısınmada ve sanayide kullanılan kömürün yanması sonucu ortaya çıkan kül atık madde olarak işlem görürken toprak düzenleyicisi ve bitki besin elementi takviyesi için tarımda kullanımının mümkün olduğunu yaptığımız çalışmada ortaya konulmuştur.

Denemenin uygulandığı iki topraktan biri olan kil tekstürlü toprağa farklı oranlarda kül karıştırılması sonucunda toprakların bitkiye yarayışlı besin elementlerinden olan potasyum ve azot değerleri az sınıfından yeterli sınıfa yükselmiştir. Organik madde, bitkiye yarayışlı bakır, mangan, demir, kalsiyum, magnezyum istatistiki olarak önemli olacak şekilde artış göstermişlerdir. Bitkiye yarayışlı çinko miktarı çok az sınıfından az sınıfa yükselmiştir. Bitkiye yarayışlı fosfor değeri %5 kül dozunda az değerlendirme sınıfının içerisinde kalmıştır, %15 ve %20 dozlarında kül uygulamaları artış göstererek yeterli fosfor sınıfa çıkmıştır. Kül uygulamaları toprağın pH'ını yükseltmiştir ancak bitki yetiştiriciliğinde sorun oluşturacak değere çıkartmamıştır. Elektriki iletkenlik değerlerinde artış olup, tuzsuz sınıfından hafif tuzlu sınıfa yükselmiştir ancak sorun oluşturacak boyutta değildir. Tarla bitkilerinden hayvan pancarı, şeker pancarı, buğday, arpa, italyan cimi, yonca, çavdar, sebzelerden lahanaya, pırasa, karnabahar, domates, kereviz, ıspanak, soğan (Güneş ve ark. 2010) çiçeklerden gül, karanfil, krizantem ve ağaçlardan dişbudak, kavak, karaçam, söğüt, meşe, alıç, ihlamur, çınar, ceviz (Ekmekçi ve ark. 2005) tuza toleranslı bitkiler olup bu bitkilerin yetiştirilmesinde kül sorunsuzca kullanılabilir. Kül içerisinde bulunan ağır metallerin değerleri mevcut yönetmeliklerimize göre topraklara karıştırılması yönünden uygundur. Mevcut yönetmeliklerimize göre deneme topraklarının hepsinde kadmiyum, cıva, çinko, kurşun, kalay, krom ve nikel ağır metalleri izin verilir değerlerde olup kirlilik oluşturmamaktadır. İstatistik analizleri sonuçlarına göre kil tekstürlü topraklarda kül uygulamasıyla yarayışlı bitki besin elementlerinden Ca, Mg, Cu, Mn miktarları önemli artış göstermiş, toprakların pH'ı yükselmiştir. Bitki gelişim ve boyu açısından %5 dozunun önemli olduğu tespit edilmiştir.

Kumlu tın tekstürlü toprağa farklı oranlarda kül karıştırılması sonucunda toprakların bitkiye yarayışlı besin elementlerinden magnezyum çok az değerden %5 kül uygulaması ile az sınıfa, %15-%20 kül kullanılması ile yeterli magnezyum sınıfa yükselmiştir. Organik madde, azot, bitkiye yarayışlı bakır, mangan, çinko, demir buldukları değerlendirme sınıflarının içinde kalacak şekilde artış göstermiştir. Yarayışlı kalsiyum miktarları yeterli sınıfta iken %5 kül kullanımıyla artış göstermiş ancak mevcut bulunduğu yeterli Ca

sınıfında kalmıştır. %15 ve %20 kül kullanımıyla Ca değeri fazla değerlendirme sınıfına yükselmiştir. Toprağın pH'ını asidik koşullardan nötr, hafif alkalin koşullara yükseltmiştir. Elektriki iletkenlik değerlerinde %5 ve %15 kül uygulaması ile toprağın tuzluluk sınıfı tuzsuz sınıfında, %20 kül uygulanan topraklarda tuzluluk değeri hafif tuzlu sınıfında sınıflandırılmıştır. Ağır metallere kadmiyum, cıva, çinko, kurşun, bakır, kalay, krom, nikel mevcut yönetmeliklere göre sınır değerleri geçmemiş olup, kirlilik oluşturmamaktadır. İstatiksel analiz sonuçlarına göre kumlu tın tekstürlü topraklarda bitkiye yararlı bitki besin elementlerinden potasyum, çinko, fosfor, azot miktarlarında önemli artış görülmüştür. Organik madde miktarında dozlar arasındaki farklar istatistiksel açıdan önemsiz olsa da artış belirlenmiştir. Toprağın pH'ında önemli artış tespit edilmiştir. Ağır metallere nikel %20 kül dozunda, krom %15-%20 dozlarında topraklarda önemli artış göstermiştir ancak toprak kirliliği yönetmeliklerine göre sorun oluşturmamıştır.

Yaptığımız deneme sonuçlarına göre kömür külünün toprağa karıştırılmasında yönetmeliklerde belirtilen toprak kirliliği parametrelerinin hiçbirinde sorun oluşturmamaktadır. Bunun yanında bazı bitki besin elementlerince toprağı zenginleştirmesi, düşük pH'lı toprağın pH'ını yükseltirken yüksek pH'lı topraklarda sıkıntı oluşturmaması, bitki gelişiminin daha iyi olması ve kömür külünün tarla koşullarında araziye uygulanması durumu göz önüne alınarak tarım topraklarına %5 dozun uygulanmasının daha olumlu etkiler yaratacağı ortaya konmuştur. Diğer bir ifade ile kil tekstürlü topraklara 10000 kg/da, kumlu tın tekstürlü topraklara ise 15000 kg/da'ı geçmeyen külün uygulanması önerilmektedir.

Atık madde olarak işlem gören kömür külü tarımda kullanılmasıyla çevre kirliliğinin önlenmesi, doğal kaynaklarımızdan tasarruf edilmesi beklenmektedir. Belediyelerin sadece apartman kaloriferlerinden çıkan kömür külünü bertaraf etmek için yapmış olduğu harcamalar dikkate alındığında doğal olarak kömür külünün tarımda kullanımıyla birlikte gereksiz harcamalar ve emek kaybı da ortadan kalkacaktır.

6. KAYNAKLAR

- Adriano D C ve Weber J T (2001).Toprağın Fiziksel Özellikleri ve Çim Kurulmasına Uçucu Külün Etkileri. Çevresel Kalite Dergisi J. Environ yayınlanmıştır. Qual.30: 596-601.
- Alparslan M, Güneş A ve İnal A (1988). Deneme Tekniği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Yayın No:1501, Ankara.
- Anonymous (1951). Soil Survey Manuel .Soil Survey Staff. U.S. Dept. Agr. Handbook 18 U.S. Govt. Printing Office. Washington D.C. USA
- Anonim (1971). Maden Kömüründe Kül Tayini. Türk Standartları Enstitüsü. Ankara.
- Anonymous (1990). Micronutrient, Assesmentandthe Country Level: An International Study. FAO Soils Bulletin 63, Rome, Italy.
- Anonim (2001). Türkiye Madencilik Sektör Raporu. Devlet İstatistik Enstütüsü Verileri. Ankara.
- Anonim (2006). 15. Kömür Kongresi Bildirgesi -2006 MTA. Ankara.
- Anonim (2008a). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ankara Kömür Sektör Raporu (Linyit). www.tki.gov.tr/tr/Komur-Sektor-Raporu-2008(erişim tarihi,12.12.2013)
- Anonim (2008b). T.C. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü Toprak Gübre ve Su Kaynakları Merkez Araştırma Enstütüsü Müdürlüğü, Türkiye Turba ve Linyitlerinden Humik Bileşikler, Organomineral Gübreler Üretilebilirliği ve Bitki Büyümesindeki Etkisi, TAGEM-BB-TOPRAKSU-2008/54 :2
- Anonim (2009). Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Ankara Kömür Sektör Raporu (Linyit). www.tki.gov.tr/tr/Komur-Sektor-Raporu-2009 (erişim tarihi,12.12.2013)
- Anonim (2010).08.06.2010 Tarih ve 27605 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik'te belirtilen ağır metal sınır değerleri.
- Anonim (2014). 29 Mart 2014 Tarih ve 28956 Sayılı Resmi Gazetede yayımlanan Tarımda Kullanılan Organik, Organomineral Gübreler ve Toprak Düzenleyiciler İle Mikrobiyal, Enzim İçerikli ve Organik Kaynaklı Diğer Ürünlerin Üretimi, İthalatı ve Piyasaya Arzına Dair Yönetmelik.
- Bahtiyar M, Sağlam T, Cangir C, Tok H (1993). Toprak Bilimi.Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü. S: 128 Tekirdağ
- Barman S C, Kisku G C, Bhargava S K, (1999). Accumulation Of Heavymetals İn Vegetables, Pulseand Wheatgrown İn Fly Ash Amended Soil. J.Environ Bio, 20(1) 15-18

- Bamroongruga Im-Erb, Kawashima N, Amano K, and Kato T.(2004). Utilisation Of Coal Ash Toimproveacid Soil Songklanakarın J. Sci. Technol., 26(5) : 697-708
- Bayburt S ve Yener G (2001). Kömürlerde Kül Oranının 2-M ve Demir Düzeltme Yöntemi İle Ölçülmesi. DEÜ. Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi,3: 93-98.
- Church D A ve Raad L M (1995). Experimental Study Of Teaching Of Fly Ash Transportation Research Board Series. 1486 P: 3-12
- Cline J ve Torrenueva A (2000). Ph. D University of Guelph, Department of Plant AgricultureSimcoe, Ontario N3Y 4N5. Ph. D Ontario Hydro 700 University Ave. H14 G10 Toronto, Ontario M5G 1X6.
- De Vleeschauer I D, Imler R (1987). Vegetations Establishment On Fly Ash Ponds By Me and Of Hydroseeding. P.352-354
- Das R K, Kunar V, Singh R S (2000). Impact Of Fly AsHpondeffluentOn Selected Leguminous Plants'Eco, Env. Conservn. 6(1) 63-66
- Ekmekçi E, Apan M, Kara T (2005). Tuzluluğun Bitki Gelişimine Etkisi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 20(3):118-125.
- Güler G, Güler E, İpekoğlu Ü, Mordoğan H (2005). Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları. Türkiye 19.Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, 5(419-423) İzmir.
- Güneş A, Alpaslan M, İnal A (2010). Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Yayın No: 1581, Ders Kitabı:533. Ankara.
- Hemmings R T ve Berry E E (1986). On The Glass İn Coal Fly Ashesi Recent Adven Ces İn Fly Ash Coal Conversiyon By-Product Characterization, Ultization And Disposal Edits. G.J. Mc Cartyi F.P. Glasser And Proceeding V. 65,(3-38)
- Jackson M L (1958). Soil Chemical Analysis. Prentice-Hall, Inc.EnglewoodCliffs, N.J.USA.
- Lindsay W L ve Norvell W A (1978). Development Of A DTPA Soil Test For Zinc, İron, Manganase And Copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42:421- 428.
- Mengel K ve Kirkby E.A.(2001) Principles of Plant Nutrition.5 Edition. Kluwer Academic Publishers. ISBN: 1-4020-0008-1, Dordrecht, The Netherlands.
- Kacar B (1994). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri. III. Toprak Analizleri. A.Ü. Ziraat Fakültesi Eğitim Araştırma ve Geliştirme Vakfı Yayını. No: 3, Ankara.
- Kalra N, Jain MC, Joshi HC, Chaudhary R, Kumar S, Pathak H, Sharma SK, Kumar V, Kumar R, Harit RC, Khan SA, Hussain MZ. (2003). Soil Properties And Cropproductivity As İnfluenced By Fly Ash İn Corporation İn Soil. Environmental Monitoring And Assessment 87: 93-109.
- Karatekin M (1945). Çok Küllü Linyitleri Buhar Kazanlarında Elverişli Suretle Yakan Kramer Değirmenli Ocakları. Maden Tetkik ve Arama Dergisi. 39: 58

- Kefelioğlu S (1998). Türkiye Uucu Kllerinin zellikleri ve Kullanılma İmkanları Teknoloji Dergisi 19-77 Ankara.
- Kumar V, Singh G, Rai R (2005). Fly Ash Utilization Programme (FAUP), TIFAC, DST. India New Delhi 110016
- Kumar D ve Singh B (2003). The Use Of Coal Fly Ash In Sodic Soil Reclamation. Land Degradation Development 14, 3, 285-299.
- Pichtel J R ve Hayes J M (1990). Influence Of Fly Ash On Soil Microbial Activity And Populations. J.Environ. Qual 19:593-597
- Richards LA (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A Handbook, No:60.
- Sağlam M T (2008). Toprak ve Suyun Kimyasal Analiz Yöntemleri. Namık Kemal Üniversitesi, Yayın No: 2, Tekirdağ.
- Sezen Y (2005). Toprak Verimliliği. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ders notları.
- Scotti I A, Lombi E, Carini F, Silva S (1996). Effects of fly ash treatment of soil on yields and chemical composition of chicory. Agrochimica 40, 5-6, 293-303.
- Sing J S (2012). Coal Fly Ash In Agriculture Beneficial Or Risky. Department Environmental Microbiology Ambedkar University Lucknow 226-225 Uttar Pradesh.
- Şengül  (2002). Ucuu Kl ve evresel Etkileri. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi. 7(1):95-98
- Tuna A L, Girgin A R (2005). Mısırd a (zeamays l.) Gelişme, Mineral Beslenme ve Ağır Metal İçeriği zerine Termik Santral Uçucu Küllerinin Etkisi. (Y.Lisans Tezi) Muğla Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 48-100, Muğla.
- Yıldız N (2004). Toprak ve Bitki Ekosistemindeki Ağır Metaller ZT-531, Yüksek Lisans Ders Notları, Erzurum.
- Yunusa I, Mele P, Rab M, Schefe C, Beverly C (2002). Priming Of Soil Structuraland Hydrological Properties By Native Woody Species, Annual Cropsand A Permanent Pasture. J. Soil Res. 40:207-219 Australia.
- Yurtsever N (1984). Deneysel İstatistik Metotları. Köy Hizmetleri Genel Müd. Yayınları No:56. Ankara

ÖZGEÇMİŞ

25 Şubat 1975 yılında Tekirdağ İli Saray İlçesi'nde doğdu. İlköğretimi Tekirdağ İli Saray İlçesinde, liseyi Kırklareli İli'nde tamamladıktan sonra 1993 yılında Trakya Üniversitesi Tekirdağ Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünde lisans eğitimine başladı. 1997 yılında mezun oldu. 1997 ve 1999 yıllarında Komili Su Sanayi AŞ.'de laboratuvar sorumlusu olarak çalıştı. 1999 ve 2002 tarihleri arasında T.C. Ziraat Bankası Saray Şubesi'nde memur olarak çalıştı. 2002 ve 2003 yılları arasında Saray İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğünde memur olarak, 2003 ve 2013 yılları arasında Saray İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğünde mühendis olarak çalıştı. Ağustos 2013 tarihinden Ekim 2014 tarihine kadar yeni kurulan Kapaklı İlçesi'nde İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nde Kurucu Müdür olarak görev yapmıştır. Ekim 2014 tarihinden itibaren Saray İlçe Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü'nde mühendis olarak çalışmaktadır. 2013 Şubat ayında Namık Kemal Üniversitesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü'nde yüksek lisans eğitimine başlamış bulunmaktadır.