

47901

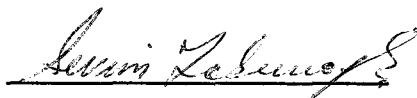
ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

FOSFORLU GÜBRELEMENİN
ARPA VE MARUL
BİTKİLERİNİN KADMIYUM (Cd)
ALIMLARI ÜZERİNE ETKİSİ

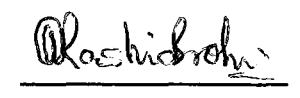
Aioub G. HASHEMI

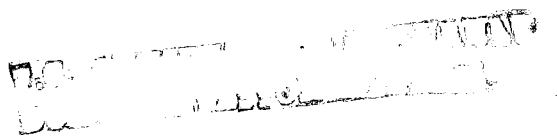
DOKTORA TEZİ
TOPRAK ANABİLİM DALI

Bu Tez 16.02.1996 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından 100 (Yüz)..... Not
Takdir Edilerek Oybirliğiyle Kabul Edilmiştir.


Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU
(Danışman)


Prof. Dr. S. Rifat YALÇIN


Prof. Dr. Raşit BROHI



ÖZET

Doktora Tezi

**FOSFORLU GÜBRELEMENİN
ARPA VE MARUL BİTKİLERİNİN
KADMIYUM (Cd) ALIMLARI ÜZERİNE ETKİSİ****Aioub G. HASHEMİ**Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Anabilim DalıDanışman : Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU
1996, Sayfa : 96Jüri : Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU
Prof.Dr. S. Rifat YALÇIN
Prof.Dr. Raşit BROHİ

Bu araştırmanın amacı, asit ve alkali karakterli iki toprakta yetiştirilen marul (*Lactuca sativa* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerine uygulanan farklı düzeylerdeki fosforlu gübre ile toprağa verilen kadmiyumun bitkiler tarafından alınımını ve topraktaki birikimini belirlemektir. Bu amaçla sera koşullarında yürütülen denemede, toprağa 0, 10, 20, 40, 80 ve 160 ppm düzeylerinde P, Triple Süperfosfat gübresi halinde uygulanmıştır.

Deneme sonuçlarına göre; artan fosfor uygulaması ile arpa ve marul bitkilerinin kuru ağırlıkları, fosfor ve kadmiyum kapsamları ile sömürülen fosfor ve kadmiyum miktarları artmıştır. Hasat sonrası deneme topraklarında kalan bitkiye yarayışlı fosfor miktarlarının ve DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarlarının, toprağa artan miktarlarda uygulanan fosfora bağlı olarak arttığı belirlenmiştir.

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosfor ile arpa ve marul bitkilerinin fosfor ve kadmiyum kapsamları, sömürülen fosfor ve sömürülen kadmiyum miktarları arasında önemli pozitif korelasyon saptanmıştır. Bitkilerde belirlenen P kapsamı ile bitkilerin Cd kapsamı ve sömürülen Cd miktarları arasında pozitif bir korelasyon saptanmıştır. Benzer şekilde, bitkilerin sömürdüğü fosfor miktarı ile bitkilerin kadmiyum kapsamı ve sömürülen kadmiyum miktarları arasında da önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Asit karakterli topraklarda yetiştirilen deneme bitkilerinin kadmiyum kapsamları, alkali toprakta yetiştirilen bitkilerinkine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Diğer taraftan her iki toprakta da yetiştirilen bitkilerin Cd kapsamları karşılaştırıldığında, marul bitkilerinin kadmiyum kapsamları, arpa bitkilerinin kadmiyum kapsamlarına göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

Deneme bitkilerinin hasadından sonra her iki deneme toprağında yapılan analiz sonuçlarına göre, toprağa uygulanan fosfor ile toprakta kalan bitkiye yarayışlı P ve DTPA ile ekstrakte edilebilir Cd miktarları arasında ve toprakta kalan bitkiye yarayışlı fosfor ile toprakta kalan DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum arasında önemli pozitif korelasyon saptanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER :Kadmiyum (Cd), Fosforlu gübreleme, Bitki alımı,
Toprak kirlenmesi, Kadmiyum alımı, Bitki gelişimi.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

**THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS FERTILIZATION
ON CADMIUM (Cd) UPTAKE
OF BARLEY AND LETTUCE PLANTS**

Aioub G. HASHEMI

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Soil Sciences

Supervisor : Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU

1996, Page : 96

Jury : Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU
Prof. Dr. S. Rifat YALÇIN
Prof. Dr. Raşit BROHI

The objective of this study is to evaluate the uptake of Cadmium (Cd), applied with increasing levels of phosphorus fertilizer, by lettuce (*Lactuca sativa* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) grown in acid and alkaline soils and also to determine the accumulation of Cd in these two soils under greenhouse conditions. Phosphorus was applied to the soils of the rates of 0, 10, 20, 40, 80 and 160 ppm levels from Triple Superphosphate.

According to the experimental results; dry weights, P and Cd contents, and P and Cd uptake by lettuce and barley plants were increased by the increasing levels of phosphorus. Available P and DTPA extractable Cd contents of the experimental soils after harvest were found to be increased by the increasing levels of P application.

Positive correlations were found between the P levels applied to the soil and the contents of P and Cd in plants, and also uptake of P and Cd by the plants grown in acid and alkaline soils. P content of the plants was positively correlated with Cd content and Cd uptake. Similarly, P uptake by the plants was positively correlated with Cd content and Cd uptake. There was also a good correlation between Cd content of the plants and Cd uptake.

Cadmium contents of the plants grown in acid soils were found to be higher than that of the plants grown in alkaline soils. Cd contents of lettuce plants were higher than that of barley plants grown in both soils.

According to the results of soil analysis that were carried out after harvesting, there was a positive correlation between P levels applied to the soils and available P amounts in the soil, and also between P levels applied to the soil and DTPA extractable Cd amounts. The available P in the soil was positively correlated with DTPA - extractable Cd amounts.

KEY WORDS : Cadmium (Cd), Phosphorus fertilization, Plant uptake,
Soil pollution, Cadmium uptake, Plant growth.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın yapılması, yürütülmesi ve değerlendirilmesi aşamalarında her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen, çalışmalarımı yönlendiren ve yöneten danışman hocam Sayın Prof. Dr. Sevim ZABUNOĞLU'na, çalışmalarımda bölüm alet ve ekipmanlarından yararlanmamı sağlayan Toprak Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. İlhami ÜNVER'e, bu günlere gelmemde her türlü maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem Nusret FARSIANI ve babam Halil G.HASHEMİ'ye, çalışmam sırasında anlayış ve desteğini gördüğüm sevgili ve kıymetli eşim Fayeze JAVADI'ye, Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresinde kadmiyum okumlarını yapmama olanak sağlayan Sayın Doç. Dr. Ziya KILIÇ'a (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu, Ankara Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezi, Kimya Bölümü), İstatistik değerlendirmelerimde yardımlarını gördüğüm Sayın Dr. Muhip ÖZKAN'a (A. Ü. Z. F.), Grafik çizimlerinde yardımcı olan Sayın Araş.Gör. Nihat AKINCI'ya, sevgili arkadaşlarım Şeniz Selçuk Önertoy'a, Dürdane Eken'e, Yılmaz Gündaş'a ve bana yardımcı olan Toprak Bölümünün tüm değerli öğretim üye ve yardımcıları ile diğer elemanlarına içtenlikle teşekkürlerimi sunarım

Ankara, 1996

Aioub G.HASHEMİ

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
EKLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	6
3. MATERYAL VE METOT	13
3.1. Toprak Örneklerinin Alınması, Deneme ve Analize Hazırlanması	13
3.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali	13
3.3. Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi	13
3.4. Bitkilerin Hasadı ve Analize Hazırlanmaları	16
3.5. Saksılardan Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması	18
3.6. Laboratuvar Çalışmalarında Yapılan Analizler ve Bu Analizlerde Uygulanan Yöntemler	18
3.6.1. Toprak analizleri	18
3.6.1.1. Mekanik analiz (Tekstür)	18
3.6.1.2. Tarla kapasitesi.....	18
3.6.1.3. Toprak reaksiyonu (pH).....	18
3.6.1.4. Kalsiyum karbonat kapsamı (CaCO ₃)	18
3.6.1.5. Toplam azot.....	19
3.6.1.6. Organik madde	19
3.6.1.7. Bitkiye yararlı fosfor kapsamı	19
3.6.1.8. Değişebilir Ca ⁺⁺ , Mg ⁺⁺ kapsamı	19
3.6.1.9. Değişebilir Na ⁺ , K ⁺ kapsamı	19
3.6.1.10. Toprağın katyon değişim kapasitesi K.D.K.).....	19
3.6.1.11. Bitkiye yararlı demir, mangan, bakır ve çinko kapsamı.....	19
3.6.1.12. Toprakta değişebilir kadmiyum belirlemesi	20

3.6.2. Bitki analizleri	20
3.6.2.1. Bitkide kuru madde	20
3.6.2.2. Bitki örneklerinin yakılması	20
3.6.2.3. Bitki örneklerinin fosfor kapsamı	20
3.6.2.4. Bitki örneklerinin kadmiyum kapsamı	20
3.6.3. Gübre analizleri	21
3.6.3.1. Gübrede fosfor belirlemesi	21
3.6.3.2. Gübrede kadmiyum belirlemesi	21
3.7. İstatistik Analizler	21
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	22
4.1. Arpa Bitkisinin Gelişme Durumu	22
4.1.1. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlığına etkisi	24
4.1.2. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tane fosfor kapsamına etkisi	27
4.1.3. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi	31
4.1.4. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tanesinin kadmiyum kapsamına etkisi	34
4.1.5. Fosforlu gübrelemenin arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi	37
4.1.6. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor miktarına etkisi	39
4.1.7. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarına etkisi	42
4.2. Marul Bitkisinin Gelişme Durumu	46
4.2.1. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin kuru ağırlığına etkisi	46
4.2.2. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin fosfor kapsamına etkisi	48
4.2.3. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü fosfora etkisi	51
4.2.4. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin kadmiyum kapsamına etkisi	53

4.2.5. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi	56
4.2.6. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor miktarına etkisi	58
4.2.7. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarına etkisi	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	66
EKLER	73
EK - 1	73
EK - 2	74
EK - 3	75
EK - 4	76
EK - 5	77
EK - 6	78
EK - 7	79
EK - 8	80
EK - 9	81
EK -10	82
EK -11	83
EK -12	84
EK -13	85
EK -14	86
EK -15	87
EK -16	88
EK -17	89
EK -18	90
EK -19	91
EK -20	92
EK -21	93
EK -22	94
EK -23	95
ÖZGEÇMİŞ	96

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 3.1. Arpa bitkilerinin genel görünüşü	14
Şekil 3.2. Marul bitkilerinin genel görünüşü	15
Şekil 4.1. Fosforlu gübrelemenin asit toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine etkisi	22
Şekil 4.2. Fosforlu gübrelemenin alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine etkisi	22
Şekil 4.3. Asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine Po gelişimine etkisi	23
Şekil 4.4. Asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine 160 ppm P dozunun etkisi	23
Şekil 4.5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığına etkisi	26
Şekil 4.6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane kuru ağırlığına etkisi	26
Şekil 4.7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamına etkisi	29
Şekil 4.8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa tanesinin fosfor kapsamına etkisi	29
Şekil 4.9. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü fosfor miktarına etkisi	33
Şekil 4.10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi	33
Şekil 4.11. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum kapsamına etkisi	36
Şekil 4.12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi	38
Şekil 4.13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarıyıllı fosfor miktarına etkisi	41

Şekil 4.14. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına etkisi	43
Şekil 4.15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına etkisi	47
Şekil 4.16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına etkisi	50
Şekil 4.17. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi	52
Şekil 4.18. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamına etkisi	54
Şekil 4.19. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi	57
Şekil 4.20. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayırlı fosfor miktarına etkisi	60
Şekil 4.21. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına etkisi	62

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1.1. Çeşitli bitkilerin kadmiyum kapsamı	4
Çizelge 3.1. Deneme topraklarının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri	16
Çizelge 3.2. Deneme planı	17
Çizelge 4.1. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi	25
Çizelge 4.2. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane fosfor kapsamına (%) etkisi	28
Çizelge 4.3. Farklı fosfor uygulamalarında arpa tanesinin fosfor kapsamı (ppm) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması	30
Çizelge 4.4. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi	32
Çizelge 4.5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum kapsamına (ppm) etkisi	35
Çizelge 4.6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına (µg/saksı) etkisi	38
Çizelge 4.7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışlı fosfor miktarına (ppm) etkisi	40
Çizelge 4.8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi	43
Çizelge 4.9. Farklı fosfor uygulamalarında arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum miktarı (ppb) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması	44
Çizelge 4.10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi	47
Çizelge 4.11. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına (%) etkisi	49

Çizelge 4.12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi .	51
Çizelge 4.13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamına (ppm) etkisi	54
Çizelge 4.14. Farklı fosfor uygulamalarında marul bitkisinin kadmiyum kapsamı (ppm) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması	55
Çizelge 4.15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına (µg/saksı) etkisi	57
Çizelge 4.16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışlı fosfor miktarına (ppm) etkisi	59
Çizelge 4.17. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi	62

EKLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Ek - 1. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi	73
Ek - 2. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi	74
Ek - 3. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığı (g/saksı), tane kuru ağırlığı (g/saksı), sap fosfor kapsamı (%), tane fosfor kapsamı (%), sapın sömürdüğü fosfor (mg/saksı) ve tanenin sömürdüğü fosfor (mg/saksı) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	75
Ek - 4. Araştırmada ele alınan arpa bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler	76
Ek - 5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamına (%) etkisi	77
Ek - 6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane fosfor kapsamına (%) etkisi	78
Ek - 7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi	79
Ek - 8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi.....	80
Ek - 9. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum kapsamına (ppm) etkisi.....	81
Ek-10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin kadmiyum kapsamı (ppm), sömürülen kadmiyum (µg/saksı), hasat sonrası toprakta kalan fosfor (ppm) ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum (ppb) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	82
Ek-11. Araştırmada ele alınan arpa bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler	83
Ek-12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına (µg/saksı) etkisi.....	84

Ek- 13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayırlı fosfor miktarına (ppm) etkisi	85
Ek- 14. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi	86
Ek- 15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi	87
Ek- 16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığı (g/saksı), fosfor kapsamı (%), sömürülen fosfor (mg/saksı), kadmiyum kapsamı (ppm), sömürülen kadmiyum (µg/saksı), hasat sonrası toprakta kalan fosfor (ppm) ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum (ppb) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları	88
Ek- 17. Araştırmada ele alınan marul bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler	89
Ek- 18. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına (%) etkisi	90
Ek- 19. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi	91
Ek- 20. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum (Cd) kapsamına (ppm) etkisi	92
Ek- 21. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına (µg/saksı) etkisi	93
Ek-22. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayırlı fosfor miktarına (ppm) etkisi	94
Ek- 23. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi	95

1. GİRİŞ

Bitkisel üretimdeki artışı sağlayan en önemli tarımsal girdilerden biri gübre olup; iyi tohumluk kullanma, sulama gibi kültürel faktörlerle birlikte uygun ve dengeli bir gübreleme ile % 50 oranında ürün artışı sağlanabilmektedir. Türkiye genelinde gübre kullanımı dünya standartlarının altında olmakla birlikte, seracılıkta ve birden fazla ürün almaya uygun bölgelerde daha fazla ürün elde etmek amacıyla bilinçsiz ve aşırı gübre kullanımı giderek artmaktadır. Bu kullanım içinde fosforlu gübrelerin kaçınılmaz bir payı bulunmaktadır. Bu gibi alanlarda yetiştirilen ürünlerde yoğun olarak kullanılan hormon, tarımsal mücadele ilacı ve çeşitliliğinden dolayı kalıntı madde içerebilmeleri endişesi ile karşılaşılmaktadır. Bu sorunların giderilebilmesi, kullanılan maddelerin niteliklerinin iyi bilinmesine bağlıdır.

Dünya nüfus artışına bağlı olarak insanların üretim ve tüketimindeki taleplerinin karşılanabilmesi için hızla gelişen endüstrileşme, fosil maddelerin yakılması, tarımda kullanılan gübreler ve ilaçlardan dolayı, tabiatta mevcut olan dengenin bozulmasıyla bir takım sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ağır metaller, topraklarda toksik düzeylerde birikerek mikroorganizmaların, bitkilerin, hayvanların ve dolayısıyla insanların olumsuz yönde etkilenmesine neden olmaktadır.

Tarımsal ürünlerde saptanan ağır metaller, günümüzde önemli bir çevre sorunu oluşturmaktadır. Bu kirletici maddelerin en önemlilerinden biri olan kadmiyum en fazla fosforlu gübreler, atmosferik çökelmeler (Jarvis et al 1976) ve artıma çamurlarının tarımda kullanılması (Sherlock 1982) ile topraklarda birikmektedir. Yukarıda belirtilen kaynakların yanında hamfosfatların, Cd içeren suların ve pestisitlerin, metalurjik endüstriyel, şehirselleştirme ve sıvı atıkların tarımda kullanılması sonucu topraklarda birikim göstermekte ve gıda zincirine dahil olmaktadır.

Yaşam içinde gerekli olmayan kadmiyumun, diğer önemli makro ve mikro besin elementleri gibi biyolojik döngü sonucu açığa çıkan miktarı, jeolojik döngü sonucu açığa çıkan miktarından fazladır (Jarvis et al 1976). Ancak diğer elementler yaşam içinde gerekli olmasına rağmen kadmiyum biyolojik sistemlerde gereksinimi olmayan zararlı bir elementtir. Bu durum kadmiyumun çevre kirletici olarak önemini artıran en önemli faktörlerden biri olmuştur.

Kadmiyum, doğal çevrede nadir olarak saf halde bulunan bir elementtir. İlk kez 1817 yılında çinko karbonat (simitsonit) örnekleri içinde bulunmuştur. Jeokimyasal olarak kadmiyum, çinko ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Kadmiyum genellikle Zn, Pb-Zn ve Pb-Cu-Zn ile bir arada bulunur. Bu maddelerde kadmiyum konsantrasyonu genellikle çinko içeriği ile ilişkili olup, Zn konsantrasyonu yükseldikçe Cd konsantrasyonu da artar. Kadmiyum, çinko madeni olan çinko sülfür içinde yaklaşık olarak % 0.1 - 5

arasında bulunmaktadır (Chizhikov 1966). Artıldıktan sonra ise tipik olarak % 0.2 - 0.4 Cd içerdiği ve Zn bileşiğinde nadiren % 1'i aştığı rapor edilmiştir (Sneed and Brasted 1955).

Toprakta bulunan toplam kadmiyum miktarı 0.01- 7 ppm arasında olup, tipik ortalama değerinin ise 0.06 ppm düzeyinde olduğu belirtilmiştir (Allaway 1968). Moen (1986), kirlenmemiş topraklardaki Cd miktarını 0.01 - 1.0 ppm arasında olduğunu bildirmiştir. Weast (1969), yer kabuğunda ortalama olarak kadmiyum konsantrasyonunu 0.15 ppm olarak belirtmiştir. Çeşitli araştırmacılar, toprakta bulunan Cd'un bitkiye geçen miktarını belirlemede, toprağın toplam Cd içeriğinden çok DTPA ile ekstrakte edilebilir miktarının daha iyi bir gösterge olduğunu saptamışlardır. Örneğin; Li et al (1994), topraktaki toplam Cd miktarı ile bitkinin Cd kapsamı arasında çok zayıf bir ilişki olduğunu, buna karşılık DTPA ile ekstrakte edilebilen miktarın, ayçiçeğindeki akamülasyon için çok önemli bir gösterge olduğunu rapor etmişlerdir. Bohn et al (1985), benzer şekilde toprak kirliliğinin ölçütü olarak, çözeltideki Cd konsantrasyonunun katı fazındakine göre tercih edilmesi gerektiğini bildirmişlerdir. Allaway (1968) toprak çözeltisindeki 0.001 mg/kg düzeyindeki Cd'u sınır değer olarak belirtmişlerdir. Smith (1991), toprakta 0.05 M EDTA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd) miktarını < 0.002 - 0.06 µg/ml ve 0.5 M asetik asit ile ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarını < 0.0003 - 0.008 µg/ml arasında değiştiğini bildirmiştir.

Kadmiyum fosfat kayasında iz metal olarak bulunduğu fosforlu gübrelerin bileşiminde de yer almaktadır. Bundan dolayı normal tarım topraklarına, kadmiyum doğal durumda bulunduğu çok daha fazla çözünür formda verilmektedir. Dolayısıyla bitkinin kullanımına sunulan bu gübreler aynı zamanda toprak ve bitkide, insan sağlığı açısından çok tehlikeli bir potansiyele sahip olan kadmiyum birikimine; deniz, göl ve akarsularında kadmiyum ile bulaşmasına yol açacaktır.

Fosforlu gübrelerdeki kadmiyumun temel kaynağı hamfosfatdır. Ana materyali sedimentler kayalardan oluşan bir yöreden elde edilen ham fosfatların ve buna bağlı olarak fosforlu gübrelerin kadmiyum kapsamı daha yüksek olmaktadır. Schroeder and Balassa (1963), Pasifik adalarındaki fosfat depozitelerinin 50-170 ppm Cd içerdiğini ve süperfosfat gübresine geçen miktarının 3-36 ppm arasında değiştiğini rapor etmişlerdir. Wakefield (1980), TSP gübresinin ham fosfattaki kadmiyumun % 60'dan fazlasını kapsadığını bildirmiştir.

Uygulanan fosforlu gübre miktarının artışına paralel olarak topraklardaki Cd konsantrasyonlarının da yükseldiği bilinmektedir. John (1971), kadmiyumun fosfor içeren ticaret gübreleri ile toprak profilinin özellikle 0-10 cm'lik üst kısımlarında ve değişebilir katyon formunda akümüle olduğunu bildirmiştir. Bu durum, bitkiler tarafından alınabilecek formdaki kadmiyumun artmasına yol açmaktadır.

Genellikle bitkiler topraktaki kadmiyumun % 0.4 - 7'sini absorbe etmektedirler. Ancak alınan miktar bitki tür ve çeşidi ile toprak tipine bağlı olarak değişmektedir. Bitki bünyesinde biriken miktarın, topraktaki Cd konsantrasyonuna bağlı olarak arttığı, kireç etkisi altındaki topraklarda ise alımın sınırlandığı belirtilmiştir (Williams and David 1973).

Jarvis et al (1976), bitkilerin besin çözeltisinden fazla miktarda Cd alabildiklerini, ancak kadmiyumun bitkideki hareketinin sınırlı olduğunu bildirmişlerdir. Bitki köklerindeki iyon değişim alanlarında tutulur gibi görünen kadmiyum, Ca, Zn ve Mn iyonları tarafından değişebilmektedir. Normal olarak toprak çözeltisinde egemen katyon Ca olduğuna göre, Ca bitkilerin topraktan Cd alımını önemli ölçüde sınırlamaktadır. Kadmiyumun köklerden bitki üst kesimlerine taşınmasının, özellikle fosfat tarafından azaltıldığı belirtilmiştir.

Bitkilerde yaygın olarak bulunan kadmiyumun sınır değerleri 0.2 - 0.8 ppm düzeyindedir (Leeper 1978). Çeşitli bitkilerin kadmiyum kapsamı Çizelge 1.1'de verilmiştir. Bazı araştırmacılar da bu sınır değerlerini 0.1 - 0.8 ppm arasında bulunduğunu (Allaway 1968) ve bitkilerin 0.1 - 1.0 ppm Cd içeriğinin normal ve 3 ppm düzeyinde Cd içeren bitkileri düzenli bir biçimde tüketen insanlarda kadmiyumun zehir etkisinin gözlenebileceği belirtilmektedir (Aydemir 1988).

Bitkilerin kadmiyum kapsamı cinsler ve türler arasında farklılık gösterir. Bitkilerin değişik bölgelerinde (yaprak, kök, gövde ve meyve) kadmiyum farklı miktarlarda birikir. Bitkilerdeki kadmiyum konsantrasyonu onun fiziksel gelişiminin etkisi altındadır (Chang 1984). Genelde bitki kökündeki kadmiyum konsantrasyonu fazla olup, bunu yaprak, sap, kavuz ve tane izlemektedir (Williams and David 1973).

Kadmiyumun topraktaki diğer iz elementlerden daha mobil olduğu belirtilmiştir (Mc.Bride et al 1981 ve Jedwal 1983). Kadmiyum, ortamdaki hidroksil ve klorür anyonları ile bileşik oluşturabildiğinden, mobilitesi ve dolayısıyla bitkinin alımı artmaktadır. Kadmiyum özellikle asit reaksiyonlu topraklarda bitkilerce alınımının fazla olduğu ve toprak pH'sının yükselmesiyle bitkinin kadmiyum alımının azaldığı belirtilmiştir (Williams and David 1973). Ayrıca kadmiyumun toprakta karbonat ve fosfat anyonları tarafından tutulduğu ve toprak katmanlarında CdCO_3 ve CdPO_4 şeklinde çökelediği belirtilmiştir (Street et al 1977).

Genel olarak toprağın kadmiyum içerdiğiindeki artış, bitkinin Cd alımında da bir artış oluşturmaktadır (IPCS, 1992). Bingham et al (1980), bitkiler tarafından alınan kadmiyumun, toprak saturasyon ekstraktındaki kadmiyumun bir sonucu olduğunu saptamışlardır. Topraktaki bitkiye yarayışlı kadmiyum; bitki türüne, toprak pH'sına, kil, organik madde, klorit, sülfat, kireç, K.D.K, vb. faktörlere bağlıdır. Bunlardan en önemlisi olan toprak pH'sı kadmiyumun çözünürlüğü üzerine büyük ölçüde etkili

olmaktadır. Artan pH marul (Chaney et al 1982 ve Xue and Harrison 1991), kolza (Eriksson 1989), ayçiçeği (Chaney et al 1993 ve Li et al 1994) ve bir çok bitkide kadmiyum alımını azalttığı ve genellikle topraktaki Cd yarayışlılığını kontrol eden önemli bir faktör olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 1.1. Çeşitli bitkilerin kadmiyum kapsamı

Bitki Çeşidi	Cd konsantrasyonu (mg/kg)*		Referans
	Ortalama	Sınır Değerleri	
Ispanak	0.11	0.03 - 0.31	Tanaka et al, 1977
Marul	0.56 (K.A)	0.2 - 0.71 (K.A)	Chang et al, 1979
	1.23 (K.A)	0.3 - 3.76 (K.A)	Giordano et al, 1979
	0.4 (K.A)	0.4 - 0.5	John and Van Laerhoven, 1976
Maydanoz	0.081	0.043 - 0.170	Pfeilsticker and Markard, 1975
Şeker Pancarı	0.22 (K.A)	0.20 - 0.27 (K.A)	Chang et al, 1979
Bezelye	<0.03 (K.A)	-	Dowdy and Larson, 1975
Patates	0.08	0.01 - 0.17	Thomas et al, 1972
Soğan	0.04	0.01 - 0.09	Thomas et al, 1972
Çeltik	0.11	<0.001 - 0.31	Tsuchiya, 1978
Sorghum	0.033	0.01 - 0.1	Chang et al, 1979
Buğday	0.055	0.02 - 0.08	Hyde et al, 1979
Arpa	0.05	0.0104 - 0.11 (K.A)	Valims and Williams, 1980
	0.027	0.01 - 0.07 (K.A)	Chang et al, 1979
	0.05 (K.A)	0.01 - 0.75 (K.A)	Grossman and Egels, 1975
	0.37 (K.A)	0.08 - 0.65 (K.A)	Munshower, 1977
Yulaf	0.05 (K.A)	0.01 - 0.28 (K.A)	Grossman and Egels, 1975
Mısır	0.08 (K.A)	<0.04 - 0.22 (K.A)	Pietz et al, 1978
Soya Fasulyesi	0.21 (K.A)	0.13 - 0.36 (K.A)	Chaney and Hornicle, 1977
Elma	0.01	0.005 - 0.027	Pfeilsticker and Markard, 1975
Grayfirit	<0.01	<0.01 - 0.01	Tanaka et al, 1977
Portakal	0.002	<0.001- 0.007	Fuchs et al, 1976
Limon	0.01	0.01 - 0.04	Tanaka et al, 1977
Domates	0.01 (K.A)	-	Chang et al, 1979
Patlıcan	0.03	0.02 - 0.04	Tanaka et al, 1977
Biber	0.04	0.03 - 0.05	Tanaka et al, 1977
Havuç	0.041	0.003 - 0.160	Fuchs et al, 1976

* Sonuçlar kuru ağırlık (K.A) yazılanların dışında, yaş ağırlığa göre verilmiştir.

Kadmiyum kimyasal olarak çinkoya benzemekte, bu nedenle alınımları ve metabolik işlevlerde gerekli bir besin maddesi olan çinkonun davranışını taklid edebilmektedir. Çinkonun aksine kadmiyumun, enzim ve diğer proteinlerdeki thiol grupları (SH) için çok fazla affiniteye sahip olması hem bitkilerde hem de hayvanlar için zehirli etki göstermektedir. Sonuç olarak da kadmiyumun varlığı enzim aktivitesini engellemekte veya bozmaktadır (Aydemir 1988). Kadmiyum toksisitesinde bitki vejetatif gelişmesini tamamlayamaz, bitkinin gelişiminde fizyolojik ve şekil bozuklukları ortaya çıkar ve hatta çimlenmenin bile engellendiği görülebilir.

İnsan bünyesine, gerek çevre kirliliği gerekse besin maddeleri yoluyla giren kadmiyumun toksik olduğu bilinmektedir. Japonya'nın Tayama kenti çevresinde Cd ile kirlenmiş topraklarda yetişen pirincin gıda maddesi olarak kullanılması sonucu "İtai - İtai" olarak bilinen kemik hastalığı, yaygın bir şekilde görülmektedir (Tsuchiya 1978). Kadmiyum insanlarda hipertansiyon, akciğer ve karaciğer hastalıkları, kemik kanseri, kronik bronşit (Hodges 1977 ve Koç 1981), böbrek ve pankreas (Friberg et al 1971), prostat kanseri (Kipling and Waterhouse 1967), kalp ve hatta ölümle (Piscator 1972) sonuçlanacak hastalıklara yol açabileceğini bildirmişlerdir.

Bütün tanımlanan bu özellikler, kadmiyumun kirlenici olarak çevrenin her tarafına yayılma özelliği gösteren ve sorun oluşturan niteliklere sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Son yıllarda yapılan çalışmaların büyük bir kısmı kadmiyum -fosfor ilişkileri üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Bu çalışmada, asit ve alkali olmak üzere değişik karakterli iki toprakta yetiştirilen marul (*Lactuca sativa* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerine uygulanan farklı düzeylerdeki fosforlu gübre (TSP) ile toprağa verilen kadmiyumun deneme bitkileri tarafından alınımı ve topraktaki birikimi belirlenmeye çalışılacaktır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

John (1972), toprağa yüksek düzeylerde fosforlu gübre uygulamasının bitkinin kadmiyum kapsamını etkilediğini ve bu kapsamın bitki çeşidine ve toprak yapısına bağlı olarak artabileceğini bildirmiştir.

John (1973), tarafından yürütülen bir araştırmada ise, çeşitli kültür bitkilerine 40 - 200 ppm düzeylerinde Cd uygulanmıştır. Araştırma sonunda, Cd bulaşmayan topraklarda yetişen bitkilerde 2.4 - 12 ppm Cd bulunurken, 40 ppm Cd uygulaması ile marul, ıspanak, brokkoli, karnabahar ve turp bitkilerinin 51, 207, 306, 19 ve 55 ppm; 200 ppm Cd uygulaması ile aynı bitkilerin sırası ile 668, 239, 269, 199 ve 123 ppm düzeylerinde Cd içerdikleri saptanmıştır. Araştırmacılar ayrıca, 200 ppm Cd uygulanan bitkilerin ürün miktarlarında, kontrole göre % 91, 95, 66, 96 ve 93 oranlarında düşme olduğunu belirtmişlerdir.

Williams and David (1973), ham fosfatlarda bulunan kadmiyumun fosforlu gübre üretimi esnasında süperfosfat gübresi içinde de yer aldığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, gübreyle toprağa kadmiyum ilavesi potansiyelinin çok yüksek olduğunu ve söz konusu kadmiyumun toprağın işlenmiş katında (0 - 10 cm) biriktiğini, uzun periyod içinde bu birikimin toprağın ve toprakta yetiştirilen bitkilerin Cd içeriğinin artmasına sebep olabileceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar aynı çalışmada, Avusturya'da değişik fosforlu gübrelerin kadmiyum konsantrasyonlarının 18-91 mg/kg arasında olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma sonunda fosforlu gübrelerin fosfat ve kadmiyum kapsamı arasında önemli derecede ilişki olduğunu, en fazla kadmiyumun kökte biriktiğini ve ihmal edilecek düzeyde az miktarda da tanede biriktiğini rapor etmişlerdir.

Huang et al (1974), Cd'un ıspanak bitkisinin kloroplastlarında fosforilasyon ve çift elektron taşınımını engellediğini rapor etmişlerdir.

Williams and David (1976), toprak tipine bağlı olarak Cd alımının etkilendiğini, özellikle asit reaksiyonlu ve organik topraklarda yetişen bitkiler tarafından kadmiyum alımının fazla olduğunu, düşük pH'lı topraklarda ürünle kaldırılan Cd miktarının yüksek olduğunu ve toprak pH'sının yükselmesiyle bitkinin Cd içeriğinin azaldığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar özellikle yer altı üçgülü türü yem bitkilerinin önemli miktarda Cd biriktirebileceğini ve hayvanlarda toksik etkiler oluşturabileceğini belirtmişlerdir.

Mortvedt and Giardano (1977), mısır bitkisinin kadmiyum alımının DAP gübresi içindeki kadmiyum miktarına bağlı olarak arttığını rapor etmişlerdir. Araştırmacılar, fosforlu gübrelerdeki kadmiyumun DAP ve TSP gübresindeki kalsiyum bileşiklerine benzer olarak Cd (H_2PO_4)₂, CdHPO₄ veya bu tuzların karışımı şeklinde bulunduğunu bildirmişlerdir.

FAO (1978), haftalık diyetle insanın alması gereken maksimum kadmiyum miktarını 4-5 µg olarak tespit etmiş ve bu miktarın üstünde insan vücudunda birikecek olan kadmiyumun riskli olacağını bildirmiştir.

Mukherji and Mucerji (1978), çeltik, soya ve darı tohumlarına 0.1 mM, 2 mM ve 4 mM Cd içeren CdSO₄ uygulayarak, bu bitkilerin çimlenme ve gelişimlerini incelemişlerdir. Araştırmacılar, 0.1 mM düzeyinde Cd içeren ortamda yetişen bitkilerin, gerek kök gerekse toprak üstü aksamalarının gelişmelerinde önemli bir azalma olduğunu, 2 mM Cd düzeyinde kök gelişiminin tamamen durduğunu ve 4 mM düzeyinde ise çimlenmenin gerçekleşmediğini gözlemlemişlerdir. Ayrıca, değişik konsantrasyonlarda Cd'a maruz kalan bitki yapraklarında fotosentez ve solunumun azaldığını, bu bitkilerin bünyesinde çok yüksek düzeylerde Cd' un akümüle olduğunu ve Cd fitotoksitesi nedeniyle ürün miktarlarında önemli ölçüde düşme meydana geldiğini saptamışlardır.

Reuss et al (1978), özellikle asit reaksiyonlu toprakların DAP ve TSP ile gübrelenmeleri sonucunda mısır, turp, bezelye ve marul bitkilerinin yüksek düzeyde kadmiyum aldıklarını belirtmişlerdir. Araştırmacılar, ayrıca killi topraktan kadmiyum alımının, kumlu topraktan daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Giordano et al (1979), yaptıkları tarla denemeleri sonunda çeşitli sebzelerin Cd konsantrasyonları ile topraktaki Cd arasında ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Topraklara 1.12 kg/da Cd uygulandığında, sebzelerin Cd kapsamının kontrol bitkilerinden çok fazla olduğu belirtilmiştir. Araştırmacılar, sebzelerin yeşil kısımlarının yenebilir kısımlarından daha fazla Cd içerdiklerini bildirmişlerdir. Ayrıca bitkilerin Cd kapsamının yüksek toprak sıcaklığında önemli miktarda arttığını rapor etmişlerdir.

Mula et al (1980), 36 yıl boyunca her yıl 17.5 kg/da TSP gübresi ilave edilmiş tarlada arpa bitkisi yetiştirmişlerdir. Hiç gübre uygulanmamış topraklarda yetiştirilen bitkilerin, yaprak ve tanelerindeki kadmiyum miktarının gübre uygulanan parsellere göre aynı olmadığını bildirmişlerdir.

Anderson and Hahlin (1981), 16 yıl süren denemede içinde 52 mg/kg Cd içeren TSP gübresini ağır killi topraklara uygulamış ve bu topraklarda yetiştirdikleri arpa bitkisinde önemli miktarda kadmiyum artışı gözlemişlerdir.

Lepp (1981), asit ve alkali reaksiyonlu iki toprağa 1.2 kg/ha Cd içeren lağım suyu uygulamışlar ve şeker pancarı, bezelye, buğday, arpa ve mısır bitkileri yetiştirmiş ve bitkilerin yaprak ve tanelerindeki Cd kapsamını belirlemiştir. Bitkilerin, yaprak ve tanelerindeki Cd kapsamı asit reaksiyonlu topraklarda, alkali reaksiyonlu topraklarda yetiştirilen bitkilerin Cd kapsamlarından çok daha fazla olduğu bildirilmiştir. Araştırmacı, ayrıca bitkilerin yapraklarındaki Cd içeriğinin tanelerdeki Cd içeriğinden çok fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Mortvedt et al (1981), 2.74 ve 153 mg/kg Cd içeren iki çeşit DAP gübresini fosfor noksanlığı bulunan topraklara uygulamışlardır. Araştırmacılar, 153 mg/kg Cd içeren DAP gübresinin pH'sı 5.1 olan asit toprağa uygulandığında, yazlık ve kışlık buğdayın kadmiyum içeriğinin çok fazla arttığını, aynı toprağın pH'sı 5.9 olacak şekilde kireçlenince kadmiyum ile ilgili artışın aynı derecede yüksek olmadığını belirtmişlerdir.

Page et al (1981), asit ve alkali reaksiyonlu topraklara, 0 - 1.1 - 2.25 ve 4.50 ppm Cd uygulamış ve buğday, bezelye ve mısır bitkilerinin yaprak ve tanelerindeki Cd kapsamalarını belirlemişlerdir. Araştırmacılar, Cd artışına bağlı olarak yaprak ve tanelerdeki kadmiyum kapsamının arttığını ve bu artışın asit toprakta alkali toprağa göre daha fazla olduğunu saptamışlardır. Ayrıca bitki yapraklarındaki kadmiyum kapsamının tanedeki kadmiyumdan daha fazla, köklerdeki kadmiyumun da sürgünlerden daha fazla olduğunu bildirmişlerdir.

Hansen and Tjell (1983), yıllık süperfosfat olarak verilen 20 kg P_2O_5 /ha gübreden 3.1 g/ha kadmiyumun toprakta biriktiğini bildirmişlerdir.

Smilde and Vanluit (1983), fosforlu gübre uygulayarak yaptıkları 18 tarla denemesiyle, topraktaki kadmiyum birikiminin fosforlu gübre kullanımının bir sonucu olduğu kanısına varmışlardır. Araştırmacılar, bu çalışmada atmosferik kadmiyum bulaşmasını elimine etmişler ve topraktaki kadmiyum birikim miktarının 200 kg/ha TSP kullandıklarında 2-10 mg/ha olduğunu belirtmişlerdir.

Araştırmacılar, fosforlu gübrelerdeki kadmiyumun toprakta biriktiğini; kullanılan gübre miktarı ve gübrenin Cd kapsamı, toprak pH'sı ve gübrenin kimyasal yapısı ve ürünün kadmiyum absorpsiyon yeteneğine bağlı olarak ürünün kadmiyum içeriğinin değişebileceğini belirtmişlerdir.

Chang (1984), asit ve alkali reaksiyonlu topraklara 0-9 kg/ha Cd uygulamış ve bezelye, buğday ve mısır bitkileri yetiştirmiştir. Bitkilerin yaprak ve tanelerindeki Cd kapsamını belirlemiştir. Araştırmacı, asit toprakta yetiştirilen bitkilerin alkali toprakta yetiştirilen bitkilerden daha fazla Cd kapsadıklarını ve yapraklardaki Cd konsantrasyonunun tanedeki konsantrasyondan çok fazla olduğunu bildirmiştir.

Rothbaum et al (1986), yaptıkları araştırmada toprağa yıllık 370 kg/ha TSP gübresi verildiğinde, toprakta 20 g/ha Cd biriktiğini ve bunun çoğunlukla toprağın 22.5 cm'lik üst kısmında olduğunu ve ilave edilen kadmiyumun ancak % 25'inin toprağın alt katmanında biriktiğini saptamışlardır. Araştırmacılar, uzun süre fosforlu gübre uygulanmış topraklarda çevredeki topraklara oranla Cd fazlalığı saptandığını, bu kadmiyumun % 80'inin fosforlu gübrelerden geldiğinin anlaşıldığını rapor etmişlerdir.

Mortvedt (1987), Amerika'da fosforlu gübreleme sonucu yıllık kadmiyumun birikim oranını 0.3 - 1.2 g/ha olarak saptamıştır. Ayrıca, fosforlu gübrelerle gübrelenen mısır, soya, buğday ve çayır bitkilerinin aldıkları kadmiyum miktarının < 10 mg/kg olduğunu bildirmiştir.

Karaca (1990), fosforlu gübre üretiminde kullanılan ham fosfatlarda ve fosforlu gübrelerdeki kadmiyum içeriğini belirlemek amacıyla yaptığı çalışmada ham fosfatlarda saptanan ortalama kadmiyum miktarının 30.80 ppm, Triplesüperfosfat (TSP) gübrelerinde ortalama 19.22 ppm, Diamanyum fosfat (DAP) gübrelerinde ortalama 16.87 ppm, 20.20.0 kompoze gübrelerinde ortalama 4.20 ppm ve 15.15.15 kompoze gübrelerinde ise ortalama 2.69 ppm kadmiyum olduğunu saptamıştır.

Bu sonuçlara göre ham fosfatlardaki kadmiyum, üretim esnasında "fosfor miktarına ve prosese bağlı olarak" % 63 düzeyinde TSP gübresine, % 55 düzeyinde DAP gübresine, % 14 düzeyinde kompoze 20.20.20. gübresine ve % 9 düzeyinde de kompoze 15.15.15. gübresine geçtiği belirtilmiştir.

Araştırmacı, çalışma sonunda yukarıdaki belirtilen gübrelerdeki toplam ortalama kadmiyum içeriklerine göre, 1989 yılı sonu itibarıyla 22 237 168 ha ekim sahasına 2 111 545 ton fosforlu ve kompoze gübre tüketildiğini (Anonymous, 1990) kabul edildiğinde yılda topraklarımıza hektar başına TSP gübresiyile 194 mg, DAP gübresiyile 416 mg, 20.20.0. gübresiyile 191 mg ve 15.15.15 gübresiyile de 40 mg kadmiyum ilave olabileceğini belirtmiştir.

Pezzarossa et al (1990), ağır metal kaynağı olarak fosforlu gübrelemenin etkisini araştırmak amacıyla yaptıkları sera denemesinde, pH'sı 7.5 olan tınlı kumlu toprakta marul bitkisi yetiştirmişlerdir. Fosfor kaynağı olarak süperfosfat gübresi (% 46-48 P_2O_5 ve 23.1 ppm Cd) toprağa 364, 1820 ve 3640 kg/ha olarak uygulanmıştır. Araştırmacılar, fosforlu gübrelemenin artışı ile ürün miktarının arttığını, buna bağlı olarak ağır metallerin absorpsiyonunun da arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca fosfor uygulamalarının bitkilerin klorofil içeriğine etkisinin olmadığını, fakat nişasta içeriklerinin zamanla azaldığı belirtmişlerdir. Araştırmacılar, bütün bu verilere rağmen, bitki dokusunda biriken ağır metallerin bitkide fizyolojik etki yapmadığı gibi bitkinin gelişmesinde de ters bir etki gözlenmediğini bildirmişlerdir.

Araştırmacılar, topraktaki ekstrakte edilebilir ağır metal miktarının fosfor düzeylerine bağlı olarak arttığını saptamışlardır. Topraktaki Cu, Zn ve Cr miktarındaki artışın fazla, fakat Cd, Ni ve Pb artışının eseri olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar, uzun yıllar bu gübrelerin kullanıldığının düşünüldüğünde ise çok daha zararlı etkileri meydana çıkaracağını kaçınılmaz olduğunu belirtmişlerdir.

Singh (1990), sera koşullarında tınlı ve torflu olmak üzere iki farklı toprakta yetiştirdikleri yulaf bitkisi ile kolzanın toprağa uygulanan fosforlu gübrelerden Cd ve F alımına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla fosforlu gübre olarak düşük ve yüksek düzeyde kadmiyum içeren (2.6 - 40 ppm Cd) NPK gübreleri ile 15 ppm Cd içeren süperfosfat gübresi kullanılmıştır. Bu gübrelerle 30-180 ppm düzeyinde fosfor uygulamıştır. Araştırmacı, genellikle yulaf ve kolza bitkilerinin sap ve tane verimi üzerine fosforlu gübrelemenin etkisi olmadığını, fakat fosforlu gübrelemenin artmasına bağlı olarak tane ve saptaki fosfor konsantrasyonunun arttığını saptamıştır. Yüksek düzeyde Cd içeren (40 ppm Cd) NPK gübresi ile süperfosfat gübresinin uygulanması sonucu yulaf ve kolza bitkilerinin tane ve sapındaki Cd konsantrasyonunun arttığını bildirmiştir. Bu artışın torfta tınlı toprağa göre daha fazla olduğunu saptamıştır. Birinci yıl, torfta yetiştirilen yulaf bitkisinin Cd kapsamının kontrolde 0.08 ppm iken süperfosfat gübresinin yüksek düzeyde uygulanması sonucu bu değerin 0.21 ppm'e kadar yükseldiğini bildirmiştir. Tınlı toprakta ise bu değerlerin sırasıyla, 0.29 ve 0.34 ppm Cd olduğunu belirtmiştir. Aynı şekilde yulaf sapındaki Cd konsantrasyonunun da arttığı, fakat bu artışın genellikle taneden daha fazla olduğunu rapor etmiştir. Araştırmacı, yulaf bitkisinin sap ve tanesindeki bu farklılığın, kolza bitkisinden daha belirgin olduğunu bildirmiştir. İkinci yıl, aynı saksılarda yetiştirilen bitkilerden elde edilen sonuçların birinci yılda elde edilen sonuçlara benzerlik göstermesine karşın, Cd konsantrasyonunun ikinci yılda düştüğünü bildirmiştir. Denemede kullanılan gübre çeşitleri karşılaştırıldığında ise süperfosfat uygulamalarının NPK gübrelerine göre Cd alımını artırdığını tespit etmiştir.

Araştırmacı, normal düzeyde fosforlu gübre uygulamasının yulaf ve kolzadaki Cd konsantrasyonunu çok az miktarda değiştireceğini ve bununda gıdalarda tehlikeli bir bulaşmaya sebep olmayacağını bildirmiştir. Sonuç olarak, toprakların asitleşmesine sebep olacak süperfosfat gibi gübrelerin özellikle organik maddece zengin topraklarda yüksek oranlarda kullanılması, Cd alımının artmasına sebep olabileceğini bildirmiştir. Ayrıca, fosforlu gübrelerin kaynağı ve düzeylerinin F alımına çok az bir etkisi olduğu da rapor edilmiştir.

Anderson and Simon (1991), artan düzeylerde uyguladıkları fosforlu gübreleme ile kışlık buğday, arpa ve çavdar bitkilerinin sap ve tanesindeki Cd kapsamının önemli derecede arttığını ayrıca bu gübreleme sonucunda toprağın Cd kapsamında da bir artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak, kireçlemeye bağlı olarak bitkilerin Cd alımının ve kapsamının azaldığını, topraktaki Cd miktarının arttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, bitki tanelerinin Cd kapsamının bitki saplarının Cd kapsamından daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Sparrow et al (1993), tarla şartlarında iki patates çeşidi üzerinde yaptıkları çalışmada, farklı oranlarda kadmiyum içeren iki çeşit doppel süperfosfat (DSP) uygulamışlar ve bitkilerin bunlara gösterdikleri responsu araştırmışlardır. Bu amaçla, 15 ve 90 mg Cd/kg içeren DSP gübresi banda uygulanmış ve deneme sonunda her iki patates çeşidinin Cd kapsamı, DSP gübresinin artışına paralel olarak arttığını saptamışlardır. Bu artışın, DSP'deki kadmiyum miktarından ziyade, fosfor içeriğine bağlı olduğu belirtilmiştir. Buna sebep olarak da fosforlu gübrenin banda uygulanması sonucu kök gelişiminin teşvik olabileceğini bildirmişlerdir. Araştırmacılar, yüksek verim için gerekli olan yüksek miktardaki DSP ile birlikte kadmiyum miktarının da artışı göz önüne alınacak olursa yumru tarafından kaldırılan Cd miktarının 6 - 20 kat daha fazla olacağını bildirmişlerdir.

He and Singh (1994 a), fosforlu gübrelerdeki kadmiyumun yulaf, çim, havuç ve ıspanak gibi bitkiler tarafından alınımını ve bu bitkilerin verim ve kadmiyum kapsamlarına etkisini araştırmışlardır. Sera denemesi şeklinde yürütülen bu araştırmada, kadmiyum içeren çeşitli fosforlu gübreler kullanmışlardır. Denemede, kumlu ve tınlı olmak üzere iki çeşit toprak ele almışlardır. Araştırmacılar, kireçleme ve çeşitli fosforlu gübrelerin uygulanması sonucunda genellikle ürün miktarının etkilenmediğini bildirmişlerdir. Denemede kadmiyum içeren NPK gübrelerinin uygulanması sonucu bitkilerin Cd kapsamının arttığını belirtmişlerdir. Bitkilerdeki en yüksek Cd kapsamının fazla miktarda kadmiyum içeren NPK gübresinin (12.5 fg Cd/kg toprak) uygulanmasıyla gözlemişlerdir. Ancak, bitkilerdeki kadmiyum kapsamının genellikle toprak pH'sının artmasıyla azaldığını belirtmişlerdir.

Araştırmacılar, kumlu topraktan bitkiler tarafından en fazla kadmiyum alınımı inorganik fosfor + Cd tuzu uygulandığında, tınlı toprakta ise, düşük miktarda kadmiyum içeren NPK gübresinin uygulandığı zaman gerçekleştiğini rapor etmişlerdir. Her iki toprakta da bütün bitki çeşitleri tarafından en az kadmiyum alınımı, fosfat kayası uygulanmasında tespit etmişlerdir. Buna neden olarak da fosfat kayasının fosfor kaynağı olmasına karşın çözünürlüğünün az olmasını göstermişlerdir.

He and Singh (1994 b), sera denemesinde fosforlu gübrelerdeki kadmiyumun bitkiler tarafından alınımı ve topraktaki DTPA ve NH_4NO_3 ile ekstrakte edilebilir kadmiyumun ilişkisini araştırmışlardır. Deneme bitkisi olarak; yulaf, havuç, çim ve ıspanak bitkileri almışlar ve kumlu ve tınlı topraklarda yetiştirmişlerdir.

Yüksek düzeyde Cd içeren NPK gübresinin (12.5 fg/kg toprak) uygulanması sonucu topraktaki ekstrakte edilebilir kadmiyumun önemli derecede arttığını belirtmişlerdir. Bu artışı en belirgin şekilde DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyumun yansıttığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar, fosfat kayasının uygulanması sonucu topraktaki ekstrakte edilebilir kadmiyumun artmadığını, toprak pH'sının artmasıyla DTPA ve

NH_4NO_3 ile ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarının düştüğünü bildirmişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak, topraktaki DTPA ve NH_4NO_3 ile ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarı ile bitkiler tarafından alınan toplam kadmiyum kapsamı arasında önemli bir ilişki olduğunu bildirmişlerdir.

Li et al (1994), topraktaki klorit düzeyinin ayçiçeği bitkisinin çekirdeğindeki kadmiyum kapsamına etkisini araştırmışlardır. Regresyon analizi sonucunda, farklı derinlikteki toprakların pH'ları ile çekirdekdeki kadmiyum kapsamı arasında önemli bir ilişkinin olmadığını belirtmişlerdir. Ancak, çekirdeğin kadmiyum kapsamı ile farklı derinliklerden alınan toprak örneklerinin hepsinde DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum arasında istatistiki olarak ($P < 0.001$) önemli ilişki bulunduğunu, ayrıca çekirdekdeki kadmiyum ile yüzey toprağın kil içeriği arasında da önemli bir ilişki bulunduğunu, topraktaki sülfat düzeyinin etkisinin ise önemli olmadığını saptamışlardır. Buna karşın ayçiçeği çekirdeğindeki kadmiyum kapsamı, topraktaki yüksek kloritin etkisi ile daha fazla bulunmuştur. Çekirdekdeki kadmiyum kapsamı ile yüzey topraktaki klorit düzeyi arasında ilişki olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar sonuç olarak, toprağın klorit konsantrasyonunun ayçiçeği bitkisinin kadmiyum alımı ile ilgili önemli bir faktör olduğunu ve topraktaki yüksek klorit konsantrasyonunun bitkiye yararışlı kadmiyumu arttırdığını bildirmişlerdir.

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Toprak Örneklerinin Alınması, Deneme ve Analize Hazırlanması

Araştırmada, fosforlu gübrelemenin marul ve arpa bitkilerinin kadmiyum (Cd) alımları üzerine etkisini belirlemek amacıyla biri Ankara'nın Haymana yöresinden alkali reaksiyonlu, değeri ise Rize'den alınan asit reaksiyonlu iki farklı karaktere sahip toprak kullanılmıştır. Toprak örnekleri Jackson (1962) tarafından bildirilen esaslara uygun olarak 0 - 20 cm derinlikten alınıp, seraya getirilen topraklar polietilen yaygılar üzerine serilerek gölge bir yerde kurutulmuş, iri taşlar ayıklandıktan sonra kesekler tahta tokmakla ezilip, 4 mm lik elekten geçirilmiştir. Bu topraktan 1 kg kadar alınıp 2 mm lik elekten geçirilmiş ve cam kavanozlara doldurularak analizlerde kullanılmak üzere laboratuvara getirilmiştir.

3.2. Denemede Kullanılan Bitki Materyali

Deneme bitkisi olarak, fosfor noksanlığına duyarlı olan marul bitkisinin (*Lactuca sativa* L.) yedikule çeşidi ile, Türkiye'nin tarımsal üretiminde önemli yer tutan arpa bitkisinin (*Hordeum vulgare* L.) Tokak - 86 çeşidi kullanılmıştır. Arpa bitkisi, tane oluşumuna kadar geçen gelişme süresi sonunda; marul bitkisi ise pazarlanacak olgunluğa geldikten sonra toprak yüzeyinden kesilerek hasat edilmiştir.

Denemede Ankara Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsünden temin edilen İskenderun Triple Süperfosfat fabrikaları tarafında üretilen, fosfor içeriği % 44.27 (P_2O_5) ve kadmiyum içeriği 15 ppm olan Triple süperfosfat gübresi kullanılmıştır.

3.3. Sera Denemesinin Kurulması ve Yürütülmesi

Deneme, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü araştırma serasında yürütülmüştür. Deneme topraklarının kimi fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Denemede kullanılan saksılara polietilen torba geçirildikten sonra 2000 g hava kuru toprak ile doldurulmuştur.

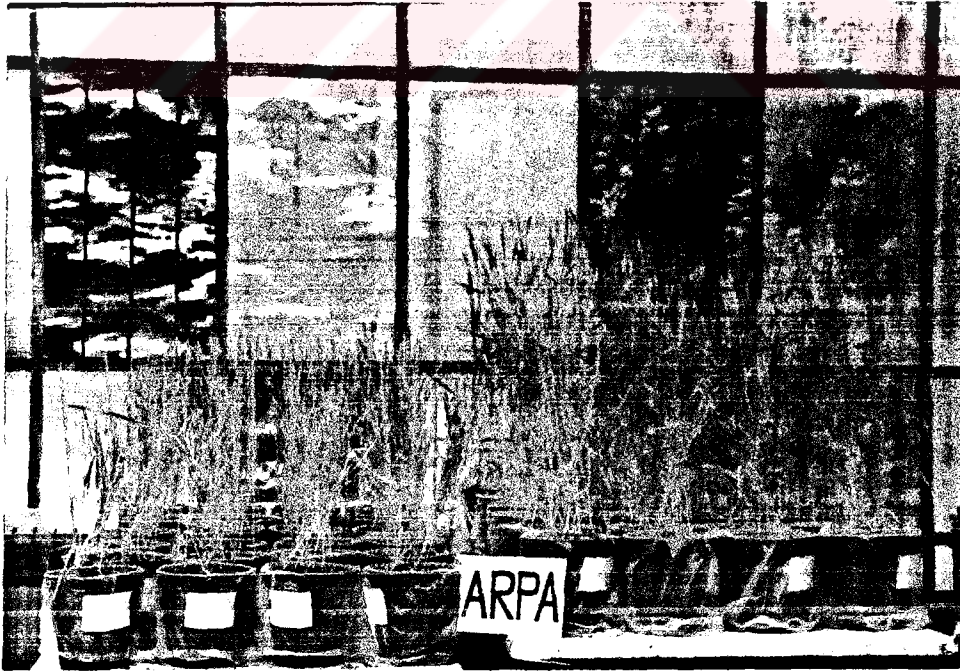
Her bir saksıya Çizelge 3.2'de verilen deneme planına göre temel gübreleme olarak $(NH_4)_2 SO_4$ şeklinde 80 ppm N ve KCl şeklinde 60 ppm K uygulanmıştır. Topraklara 0 - 160 ppm arasında P kapsayacak düzeyde TSP (Triple süperfosfat)

gübresi uygulanmıştır. Bitkiler tarafından alınabilir Cd kapsamının 15 ppm olduğu belirlenen bu gübre ile toprağa verilmiş olan Cd düzeyleri aşağıda belirtilmiştir.

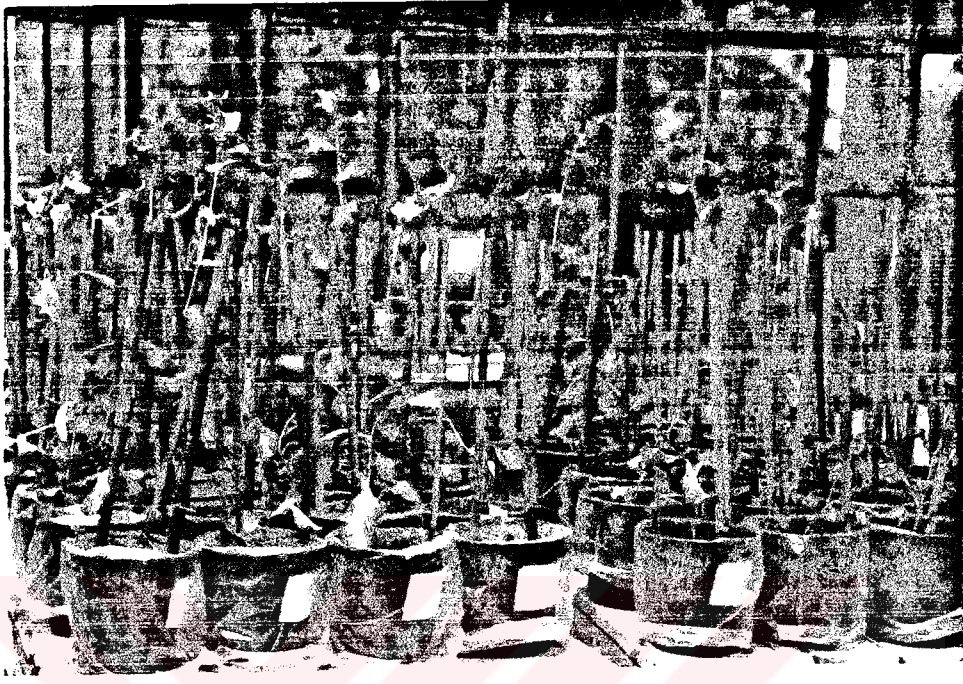
<u>P Uygulaması, ppm</u>	<u>Toprağa Katılan Cd, ppb</u>
0	
10	0.78
20	1.55
40	3.10
80	6.20
160	12.40

28 Mayıs 1994 tarihinde her bir saksıya 17 adet arpa tohumu ekilmiş ve çimlenmeye bırakılmıştır. Bitkilerin çimlenmesinden sonra seyreltme yapılarak saksıda 10 bitki bırakılmıştır. 8 Haziran 1994 tarihinde ise her saksıya 1 marul fidesi dikilmiştir.

Tesadüf parselleri deneme desenine göre, dört paralelli olarak yürütülen bu araştırmada saksılar serada masalara rastgele dağıtılarak yerleri kendi aralarında her gün değiştirilmiştir. Saksılar saf su ile sulanarak tarla kapasitesinde tutulmuştur. Deneme bitkilerinin genel görünümü Şekil 3.1 ve 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Arpa bitkilerinin genel görünümü



Şekil 3.2.Marul bitkilerinin genel görünümü

Çizelge 3.1. Deneme topraklarının kimi fiziksel ve kimyasal özellikleri

ÖZELLİĞİ	ÖLÇME DEĞERİ	
	Asit Toprak	Alkali Toprak
Tekstür	Killi-Tın	Killi-Tın
Kil, %	38.94	32.07
Silt, %	28.31	32.40
Kum, %	32.75	35.53
Tarla Kapasitesi, %	35.10	29.50
pH (1:2.5 su)	5.01	7.66
CaCO ₃ , %	-	16.08
Organik Madde, %	3.58	0.78
Toplam N, %	0.20	0.13
Kasyon Değişim Kapasitesi, m.e./100 g	31.70	34.79
Bitkiye Yarayışlı P, ppm	15.27	9.74
Değişebilir Kasyonlar		
K ⁺ , m.e./100 g	0.82	1.04
Na ⁺ , m.e./100 g	0.27	0.27
Ca ⁺⁺ , m.e./100 g	15.68	23.05
Mg ⁺⁺ , m.e./100 g	2.33	10.43
Fe, ppm	13.74	6.16
Mn, ppm	3.00	11.00
Cu, ppm	0.59	1.14
Zn, ppm	0.61	0.56
Cd (DTPA-ekstraktı), ppb	3.15	4.50

3.4. Bitkilerin Hasadı ve Analize Hazırlanmaları

Marul bitkisinin hasadı, kırkbeş günlük bir gelişme süresi sonunda 22 Temmuz 1994 tarihinde ve arpa hasadı ise 5 Ağustos 1994 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Hasat işlemi kök ile gövdenin birleştiği kısımlarından, paslanmaz çelik bir makasla yapılmıştır. Hasat edilen arpa bitkilerinin sap ve tanesi ayrı kese kağıtlarına doldurulmuştur.

Hasat edilen bitkiler önce musluk suyu daha sonra saf su ve deiyonize su ile yıkanmış ve filtre kağıdı yardımı ile iyice kurulanmıştır. Yıkanan bitkiler daha önceden numaralandırılan temiz kese kağıtlarına konularak laboratuvara götürülmüştür.

Bitki örnekleri kurutma dolabında 65 - 70 °C'de kurutulmuş, kuru ağırlıkları belirlenmiş, cam kavanozlu blenderde öğütülmüş ve plastik örnek kaplarına konularak laboratuvara götürülmüştür (Ulrich et al 1959, Hills and Ulrich 1978).

Çizelge 3.2. Deneme planı

Bitki	Toprak	Fosfor Uygulaması	SAKSI NO			
MARUL	ASİT	P ₀	1	2	3	4
		P ₁	5	6	7	8
		P ₂	9	10	11	12
		P ₃	13	14	15	16
		P ₄	17	18	19	20
		P ₅	21	22	23	24
	ALKALİ	P ₀	25	26	27	28
		P ₁	29	30	31	32
		P ₂	33	34	35	36
		P ₃	37	38	39	40
		P ₄	41	42	43	44
ARPA	ASİT	P ₀	49	50	51	52
		P ₁	53	54	55	56
		P ₂	57	58	59	60
		P ₃	61	62	63	64
		P ₄	65	66	67	68
		P ₅	69	70	71	72
	ALKALİ	P ₀	73	74	75	76
		P ₁	77	78	79	80
		P ₂	81	82	83	84
		P ₃	85	86	87	88
		P ₄	89	90	91	92
		P ₅	93	94	95	96

3.5. Saksılardan Toprak Örneklerinin Alınması ve Analize Hazırlanması

Bitkiler hasat edildikten sonra saksılardaki topraklar teker teker boşaltılmış ve köklerin topraktan ayrılması sağlanmıştır. Kalan toprak 2 mm'lik elekten geçirilerek her bir saksıdan 100 g civarında örnek alınmış ve gerekli analizler yapılmak üzere laboratuvara götürülmüştür.

3.6. Laboratuvar Çalışmalarında Yapılan Analizler ve Bu Analizlerde Uygulanan Yöntemler

3.6.1. Toprak analizleri

3.6.1.1. Mekanik analiz (Tekstür)

Toprak örneğinin % kum, % silt ve % kil fraksiyonları Bouyoucos (1951) tarafından bildirildiği şekilde hidrometre yöntemiyle belirlenerek, tekstür sınıfı Soil Survey Manual (1951)'e göre yapılmıştır.

3.6.1.2. Tarla kapasitesi

Toprak örneğinin 1/3 atmosfer basınç altında tutabileceği su miktarı pressure membran ile tayin edilmiştir (Richards 1954).

3.6.1.3. Toprak reaksiyonu (pH)

Grewelling and Peech (1960) tarafından bildirildiği şekilde toprak pH'sı saf su ile 1 : 2.5 oranında sulandırılmış toprak suspansiyonunda cam elektrodlu pH - metre ile belirlenmiştir.

3.6.1.4. Kalsiyum karbonat kapsamı (CaCO_3)

Çağlar (1949) tarafında bildirildiği şekilde Scheibler kalsimetresi ile belirlenmiştir.

3.6.1.5. Toplam azot

Bremner (1965) tarafından bildirildiği şekilde Kjeldhal yöntemine göre belirlenmiştir.

3.6.1.6. Organik madde

Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde Walkley - Black yöntemine göre belirlenmiştir.

3.6.1.7. Bitkiye yarayışlı fosfor kapsamı

Alkali reaksiyonlu topraklarda Olsen et al (1954) tarafından belirtildiği şekilde, asit reaksiyonlu topraklarda ise Bray - Kurtz (1945) tarafından bildirildiği şekilde yapılmıştır.

3.6.1.8. Değişebilir Ca^{++} , Mg^{++} kapsamı

Jackson (1962) tarafından bildirildiği şekilde 1 N nötr amonyum asetat ile ekstrakte edilerek Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile belirlenmiştir.

3.6.1.9. Değişebilir Na^+ , K^+ kapsamı

Pratt (1965) tarafından belirtildiği şekilde 1N nötr amonyum asetat ile ekstrakt edilerek Flame Fotometre ile belirlenmiştir.

3.6.1.10. Toprağın katyan değişim kapasitesi (K.D.K.)

Chapman (1965) tarafından bildirildiği şekilde flaymfotometrik olarak belirlenmiştir.

3.6.1.11. Bitkiye yarayışlı demir, mangan, bakır ve çinko kapsamı

Lindsay and Norvel (1978) tarafından belirtildiği şekilde toprak örnekleri DTPA çözeltisi (0.005 M DTPA + 0.01 M $CaCl_2$ + 0.1 M TEA, pH 7.30) ile ekstrakte edilmiştir. Ekstraksiyon sonrası elde edilen süzükteki Fe, Mn, Cu ve Zn miktarları Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi ile belirlenmiştir.

3.6.1.12. Toprakta değişebilir kadmiyum belirlemesi

Lindsay and Norvel (1978) tarafından bildirildiği şekilde, toprak örnekleri DTPA çözeltisi (0.005 M DTPA + 0.01 M CaCl_2 + 0.1 M TEA, pH 7.30) ile ekstrakte edilmiştir. Toprak : ekstraksiyon çözeltisi oranı 1: 2 olup, çalkalama süresi 2 saattir. Daha sonra karışım 7 cm Whatman 42 filtre kağıdından süzölerek elde edilen süzölkte kadmiyum Grafit Fırınılı Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (GFAAS) ile 228.8 nm dalga boyunda belirlenmiştir.

3.6.2. Bitki analizleri

3.6.2.1. Bitkide kuru madde

Hasat edilen bitki örnekleri sırasıyla musluk suyu, saf su ve deiyonize su ile yıkanıp filtre kağıdı yardımı ile iyice kurutularak havalı kurutma dolabında 65 - 70 °C de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve kuru ağırlıkları alınmiştir (Kacar 1972).

3.6.2.2. Bitki örneklerinin yakılması

Bitki örnekleri Chapman and Pratt (1961) tarafından bildirildiği şekilde 6 ml HNO_3 + HClO_4 asit karışımı ile yaş yakılmış ve 50 ml'lik ölçü balonlarına süzöldükten sonra deiyonize su ile derecesine tamamlanmiştir.

3.6.2.3. Bitki örneklerinin fosfor kapsamı

Bitki örneklerinin fosfor kapsamları, Barton (1948) tarafından bildirildiği şekilde vanadomolibdafosforik asit sarı renk yöntemi ile 430 nm dalga boyuna ayarlı Spektrofotometrede okunarak hesaplanmış ve kuru ağırlıkla çarpılarak sömürölen fosfor miktarları bulunmuştur.

3.6.2.4. Bitki örneklerinin kadmiyum kapsamı

Chapman and Pratt (1961) tarafından bildirildiği şekilde, yaş yakılan bitki örneklerinin kadmiyum kapsamları 228.8 nm dalga boyuna ayarlı Grafit Fırınılı Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi (GFAAS) ile belirlenmiş ve kuru ağırlıkla çarpılarak sömürölen kadmiyum miktarları bulunmuştur.

3.6.3. Gübre analizleri

3.6.3.1. Gübrede fosfor belirlemesi

Kitson and Mellon (1944) tarafından bildirildiği şekilde gübre örneğindeki fosfor miktarı, vanadomolibdofosforik asit sarı renk yöntemi ile 430 nm dalga boyuna ayarlı Spektrofotometrede okunarak % P_2O_5 olarak hesaplanmıştır.

3.6.3.2. Gübrede kadmiyum belirlemesi

Williams and David (1973) tarafından bildirildiği şekilde ekstrakt çözeltisi olarak 0.5 N HCl kullanılmıştır. Bu yöntem gereği 1 g gübre örneği 50 ml, 0.5 N HCl çözeltisinde çözülüp kaynatılmıştır. Bu karışım soğutulduktan sonra 75 ml'ye tamamlanmıştır. Elde edilen süzükteki kadmiyum miktarı 228.8 nm dalga boyuna ayarlı Grafit Fırınlı Atomik Absorbsiyon Spektrofotometre (GFAAS) ile belirlenmiştir.

3.7. İstatistik Analizler

Araştırma sonuçlarının istatistiki analizleri Düzgüneş (1963), Steel and Torrie (1960) ve Beyer (1974)'e göre belirlenmiştir.

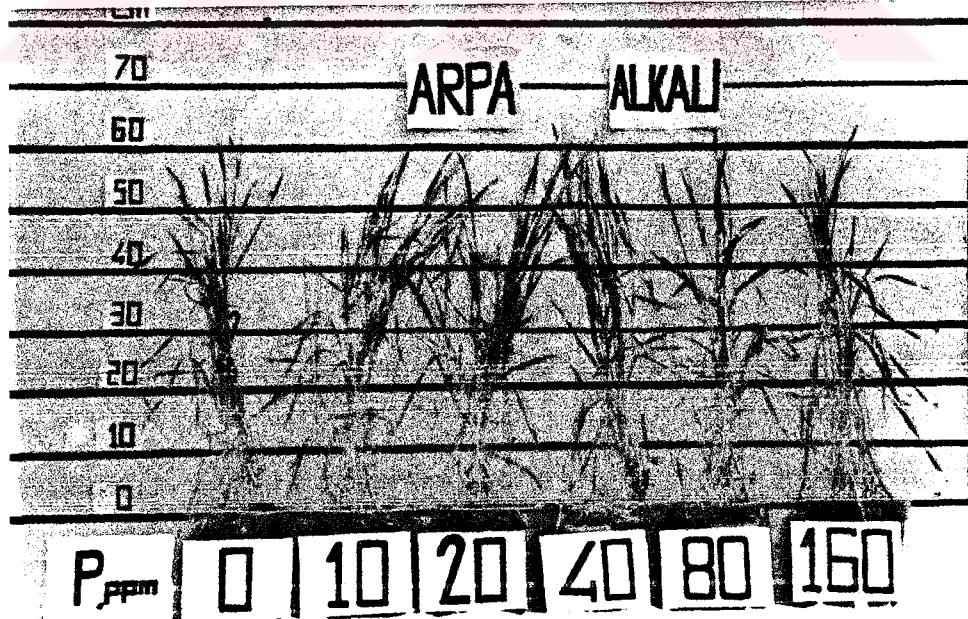
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

4.1. Arpa Bitkisinin Gelişme Durumu

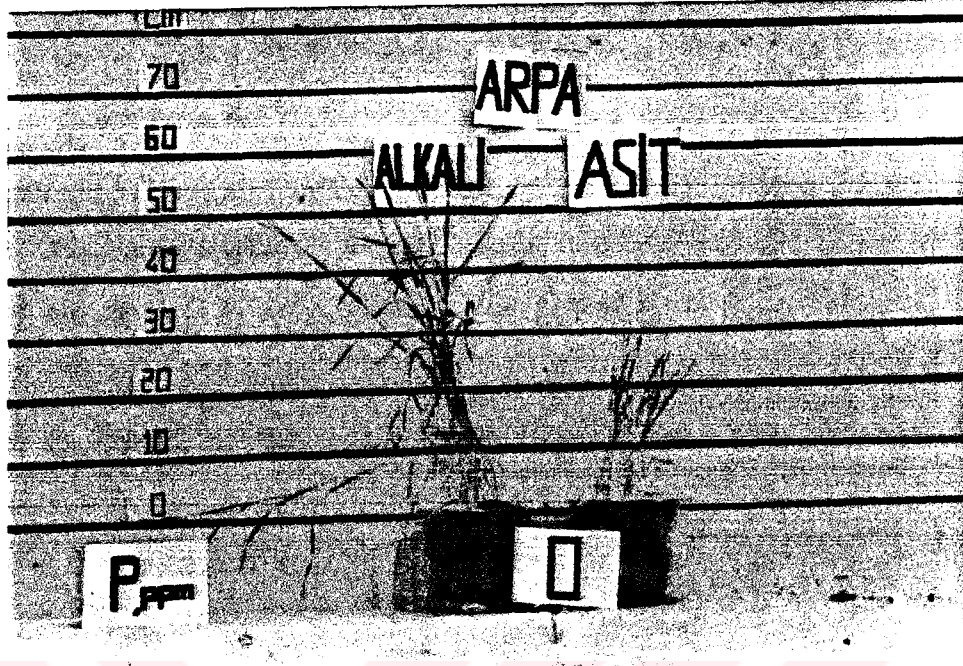
Asit ve alkali topraklarda yetiştirilen arpa bitkisine verilen fosforlu gübrelemenin bitki gelişimine etkisi Şekil 4.1, 4.2, 4.3 ve 4.4'de verilmiştir.



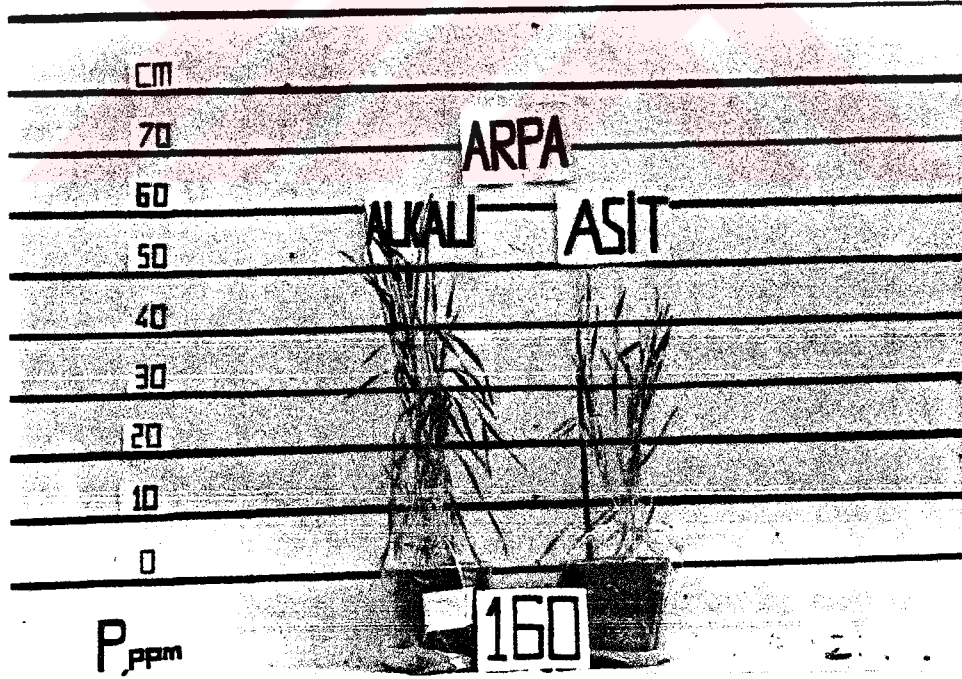
Şekil 4.1. Fosforlu gübrelemenin asit toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine etkisi



Şekil 4.2. Fosforlu gübrelemenin alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine etkisi



Şekil 4.3. Asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimi



Şekil 4.4. Asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin gelişimine 160 ppm P dozunun etkisi

4.1.1. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlığına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlıkları Ek-1 ve 2'de, ortalama değerler ise, Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1 ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.1 ve 4.2'nin birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi fosfor düzeyleri arttıkça bitkilerin sap ve tane kuru ağırlıkları da artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta, artan fosfor düzeylerine bağlı olarak sap kuru ağırlığındaki artış ortalama olarak 1.14 - 1.21 - 1.30 - 1.35 - 1.39 - 1.95 g/saksı ve tane kuru ağırlığında ise 0.24 - 0.30 - 0.31 - 0.38 - 0.52 - 0.58 g/saksı olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında, artan fosfor ile bitki sapında % 6.14 - % 14.04 - % 18.42 - % 21.92 ve % 71.05 oranında kuru ağırlık artışı olmuştur. Tanedeki oransal artışlar ise sırasıyla % 25.00 - % 29.17 - % 58.33 - % 116.67 ve % 141.67 dır (Bkz. Çizelge 4.1).

Alkali reaksiyonlu toprakta ise ; artan fosfor düzeylerine bağlı olarak sap kuru ağırlığındaki artış ortalama olarak 2.23 - 2.33 - 2.58 - 3.16 - 3.54 ve 4.44 g/saksı, tane kuru ağırlığında ise 0.89 - 1.64 - 1.70 - 1.85 - 1.90 ve 2.27 g/saksı bulunmuştur. Kontrol uygulaması ile kıyaslandığında, artan fosfor uygulaması ile bitki sapında % 4.48 - % 15.70 - % 41.70 - % 58.74 ve % 99.10 oranında kuru ağırlık artışı olmuştur. Tanedeki oransal artışlar ise sırasıyla % 84.27 - % 91.01 - % 107.87 - % 113.48 ve % 155.06 dır.

Bu çalışmada alkalın topraklarda yetiştirilen bitkilerden elde edilen sap ve tane kuru ağırlıkları, genel olarak, asit reaksiyonlu topraklarda yetiştirilen bitkilerden daha fazla olup, bu artış sapta 2 kat, tanede ise 4 kata yakın olmuştur.

Toprağa artan düzeylerde katılan fosforlu gübreleme sonucunda arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlığında meydana gelen farklılıkların istatistiki bakımdan önemli olup olmadıkları varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar toplu halde Ek-3'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kuru ağırlıktaki farklılık üzerinde, toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkilerinin (interaksiyonu) istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.1'de verilmiştir. Çizelge 4.1'den de görüleceği gibi, uygulama dozları ve topraklar arasındaki farklar önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi*

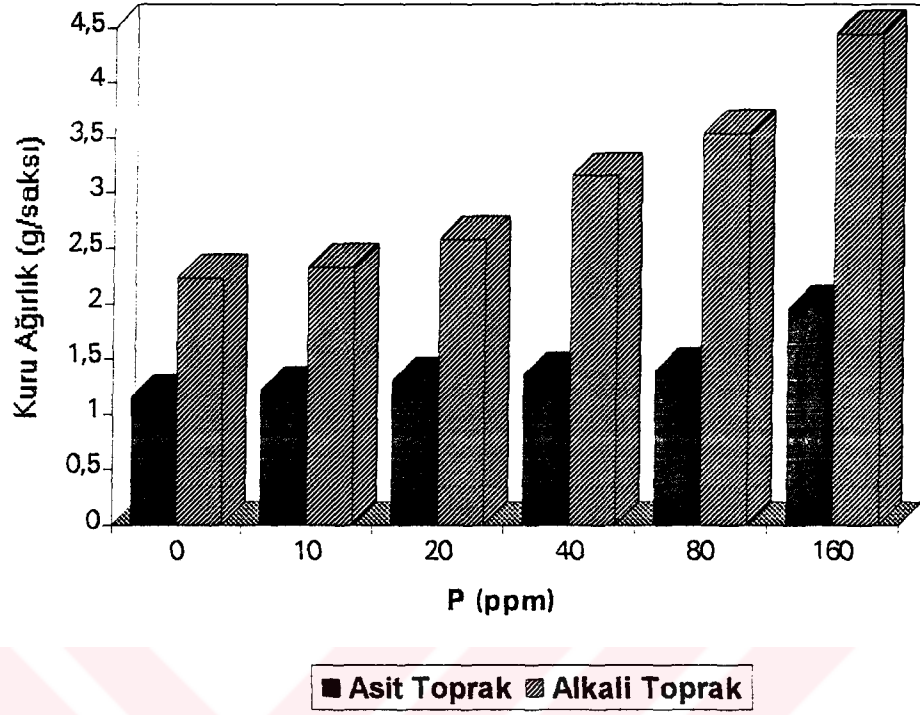
Fosfor (ppm)	Bitki Aksamı	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	SAP	1.14 F**		2.23 DE	
	TANE	0.24 E		0.89 C	
10	SAP	1.21 F	6.14	2.33 DE	4.48
	TANE	0.30 DE	25.00	1.64 B	84.27
20	SAP	1.30 F	14.04	2.58 D	15.70
	TANE	0.31 DE	29.17	1.70 B	91.01
40	SAP	1.35 F	18.42	3.16 C	41.70
	TANE	0.38 DE	58.33	1.85 B	107.87
80	SAP	1.39 F	21.93	3.54 B	58.74
	TANE	0.52 DE	116.67	1.90 B	113.48
160	SAP	1.95 E	71.05	4.44 A	99.10
	TANE	0.58 D	141.67	2.27 A	155.06

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

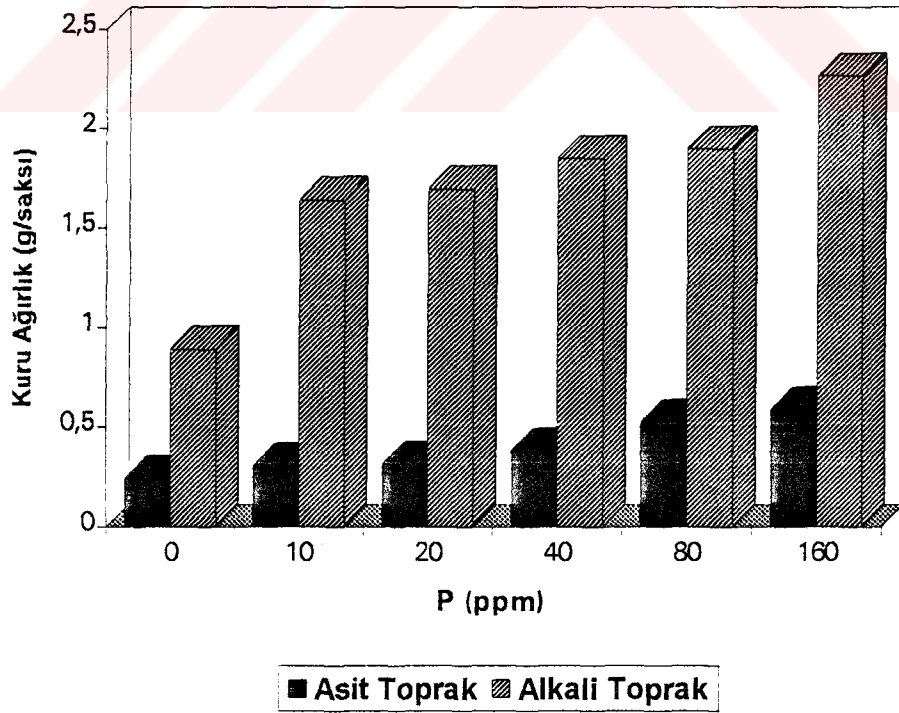
** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

Sap için LSD % 5 = 0.3737

Tane için LSD % 5 = 0.2872



Şekil 4.5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığına etkisi



Şekil 4.6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane kuru ağırlığına etkisi

Ayrıca, araştırmada ele alınan değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler, istatistiki olarak saptanmış ve sonuçlar Ek-4'de toplu olarak gösterilmiştir. Anılan Ek-4'ün incelenmesinden de görüleceği gibi, kriterlerin hemen hemen hepsinde ilişkilerin son derece yüksek ($P < 0.001$) düzeyde önemli olduğu saptanmıştır.

Bu sonuçlara göre, asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.785^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.655^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.925^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.583^{**}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.942^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir. Tane kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.784^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.224$ ö.d.) ve sömürülen fosfor ($r = 0.882^{***}$) arasında ise önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.898^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.911^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.949^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.629^{***}$) ve sömürülen kadmiyum arasında ($r = 0.985^{***}$) önemli pozitif korelasyon bulunmuştur. Tane kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.801^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.407^*$) ve sömürülen fosfor arasında ($r = 0.941^{***}$) yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; Pezzarossa et al (1990)'ın bulgularıyla uyum içinde bulunmakta, Singh (1990) ve He and Singh (1994 a)'ın bulgularıyla uyum içinde bulunmamaktadır.

4.1.2. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tane fosfor kapsamına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane fosfor kapsamı Ek-5 ve 6'da, ortalama değerler ise, Çizelge 4.2'de verilmiştir. Çizelge 4.2 ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.7 ve 4.8'in birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi, fosfor düzeyleri arttıkça sap ve tanenin fosfor kapsamı sürekli olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta, artan fosfor düzeylerine bağlı olarak sap fosfor kapsamındaki artışı ortalama olarak % 0.0549 - 0.0559 - 0.0577 - 0.0823 - 0.0827 - 0.0841 ve tane de ise % 0.2584 - 0.2633 - 0.2887 - 0.2991 - 0.3164 - 0.3662 olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış sapta % 1.82 - 5.10 - 49.91 - 50.64 - 53.19, tane de ise % 1.90 - 11.73 - 15.75 - 22.45 - 41.72 dir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise ; artan fosfor düzeylerine bağlı olarak saptaki P kapsamı sırasıyla % 0.1230 - 0.1247 - 0.1543 - 0.1560 - 0.1975 - 0.3116 ve tane de

ise % 0.4965 - 0.5377 - 0.5494 - 0.5511 - 0.6402 - 0.6445 olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış sapta % 1.38 - 25.45 - 26.83 - 60.57 - 153.33 tanede ise % 8.30 - 10.66 - 11.00 - 28.94 ve 29.81 dir.

Fosfor uygulamasının artmasına bağlı olarak alkali reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tanesindeki fosfor kapsamı, asit toprakta yetiştirilen arpa bitkilerinden daha fazla bulunmuştur. Bu artış 160 ppm P uygulamasında sapta 4 kat, tanede ise 2 kata yakın olmuştur.

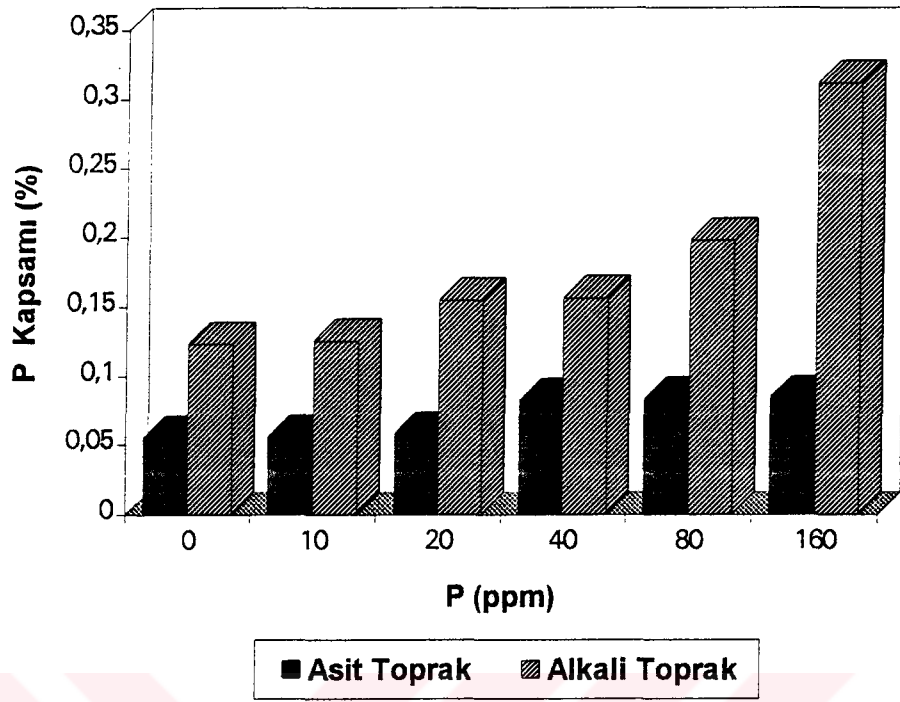
Artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap fosfor kapsamında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelendiğinde, toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin tane fosfor kapsamında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelendiğinde ise toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuş iken toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki açıdan önemli bulunmamıştır (Bkz. Ek-3). Ayrıca ortalama değerler arasındaki farklılığın önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları sap için Çizelge 4.2, tane için ise Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tane fosfor kapsamına (%) etkisi*

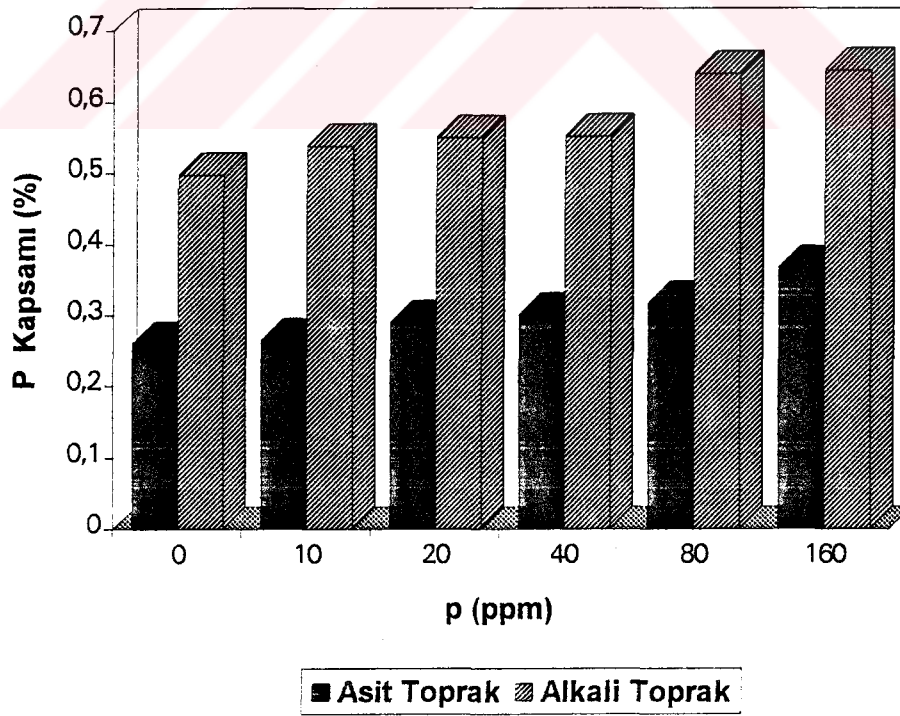
Fosfor (ppm)	Bitki Aksamı	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	SAP TANE	0.0549 0.2584	F**	0.1230 0.4965	D
10	SAP TANE	0.0559 0.2633	F	0.1247 0.5377	D
20	SAP TANE	0.0577 0.2887	F	0.1543 0.5494	C
40	SAP TANE	0.0823 0.2991	E	0.1560 0.5511	C
80	SAP TANE	0.0827 0.3164	E	0.1975 0.6402	B
160	SAP TANE	0.0841 0.3662	E	0.3116 0.6445	A

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir. Sap için LSD % 5 = 0.01897



Şekil 4.7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamına etkisi



Şekil 4.8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa tanesinin fosfor kapsamına etkisi

Çizelge 4.3. Farklı fosfor uygulamalarında arpa tanesinin fosfor kapsamı (%) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması

Fosfor (ppm)	Ortalamlar
0	0.3775 C*
10	0.4005 C
20	0.4191 BC
40	0.4251 BC
80	0.4783 AB
160	0.5053 A

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark
 $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.
 LSD % 5 için 0.06033

Ayrıca Ek-4'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.807^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.655^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.881^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.602^{**}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.696^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon bulunmuştur. Tane fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.620^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.224$ ö.d.) ve sömürülen fosfor ($r = 0.647^{***}$) arasında ise önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.856^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.911^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.986^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.670^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.929^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir. Tane fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.637^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.407^*$) ve sömürülen fosfor ($r = 0.673^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular ; Singh (1990)'ın bulgularıyla benzerlik göstermektedir.

4.1.3. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarları Ek-7 ve 8'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar ise Çizelge 4.4'de ve bu değerlerden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.9 ve 4.10'un birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi fosfor düzeyleri arttıkça arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarları kontrole göre artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak sapın sömürdüğü fosfor miktarı ortalama olarak sırasıyla 0.6260 - 0.6753 - 0.7523 - 1.1108- 1.1472 - 1.6632 mg/saksı, tanede ise 0.6015 - 0.7914 - 0.8977 - 1.1427 - 1.6186 ve 2.0193 mg/saksı olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile bitki sapında % 7.88 - % 20.18 - % 77.44 - % 83.26 - % 165.69 ve tanede ise % 31.57 - % 49.24 - % 89.98 - % 169.09 ve % 235.71 oranında sömürülen fosfor miktarında artış olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise ; artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak sapın sömürdüğü fosfor miktarı ortalama değerler olarak sırasıyla 2.7395 - 2.9131 - 3.9849- 4.9311 - 7.0480 - 13.8956 mg/saksı, tanede ise 4.3720 - 8.7987 - 9.2775 - 10.0983- 12.1886 ve 14.5833 mg/saksı olmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında, artan fosfor ile bitki sapında sırasıyla % 6.34 - % 45.46 - % 80.00 - % 157.27 - % 407.23 ve tanede ise % 101.25 - % 112.20 - % 130.98 - % 178.79 ve % 233.56 oranında sömürülen fosfor miktarında artış olmuştur.

Arpa bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarı denemede ele alınan her iki toprak arasında, tüm düzeylerde önemli ayrıcalıklar göstermiştir. Her iki toprakta yetiştirilen bitkilerin sömürdüğü fosfor miktarları karşılaştırıldığında, alkali toprakta yetiştirilen bitkilerin sömürdüğü fosfor miktarları bütün düzeylerde asit topraktan daha fazla bulunmuştur. Bu artış 160 ppm P uygulamasında sapta 8, tanede ise 7 kat olmuştur.

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübreleme sonucunda arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarında meydana gelen farklılıkların istatistiki bakımdan önemli olup olmadıkları varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar Ek-3'de verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sömürülen fosfor üzerinde, toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi*

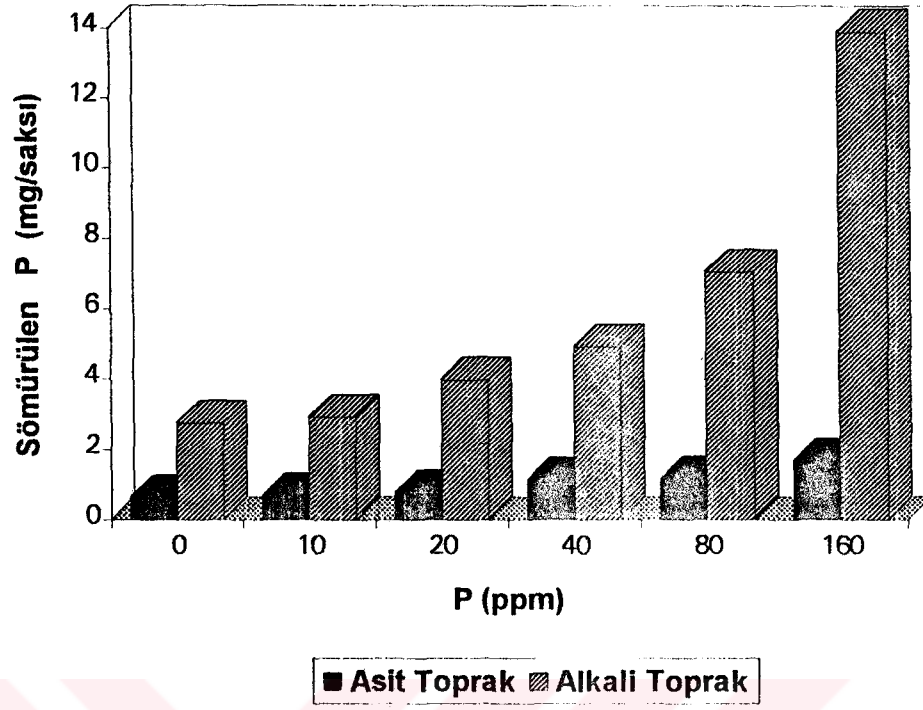
Fosfor (ppm)	Bitki Aksamı	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	SAP	0.6260 F**		2.7395 DE	
	TANE	0.6015 E		4.3720 D	
10	SAP	0.6753 F	7.88	2.9131 DE	6.34
	TANE	0.7914 E	31.57	8.7987 C	101.25
20	SAP	0.7523 F	20.18	3.9849 CD	45.46
	TANE	0.8977 E	49.24	9.2775 C	112.20
40	SAP	1.1108 F	77.44	4.9311 C	80.00
	TANE	1.1427 E	89.88	10.0983 C	130.98
80	SAP	1.1472 F	83.26	7.0480 B	157.27
	TANE	1.6186 E	69.09	12.1886 B	178.79
160	SAP	1.6632 EF	165.69	13.8956 A	407.23
	TANE	2.0193 E	235.71	14.5833 A	233.56

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

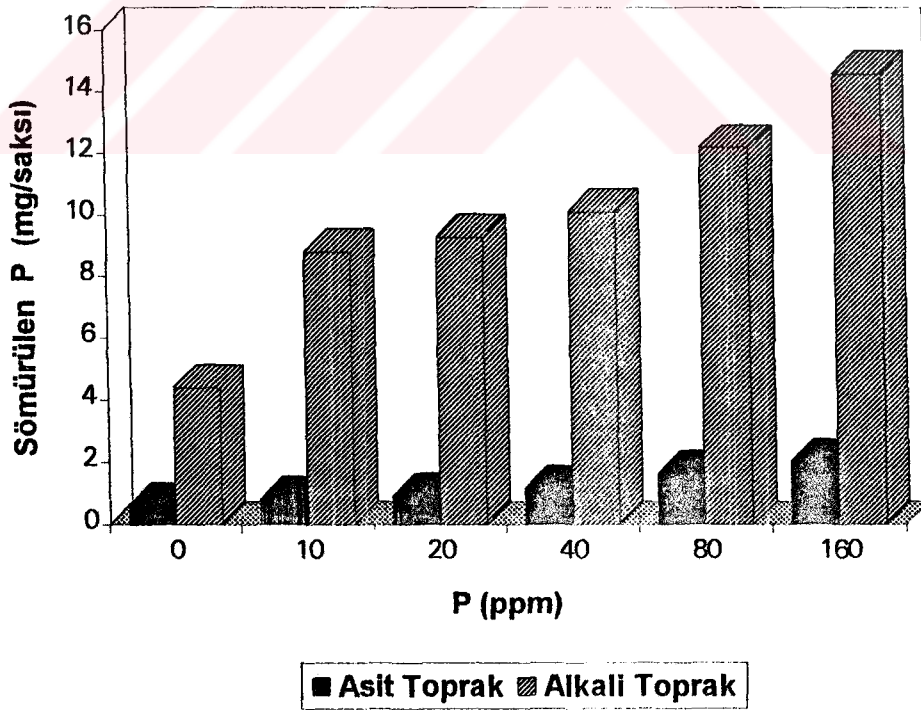
** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

Sap için LSD % 5 = 1.256

Tane için LSD % 5 = 1.610



Şekil 4.9. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü fosfor miktarına etkisi



Şekil 4.10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi

Ayrıca Ek-4'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelenmesinden de görüleceği gibi, asit toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.831^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.925^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.881^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.601^{**}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.894^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon saptanmıştır. Tanenin sömürdüğü fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.901^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.882^{***}$) ve fosfor kapsamı ($r = 0.647^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sapı tarafından sömürülen fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.846^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.949^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.986^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.628^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.951^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir. Tane'de ise sömürülen fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.884^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.941^{***}$) ve fosfor kapsamı ($r = 0.673^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

4.1.4. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin sap ve tanesinin kadmiyum kapsamına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin sap ve tanesinin kadmiyum kapsamlarına etkisini incelemek amacıyla yürütülen bu araştırmada, yapılan analiz sonucu arpa bitkisinin sapında kadmiyum saptanırken tanede kadmiyum bulunmamıştır. Bu nedenle fosforlu gübrelemenin arpa tanesinin kadmiyum kapsamına ve dolayısıyla tanenin sömürdüğü kadmiyuma ait bir değerlendirme yapılmamıştır. Arpa bitkisinin sapına ilişkin kadmiyum kapsamları Ek-9'da verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar ise Çizelge 4.5'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.11'de verilmiştir. Çizelge 4.5 ve Şekil 4.11'in birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi arpa sapının kadmiyum kapsamı fosfor uygulamalarına bağlı olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor düzeylerine bağlı olarak arpa sapının kadmiyum kapsamı, 0-10-20-40-80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama değerler olarak 0.1049 - 0.1059 - 0.1346 - 0.1387 - 0.1403 ve 0.1452 ppm olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile bitki sapında % 0.95 - % 28.31 - % 32.22 - % 33.75 ve % 38.42 oranında kadmiyum artışı olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, artan fosfor düzeylerine bağlı olarak arpa sapının kadmiyum kapsamı ortalama değerler olarak 0.1015 - 0.1137 - 0.1152 - 0.1159 - 0.1191 ve 0.1235 ppm olarak belirlenmiştir. Bu değerler, kontrol uygulaması

ile kıyaslandığında artan fosfor ile bitki sapında % 12.02 - % 13.50 - % 14.19 - % 17.34 ve % 21.68 oranında kadmiyum artışı olmuştur.

Bu çalışmada, her iki toprakta yetiştirilen arpa bitkilerinin sap kuru ağırlığı, sap fosfor kapsamı ve sömürülen fosforun artmasıyla kadmiyum kapsamının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, asit toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı 10 ppm P hariç bütün düzeylerde alkali toprakta yetiştirilen bitkilerden daha fazla olmuştur. Bunun asıl nedeninin toprak pH'sı olduğu, yani toprak pH'sının artmasıyla topraktan kadmiyum alımının azaldığı ve toprak pH'sının düşmesiyle bitkiler tarafından kadmiyum alımının arttığını söyleyebilir. Bununla birlikte bitkilerin kadmiyum kapsamının artmasına karşın, bitkilerde fizyolojik etki yapmadığı gibi, bitkilerin gelişiminde de ters bir etki gözlenmemiştir.

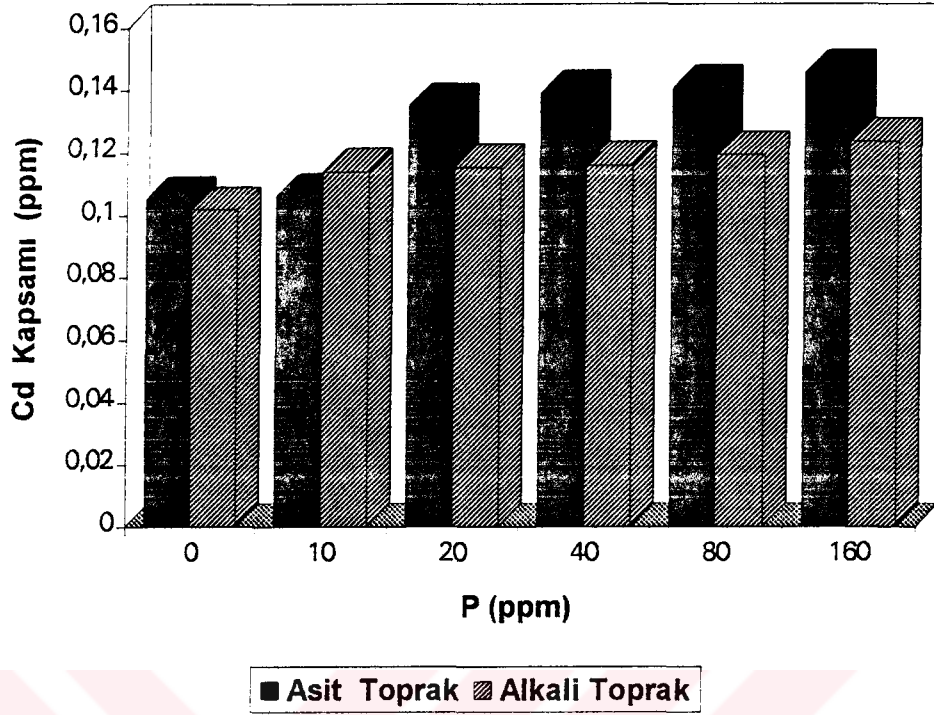
Çizelge 4.5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum kapsamına (ppm) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.1049 EF*		0.1015 F	
10	0.1059 DEF	0.95	0.1137 CDE	12.02
20	0.1346 B	28.31	0.1152 CDE	13.50
40	0.1387 AB	32.22	0.1159 CD	14.19
80	0.1403 AB	33.75	0.1191 C	17.34
160	0.1452 A	38.42	0.1235 C	21.68

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD % = 0.0105



Şekil 4.11. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum kapsamına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübreleme sonucunda arpa sapının kadmiyum kapsamında ortaya çıkan farklılıkların istatistiki açıdan önemli olup olmadıkları varyans analizi ile araştırılmıştır. Ek-10'da toplu halde verilen varyans analiz sonuçları incelendiğinde, kadmiyum kapsamındaki farklılık üzerinde toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki açıdan % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.5'de verilmiştir. Anılan çizelgenin incelenmesinden de görüleceği gibi en fazla kadmiyum kapsamı 160 ppm P uygulanarak asit toprakta yetiştirilen bitkilerde, en az ise P_0 (kontrol) düzeyinde alkali toprakta yetiştirilen bitkilerde saptanmıştır.

Ayrıca, Ek-11'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi, asit toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sapındaki kadmiyum kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.830^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.583^{**}$), fosfor kapsamı ($r = 0.602^{**}$), sömürülen fosfor ($r = 0.601^{**}$), sömürülen kadmiyum ($r = 0.815^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.633^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.318$ Ö.d) arasında önemli pozitif korelasyon saptanmıştır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen arpa bitkisinin sapındaki kadmiyum kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.755^{***}$), kuru ağırlığı

($r = 0.629^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.676^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.628^{***}$), sömürülen kadmiyum ($r = 0.747^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.689^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.721^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; John (1972), Mula et al (1980), Sparrow et al (1993)'in bulgularıyla benzerlik göstermekte ve Williams and David (1973, 1976) Giordano et al (1970), Anderson and Hahlin (1981), Lepp (1981), Mortvedt et al (1981), Page et al (1981), Smilde and Luit (1983), Chang (1984), Pezzarossa et al (1990), Singh (1990), Anderson and Simon (1991), He and Singh (1994 a, b), Li et al (1994)'in bulgularıyla uyum içindedir. Denemeden elde edilen sonuçlara göre, asit ve alkali toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı Chang et al (1979) ve Valims and Williams (1980) tarafından belirtilen sınır değerleri ile karşılaştırıldığında bu değerlerin üstüne çıktığı, ancak Allaway (1968), Grossman and Egles (1975), Munshower (1977) ve Leeper (1978) tarafından belirtilen sınır değerlerinin altında kaldığı saptanmıştır.

4.1.5. Fosforlu gübrelemenin arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre katılarak yetiştirilen arpa bitkisinin sömürdüğü (sap) kadmiyum miktarları Ek-12'de, ortalama değerler ise Çizelge 4.6'da verilmiştir. Çizelge 4.6 ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.12'nin birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarı belirgin bir şekilde artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta, artan fosfor düzeylerine bağlı olarak arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.1202 - 0.1284 - 0.1745 - 0.1873 - 0.1943 ve 0.2826 µg/saksı bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile bitki sapında % 6.82 - % 45.18 - % 55.82 - % 61.65 ve % 135.11 oranında sömürülen kadmiyum da artış gerçekleşmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise , artan fosfor düzeylerine bağlı olarak arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.2262 - 0.2647 - 0.2969 - 0.3666 - 0.4223 ve 0.5472 µg/saksı bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile bitki sapında % 17.02 - % 31.26 - % 62.07 - % 86.69 ve % 141.91 oranında sömürülen kadmiyum da artış olmuştur.

Bu çalışmada alkalın topraklarda yetiştirilen bitkilerin (sap) sömürdükleri kadmiyum miktarları, genel olarak asit reaksiyonlu topraklarda yetiştirilen bitkilerden yaklaşık olarak 2 kat daha fazla olmuştur. Bunun nedeni olarakta alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinden elde edilen kuru madde miktarlarının asit topraktan elde edilen kuru madde miktarından fazla olduğunu söylemek mümkündür. Bunun sonucu olarakta bitkiler tarafından sömürülen kadmiyumun yüksek olduğu ortaya çıkmaktadır.

Burada önemli olan nokta, artan fosfor düzeyleri ile kuru ağırlıktaki artışa ve sömürülen fosfora bağlı olarak bitkilerin sömürdükleri kadmiyum miktarı da artmıştır.

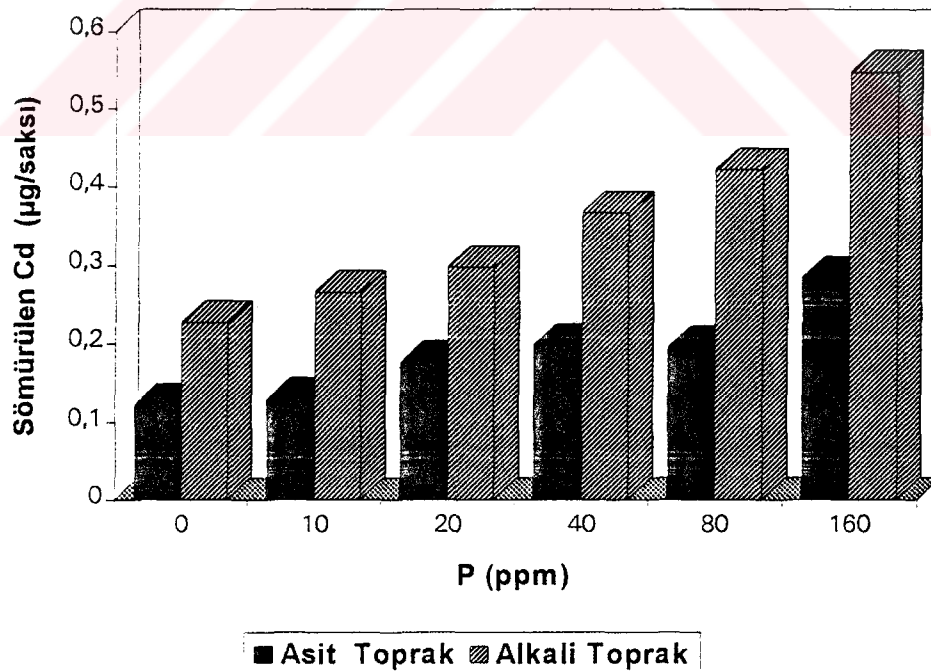
Çizelge 4.6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına ($\mu\text{g/saksı}$) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.1202 I**		0.2262 EF	
10	0.1284 HI	6.82	0.2647 DE	17.02
20	0.1745 GH	45.18	0.2969 D	31.26
40	0.1873 FG	55.82	0.3666 C	62.07
80	0.1943 FG	61.65	0.4223 B	86.69
160	0.2826 D	135.11	0.5472 A	141.91

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD : % 5 = 0.05019



Şekil 4.12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübreleme sonucunda arpa sapının sömürdüğü kadmiyum miktarında meydana gelen farklılıkların istatistiki bakımdan önemli olup olmadıkları varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar Ek-10'da gösterilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, sömürülen kadmiyumdaki farklılık üzerinde toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Ayrıca ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncen testi sonuçları Çizelge 4.6'da verilmiştir. Anılan çizelgeden de görüleceği gibi uygulama dozları ve topraklar arasındaki farklar önemli bulunmuştur.

Bu araştırmada ele alınan değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler istatistiki olarak saptanmış ve toplu olarak Ek-11'de verilen sonuçların incelenmesinden de görüleceği gibi, asit toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sömürdüğü (sap) kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.879^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.942^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.696^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.894^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.815^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.898^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum arasında ($r = 0.548^{**}$) önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen arpa bitkisinin sömürdüğü (sap) kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.917^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.985^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.929^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.951^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.747^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.914^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.846^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular ; Williams and David (1973), Chaney et al (1982), Mortvedt (1987), Erikson (1989), Anderson and Simon (1991), Xue and Harrison (1991), IPCS (1992), Chaney et al (1993), Sparrow et al (1993) ve Li et al (1994)'ün bulgularına benzerlik göstermekte ve Reuss et al (1978), Smilde and Luit (1983), Pezzarossa et al (1990), He and Singh (1994 b)'un bulgularıyla uyum içindedir.

4.1.6. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra, saksılardan alınan toprak örneklerinde kalan fosfor miktarları belirlenerek Ek-13'de, bu değerlere ait ortalamalar ise Çizelge 4.7'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.13'ün birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi fosfor düzeyleri arttıkça arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışlı fosfor miktarları artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağı olarak arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışı fosfor miktarları 0 - 10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama olarak 14.03 - 18.27 - 18.95 - 23.64 - 31.91 ve 54.05 ppm olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 30.22 - % 35.07 - % 68.50 - % 127.44 ve % 285.25 olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise ; artan fosfor düzeylerine bağı olarak arpa hasadından sonra toprakta kalan yarayışı fosfor miktarları ortalama olarak 5.60 - 9.02 - 12.46 - 15.01 - 26.71 ve 37.52 ppm olmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 61.07 - % 122.50 - % 168.04 - % 376.96 ve % 670.00 dir.

Denemede ele alınan her iki toprakta hasat sonrası kalan fosfor miktarları arasında farklılık gözlenmektedir. Nitekim 160 ppm P uygulamasında asit toprakta kalan yarayışı fosfor miktarı 54.05 ppm iken alkali toprakta bu değer 37.52 ppm dir. Bu farklılığı tüm düzeylerde görmek mümkün olup, asit toprakta kalan fosfor miktarları alkali toprakta kalan fosfor miktarlarından daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarakta orjinal asit toprağın yarayışı fosfor kapsamının alkali topraktan yüksek oluşu ve asit toprağa oranla alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarının fazla olduğunu söyleyebiliriz. Ayrıca alkali toprağın yüksek kireç kapsamı nedeniyle, topraktaki fosfor bağlanmakta ve sonuçta daha az yarayışı formda bulunmaktadır.

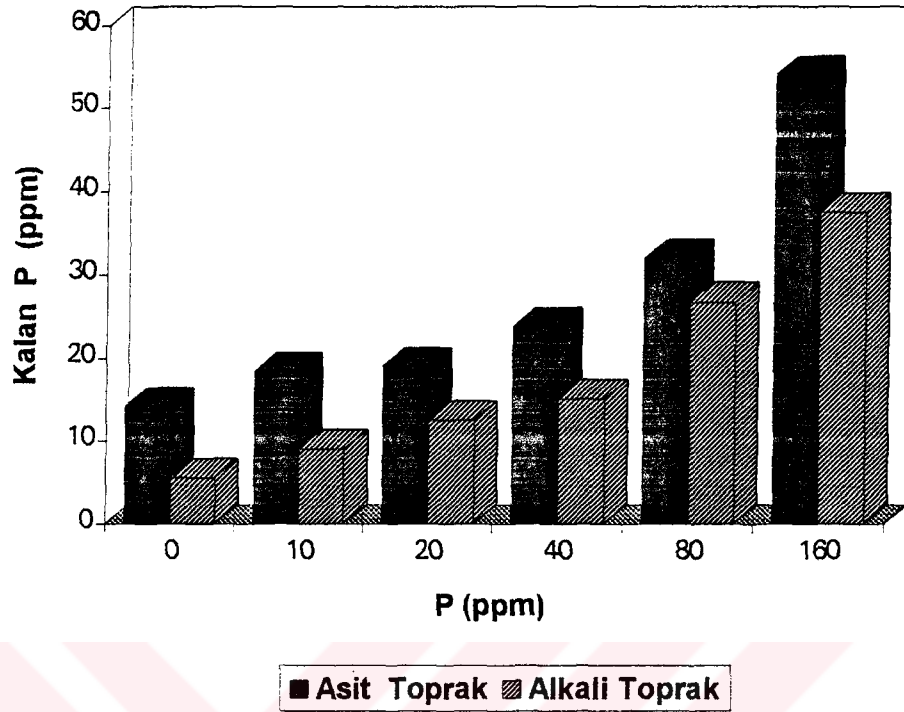
Çizelge 4.7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışı fosfor miktarına (ppm) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	14.03 GH**		5.60 J	
10	18.27 F	30.22	9.02 I	61.07
20	18.95 F	35.07	12.46 H	122.50
40	23.64 E	68.50	15.01 G	168.04
80	31.91 C	127.44	26.71 D	376.96
160	54.05 A	285.25	37.52 B	670.00

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD : % 5 için = 2.113



Şekil 4.13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştiren arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarıyışlı fosfor miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelenmiş ve sonuçlar Ek-10'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.7'de verilmiştir. Çizelge 4.7'nin incelenmesinden de görüleceği gibi uygulama dozların ve topraklar arasındaki farklar önemli bulunmuştur.

Ek-11'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinde de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.889^{***}$), bitkinin (sap) kadmiyum kapsamı ($r = 0.633^{***}$), bitkinin (sap) sömürdüğü kadmiyum ($r = 0.898^{***}$) ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.682^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.948^{***}$) bitkinin (sap) kadmiyum kapsamı ($r = 0.689^{***}$), bitkinin (sap) sömürdüğü kadmiyum ($r = 0.914^{***}$)

ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.846^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

4.1.7. Fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra, saksılardan alınan toprak örneklerinde kalan kadmiyum (Cd) miktarları belirlenerek Ek-14'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.8 ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.14'ün birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarı artan fosfor uygulamalarıyla düzensiz olmakla birlikte artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd) miktarları, 0 -10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama değerler olarak 1.83 - 1.80 - 1.75 - 1.88 - 1.98 ve 2.46 ppb olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında % - 1.64 - % - 4.37 - % 2.73 - % 8.20 ve % 34.43 olmaktadır. Görüldüğü gibi artan fosfor uygulamalarında 10 ve 20 ppm P uygulamasında kontrole oranla bir düşüş olmuş ve daha sonra artan fosfor düzeylerine bağlı olarak artmıştır. 160 ppm P uygulamasında ise kontrol uygulaması ile kıyaslandığında % 34 oranında artış saptanmıştır.

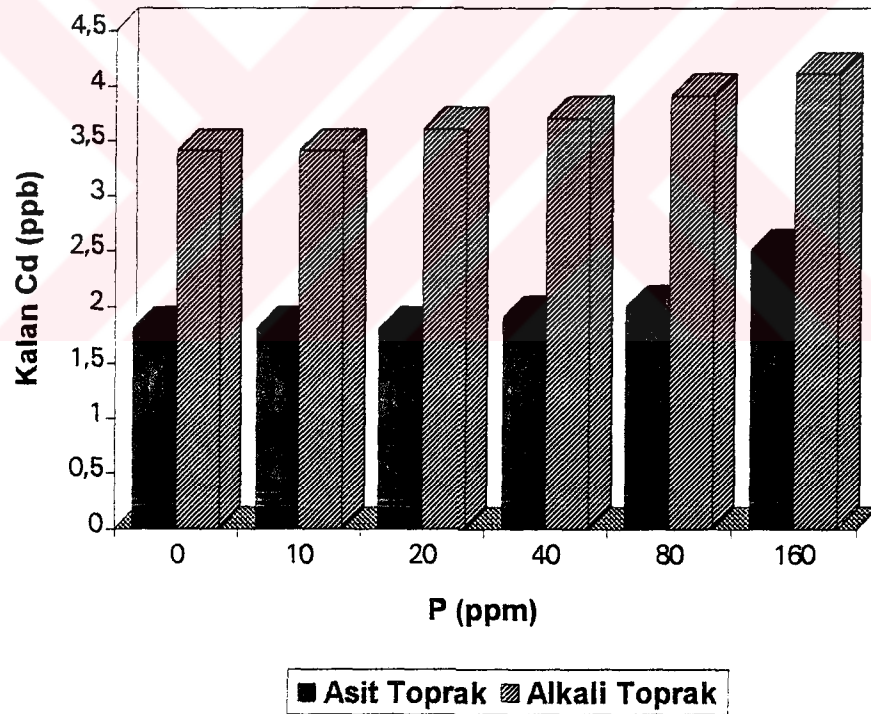
Alkali reaksiyonlu toprakta ise, artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarları 0 - 10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama değerler olarak 3.38 - 3.40 - 3.58 - 3.65 - 3.88 ve 4.08 ppb olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 0.59 - % 5.92 - % 7.99 - % 14.79 ve % 20.71 olmuştur. Görüldüğü gibi artan fosfor uygulamalarıyla alkali toprakta kalan kadmiyum miktarı artmış ve 160 ppm P uygulamasında kontrol uygulaması ile kıyaslandığında % 20 oranında artış olmuştur.

Denemede ele alınan asit ve alkali reaksiyonlu toprakta hasat sonrası kalan kadmiyum miktarları arasında farklılık bulunmuştur. Kontrole oranla 160 ppm P uygulamasında asit toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarı alkali toprakta kalan kadmiyum miktarından fazla olmuştur. Burada önemli bir diğer nokta da genellikle hasat sonrası alkali toprakta kalan kadmiyum miktarı, asit topraktan fazla olmuştur. Burada en önemli etkenin orjinal alkali toprağın kadmiyum kapsamının orjinal asit topraktan daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.

Çizelge 4.8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	1.83		3.38	
10	1.80	-1.64	3.40	0.59
20	1.75	- 4.37	3.58	5.92
40	1.88	2.73	3.65	7.99
80	1.98	8.20	3.88	14.79
160	2.46	34.43	4.08	20.71

*Değerler 4 paralel ortalamasıdır.



Şekil 4.14. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar Ek-10'da toplu halde verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı olan etkileri istatistik olarak % 0.1 düzeyinde önemli olduğu saptanmıştır. Ancak toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistik bakımından önemli bulunmamıştır. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.9'da verilmiştir. Çizelgeden de görüleceği gibi 160 ppm P uygulaması ile diğer bütün düzeyler arasındaki fark önemli bulunmuştur.

Çizelge 4.9. Farklı fosfor uygulamalarında arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum miktarı (ppb) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması

Fosfor (ppm)	Ortalamlar	
0	2.60	C*
10	2.60	C
20	2.66	C
40	2.76	BC
80	2.93	B
160	3.27	A

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.
LSD % 5 için 0.2226

Ek- 11'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.571^{**}$), bitkinin (sap) kadmiyum kapsamı ($r = 0.318$ ö.d), bitkinin (sap) sömürdüğü kadmiyum ($r = 0.548^{**}$) ve hasat sonrası toprakta kalan fosfor ($r = 0.682^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.837^{***}$), bitkinin (sap) kadmiyum kapsamı ($r = 0.721^{***}$), bitkinin (sap) sömürdüğü kadmiyum ($r = 0.846^{***}$) ve hasat sonrası toprakta kalan fosfor ($r = 0.846^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; John (1971), Hansen and Tjell (1983), Smilde and Luit (1983), Rothbaum et al fosforlu gübreleme sonucu toprakta kadmiyum biriktiğini ve bu çalışmaya benzerlik gösterdiğini ayrıca, Mortvedt (1987), Pezzarossa et al (1990), Anderson and Simon (1991), He and Singh (1994 b), Li et al (1994), ın bulgularıyla uyum içindedir. Denemeden elde edilen sonuçlara göre, asit ve alkali toprakta kalan kadmiyum miktarları Allaway (1968) tarafından belirtilen sınır değerin üstüne çıktığı, ancak Smith (1991) tarafından belirtilen sınır değerlerinin ise altında kaldığı saptanmıştır.



4.2. Marul Bitkisinin Gelişme Durumu

4.2.1. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin kuru ağırlığına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlıkları Ek-15'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.10'da ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.15'in birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin kuru ağırlıkları artan fosfor düzeylerine bağlı olarak sürekli olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak marul bitkisinin kuru ağırlığındaki artış ortalama olarak 0.14 - 0.15 - 0.17 - 0.24 - 0.33 ve 1.41 g/saksı olmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile % 7.14 - % 21.43 - % 71.43 - % 135.71 ve % 907.14 oranında kuru ağırlık artışı olmuştur. Görüldüğü gibi 160 ppm P uygulamasında kontrolün 9 katından fazla artış sağlanmıştır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise; artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak marul bitkisinin kuru ağırlıkları ortalama değerler olarak 0.09 - 0.60 - 0.76 - 1.31 - 1.77 ve 1.80 g/saksı olmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyasladığımızda artan fosfor ile % 566.67 - % 744.44 - % 1355.56 - % 1866.67 ve % 1900 oranında kuru ağırlık artışı olmuştur. Artan fosfor uygulamasıyla alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlıklarının arttığı ve bu artışın 160 ppm P uygulamasında kontrolün 19 katına yakın bir değere ulaştığı görülmektedir.

Denemede ele alınan her iki toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlıkları arasında farklılık gözlenmektedir. Bu farklılık toprakların orijin olarak fosfor kapsamı ile ilgili olabilir. Bu nedenle asit toprağın kontrolünden elde edilen kuru ağırlık 0.14 g/saksı iken bu değer alkali toprakta 0.09 g/saksıdır. Ancak fosfor uygulamasının başlamasıyla alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlıkları hızla artmış ve asit toprağın 160 ppm P düzeyinde elde edilen kuru ağırlığa alkali toprakta 40 ppm P düzeyinde ulaşılmıştır.

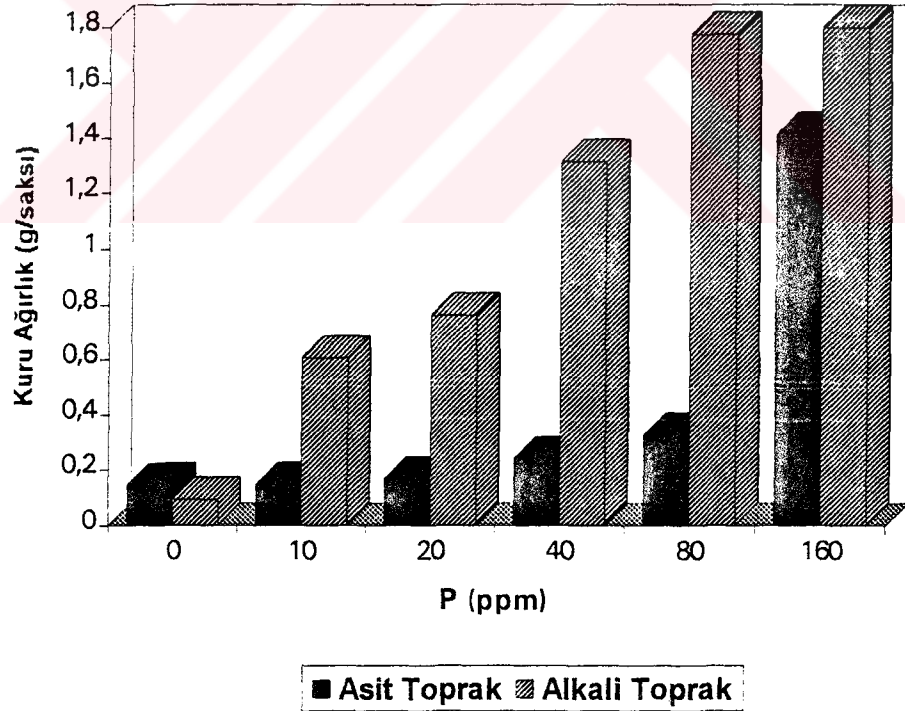
Çizelge 4.10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.14 F**		0.09 F	
10	0.15 F	7.14	0.60 D	566.67
20	0.17 F	21.43	0.76 C	744.44
40	0.24 EF	71.43	1.31 B	1355.56
80	0.33 E	135.71	1.77 A	1866.67
160	1.41 B	907.14	1.80 A	1900.00

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD % 5 için = 0.1511



Şekil 4.15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin sonucu olarak marul bitkisinin kuru ağırlığında meydana gelen farklılıkların istatistiki açıdan önemli olup olmadıkları varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar toplu olarak Ek-16'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, kuru ağırlıktaki farklılık üzerine, toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki açıdan % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir. Anılan çizelgenin incelenmesinden de görüleceği gibi uygulama dozları ve topraklar arasındaki farklar önemli bulunmuştur. Yine aynı çizelgeden görüldüğü gibi asit toprağın 160 ppm P uygulaması ile alkali toprağın 40 ppm P uygulaması sonucu elde edilen kuru ağırlık arasında istatistiki olarak önemli bulunmamıştır.

Ayrıca, araştırmada ele alınan değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler istatistiki olarak saptanmış ve sonuçlar Ek-17'de toplu halde verilmiştir. Anılan Ek'in incelenmesinden de görüleceği üzere, kriterlerin hepsinde $P < 0.001$ düzeyinde önemli ilişkiler saptanmıştır.

Bu sonuçlara göre, asit toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.738^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.819^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.1000^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.737^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.999^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.967^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.713^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.946^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.839^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.971^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Bu bulgular ; Pezzarossa et al (1990)'ın bulgularıyla uyum içinde bulunmakta, fakat Singh (1990) ve He and Singh (1974 a)'ın bulguları ile uyum içinde bulunmamaktadır.

4.2.2. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin fosfor kapsamına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamı Ek-18'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.11'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.16'nın birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin fosfor kapsamı artan fosfor düzeylerine bağlı olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor düzeylerine bağlı olarak, ortalama değerler olarak marul bitkisinin fosfor kapsamı % 0.2450 - 0.2515 - 0.2807 - 0.2882

- 0.2885 ve 0.3442 olarak bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 2.65 - % 14.57 - % 17.23 - % 17.76 ve % 40.49 olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise; artan fosfor düzeylerine bağlı olarak, ortalama değerler olarak marul bitkisinin fosfor kapsamı % 0.3134 - 0.3174 - 0.3442 - 0.3648 - 0.3816 ve 0.5551 olmuştur. Oransal olarak ise kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 1.28 - % 9.83 - % 16.40 - % 21.76 ve % 77.12 dir.

Denemede ele alınan asit ve alkali reaksiyonlu toprakları karşılaştırdığımızda bütün düzeylerde alkali toprakta yetiştirilen marul bitkilerinin fosfor kapsamı asit topraktan fazla bulunmuştur. 160 ppm P uygulanarak asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamlarında sırasıyla % 40.49 ve % 77.12 oranında artış bulunmuştur.

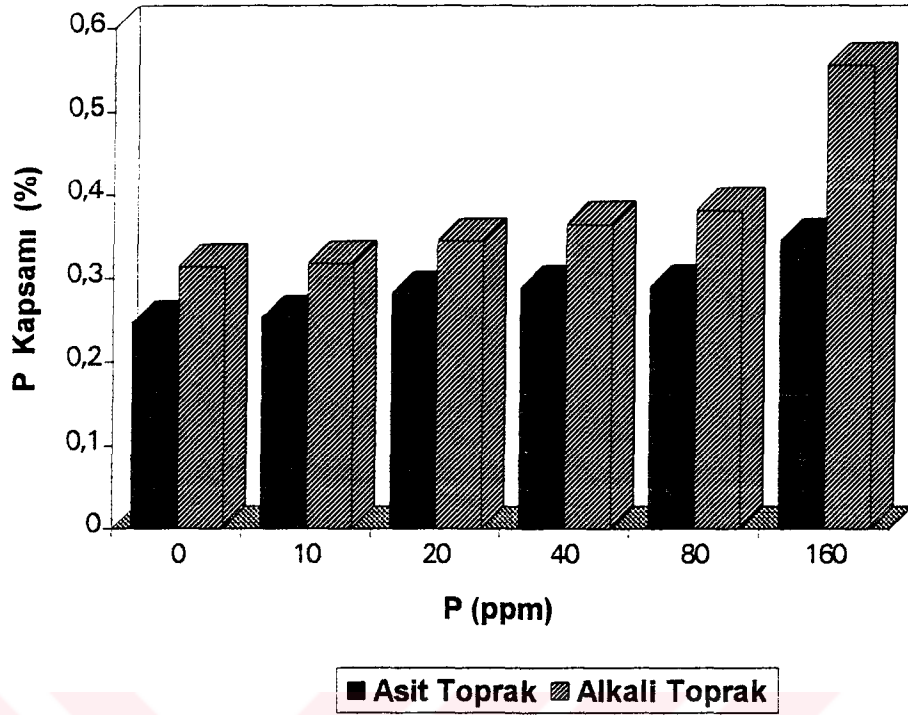
Çizelge 4.11. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına (%) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.2450 H**		0.3134 DE	
10	0.2515 GH	2.65	0.3174 DE	1.28
20	0.2807 FG	14.57	0.3442 CD	9.83
40	0.2872 EF	17.23	0.3648 BC	16.40
80	0.2885 EF	17.76	0.3816 B	21.76
160	0.3442 CD	40.49	0.5551 A	77.12

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD % 5 için = 0.03213



Şekil 4.16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına etkisi

Artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin fosfor kapsamında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile araştırılmış ve sonuçlar Ek-16'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Ek- 17'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.857^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.819^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.826^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.816^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.822^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon saptanmıştır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.811^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.713^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.894^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.868^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.827^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; Singh (1990) tarafından belirtilen bulgularla uyum içindedir.

4.2.3. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü fosfora etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarları Ek-19'da verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar ise Çizelge 4.12'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.17'nin birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi artan fosfor düzeylerinde marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarı, her iki toprakta bütün düzeylerde artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta fosfor uygulamalarının artmasıyla ortalama olarak sömürülen fosfor miktarları 0.3517 - 0.3733 - 0.4572 - 0.6909 - 0.9337 ve 4.8468 mg/saksı olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile sırasıyla % 6.14 - % 30.00 - % 96.45 - % 165.48 ve % 1278.11 oranında sömürülen fosforda artış olmuştur. Görüldüğü gibi asit topraktan sömürülen fosfor miktarı 160 ppm P uygulamasında kontrolün hemen hemen 13 katı artış sağlanmıştır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, fosfor uygulamalarının artmasıyla ortalama olarak sömürülen fosfor miktarları 0.2903 - 1.9276 - 2.6111 - 4.7932 - 6.7650 - 9.9752 mg/saksı olarak bulunmuştur. Elde edilen değerler kontrol ile kıyaslandığında artan fosfor ile sırasıyla % 564.00 - % 799.45 - % 1551.12 - % 2230.35 ve % 3336.17 oranında artış bulunmuştur. Görüldüğü gibi topraktan sömürülen fosfor miktarı 160 ppm P uygulamasında kontrolün 33 katı artış sağlanmıştır.

Denemede ele alınan asit ve alkali reaksiyonlu topraklar karşılaştırdığında, alkali toprakta yetiştirilen marul bitkilerinin sömürdüğü fosfor, kontrol hariç bütün düzeylerden de asit toprakta yetiştirilen bitkilerden fazla bulunmuştur. Bu artış 160 ppm P uygulamasında alkali toprakta asit toprağın 2'i katı olmuştur.

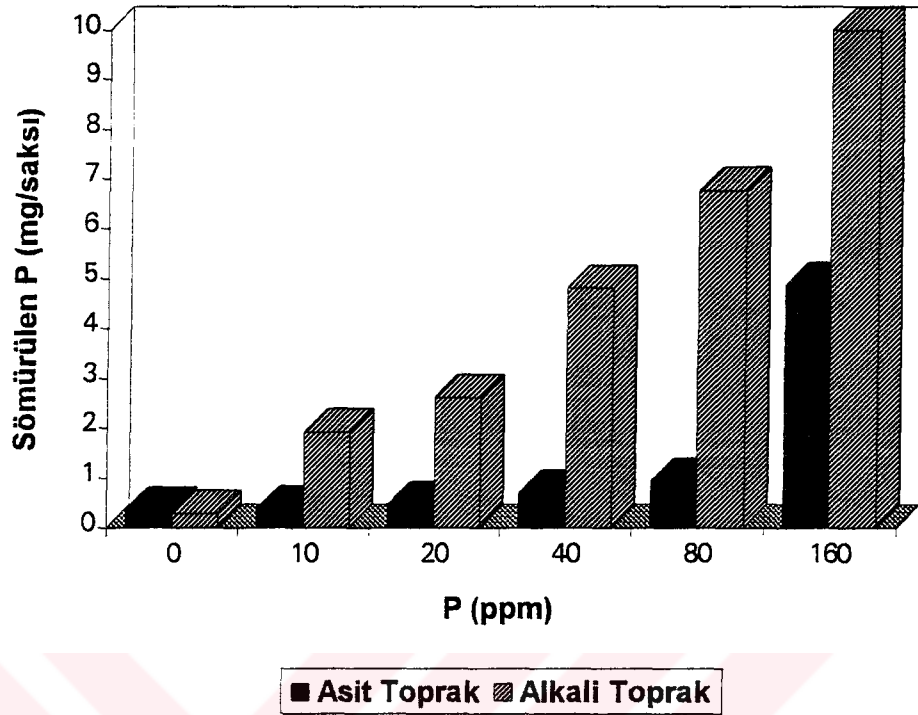
Çizelge 4.12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.3517 F**		0.2903 F	
10	0.3733 F	6.14	1.9276 E	564.00
20	0.4572 F	30.00	2.6111 D	799.45
40	0.6909 F	96.45	4.7932 C	1551.12
80	0.9337 F	165.48	6.7650 B	2230.35
160	4.8468 C	1278.11	9.9752 A	3336.17

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır.

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.

LSD % 5 için = 0.6603



Şekil 4.17. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelenmiş ve sonuçlar Ek-16'da verilmiştir. Varyans sonuçlarına göre toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri istatistiki bakımdan % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.12'de verilmiştir.

Bu araştırmada ele alınan değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler istatistiki olarak saptanmış ve toplu olarak Ek-17'de verilen sonuçlara göre, asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.731^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 1.000^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.826^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.732^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.999^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.969^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.946^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.894^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.921^{***}$) ve sömürülen kadmiyum ($r = 0.986^{***}$) arasında yine önemli derecede pozitif korelasyon saptanmıştır.

4.2.4. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin kadmiyum kapsamına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamlarına etkisini incelemek amacıyla yürütülen bu araştırmada, marul bitkisinin kadmiyum kapsamına ilişkin değerler Ek-20'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.13'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.18'in birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin kadmiyum kapsamı artan fosfor düzeylerine bağlı olarak sürekli artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta fosfor uygulamalarının artmasına bağlı olarak marul bitkisinin kadmiyum kapsamları ortalama 0.5542 - 0.6059 - 0.6581 - 0.7284 - 0.7442 ve 0.8477 ppm olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile % 9.33 - % 18.75 - % 31.43 - % 34.28 - % 52.96 oranında kadmiyum kapsamında artış olmuştur.

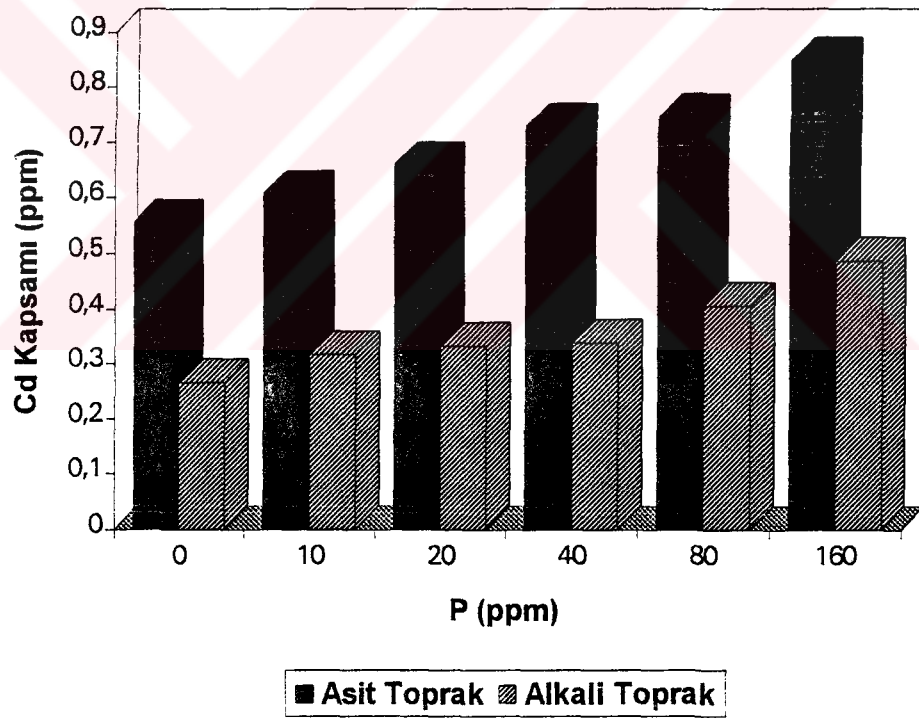
Alkali reaksiyonlu toprakta ise; fosfor uygulamalarının artmasıyla ortalama olarak kadmiyum kapsamları 0.2661 - 0.3165 - 0.3312 - 0.3370 - 0.4048 ve 0.4862 ppm olarak bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile % 18.94 - % 24.47 - % 26.64 - % 52.12 ve % 82.71 oranında kadmiyum kapsamında artış olmuştur.

Bu çalışmada bitkilerin kuru ağırlıkları, fosfor kapsamları ve sömürülen fosforun artmasıyla bitkilerin kadmiyum kapsamlarının arttığı belirlenmiştir. Ayrıca, asit toprakta yetiştirilen marul bitkilerinin kadmiyum kapsamları bütün düzeylerde alkali toprakta yetiştirilen bitkilerden daha fazla bulunmuştur. Bunun asıl nedeninin toprak pH'sı olduğu, yani toprak pH'sının artmasıyla topraktan kadmiyum alımının azaldığı ve toprak pH'sının düşmesiyle bitkiler tarafından kadmiyum alımının arttığını söyleyebiliriz. Bununla birlikte bitkilerin kadmiyum kapsamının artması, bitkilerde fizyolojik etki yapmadığı gibi, bitkilerin gelişiminde de ters bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamına (ppm) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrole Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrole Göre Artış (%)
0	0.5542		0.2661	
10	0.6059	9.33	0.3165	18.94
20	0.6581	18.75	0.3312	24.47
40	0.7284	31.43	0.3370	26.64
80	0.7442	34.28	0.4048	52.12
160	0.8477	52.96	0.4862	82.71

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır



Şekil 4.18. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin, marul bitkisinin kadmiyum (Cd) kapsamında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analiz ile incelenmiş ve sonuçlar Ek-16'da verilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, toprak çeşidi ve fosfor düzeylerinin ayrı ayrı olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli

bulunmuştur. Ancak toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki olarak önemli bulunmamıştır. Ayrıca ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.14'de verilmiştir.

Çizelge 4.14. Farklı fosfor uygulamalarında marul bitkisinin kadmiyum (Cd) kapsamı (ppm) ortalamalarının Duncan testi ile karşılaştırılması

Fosfor (ppm)	Ortalamalar
0	0.4101 E*
10	0.4612 D
20	0.4947 CD
40	0.5327 C
80	0.5745 B
160	0.6670 A

* Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir.
LSD % 5 için = 0.03914

Ayrıca Ek-17'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi, asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.911^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.737^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.816^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.732^{***}$), sömürülen kadmiyum ($r = 0.742^{***}$) toprakta kalan fosfor ($r = 0.823^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.830^{***}$) arasında önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum kapsamı ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.897^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.839^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.868^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.921^{***}$), sömürülen kadmiyum ($r = 0.925^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.920^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.733^{***}$) arasında yine önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Bu bulgular; John (1972), Williams and David (1973), Giordano et al (1979), Mula et al (1980), Anderson and Hahlin (1981), Chang (1984), Singh (1990), Sparrow et al (1993)'ün bulgularıyla benzerlik göstermekte ve Williams and David (1976), Lepp (1981), Mortvedt et al (1981), Page et al (1981), Smilde and Luit (1983), Pezzarossa et al (1990), Anderson and Simon (1991), He and Singh (1994 a, b), Li et al (1994) gibi araştırmacıların bulgularıyla uyum içindedir. Denemeden elde edilen sonuçlara

göre, asit ve alkali toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı, Giordano et al (1979)'nın belirttiği sınır değerleri ile karşılaştırıldığında bu değerlerin altında kaldığı saptanmıştır. Ancak asit toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı John and Laerhoven (1976) Chang et al (1979), Allaway (1968) ve Leeper (1978)'in belirttiği sınır değerlerinin üstüne çıktığı, alkali toprakta ise bu sınır değerlerinin altında kaldığı belirlenmiştir.

4.2.5. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarları Ek-21'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.15'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.19'un birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta fosfor uygulamalarının artmasına bağlı olarak, marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.0790 - 0.0974 - 0.1000 - 0.1780 - 0.2344 ve 1.1930 µg/saksı bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında bitki sapında % 23.29 - % 26.58 - % 125.32 - % 196.71 ve % 1410.13 oranında sömürülen kadmiyum da artış gerçekleşmiştir. Görüldüğü gibi artan fosfor uygulamalarıyla asit topraktan sömürülen kadmiyum miktarının arttığı ve 160 ppm P uygulamasında bu artış kontrolün 14 katı olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, fosfor uygulamalarının artmasına bağlı olarak marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.0246 - 0.1922 - 0.2513 - 0.4417 - 0.7154 ve 0.8746 µg/saksı olmuştur. Bu değerlerin kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile % 681.30 - % 921.55 - % 1695.53 - % 2808.13 - % 3455.29 oranında sömürülen kadmiyum miktarında artış olmuştur. Artan fosfor uygulamasıyla alkali topraktan sömürülen kadmiyum miktarının arttığı ve 160 ppm P uygulamasında bu artış kontrolün 35 katı olmuştur. Sonuç olarak her iki topraktan sömürülen kadmiyum ile bitkilerin kuru ağırlıkları ve sömürülen fosforla ilişkili olduğu ve bunların artmasıyla sömürülen kadmiyumun da arttığı bulunmuştur.

göre, asit ve alkali toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı, Giordano et al (1979)'nın belirttiği sınır değerleri ile karşılaştırıldığında bu değerlerin altında kaldığı saptanmıştır. Ancak asit toprakta yetiştirilen bitkilerin kadmiyum kapsamı John and Laerhoven (1976) Chang et al (1979), Allaway (1968) ve Leeper (1978)'in belirttiği sınır değerlerinin üstüne çıktığı, alkali toprakta ise bu sınır değerlerinin altında kaldığı belirlenmiştir.

4.2.5. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarları Ek-21'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.15'de ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.19'un birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak belirgin bir şekilde artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta fosfor uygulamalarının artmasına bağlı olarak, marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.0790 - 0.0974 - 0.1000 - 0.1780 - 0.2344 ve 1.1930 µg/saksı bulunmuştur. Bu değerler kontrol uygulaması ile kıyaslandığında bitki sapında % 23.29 - % 26.58 - % 125.32 - % 196.71 ve % 1410.13 oranında sömürülen kadmiyum da artış gerçekleşmiştir. Görüldüğü gibi artan fosfor uygulamalarıyla asit topraktan sömürülen kadmiyum miktarının arttığı ve 160 ppm P uygulamasında bu artış kontrolün 14 katı olmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, fosfor uygulamalarının artmasına bağlı olarak marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarı ortalama olarak 0.0246 - 0.1922 - 0.2513 - 0.4417 - 0.7154 ve 0.8746 µg/saksı olmuştur. Bu değerlerin kontrol uygulaması ile kıyaslandığında artan fosfor ile % 681.30 - % 921.55 - % 1695.53 - % 2808.13 - % 3455.29 oranında sömürülen kadmiyum miktarında artış olmuştur. Artan fosfor uygulamasıyla alkali topraktan sömürülen kadmiyum miktarının arttığı ve 160 ppm P uygulamasında bu artış kontrolün 35 katı olmuştur. Sonuç olarak her iki topraktan sömürülen kadmiyum ile bitkilerin kuru ağırlıkları ve sömürülen fosforla ilişkili olduğu ve bunların artmasıyla sömürülen kadmiyumun da arttığı bulunmuştur.

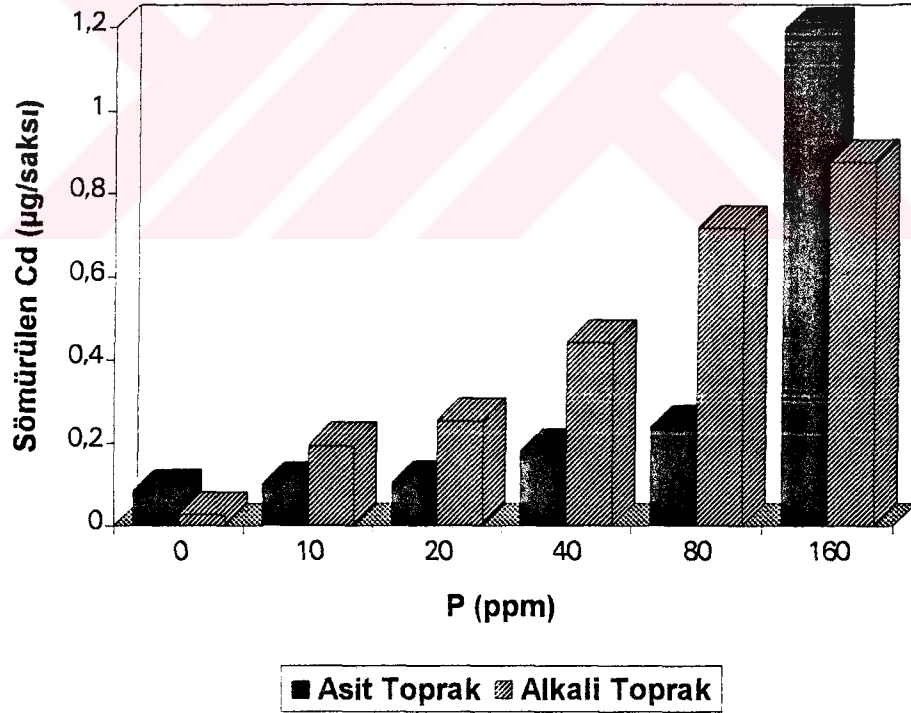
Çizelge 4.15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına ($\mu\text{g/saksı}$) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	0.0790 G**		0.0246 G	
10	0.0974 FG	23.29	0.1922 E	681.30
20	0.1000 FG	26.58	0.2513 E	921.55
40	0.1780 EF	125.32	0.4417 D	1695.53
80	0.2344 E	196.71	0.7154 C	2808.13
160	1.1930 A	1410.13	0.8746 B	3455.29

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir

LSD % 5 için = 0.08652



Şekil 4.19. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum (Cd) miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelendiğinde, toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Bkz. Ek 16). Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farklılıkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.15'de verilmiştir.

Ayrıca Ek-17'de verilen değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.737^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.999^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.822^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.999^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.742^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.937^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum arasında ($r = 0.867^{***}$) önemli pozitif korelasyon tespit edilmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.975^{***}$), kuru ağırlığı ($r = 0.971^{***}$), fosfor kapsamı ($r = 0.827^{***}$), sömürülen fosfor ($r = 0.986^{***}$), kadmiyum kapsamı ($r = 0.925^{***}$), toprakta kalan fosfor ($r = 0.959^{***}$) ve toprakta kalan kadmiyum arasında ($r = 0.753^{***}$) yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; Williams and David (1973), Chaney et al (1982), Martvedt (1987), Erikson (1989), Anderson and Simon (1991), Xue and Harrison (1991), IPCS (1992), Chaney et al (1993), Sparrow et al (1993) ve Li et al (1994)'in bulgularına benzerlik göstermekte ve Reuss et al (1978), Smilde and Luet (1983), Pezzarossa et al (1990), He and Singh (1994 b) 'in bulgularıyla uyum içindedir.

4.2.6. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra saksılardan alınan toprak örneklerinde kalan fosfor miktarları belirlenerek, Ek-22'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.16'da ve bu çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.20'nin birlikte incelenmesinden de görüleceği gibi marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışlı fosfor miktarı artan fosfor uygulamasına bağlı olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarayışlı fosfor miktarları 0 - 10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama olarak 13.56 - 16.25 - 19.75 - 21.10 - 30.12 ve 49.73 ppm olarak saptanmıştır. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında, bu artış % - 19.84 - % 45.65 - % 55.61 - % 122.12 ve % 266.74 olmaktadır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise artan fosfor uygulamalarına bağılı olarak marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yararılı fosfor miktarları ortalama olarak 6.44 - 8.44 - 12.10 - 17.47 - 28.67 ve 40.10 ppm bulunmuştur. Oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında bu artış % 31.06 - % 87.89 - % 171.27 - % 345.19 ve % 522.67 dir.

Denemede ele alınan her iki toprakta hasat sonrası kalan fosfor miktarları arasında farklılık gözlenmektedir. Asit toprakta kalan yararılı fosfor miktarı 160 ppm P uygulamasında 49.73 ppm iken alkali toprakta bu değeri 40.10 ppm olarak belirlenmiştir. Bu durumu bütün düzeylerde görmek mümkün olup, asit toprakta kalan fosfor miktarının alkali toprakta kalan fosfor miktarından daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni olarakta orjinal asit toprağın elverişli fosfor kapsamının alkali topraktan fazla olmasını söylemek mümkündür. Ayrıca, asit toprağa nazaran alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarının fazla olduğu ve alkali toprağın yüksek düzeyde kireç kapsamı nedeni ile fosforun bağlanması sonucu toprakta hasat sonrası kalan yararılı fosfor miktarı az bulunmuştur.

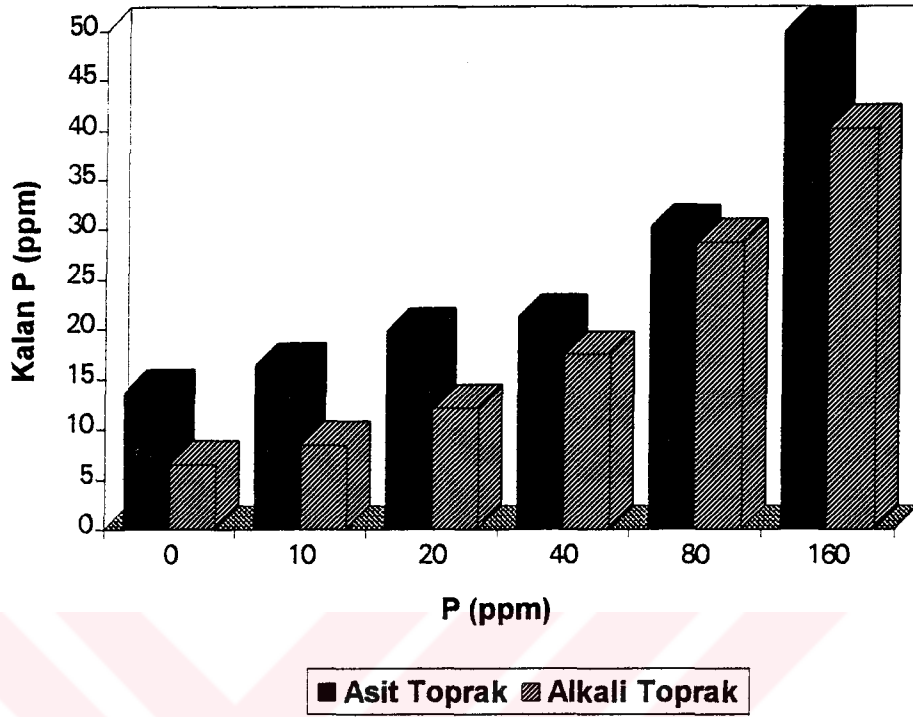
Çizelge 4.16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yararılı fosfor miktarına (ppm) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	13.56 G**		6.44 H	
10	16.25 F	19.84	8.44 H	31.06
20	19.75 DE	45.65	12.10 G	87.89
40	21.10 D	55.61	17.47 EF	171.27
80	30.12 C	122.12	28.67 C	345.19
160	49.73 A	266.74	40.10 B	522.67

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir

LSD % 5 için = 2.664



Şekil 4.20. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarıyıllı fosfor miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosforun miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelendiğinde (Bkz. Ek-16) toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkiler istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca, ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Ek-17'de değerlendirme kriterleri arasındaki istatistiki ilişkilerin incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.887^{***}$), hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.940^{***}$), bitkinin kadmiyum kapsamı ($r = 0.823^{***}$) ve bitkinin sömürdüğü kadmiyum arasında ($r = 0.937^{***}$) önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan fosfor ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.951^{***}$), hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum ($r = 0.763^{***}$), bitkinin kadmiyum kapsamı ($r = 0.920^{***}$) ve bitkinin sömürdüğü kadmiyum arasında ($r = 0.959^{***}$) yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

4.2.7. Fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarına etkisi

Asit ve alkali reaksiyonlu topraklara fosforlu gübre uygulanarak yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra saksılardan alınan toprak örneklerinde kalan kadmiyum miktarları belirlenerek Ek 23'de verilmiştir. Bu değerlere ait ortalamalar Çizelge 4.17 ve bu Çizelgeden yararlanılarak hazırlanan Şekil 4.21'in birlikte incelenmesinden de anlaşılabileceği gibi marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarı artan fosfor uygulamalarıyla düzensiz olarak artmıştır.

Asit reaksiyonlu toprakta artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd) miktarları, 0 - 10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama değerler olarak 2.20 - 2.28 - 2.75 - 2.63 - 3.38 ve 4.43 ppb olarak bulunmuştur. Bu artışlar oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında % 3.64 - % 25.00 - % 19.55 - % 53.64 ve % 101.36 olmuştur. Artan fosfor uygulamasıyla asit toprakta kalan kadmiyum miktarı kontrole göre artmış ve bu artış 160 ppm P uygulamasında % 101 olarak saptanmıştır.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise, artan fosfor uygulamalarına bağlı olarak marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarları 0 - 10 - 20 - 40 - 80 ve 160 ppm P sırasına göre ortalama değerler olarak 2.90 - 2.93 - 2.88 - 3.10 - 3.13 ve 3.73 ppb olarak bulunmuştur. Bu artışlar oransal olarak kontrol ile kıyaslandığında % 1.04 - % - 0.69 - % 6.90 - % 7.93 ve % 28.62 olmuştur. Artan fosfor uygulamalarında kontrole oranla 20 ppm P düzeyi hariç, bütün düzeylerde toprakta kalan fosfor miktarında artış görülmüştür. Bu artış 160 ppm P uygulamasında % 28 oranında saptanmıştır.

Denemede ele alınan asit ve alkali toprakta hasat sonrası kalan kadmiyum miktarları arasında farklılık bulunmuştur. Asit toprakta kalan kadmiyum miktarı 80 ve 160 ppm P uygulamalarında alkali toprağa oranla fazla bulunmuş iken diğer düzeylerde düşük olmuştur. Ayrıca fosforlu gübrelemeye bağlı olarak kontrole oranla asit toprakta kalan kadmiyum miktarı alkali topraktan daha fazla olduğu belirlenmiştir.

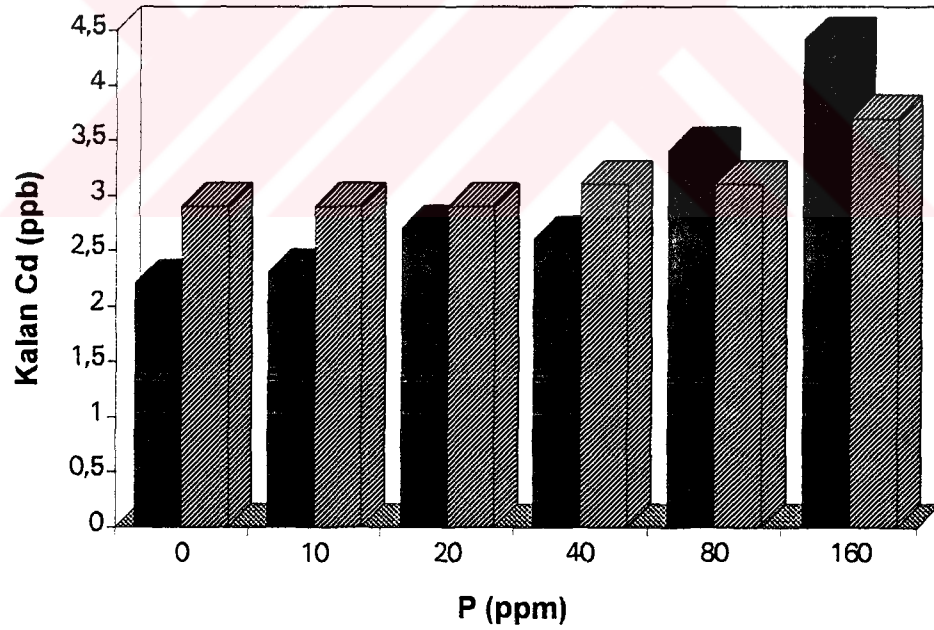
Çizelge 4.17. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına (ppb) etkisi*

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Kontrola Göre Artış (%)	Alkali Toprak	Kontrola Göre Artış (%)
0	2.20 F**		2.90 DE	
10	2.28 F	3.64	2.93 DE	1.04
20	2.75 E	25.00	2.88 DE	- 0.69
40	2.63 E	19.55	3.10 CD	6.90
80	3.38 C	53.64	3.13 CD	7.93
160	4.43 A	101.36	3.73 B	28.62

* Değerler 4 paralel ortalamasıdır

** Aynı harfle gösterilen ortalamalar arasındaki fark $P < 0.05$ düzeyinde önemli değildir

LSD % 5 için = 0.3409



■ Asit Toprak ▨ Alkali Toprak

Şekil 4.21. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum miktarına etkisi

Toprağa artan düzeylerde uygulanan fosforlu gübrelemenin marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarında oluşturduğu farklılığın önemlilik derecesi varyans analizi ile incelendiğinde (Bkz. Ek-16) toprak çeşidi ile fosfor düzeylerinin ayrı ayrı ve birlikte olan etkileri (interaksiyonu) istatistiki olarak % 0.1 düzeyinde önemli bulunmuştur. Ayrıca ortalama değerler arasındaki farkların önemlilik derecesini kontrol etmek amacıyla yapılan Duncan testi sonuçları Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Ek-17'de değerlendirme kriterleri arasındaki istatistiki ilişkiler incelendiğinden de görüleceği gibi asit reaksiyonlu toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.874^{***}$), hasat sonrası toprakta kalan fosfor ($r = 0.940^{***}$), bitkinin kadmiyum kapsamı ($r = 0.830^{***}$) ve bitkinin sömürdüğü kadmiyum arasında ($r = 0.867^{***}$) önemli pozitif korelasyon bulunmuştur.

Alkali reaksiyonlu toprakta ise yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum ile toprağa uygulanan fosfor düzeyleri ($r = 0.701^{***}$), hasat sonrası toprakta kalan fosfor ($r = 0.763^{***}$), bitkinin kadmiyum kapsamı ($r = 0.733^{***}$) ve bitkinin sömürdüğü kadmiyum arasında ($r = 0.753^{***}$) yine önemli pozitif korelasyon belirlenmiştir.

Bu bulgular; John (1971), Hansen and Tjell (1983), Smilde and Luit (1983), Rothbaum et al (1986)'ın fosforlu gübreleme sonucu toprakta kadmiyum biriktiğini ve bu çalışmaya benzerlik gösterdiğini ayrıca, Rothbaum et al (1986), Mortvedt (1987), Pezzarossa et al (1990), Anderson and Simon (1991), He and Singh (1994 b), Li et al (1994)'ın bulgularıyla uyum içindedir. Denemeden elde edilen sonuçlara göre çalışmada asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan kadmiyum (Cd) miktarları, Allaway (1968) tarafından belirtilen sınır değerlerin üstüne çıktığı, ancak Smith (1991) tarafından belirtilen sınır değerlerinin ise altında kaldığı saptanmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmanın amacı, asit ve alkali karakterli iki toprakta yetiştirilen marul (*Lactuca sativa* L.) ve arpa (*Hordeum vulgare* L.) bitkilerine uygulanan farklı düzeylerdeki fosforlu gübrenin (TSP) içerdiği kadmiyumun, bitkiler tarafından alınımını ve topraktaki birikimini belirlemektir. Deneme sonuçlarına göre, arpa ve marul bitkilerinin kuru ağırlıkları, fosfor kapsamları, sömürülen fosfor, kadmiyum kapsamları, sömürülen kadmiyum, hasat sonrası toprakta kalan yarayışlı fosfor ve hasat sonrası toprakta kalan değişebilir kadmiyum miktarları, (DTPA ile ekstrakte edilebilir kadmiyum), fosfor düzeylerinin artmasına bağlı olarak artmış ve en yüksek değere 160 ppm P uygulaması ile ulaşılmıştır. Ayrıca, alkali toprakta yetiştirilen bitkilerden elde edilen sonuçlar, bitkilerin kadmiyum kapsamları ve toprakta kalan fosfor miktarları hariç, diğer bütün kriterlerde asit toprakta yetiştirilen bitkilerden elde edilen sonuçlardan daha fazla bulunmuştur. Bu sonuçlar varyans analizi ile incelendiğinde, istatistiki bakımdan $P < 0.001$ düzeyinde önemli bulunmuştur (Ek-3, 10 ve 16). Ayrıca, deneme sonuçları arasında belirlenen lineer korelasyon katsayıları istatistiki yönden genellikle $P < 0.001$ düzeyinde önemli pozitif korelasyon saptanmıştır (Ek-4, 11 ve 17).

Asit toprakta yetiştirilen arpa ve marul bitkilerinin kadmiyum (Cd) kapsamları alkali toprakta yetiştirilen bitkilerden daha fazla bulunmuştur. Asit toprakta yetiştirilen marul bitkilerinin kadmiyum kapsamları 0.5542 - 0.8477 ppm arasında değişirken, arpa bitkilerinin kadmiyum kapsamları 0.1049 - 0.1452 ppm arasında saptanmıştır. Alkali toprakta ise, bu değerler marul bitkisinde 0.2661 - 0.4862 ppm ve arpa bitkisi için ise 0.1015 - 0.1235 ppm arasında belirlenmiştir. Bu sonuçlara göre, bitkilerin dokularında biriken Cd miktarı bitki çeşidine bağlı olarak farklılık göstermiştir. Özetle, asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin Cd kapsamı, arpa bitkisine göre daha fazla olduğu ortaya çıkmaktadır.

Ayrıca, alkali toprakta yetiştirilen arpa ve marul bitkilerinin hasadından sonra toprakta kalan değişebilir Cd miktarı, asit toprakta yetiştirilen arpa ve marul bitkilerinin hasadından sonra toprakta kalan değişebilir Cd miktarından daha fazla bulunmuştur. Asit toprakta yetiştirilen marul bitkilerinin hasadından sonra toprakta kalan Cd miktarları 2.20 - 4.43 ppb arasında değişirken, arpa bitkilerinin hasadından sonra toprakta kalan Cd miktarları 1.83 - 2.46 ppb arasında bulunmuştur. Alkali toprakta ise, bu değerler marul bitkisinde 2.90 - 3.73 ppb ve arpa bitkisi için ise, 3.38 - 4.08 ppb arasında saptanmıştır. Özetle, alkali topraktaki değişebilir Cd miktarı, asit toprağa göre daha fazla olmuştur. Yüksek pH ve kirecin, Cd'un bitkiler tarafından alınmasını engelleyici unsurlar olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların bu

araştırmada kullanılan toprakların kireç kapsamaları, pH değerleri ve kadmiyum içerikleri arasındaki büyük farklılıktan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu araştırma sonunda fosforlu gübreden bitkiye geçen kadmiyumun verim üzerinde olumsuz etki yapacak miktarda olmadığı ve bu gübrenin verim üzerindeki olumlu etkisi dikkate alındığında, bu gübre nedeniyle bitki bünyesine geçen Cd'un gözardı edilebilecek düzeylerde olduğu söylenebilir. Özellikle, alkali karakterli, pH ve kireç kapsamı yüksek topraklarda bu etki daha az önem taşımaktadır. Dolayısıyla tarım topraklarının büyük bölümü yüksek kil ve kireçli, reaksiyonu yüksek ve ortalama gübre tüketimi gelişmiş ülkelerdeki tüketimin çok altında bulunan Türkiye'de, fosforlu gübreden kaynaklanan Cd bulaşmasının kirliliğe yol açacak düzeyde olmadığı söylenebilir. Fakat uzun yıllar bilinçsiz ve aşırı fosforlu gübre kullanımı sonucu toprakta ve bitki dokularındaki Cd birikiminin artacağını ve kirliliğine yol açacağını unutmamak gerekir. Öte yandan, bitki kalite ve kantitesini arttıracak kadar gübre uygulamasının en ekonomik ve en etkili düzey olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle değişik ekolojik koşullarda, ekonomik değer olan kültür bitkileri için tüketilecek gübrenin, bilimsel araştırmalar ışığında, uzun vadede toprak kirliliğine yol amayan, bitki verimini arttıracak en etkili ve en ekonomik doz olmasına dikkat edilmelidir.

Ayrıca, bu araştırmanın bir gelişme dönemi içerisinde ve kontrollü koşullar altında yürütülen bir çalışma olduğunu; elde edilen bulguların, doğal koşullarda ve uzun yıllar süren araştırmalarla desteklenmesi gerektiği de unutulmamalıdır. Öte yandan, bitkilerin toprak üstü organlarının analizleri ile birlikte, kök analizlerinin de yapılması ve bitki kökleri tarafından alınan kadmiyumun hangi oranlarda toprak üstü organlarına taşındığı veya kökte biriktiğini gösteren yeni araştırmaların yapılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- ALAWAY, W. H., 1968.** Agronomic controls over the environmental of trace elements. Adv. in Agronomy. 20 : 235-274.
- ANDERSON, A. and HAHLIN, M., 1981.** Cadmium effects from phosphorous fertilization. Swedish J. Agric. Res. 11: 3-10.
- ANDERSON, A. and SIMON, G., 1991.** Levels of Cd and some other trace elements in soils and crops as influenced by lime and Fertilizer level. Acta. Agric. Scand. 41 : 3-11. Sweden.
- ANONYMOUS, 1990.** Türkiye Tarım Kredi Kooperatifleri Merkez Birliği Genel Müdürlüğü Kayıtları.
- AYDEMİR, O. ve İNCE, F., 1988.** Bitki Besleme. Dicle Üniv. Eğitim Fak. Yayınları. No . 2 : 649-651. Diyarbakır.
- BARTON, C. F., 1948.** Photometric analysis of phosphate rock. Ind. And. Eng. Chem. Anal. Ed. 20 : 1068-1073.
- BAYER, W. H., 1974.** Handbook of tables for probability and statistics. Second Ed., Ohio, U.S.A, 390.
- BOHN, H. L., MC NEAL, B.L. and O'CONNOR, G.A., 1985.** Important ions and toxic elements. Soil Chemistry. Second Edition. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, JOHN WILEY and SONS. New York.
- BOUYOUCOS, G.J., 1951.** A recalibration of the hydrometer method for making mechanical analysis of soils Agronomy Jour. 43 : 434-438.
- BRAY, R. H. and KURTS, L.T., 1945.** Determination of total organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., 59 : 39-45.
- BREMNER, J. M., 1965.** Methods of soil analysis. part 2. chemical and microbiological properties. Ed. A. C. A. Black. Amer. Soc. of Agron. Inc. Pub. Agron. Series. No. 9. Madison, Wisconsin, USA.
- CHANEY, R. L. and HORNICK, S. B., 1977.** Accumulation and effects of cadmium on crops. In. Proc. First Int. Cadmium conf., Metal Bulletin Limited, SE1 7RG, PP. 125-40. London.
- CHANEY, R. L., STREET, S.B., MORRELLA, M.C. and LIYOD, C.A., 1982.** Effect of sludge quality an rate soil pH and time on heavy metal residues in leafy vegetables. Univ. of Wisconsin Madison Conference Appl. Res. Practical Municipal Industrial Waste Prod. 6 : 444-58.

- CHANEY, R. L., LI, Y-M., SCHNEITER, A. A., GREEN, C. E. MILLER, J. F. and HOPKINS, D. G., 1993.** Progress in developing technologies to Produce low Cd concentration sunflower kernels. In Proc. 15th. Sunflower Research Workshop, Fargo. ND. 13-15. January 1993. pp. 80-92. Nat Sunflower Assoc. Bismark, ND.
- CHANG, A. C., PAGE, A. L., LUND, L. J. PRATT, P. F. and BRADFORD, G. R., 1979.** Land application of sewage sludge - A field demonstration. Final report Regional Wastewater solids Management Program, Los Angeles/orange County Metropolitan Area. Dept. of Soil and Environmental Sciences. University of California, Riverside. California 92521.
- CHANG, A. C., WARNEKE, J. E., PAGE, A. L. and ANDLUND, L. J., 1984.** Accumulation of long-term heavy metals in sewage sludge treated soils J. Environ. Qual. 13: 87-91.
- CHAPMAN, H. D. and PRATT, F. P., 1961.** Methods of Analysis For Soils, Plants and Waters. Univ. of California. Div. of Agric. Sci.
- CHAPMAN, H. D., 1965.** Cation - Exchange Capacity in Methods of Soil Analysis Ed. Black, C. A. Part 2. Agronomy Series No: 9 As. Madison, Wisconsin, U.S.A.
- CHIZHIKOV, D. V., 1966.** Cadmium. Pergamon Press. 26 pp. New York.
- ÇAĞLAR, K. Ö., 1949.** Toprak Bilgisi. Ankara Üniv. Yayınları. 10. ANKARA
- DOWDY, R. H. and LARSON, W. E., 1975.** The availability of sludge borne metals to various vegetable crop. J. Environ. Qual. 4 : 278-82.
- DÜZGÜNEŞ, O., 1963.** Bilimsel araştırmalarda istatistik prensipler ve metodlar. Ege Üniv. Matbası, İzmir.
- ERIKSSON, J. E., 1989.** The influence of pH, soil type and time on adsorption and plant uptake by plant of Cd added to the soil. Water Air Soil Pollut. 48 : 317-35.
- FAO, 1978.** List of max. Levels recommended for contaminants by the joint FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. Third series. Food and Agriculture Organization of the United Nations and World Health Organization, Rome, Italy. (CAC/FAL 4)
- FRIBERG, L., PISCATOR, M. and NORDBERG., 1971.** Cadmium on the environment. Chemical Rubber Co. Cleveland.
- FUSHS, G., HAEGGLUND, J. and JORHEM, L., 1976.** The Levels of Lead. Cadmium and Zinc in Vegetables. Var. Foeda 28 : 160-7.
- GIORDANO, P. M., MAYS, D. A. and BEHEL, A. D., 1979.** Soil temperature effects on the uptake of Cd and Zn by vegetables grown on sludge-amended soil. J. Environ Qual. 8 : 232-6.

- GREWELLING, T. and PEECH, M., 1960.** Chemical soil test. Cornell. Univ. Agr. Expt. Sta. Bull. 960.
- GROSSMAN, G. and EGLES, W., 1975.** Research concerning the cadmium contents of single feedstuffs. *Landwirtsch. Forsch.* 28 : 164-73.
- HANSEN, J. A. and TJELL, J. C., 1983.** Sludge application to land-overview of the Cd problem. *Environ. Effects of organic and inorganic contaminants in sewage sludge.* Bull. 91 - 112.
- HE, Q. B. and SINGH, B. R., 1994 a.** Crop uptake of Cadmium from phosphorus fertilizers : I. yield and cadmium content. *Water, Air and Soil Pollution.* 74 : 3/4, 251-265.
- HE, Q. B. and SINGH, B. R., 1994 b.** Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers : II. Relationship with extractable soil cadmium. *Water, Air and Soil Pollution,* 74 : 3/4, 267-280.
- HILLS, F. J. and ULRICH, A., 1978.** Plant analysis as a guide for mineral nutrition of sugar beets. *Soil Univ. of California. Bull.* 1879 : 18-21.
- HODGES, L., 1977.** Environmental pollution, metal pollution. *Bull. Iowa state Univ.* 425-426
- HUANG, C., BAZZAZ, F.A. and VANDERHOFF, L.N., 1974.** *Plant physiol.* 54 : 122.
- HYDE, H.C., PAGE, A. L., BINGHAM, F. T. and MAHLER, R. J., 1979.** Effect of heavy metals in sludge on agricultural crops. *J. Water Pollut. Contr. Fed.* 51 : 2475-86.
- IPCS, 1992.** Environmental Health Criteria 134. Cadmium pp. 17-23, 197-203. World Health Organization, Genova.
- JAKSON, M. L., 1962 .** Soil Chemical Analysis. Prentice Hall Inc. Eng. Cliffs. N. J. USA.
- JARVIS, S. C., JONES, L. H. P. and HOPPER, M. J., 1976.** Cadmium uptake from sollution by plants and its transport from roots to shoots. *Plant and soil.* 44 : 179-191.
- JEDWAL, I., 1983.** The swedish ban on cadmium. Utilization of sewage sludge on land : rates of application and long term effects of heavy metals. *Bull.* 198-210.
- JOHN, M. K., 1971.** Influence of soil characteristics on adsorption and desorption of cadmium. *Environ. Letters* 2 : 173.
- JOHN, M. K., 1972.** Effect of lime on soil extraction and availability of soil applied cadmium to radish and leaf lettuce plants. *The Sci. of The Total Environ.* Vol. 1 : 303-308.

- JOHN, M. K., 1973.** Cadmium uptake by eight food crops as influenced by various soil levels of cadmium. *Environ. Pollution* 4. In press.
- JOHN, M. K. and VAN LAERHOVEN, C. J., 1976.** Differential effects of cadmium on lettuce varieties. *Environ. Pollut.* 10 : 163-73.
- KACAR, B., 1972.** Bitki ve toprağın kimyasal analizleri. II. Bitki analizleri. A. Ü. Ziraat Fak. Yayınları . 453, Uygulama Kılavuzu: 155. A. Ü. Basımevi, Ankara.
- KARACA, A., 1990.** Fosforlu gübre üretiminde kullanılan ham fosforlar ile bunlardan üretilen fosforlu gübrelerdeki Cd dağılımının araştırılması. A. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Ankara.
- KIPLING, M. D. and WATERHOUSE, J. A. H., 1967.** *Lancet*, 1 : 730.
- KITSON, R. E. and MELLON, M. G., 1944.** Colorimetric determination of phosphorus as molybdovanado phosphoric acid. *Indus. and Eng. Chem. Anal. Ed.* 16 : 379-383.
- KOÇ, N., 1981.** Kronik bronşit ve amfizem de sigaradaki kadmiyumun rolü (TÜBİTAK). Bibliyografya : 59-61. Tez. Uzmanlık. A. Ü. Tıp Fak.
- LEEP, N. W., 1981.** Effect of heavy metal Pollution on plants. Department of Biology. Liverpool Polytechnic. Vol. 1. No : 3 : 77-109.
- LEEPER, G. W., 1978.** Managing the heavy metals on the land. Marcel Dekker Inc., New York.
- LI, Y-M., CHANEY, R. L. and SCHNEITER, A. A., 1994.** Effect of soil chloride level of cadmium concentration in sunflower kernels. *Plant and Soil.* 167 : 275-80.
- LINDSAY, W. L. and NORWELL, W. A., 1978.** Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* Vol. 42. No : 3 : 421-428.
- MC.BRIDE, M.B., TYLER, L.D. and HOSDE, D. A., 1981.** Cd adsorption by soils and uptake by plants as affected by soil chemical properties. *Soil. Sci. Am. J.* Vol. 45 : 739-744.
- MOEN, J. E. T., CORNET, J. P. and EVERS, C. W. A., 1986.** Soil protection and remedial actions : criteria for decision making and standardization of requirements. P. 441-448 in : Contaminated soil (ed. J. W. Assink and W. J. Van denbrink) Martinus Nijhoff Dordrecht.
- MORTVEDT, J.J. and GIARDANO, P. M., 1977.** Crop uptake of heavy metal contaminants in fertilizers. In. R. A. Wildung and H. DRUCKER (eds.) *Biological implications of heavy metals in the environment.* ERDA Rep. Conf. 750929, Oak Ridge, Tenn. 402-416.

- MORTVEDT, J. J., MAYS, D. A. and OSBORN, G., 1981.** Uptake by Wheat of Cd and other heavy metal contaminants in phosphate fertilizers. *J. Environ. Qual.* Vol. 10, 193-197.
- MORTVEDT, J.J., 1987.** Cd Levels in soils and plants from some long-term soil fertility experiments in the USA. *J. Environ. Qual.* Vol. 16. No. 2, 137-142.
- MUKHERJI, S. and MUCERJI, C., 1978.** The effect of Cd on plant growth. *Indian J. of Exp. Biology.* 17. 265-69.
- MULA, D. J. PAGE, A. L. and GANGE, T. J., 1980.** Cd accumulations and bioavailability in soils from long-term phosphorous fertilization. *J. Environ. Qual.* Vol. 9, 408-412.
- MUNSHOWER, F. F., 1977.** Cadmium accumulation in plants and animals of polluted and nonpolluted grasslands. *J. Environ. Qual.* 6 (4): 411-13.
- OLSEN, S. R., COLE, V., WATANABLE, F. S. and DEAN, L. A., 1954.** Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate U.S. Dept. of Agr. Cir. 939. Washington D. C.
- PAGE, A. L., BINGHAM, F. T. and CHANG. A. C., 1981.** Effect of heavy metal pollution on plants. Department of soil and Environ. Sci. University of California. Vol. 1 (3) : 77-109. U.S.A.
- PEZZAROSSA, B., MALORGIO, F., LUBRANO, L., TOGNONI, F. and PETRUZZELLI, G., 1990.** Phosfatic fertilizers as a source of heavy metal in protected cultivation. *Communications in soil sci. and plant analysis.* 21 : 9-10, 737-751.
- PFEILSTICKER, K. and MARKERD, C., 1975.** Cadmium, lead and zinc content of fruits and vegetables from gardens in industrial regions. *Z. lebensm. Unters. Forsch.* 158 : 129-36.
- PIETZ, R. I., VETTER, R. J., MASARIK, D. and MC FEE, W. W., 1978.** Zinc and cadmium contents of agricultural soils and corn in northwestern Indiana. *J. Environ. Qual.* 7 (3): 381-5.
- PISCATOR, M., 1972.** Cadmium, zinc, copper and lead in human renal cortex. *Arch. Environ. Health.* 24 : 426.
- PRATT, P. F., 1965.** Methods of Soil Analysis. Party 2. Chemical and microbiological properties. Ed. C. A. Block. Amer. Soc. Agr. Inc. Publisher Agronomy Series No. 9. Medison. Wisconsin. U.S.A.
- REUSS, J., DANLEY, H. L. and GRIFFIS, W., 1978.** Uptake of Cd from phosphate fertilizers by peas, radishes and Lettuce. *J. Environ. Qual.* Vol. 7, 128-33.
- RICHARDS, L. A., 1954.** Diagnosis and improvment of saline and alkaline soils. U.S.D.A. Handbook. No : 60

- ROTHBAUM, H. P., GOGUEL, R. L., JOHNSTON, A. E. and MATINGLY, G. E. G., 1986.** Cd accumulation in soils from long continued applications of super phosphate. *J. Soil Sci.* Vol. 37, 99-107.
- SCHROEDER, H. A. and BALASSA, J. J., 1963.** Cadmium : Uptake by vegetables from super phosphate in soil. *Sci. N. Y.* 140, 819.
- SHERLOCK, J. C., 1982.** The intake by man of Cd from sludged land. *Environ effect of organic and inorganic contaminants in sewage sludge.* Bull. 113-120.
- SINGH, B. R., 1990.** Cadmium and fluoride by oats and rape from phosphate fertilizers in two different soils. *Norwegian J. of Agric. Sci.* 4 (3): 239-249, Norway.
- SMILDE, K. W. and VANLUIT, B., 1983.** The effect of phosphate fertilizer Cd on Cd in soils and crops. *Rappot Institut Voor Bodem vruchtbaarheid*, No. 6-83. Haren Netherlands.
- SMITH, K. A., 1991.** *Modern Instrumental Techniques. Soil Analysis.* Second Edition. MARCEL DEKKER, INC. New York. 20-21.
- SNEED, M. C. and BRASTED, R. C., 1955.** *Comprehensive Inorganic Chemistry.* Vol. 4. Van Nostrand. Princeton. P. 64. New Jersey.
- SOIL SURVEY MANUAL., 1951.** U. S. Dept. of Agriculture Handbook. No : 18.
- SPARROW, L.A., SALARDINI, A. A. and BISHOP, AC. 1993.** Field studies of cadmium in potatoes (*solanum tuberosum* L.) Response of Cv. Russet Burbank and kennebec to two double super phosphates of different Cd consantration. *Avustralian J. of Agr. Reseach.* 44 (4): 855-861, Avustralia.
- STEEL, R. G. D. and TORRIE, J. H., 1960.** *Principles and prodecures of statistics with special references to the biological sciences.* Mc. Grow-Hill. Book company, Inc. New York.
- STREET, J., LINDSAY, J. and SABEY, B. R., 1977.** Solubility and plant uptake of Cd in soil amended with Cd and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* Vol. 6, 72-77.
- TANAKA, Y., IKEBE, K., TANAKA, R. and KUNITA, N., 1977.** Extents and avarage contents of heavy metals in vegetable food. *Shokuhin Diseigaku Zasshi.* 18 : 75-85.
- THOMAS, B., ROUGHAN, J. and WATTERS, E., 1972.** Lead and cadmium content of some vegatable foodstuffs. *J. Sci. Food. Agr.* 23 : 1493-8.
- TSUCHIYA, K. (ed), 1978.** *Cadmium Studies in Japan-a Review.* Elsevier. North - Holland Biomedical Press. Amesterdam. The Netherlands.

- ULRICH, A., RIRIE, D., HILLS, F.J., GEORGE, A. G. and MORSE, M. D., 1959.** I. Plant analysis a guide for sugar beet fertilization. Div. of Agric. Sci. Uni. of California, California Agric. Expt. Station. Bull. 766 : 4-24.
- VALIMS, J. and WILLIAMS, D. 1980.** University of California Berkeley. CA. (Personal communication).
- WAKEFIELD, Z. T., 1980,** Distribution of Cd and selected heavy metals in phosphate fertilizer processing. Bull. Y-159. National fertilizer development center, Tennessee Valley Authority, Muscle Shoals. AL.
- WEAST, C., 1963.** Handbook of geochemistry and physics, 50th Ed., Chemical Rubber Co., Cleveland, Ohio.
- WILLIAMS, C. H. and DAVID, D. J., 1973.** The effect of super phosphate on the Cd content of soils and plants. Aust. J. Soil. Vol. 11, 43-46.
- WILLIAMS, C. H. and DAVID, D. J., 1976.** The accumulation in soil of Cd residues from phosphate fertilizers and their effect on the Cd content of plants. Soil Sci. Vol. 121, No. 2, 86-93.
- XUE, Q. and HARRISSON, Y., 1991.** Effect of soil zinc, pH and cultivar on cadmium uptake in leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *crispa*), Commun. Soil Sci. Plant Anal, 22, 975-91.

EKLER

Ek-1. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	1.24	2.56
	1.22	1.91
	1.14	2.23
	0.97	2.21
10	1.19	2.29
	1.28	2.08
	1.13	2.48
	1.25	2.47
20	1.38	2.63
	1.25	2.79
	1.27	2.33
	1.29	2.58
40	1.34	3.16
	1.28	3.67
	1.43	2.65
	1.35	3.15
80	1.45	3.54
	1.26	3.32
	1.30	3.19
	1.53	4.10
160	2.31	4.98
	1.88	4.47
	1.81	4.52
	1.80	3.80

Ek-2. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.22	0.89
	0.30	0.96
	0.20	0.85
	0.23	0.86
10	0.28	1.60
	0.33	1.80
	0.36	1.53
	0.24	1.64
20	0.28	1.88
	0.38	1.71
	0.30	1.68
	0.28	1.52
40	0.47	1.38
	0.40	2.28
	0.30	1.52
	0.35	2.22
80	0.37	1.96
	0.51	2.40
	0.67	1.80
	0.52	1.44
160	0.43	2.35
	0.86	2.28
	0.54	2.25
	0.50	2.18

Ek-3. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap kuru ağırlığı (g/saksı), tane kuru ağırlığı (g/saksı), sap fosfor kapsamı (%), tane fosfor kapsamı (%), sapın sömürdüğü fosfor (mg/saksı) ve tanenin sömürdüğü fosfor (mg/saksı) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F Değerleri					
		Kuru Ağırlığı (Sap)	Kuru Ağırlığı (Tane)	Fosfor Kapsamı (Sap)	Fosfor Kapsamı (Tane)	Sömürülen Fosfor (Sap)	Sömürülen Fosfor (Tane)
Genel	47	-	-	-	-	-	-
Toprak Çeşidi (Ç)	1	484.99***	520.49***	802.40***	249.46***	379.24***	724.43***
Fosfor Düzeyleri (P)	5	37.19***	16.50***	76.95***	5.28***	55.05***	24.93***
(ÇxP) İnteraksiyonu	5	10.15***	6.06***	42.81***	0.50 ö.d.	38.37***	13.81***
Hata	36	-	-	-	-	-	-

*** P < 0.001

ö.d. Önemli değil

Ek-4. Araştırmada ele alınan arpa bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler

Kriterler	Sap Kuru Ağırlığı		Tane Kuru Ağırlığı		Sap Fosfor Kapsamı		Tane Fosfor Kapsamı		Sapın Sömürdüğü Fosfor		Tanenin Sömürdüğü Fosfor	
	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali
Toprağa Uygulanan Fosfor Düzeyleri	0.785***	0.898***	0.784***	0.801***	0.807***	0.856***	0.620***	0.637***	0.831***	0.846***	0.901***	0.884***
Sap Fosfor Kapsamı	0.655***	0.911***										
Tane Fosfor Kapsamı			0.224ö.d	0.407*								
Sapın Sömürdüğü Fosfor	0.925***	0.949***			0.881***	0.986***						
Tanenin Sömürdüğü Fosfor			0.882***	0.941***			0.647***	0.673***				
Sapın Kadmiyum Kapsamı	0.583**	0.629***			0.602**	0.676***			0.601**	0.628***		
Sapın Sömürdüğü Kadmiyum	0.942***	0.985***			0.696***	0.929***			0.894***	0.951***		

*** P < 0.001

** P < 0.01

* P < 0.05

ö.d. önemli değil

Ek-5. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin sap fosfor kapsamına (%) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.0616	0.1246
	0.0458	0.1239
	0.0553	0.1237
	0.0568	0.1196
10	0.0535	0.1245
	0.0533	0.1177
	0.0660	0.1270
	0.0509	0.1297
20	0.0687	0.1272
	0.0532	0.1566
	0.0507	0.1475
	0.0583	0.1857
40	0.0806	0.1526
	0.0858	0.1602
	0.0839	0.1560
	0.0789	0.1552
80	0.0738	0.1881
	0.0828	0.1811
	0.0826	0.1908
	0.0916	0.23.01
160	0.1017	0.3103
	0.0865	0.3178
	0.0771	0.3383
	0.0712	0.2798

Ek-6. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin tane fosfor kapsamına (%) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.2918	0.4965
	0.2020	0.3179
	0.2580	0.5918
	0.2817	0.5799
10	0.2601	0.5967
	0.2614	0.4633
	0.2485	0.5281
	0.2833	0.5627
20	0.2703	0.5494
	0.2992	0.4985
	0.2887	0.4884
	0.2967	0.6613
40	0.2906	0.5926
	0.3081	0.5087
	0.2372	0.5528
	0.3603	0.5502
80	0.3516	0.6384
	0.3213	0.6588
	0.3020	0.6203
	0.2907	0.6434
160	0.3913	0.5977
	0.2467	0.6461
	0.3497	0.6749
	0.4769	0.6592

Ek-7. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.7638	3.1898
	0.5588	2.3665
	0.6304	2.7585
	0.5510	2.6432
10	0.6367	2.8511
	0.6822	2.4482
	0.7458	3.1496
	0.6363	3.2036
20	0.9481	3.3454
	0.6650	4.3664
	0.6439	3.4368
	0.7521	4.7911
40	1.0800	4.8222
	1.0982	5.8793
	1.1998	4.1340
	1.0652	4.8888
80	1.0701	6.6587
	1.0433	6.0125
	1.0738	6.0865
	1.4015	9.4341
160	2.3493	15.4529
	1.6262	14.2057
	1.3955	15.2912
	1.2816	10.6324

Ek-8. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi tanesinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.6420	4.4189
	0.6000	3.0518
	0.5160	5.0303
	0.6479	4.9871
10	0.7283	9.5472
	0.8626	8.3394
	0.8946	8.0799
	0.6799	9.2283
20	0.7568	10.3287
	1.1370	8.5244
	0.8661	8.2051
	0.8308	10.0518
40	1.3658	8.1779
	1.2324	11.5984
	0.7116	8.4026
	1.2611	12.2144
80	1.3009	12.5126
	1.6386	15.8112
	2.0234	11.1654
	1.5116	9.2650
160	1.6826	14.0460
	2.1216	14.7311
	1.8884	15.1853
	2.3845	14.3706

Ek-9. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının kadmiyum (Cd) kapsamına (ppm) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.1081	0.1037
	0.1054	0.1031
	0.1070	0.0980
	0.0990	0.1012
10	0.1121	0.1090
	0.1079	0.1177
	0.1040	0.1112
	0.0997	0.1168
20	0.1320	0.1107
	0.1412	0.1110
	0.1381	0.1190
	0.1270	0.1200
40	0.1372	0.1200
	0.1459	0.1154
	0.1437	0.1090
	0.1280	0.1190
80	0.1562	0.1107
	0.1420	0.1172
	0.1324	0.1220
	0.1305	0.1266
160	0.1468	0.1133
	0.1280	0.1273
	0.1449	0.1298
	0.1610	0.1234

Ek 10. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin kadmiyum kapsamı (ppm), sömürülen kadmiyum (µg/saksı), hasat sonrası toprakta kalan fosfor (ppm) ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum (ppb) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F Değerleri			
		Kadmiyum Kapsamı (Sap)	Sömürülen Kadmiyum (Sap)	Hasat Sonrası Toprakta Kalan Fosfor (P)	Hasat Sonrası Toprakta Kalan Kadmiyum (Cd)
Genel	47	-	-	-	-
Toprak Çeşidi (Ç)	1	40.53***	292.55***	456.42***	727.85***
Fosfor Düzeyleri (P)	5	22.33***	50.20***	651.25***	11.13***
(Ç x P) İnteraksiyonu	5	5.99***	6.49***	14.34***	0.84 ö.d
Hata	36	-	-	-	-

*** P < 0.001

ö.d. önemli değil

Ek-11. Araştırmada ele alınan arpa bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler

Kriterler	Sap Kadmiyum Kapsamı		Sapın Sömürdüğü Kadmiyum		Hasat Sonrası Toprakta Kalan Fosfor		Hasat Sonrası Toprakta Kalan Kadmiyum	
	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali
Toprağa Uygulanan Fosfor Düzeyleri	0.830***	0.755**	0.879***	0.917***	0.889***	0.948***	0.571**	0.837***
Sapın Kadmiyum Kapsamı			0.815***	0.747***	0.633***	0.689***	0.318ö.d	0.721***
Sapın Sömürdüğü Kadmiyum	0.815***	0.745***			0.898***	0.914***	0.548**	0.846***
Hasat Sonrası								
Toprakta Kalan Fosfor	0.633***	0.689***	0.898***	0.914***			0.682***	0.846***
Hasat Sonrası								
Toprakta Kalan Kadmiyum	0.318ö.d.	0.721***	0.548**	0.846***	0.682***	0.846***		

*** P < 0.001

** P < 0.01

* P < 0.05

ö.d. önemli değil

Ek-12. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisi sapının sömürdüğü kadmiyum (Cd) miktarına (µg/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.1340	0.2655
	0.1286	0.1969
	0.1220	0.2185
	0.0960	0.2237
10	0.1334	0.2496
	0.1381	0.2448
	0.1175	0.2758
	0.1246	0.2885
20	0.1822	0.2911
	0.1765	0.3097
	0.1754	0.2773
	0.1638	0.3096
40	0.1839	0.3792
	0.1868	0.4235
	0.2055	0.2889
	0.1728	0.3749
80	0.2265	0.3919
	0.1789	0.3891
	0.1721	0.3892
	0.1997	0.5191
160	0.3391	0.5642
	0.2406	0.5690
	0.2608	0.5867
	0.2898	0.4689

Ek-13. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarıyışlı fosfor miktarına (ppm) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	14.24	6.05
	14.12	5.15
	14.12	5.38
	13.65	5.82
10	19.70	9.18
	17.63	9.63
	18.76	7.17
	16.97	10.08
20	19.33	12.11
	18.20	13.31
	19.42	12.76
	18.86	11.65
40	23.85	14.34
	23.66	15.02
	24.32	15.68
	22.71	15.00
80	35.45	25.76
	32.05	26.66
	30.36	28.22
	29.79	26.21
160	55.62	37.63
	56.85	35.17
	54.04	37.41
	49.68	39.87

Ek-14. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen arpa bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd) miktarına (ppb) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	2.00	3.40
	1.71	3.30
	1.89	3.32
	1.70	3.48
10	1.22	3.61
	2.08	3.40
	1.90	3.21
	2.00	3.38
20	1.68	3.50
	1.32	3.40
	1.98	3.49
	2.02	3.91
40	1.80	3.51
	2.10	3.71
	1.71	3.40
	1.89	3.98
80	1.89	3.71
	1.90	4.00
	2.01	3.80
	2.10	3.99
160	2.11	4.00
	2.40	4.00
	2.78	4.20
	2.56	4.10

Ek-15. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığına (g/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.12	0.10
	0.16	0.09
	0.13	0.08
	0.16	0.10
10	0.14	0.44
	0.18	0.67
	0.13	0.64
	0.14	0.66
20	0.12	0.61
	0.21	0.75
	0.16	0.68
	0.17	0.99
40	0.24	1.23
	0.21	1.33
	0.24	1.38
	0.27	1.31
80	0.34	1.94
	0.27	1.45
	0.37	1.88
	0.32	1.82
160	1.15	1.86
	1.49	1.80
	1.41	1.80
	1.58	1.73

Ek-16. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kuru ağırlığı (g/saksı), fosfor kapsamı (%), sömürülen fosfor (mg/saksı), kadmiyum kapsamı (ppm), sömürülen kadmiyum (µg/saksı), hasat sonrası toprakta kalan fosfor (ppm) ve hasat sonrası toprakta kalan kadmiyum (ppb) üzerine olan etkilerine ilişkin varyans analiz sonuçları

Varyans Kaynağı	Serbestlik Derecesi	F Değerleri						
		Kuru Ağırlık	Fosfor Kapsamı	Sömürülen Fosfor	Kadmiyum Kapsamı	Sömürülen Kadmiyum	Hasat Sonrası Toprakta Kalan Fosfor (P)	Hasat Sonrası Toprakta Kalan Kadmiyum (Cd)
Genel	47	-	-	-	-	-	-	-
Toprak Çeşidi (Ç)	1	457.29***	222.71***	554.27***	894.38***	34.94***	134.44***	5.90***
Fosfor Düzeyleri (P)	5	206.78***	61.56***	249.52***	43.97***	283.14***	399.49***	46.23***
(Ç x P) İnteraksiyonu	5	50.80***	12.96***	49.13***	2.21 ö.d.	40.99***	5.39***	10.91***
Hata	36	-	-	-	-	-	-	-

*** P < 0.001

ö.d. önemli değil

Ek-17. Araştırmada ele alınan marul bitkisine ait değerlendirme kriterleri arasındaki ilişkiler

Kriterler	Kuru Ağırlık		Fosfor Kapsamı		Sömürülen Fosfor		Kadmiyum Kapsamı		Sömürülen Kadmiyum		Hasat Sonrası Toprakta Kalan Fosfor		Hasat Sonrası Toprakta Kalan Kadmiyum	
	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali	Asit	Alkali
Toprağa Uygulanan Fosfor Düzeyleri	0.738***	0.967***	0.857***	0.811***	0.731***	0.969***	0.911***	0.897***	0.737***	0.975***	0.887***	0.951***	0.874***	0.701***
Fosfor Kapsamı	0.819***	0.713***												
Sömürülen Fosfor	1.000***	0.946***	0.826***	0.894***										
Kadmiyum Kapsamı	0.737***	0.839***	0.816***	0.868***	0.732***	0.921***			0.742***	0.925***				
Sömürülen Kadmiyum	0.999***	0.971***	0.822***	0.827***	0.999***	0.986***	0.742***	0.925***						
Hasat Sonrası Toprakta														
Kalan Fosfor							0.823***	0.920***	0.937***	0.959***			0.940***	0.763***
Hasat Sonrası Toprakta														
Kalan Kadmiyum							0.830***	0.733***	0.867***	0.753***	0.940***	0.763***		

*** P < 0.001

Ek-18. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin fosfor kapsamına (%) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.2226	0.3133
	0.2544	0.3488
	0.2412	0.2861
	0.2618	0.3052
10	0.2375	0.2925
	0.2756	0.3256
	0.2511	0.2847
	0.2416	0.3666
20	0.3073	0.3582
	0.2544	0.3674
	0.2808	0.3042
	0.2802	0.3470
40	0.2808	0.3468
	0.2783	0.3379
	0.2884	0.3854
	0.3012	0.3889
80	0.2843	0.4171
	0.3109	0.3892
	0.2809	0.3714
	0.2779	0.3485
160	0.3466	0.5570
	0.3391	0.5519
	0.3367	0.5392
	0.3545	0.5723

Ek-19. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömürdüğü fosfor miktarına (mg/saksı) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.2671	0.3133
	0.4070	0.3139
	0.3136	0.2289
	0.4189	0.3052
10	0.3325	1.2870
	0.4961	2.1815
	0.3264	1.8221
	0.3382	2.4196
20	0.3688	2.1850
	0.5342	2.7555
	0.4493	2.0686
	0.4763	3.4353
40	0.6739	4.2656
	0.5844	4.4941
	0.6922	5.3185
	0.8132	5.0946
80	0.9666	8.0917
	0.8394	5.6434
	1.0393	6.9823
	0.8893	6.3427
160	3.9859	10.3602
	5.0526	9.9342
	4.7475	9.7056
	5.6011	9.9008

Ek-20. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin kadmiyum (Cd) kapsamına (ppm) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.5415	0.2970
	0.6044	0.2635
	0.5641	0.2668
	0.5066	0.2369
10	0.6075	0.2846
	0.6143	0.2693
	0.6058	0.3438
	0.5960	0.3682
20	0.6661	0.3541
	0.6778	0.3011
	0.6305	0.3210
	0.6580	0.3487
40	0.7306	0.3670
	0.8222	0.3130
	0.6390	0.3410
	0.7217	0.3270
80	0.8292	0.4100
	0.7455	0.4270
	0.7410	0.3990
	0.6611	0.3830
160	0.8581	0.5090
	0.8750	0.4818
	0.8106	0.4870
	0.8470	0.4670

Ek-21. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin sömüdüğü kadmiyum (Cd) miktarına ($\mu\text{g/saksı}$) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	0.0650	0.0297
	0.0967	0.0237
	0.0733	0.0213
	0.0810	0.0237
10	0.0933	0.1252
	0.1220	0.1804
	0.0820	0.2200
	0.0921	0.2430
20	0.0729	0.2160
	0.1290	0.2258
	0.0969	0.2183
	0.1013	0.3452
40	0.1990	0.4514
	0.1566	0.4163
	0.1778	0.4706
	0.1785	0.4284
80	0.2484	0.7954
	0.2220	0.6191
	0.2364	0.7501
	0.2309	0.6971
160	0.9868	0.9467
	1.3038	0.8672
	1.1430	0.8766
	1.3383	0.8079

Ek-22. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan yarıyışlı fosfor miktarına (ppm) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	14.31	6.27
	12.54	6.72
	13.65	6.50
	13.74	6.27
10	15.65	8.96
	15.85	8.74
	16.26	8.45
	17.24	7.62
20	19.42	13.22
	18.20	12.11
	20.18	12.77
	21.21	10.30
40	21.12	17.46
	19.14	15.23
	21.97	18.37
	22.16	18.82
80	32.24	27.33
	30.83	29.57
	27.06	29.12
	30.36	28.66
160	46.20	39.42
	45.72	36.90
	52.14	42.56
	54.87	41.50

Ek-23. Fosforlu gübrelemenin asit ve alkali toprakta yetiştirilen marul bitkisinin hasadından sonra toprakta kalan ekstrakte edilebilir kadmiyum (Cd) miktarına (ppb) etkisi

Fosfor (ppm)	Asit Toprak	Alkali Toprak
0	2.01	2.60
	2.69	2.71
	1.90	3.19
	2.20	2.10
10	1.90	3.00
	2.50	2.80
	2.50	2.65
	2.20	3.25
20	2.52	2.90
	2.78	2.70
	2.70	2.80
	3.00	3.10
40	2.90	2.91
	2.32	3.29
	2.58	3.00
	2.70	3.20
80	3.70	3.20
	3.38	2.90
	3.02	3.30
	3.40	3.10
160	4.60	3.89
	4.50	3.71
	4.40	3.80
	4.20	3.50

ÖZGEÇMİŞ

1963 yılında İran'ın Tebriz kentinde doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Tebriz'de tamamladı. 1985 yılında Türkiye'ye geldi. 1986 yılında öğrenime başladığı Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümünden 1990 yılında mezun oldu. Ekim 1990 - Temmuz 1992 yılları arasında, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Toprak Anabilim Dalında Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. Eylül 1992 yılında açılan Doktora sınavını kazandı. Halen, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Toprak Anabilim Dalında Doktora öğrenimini sürdürmektedir.

