

**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ASİT TOPRAKTA SİLİSYUMUN YULAF BİTKİSİNİN FOSFOR
BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEKLİSANS TEZİ

Rıfat BAKIR

Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı

Anabilim Dalı : Herhangi Mühendislik, Bilim

Programı : Herhangi Program

**ARALIK 2015
SAMSUN**



**T.C.
ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TOPRAK BİLİMİ ve BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

**ASİT TOPRAKTA SİLİSYUMUN YULAF BİTKİSİNİN FOSFOR
BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rıfat BAKIR
(12210800)**

Tezin Savunma Tarihi : 16 Aralık 2015

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ayhan HORUZ

Bu Yüksek Lisans Tez Çalışması Ondokuz Mayıs Üniversitesi
PYO.ZRT.1904.14.010 nolu Proje ile Desteklenmiştir.

Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalında
Rıfat BAKIR Tarafından Hazırlanan

ASİT TOPRAKTA SİLİSYUMUN YULAF BİTKİSİNİN FOSFOR
BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından 16/12/2015 tarihinde yapılan sınav ile
YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : **Prof. Dr. Ahmet KORKMAZ**
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ceyhan TARAKÇIOĞLU**
Ordu Üniversitesi

Doç. Dr. Ayhan HORUZ
Ondokuz Mayıs Üniversitesi

../. /2015

Prof. Dr. Hüseyin DEMİR
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Her zaman yakın ilgisini gördüğüm ve yüksek lisans öğrenimim boyunca engin bilgi birikimini ve tecrübelerini benden esirgemeyen, çalışmalarında her zaman yanımda olan ve yakından ilgilenen, sabır, hoşgörü ve yön verici fikirleri ile daima yanımda hissettiğim çok değerli danışmanım sayın Doç. Dr. Ayhan HORUZ hocama en içten saygılarımı sunarak teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Laboratuvar ve sera ortamında beraber çalıştığımız değerli arkadaşlarım Hüseyin KAYA, Burhan ŞİT ve Araştırma Görevlisi Güney AKINOĞLU'na teşekkür ederim. Ayrıca desteklerinden dolayı Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü öğretim üyelerine de şükranlarımı sunarım.

Aralık 2015

Rıfat BAKIR
(Ziraat Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELER LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
ASİT TOPRAKTA SİLİSYUMUN YULAF BİTKİSİNİN FOSFOR BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ.....	xv
ÖZET.....	xv
THE EFFECT OF SILICON ON PHOSPHORUS NUTRITION OF OAT PLANT (<i>Avena sativa</i> L.) GROWN IN ACID.....	xvii
SOIL.....	xvii
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR ÖZETLERİ	7
2.1 Toprakta ve Bitkide Fosfor.....	7
2.2 Toprakta Silisyum.....	8
2.3 Toprakta Si Noksanlık Şartları	13
2.4 Toprakta Yarayışlı Silisyumun Kritik Değeri.....	14
2.5 Toprakta Silisyum - Fosfor İlişkisi.....	14
2.6 Silisyumun Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri.....	16
2.6.1. Bitkilerde Silisyum.....	16
2.6.2. Silisyumun Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi.....	22
2.6.3. Silisyumun Bitkilerde Abiyotik Streslere Karşı Etkileri.....	27
2.6.3.1. Kimyasal Stresler.....	27
2.6.3.2. Fiziksel Stresler.....	28
2.6.4. Silisyumun Bitkide Biyotik Streslere Karşı Etkileri.....	28
2.6.5. Silisyumun Stres Şartları Altında Faydalı Etkileri.....	29
2.6.6. Silis Noksanlık Simptomları.....	30
2.7. Silisyum Gübrelemesi.....	31
3. MATERYAL ve METOT.....	35
3.1. Metod.....	35
3.2. Yöntem.....	35
3.3. Toprak Analizleri.....	36
3.3.1. Toprak Reaksiyonu (pH).....	36
3.3.2. Elektriksel İletkenlik (EC).....	36
3.3.3. Toprak Tekstürü.....	36
3.3.4. Organik Madde.....	36
3.3.5. Yarayışlı Fosfor (P ₂ O ₅).....	37
3.3.6. Yarayışlı Silisyum (Si).....	37
3.3.7. Katyon Değişim Kapasitesi.....	37
3.3.8. Değişebilir Katyonlar.....	37
3.3.9. Yarayışlı Mikro Elementler.....	37

3.4. Bitki Analizleri.....	37
3.4.1. Toplam Azot (N).....	37
3.4.2. Toplam Fosfor (P).....	38
3.4.3. Toplam Potasyum (K), Kalsiyum (Ca), Magnezyum (Mg), Demir (Fe), Mangan (Mn), Çinko (Zn) ve Bakır (Cu) ...	38
3.5. İstatiksel Analizler.....	38
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	39
4.1. Biyolojik İndeksler.....	39
4.1.1. Sap Kuru Madde Miktarı.....	39
4.1.2. Nispi Kuru Madde Miktarı.....	48
4.1.3. Kuru Madde Miktarında Sağlanan Değişim.....	57
4.1.3.1. Farklı Fosfor Düzeylerinde Uygulanan Silisyum İle Kuru Maddede Sağlanan Değişim Yüzdesi.....	57
4.1.3.2. Farklı Silisyum Dozlarında Fosforlu Gübrelemeyle Sağlanan Değişim Yüzdesi.....	63
4.1.3.2.1. Farklı Fosfor Dozlarında Silisyumlu Gübrelemeyle Sağlanan Değişim Yüzdesi.....	65
4.2. Fosfor ve Silisyumun Yulaf Bitkisinin Besin Element İçeriği Üzerine Etkisi.....	66
4.2.1. Azot Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	67
4.2.2. Fosfor Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	70
4.2.3. Potasyum Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	72
4.2.4. Kalsiyum Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	75
4.2.5. Magnezyum Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	77
4.2.6. Demir Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	80
4.2.7. Mangan Beslenmesi Üzerine Etkisi	82
4.2.8. Çinko Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	85
4.2.9. Bakır Beslenmesi Üzerine Etkisi.....	88
4.3. Yulaf Bitkisi Tarafından Kaldırılan Besin Element Miktarları.....	90
4.3.1. Kaldırılan Azot Miktarı.....	91
4.3.2. Kaldırılan Fosfor Miktarı.....	94
4.3.3. Kaldırılan Potasyum Miktarı.....	97
4.3.4. Kaldırılan Kalsiyum Miktarı.....	100
4.3.5. Kaldırılan Magnezyum Miktarı.....	102
4.3.6. Kaldırılan Demir Miktarı.....	105
4.3.7. Kaldırılan Mangan Miktarı.....	107
4.3.8. Kaldırılan Çinko Miktarı.....	110
4.3.9. Kaldırılan Bakır Miktarı.....	113
4.4. Biyolojik İndeksler ve Besin Element İçeriği Arasındaki İlişkiler.....	116
4.5. Biyolojik İndeksler ile Kaldırılan Besin Element Miktarı Arasındaki İlişkiler.....	124
5. SONUÇ.....	137
6. KAYNAKLAR.....	149
7. ÖZGEÇMİŞ.....	164

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1.	Silisyum içerikleri farklı besin çözeltilisinde yetiştirilen bitkilerde transpirasyon oranı ile alınan SiO ₂ miktarları	21
Çizelge 3.1.	Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	35
Çizelge 4.1.	Yulaf bitkisine uygulanan fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen sap kuru madde.....	40
Çizelge 4.2.	Fosfor ve silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen sap nispi kuru madde değerleri	50
Çizelge 4.3.	Fosfor ve silisyumlu gübrelemesi ile nispi kuru maddede kontrole göre sağlanan değişim.....	50
Çizelge 4.4.	Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyum ile kontrole göre kuru maddede sağlanan değişim.....	57
Çizelge 4.5.	Fosforlu gübreleme ile sağlanan değişim yüzdesi.....	65
Çizelge 4.6.	Silisyumlu gübrelemeyle sağlanan Değişim yüzdesi.....	66
Çizelge 4.7.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin azot içeriği üzerine etkisi.....	67
Çizelge 4.8.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin fosfor içeriği üzerine etkisi.....	70
Çizelge 4.9.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin potasyum içeriği üzerine etkisi.....	73
Çizelge 4.10.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine etkisi.....	75
Çizelge 4.11.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin magnezyum içeriği üzerine etkisi.....	78
Çizelge 4.12.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin demir içeriği üzerine etkisi.....	80
Çizelge 4.13.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin mangan içeriği üzerine etkisi.....	84
Çizelge 4.14.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin çinko içeriği üzerine etkisi.....	86
Çizelge 4.15.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin bakır içeriği üzerine etkisi.....	88
Çizelge 4.16.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı N miktarı üzerine etkisi	91
Çizelge 4.17.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı P miktarı üzerine etkisi.....	94
Çizelge 4.18.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı K miktarı üzerine etkisi.....	97
Çizelge 4.19.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Ca miktarı üzerine etkisi.....	100
Çizelge 4.20.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Mg miktarı üzerine etkisi.....	103
Çizelge 4.21.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Fe.. miktarı üzerine etkisi.....	105
Çizelge 4.22.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Mn miktarı üzerine etkisi.....	108

Çizelge 4.23.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Zn miktarı üzerine etkisi.....	111
Çizelge 4.24.	Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Cu miktarı üzerine etkisi.....	113
Çizelge 4.25.	Besin elementleri arasındaki ilişkilere ait korelasyon Katsayıları	116
Çizelge 4.26.	Kaldırılan besin maddesi arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları.....	124

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1.	Silisyum bileşiklerinin sınıflandırılması..... 10
Şekil 2.2.	Topraktaki silikat minerallerinin aşınma hızı..... 11
Şekil 2.3.	Zamana bağlı olarak değişik silis formlarından suda silisyum çözünürlüğü..... 12
Şekil 2.4.	Fosfor eksikliği olan topraklarda çeltik büyümesine silikat uygulamasının olanaklı etkilerini tanımlayan şema..... 16
Şekil 2.5.	Bitkiler aleminde silisyum biriktiren bitkilerin dağılımı..... 18
Şekil 2.6.	Bitki büyümesi üzerine silisyumun yararlı etkileri..... 24
Şekil 4.1.	Farklı fosfor dozlarında Si gübrelemesinin sap kuru madde miktarıyla olan ilişkileri..... 42
Şekil 4.2.	Farklı silisyum dozlarında fosfor gübrelemesinin sap kuru madde miktarıyla olan ilişkileri..... 45
Şekil 4.3.	Artan fosfor dozlarında uygulanan silisyum gübreleme ile elde edilen sap kuru madde ortalama değerleri ve arasındaki ilişki 46
Şekil 4.4.	Genel ortalamaların fosforlu gübreleme ile elde edilen sap kuru madde miktarı arasındaki ilişki..... 46
Şekil 4.5.	Genel ortalamaların silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen sap kuru madde miktarı arasındaki ilişki..... 47
Şekil 4.6.	Farklı Si dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme ile kuru madde arasındaki interaksiyon ilişkisi..... 48
Şekil 4.7.	Fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı arasındaki ilişkiler 51
Şekil 4.8.	Farklı fosfor dozlarında toprağa uygulanan silisyumlu gübre ile elde edilen nispi kuru madde miktarı arasındaki..... 52
Şekil 4.9.	Fosfor dozlarında silisyumlu gübrelemenin nispi kuru madde miktarı ile olan ilişkisi..... 53
Şekil 4.10.	Farklı silisyum dozlarında toprağa uygulanan fosforlu gübreleme ile nispi kuru madde miktarı arasındaki ilişkiler..... 55
Şekil 4.11.	Farklı Si dozlarında yapılan fosforlu gübreleme ile nispi kuru madde arasındaki interaksiyon (P X Si) ilişkisi..... 56
Şekil 4.12.	Ortalama silisyum dozlarında fosforlu gübrelemenin nispi kuru madde miktarı ile olan ilişkisi..... 57
Şekil 4.13.	Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübreleme ile sağlanan kuru madde değişimi..... 59
Şekil 4.14.	Silisyumlu gübrelemeye bağlı olarak uygulanan fosforlu gübreleme ile sağlanan ortalama kuru madde değişimi arasındaki ilişkisi..... 59
Şekil 4.15.	Farklı fosfor dozlarında silisyumlu gübreleme ile kuru madde de sağlanan değişimi..... 61
Şekil 4.16.	Fosforlu gübreleme bağlı olarak uygulanan silisyumlu gübreleme ile ağlanan ortalama kuru madde değişimi arasındaki ilişkisi..... 62
Şekil 4.17.	Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler..... 118
Şekil 4.18.	Yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler..... 119

Şekil 4.19.	Yulaf bitkisinin azot içeriği ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler.....	120
Şekil 4.20.	Yulaf bitkisinin fosfor içeriği ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler.....	121
Şekil 4.21.	Yulaf bitkisinin potasyum içeriği ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler.....	121
Şekil 4.22.	Yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler.....	122
Şekil 4.23.	Yulaf bitkisinin magnezyum içeriği ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler.....	122
Şekil 4.24.	Yulaf bitkisinin demir içeriği ile Mn ve Cu içeriği arasındaki ilişkiler.....	123
Şekil 4.25.	Yulaf bitkisinin mangan içeriği ile Cu içeriği arasındaki ilişki.....	123
Şekil 4.26.	Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile nispi kuru madde ve kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler.....	126
Şekil 4.27.	Yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler.....	127
Şekil 4.28.	Yulaf bitkisinin kaldırılan N miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler	128
Şekil 4.29.	Yulaf bitkisinin kaldırılan P miktarı ile kaldırılan K, Mg ve Zn arasındaki ilişkiler.....	129
Şekil 4.30.	Yulaf bitkisinin kaldırılan K miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler.....	131
Şekil 4.31.	Yulaf bitkisinin kaldırılan Ca miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler.....	132
Şekil 4.32.	Yulaf bitkisinin kaldırılan Mg miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler.....	133
Şekil 4.33.	Yulaf bitkisinin kaldırılan Fe miktarı ile kaldırılan Mn, Zn ve Cu miktarı arasındaki ilişkiler.....	134
Şekil 4.34.	Yulaf bitkisinin kaldırılan Mn miktarı ile kaldırılan Zn ve Cu miktarı arasındaki ilişkiler.....	134
Şekil 4.35.	Yulaf bitkisinin kaldırılan Zn ile Cu miktarı arasındaki ilişki.....	135

KISALTMALAR

Al	:	Alüminyum
Ca	:	Kalsiyum
Ca₂SiO₃	:	Kalsiyum silikat
cm	:	Santimetre
Cu	:	Bakır
da	:	Dekar
EC	:	Elektrik iletkenliği
Fe	:	Demir
g	:	Gram
Ha	:	Hektar
K	:	Potasyum
K₂SiO₃	:	Potasyum silikat
kg	:	Kilogram
KM	:	Kuru madde
L	:	Litre
Mg	:	Magnezyum
Mn	:	Mangan
ml	:	Mililitre
N	:	Azot
Na₂SiO₃	:	Sodyum silikat
P	:	Fosfor
Si	:	Silisyum
Si(OH)₄H₂O	:	Silisilik asit
TSP	:	Triple süper fosfat
Zn	:	Çinko
%	:	Yüzde

ASİT TOPRAKTA SİLİSYUMUN YULAF BİTKİSİNİN FOSFOR BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

ÖZET

Bu çalışmada asit toprak şartlarında yetiştirilen yulaf (*Avena sativa* L.) bitkisine uygulanan fosfor (P) ve silisyumun (Si) sap kuru madde (KM) miktarı, besin element içeriği ve alımı üzerine etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 2 kg fırın kur toprağa 0, 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm dozunda fosfor (TSP gübresi, % 42 P₂O₅) ve 0, 50, 100, 200 ve 400 ppm Si dozunda silisik asit [Si(OH)₄] uygulanmıştır. Sera şartlarında kurulan deneme 6 (fosfor) x 5 (silisyum) x 3 (tekerrür) tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre yürütülmüştür.

Artan dozlarda uygulanan fosfor yulaf bitkisinin KM miktarını kontrole göre önemli derecede (P<0,05) artırmıştır. En düşük kuru madde P-0 ve Si-0 dozunda (3,20 g) elde edilirken, en yüksek kuru madde P-100 ve Si-400 dozundan (13,58 g) elde edilmiştir. Fosfor uygulaması yulaf bitkisinin KM miktarını P-100 dozuna kadar artırmış, P-250 dozunda toksite nedeniyle azaltmıştır. Silisyum KM miktarını kontrol hariç tüm Si dozlarında artırmıştır. Bu artışlar fosforun 10, 25 ve 50 ppm düzeylerinde toprağa uygulanan 50 ppm Si dozunda, 100 ppm P düzeyinde 100 ppm Si dozunda ve 250 ppm P dozunda ise 200 ppm Si dozunda istatistiksel bakımdan önemli (P<0.05) bulunmuştur. En yüksek nispi kuru made miktarının artan fosfor dozlarına bağlı olarak genellikle Si'un 400 dozunda (%100) elde edilmiştir. Kontrole göre kuru madde miktarındaki değişim yüzdesi silisyum gübrelemesi ile fosforun 0, 10, 25, 50, 100, 250 mg kg⁻¹ dozlarında sırasıyla %35.63 (Si-400), %48.41 (Si-50), %22.95 (Si-400), %5.63 (Si-100), 27.99 (Si-400) ve %52.34 (Si-400) oranında artmıştır.

Silisyumlu gübreleme, N ve P içeriklerini P-250 dozu hariç, K içeriğini P-100 dozu hariç arttırdığı, Ca içeriğini değişken olmakla birlikte genellikle arttırdığı, Mg içeriğini pek değiştirmedeği, Fe ve Mn içeriğini azalttığı, Zn ve Cu içerikleri üzerine etkisinin ise değişken olduğu bulunmuştur. Silisyum gübrelemesi ile kaldırılan N, P, K, Ca, Mg ve Zn'nun arttığı, Fe ve Cu'nun değişken olduğu ve Mn miktarının azaldığı bulunmuştur.

Elde edilen sonuçlara göre asit toprağa düşük fosfor düzeylerinde uygulanan silisyumun yulaf bitkisinin Fe ve Mn alımını azaltmak suretiyle fosforunun bitkiye yararlılığını artırdığı, yüksek fosfor düzeylerinde de fosfor toksitesini azalttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla asit toprak şartlarında silisyumlu gübre uygulayarak P noksanlık veya toksitesinin azaltılabileceği bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Yulaf, Asit toprak, Fosfor, Silisyum, Besin element, Kapsam, Alım

THE EFFECT OF SILICON IN THE ACID SOIL ON PHOSPHORUS NUTRITION OF OAT PLANT (*Avena sativa* L.)

ABSTRACT

In this study, the effects of silicon (Si) and phosphorus (P) applications to oat plant (*Avena sativa* L.) grown in acid soil conditions on dry matter (DM), nutrient contents and uptakes were investigated. For this purpose, the doses of 0, 10, 25, 50, 100 and 250 ppm phosphorus (TSP fertilizer, % 42 P_2O_5) and 0, 50, 100, 200 and 400 ppm Si as a form of silicic acid [$Si(OH)_4$] were applied to the pots including 2 kg oven-dry soil. The experiment was carried out in a randomized factorial design with 6 (phosphor) x 5 (silicon) doses and 3 replicates under greenhouse conditions.

Increasing doses of the phosphor increased DM of oat plant significantly ($P<0,05$) compared to the control. The highest dry material was obtained at P-100 and Si-400 dosage (13,58 g), while the minimum DM was obtained at P-0 and Si-0 dosage (3,20 g). Phosphor application increased the DM of oat up to P-100 dosage and it decreased in P-250 dosage due to toxicity. Silicon increased DM significantly ($P<0,05$) in all the Si dosages, except the control. These increments were found statistically significant with 50 ppm Si application to soil at 10, 25 and 50 ppm P levels, 100 ppm Si application at 100 ppm P level and 200 ppm Si application at 250 ppm P level ($P<0.05$). The highest relative dry material contents in different phosphorous doses were obtained depend on increasing silicon doses and found as 100% in 400 ppm Si doses. The percentage changes in dry matter according to control in the 0, 10, 25, 50, 100, 250 mg kg^{-1} doses of phosphorus increased with increasing silicon rates of 35,63% (Si-400), 48,41% (Si-50), 22,95%, (Si-400), 5,63% (Si-100), 27,99 (Si-400) and 52,34% (Si-400), respectively.

Silicon fertilization increased the N and P contents except P-250 dose, K content except P-100 dose, Ca content and did not change Mg content very much, but decreased Fe and Mn contents, had changing effects on the Zn and Cu contents. It is found that N, P, K, Ca, Mg and Zn uptake by silicon fertilizer increased, Fe and Cu uptake were changeable and Mn uptake decreased.

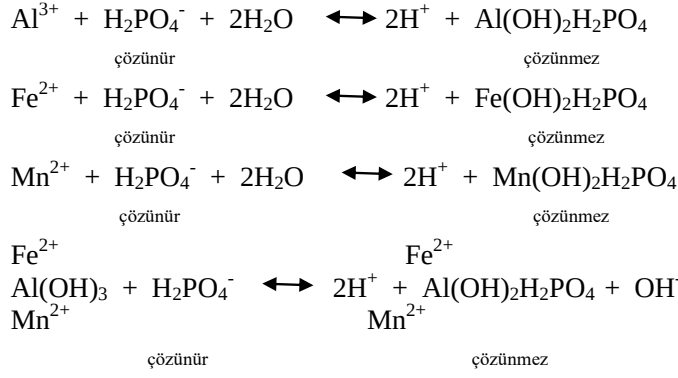
According to the results obtained from experiment, it is found that Si application into acid soil at lower P levels increased P availability for plant with decreasing Fe and Mn uptake by plant, and decreased P toxicity at higher P levels. Therefore, applying silicon fertilizer to the oat plant grown in acid soil may be decrease lack of P deficiency and its toxicity.

Key Words: Oat, Acid soil, Phosphorus, Silicon, Nutrient element, Content, Uptake

1.GİRİŞ

Toprakta fosforun temel kaynağını volkanik ve sedimenter orijinli kaya fosfatlar oluşturmaktadır. Genellikle 10 cm'lik toprak derinliğinde 200-2200 mg/kg total fosfor (organik ve inorganik) bulunmakla birlikte, bunun çoğu fikse (tutulmuş) halde olup bitkilere yarayışsız formdadır (Scheidt ve diğ., 2000). Toprakların toplam fosfor içeriği yüksek olsa da düşük pH nedeniyle değişebilir Fe, Mn ve Al içeriğindeki artış, yüksek kireç içeriği, yüksek kil kapsamı, yetersiz nem gibi koşullardan dolayı yarayışlı fosfor içeriği düşük olabilmektedir (Aktaş, 1994; Turan ve Horuz 2012). Ülkemiz topraklarının % 74.8'ı yarayışlı fosfor bakımından yetersiz bulunmuştur (Kacar ve İnal, 2008).

Toprakta fosfor bileşikleri inorganik (çözünabilir, güç çözünür ve çözünmez) ve organik fosfor bileşikleri olmak üzere iki temel gruba ayrılmaktadır. İnorganik fosfor bileşikleri, toplam toprak fosforunun yaklaşık % 60-80'ini oluşturmakla birlikte, bu oran toprak koşullarına ve toprak derinliğine bağlı olarak önemli değişiklik göstermektedir. Özellikle üst toprakta organik fosfor düzeyi, alt topraklara oranla toplam fosforun çok önemli bir bölümünü oluşturur. Derinlik arttıkça bu oran hızla azalır (Kacar ve Katkat,1998). Toprakta organik madde birikimi arttıkça organik fosfor oranı da artar. Hafif tekstürlü (kumlu) toprakların çözeltilisinde bulunan fosforun % 90'ını organik fosfatlar oluşturmaktadır. Yağış ve sulama sularının fosfor hareketini teşvik etmek suretiyle fosfor yarayışlılığını bir miktar artırsa da, fosfat iyonları ya toprak minerallerince absorbe edilerek ya da Ca, Mg, Al, Mn ve Fe gibi elementlerle birleşerek çökelti oluşturarak fikse olmaktadır (Turan ve Horuz, 2012). Fosfor, kireçli-alkalin reaksiyonlu topraklarda Ca ve CaCO_3 tarafından fikse edilirken, asit topraklarda (pH 4.5-6.0) hakim olan Fe, Al, Mn gibi katyonlarca veya aynı elementlerin hidrokilleriyle reaksiyona girmek suretiyle fosforu aşağıda gösterildiği şekilde bağlamak suretiyle yarayışlılığını azaltmaktadırlar (Aktaş, 1994; Kacar ve Katkat, 2009).



Toprakta fosfor fiksasyon reaksiyonları ve buna bağlı olarak oluşan çözünmez bileşikler toprak pH'sı, nem, sıcaklık, kil miktarı ve tipi, toprak organik maddesi gibi faktörlere bağlı olarak önemli değişiklikler gösterir.

Fosfor bitkilerde optimum büyüme ve gelişme için mutlak gerekli olan makrobesin elementlerinden ikincisidir. Fosfor bitki kuru ağırlığının yaklaşık % 0,2'sini oluşturmakta ve bitkide cereyan eden sayısız fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonlarda görev almaktadır (Theodorou ve Plaxton, 1993). Bitkiler fosforu temelde fosfat anyonu şeklinde alırlar. Fosfat iyonları bitkilerce pH 6'dan düşük asit karakterli topraklarda primer ortofosfat (H_2PO_4), pH 7'den yüksek alkalın topraklarda ise sekonder ortofosfat (HPO_4^{-2}) anyonları formunda alınırlar (Kacar ve Katkat, 1998).

Fosfor bitkilerde hareketli (mobil) bir besin elementi olduğu için noksanlığında yaşlı yapraklardan genç dokulara fosfor taşınır. Dolayısıyla noksanlık belirtileri ilk önce yaşlı yapraklarda ve genellikle genç ağaçlarda ortaya çıkar (Aktaş ve Ateş, 1998).

Fosfor noksanlığının en dikkat çekici belirtisi yaprak genişliği ve sayısının azalmasıdır. Bitkilerde gövde gelişimi kök gelişiminden daha fazla etkilenecek gövde/kök oranı azalır. Fosfor noksanlığında karbonhidratların kullanımı azalır ve bitkilerde koyu yeşil yaprak rengi oluşur. Bazı bitkiler ise pembemsi-mor renkli yapraklar oluşur. Bu renk değişimine, fosfor noksanlığında hücrelerde şeker birikimi sonucu ortaya çıkan antosiyanin renk maddesi yol açmaktadır (Aktaş, 1994).

Silisyumun toprakta adsorbe olmuş fosfor ile yer değiştirdiği ve adsorpsiyon alanlarında fosforun yerini doldurabildiği ortaya konulmuştur (Obihara ve Russell, 1972). Fox ve diğ. (1967) CaSiO_3 uygulanan topraklarda Al ve Fe oksitler tarafından H_2PO_4^- daha az fikse edildiğini saptamıştır. Fosfor eksikliği olan topraklardaki adsorpsiyon ve desorpsiyon denemeleri, silisik asit $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ 'in fosforun yerini değiştirmediğini ve fosfor adsorpsiyonu için toprak kabiliyetini düşürmediğini

göstermiştir. Aksine silisyum desorpsiyonu çözeltide artan fosfor konsantrasyonu ile artmış ve ilk uygulandığında silisyum adsorpsiyonunu azaltmıştır. Bu sonuçlar silisik asitin, toprakta fosforun yarıyışlılığını direkt olarak arttırmadığını fosfor için mevcut olan adsorpsiyon yüzeylerini doldurmak suretiyle fosforun yarıyışlılığını artırabildiğini göstermiştir (Ma ve Takahashi, 1990a). Dolayısıyla asit toprak şartlarında fosforun Al, Fe ve Mn gibi asidik katyonlar tarafında fike edilerek yarıyışlılığının azalması söz konusudur (Kacar ve Katkat, 2009).

Fosfor eksikliği olan çeltik topraklarında fosfor yarıyışlılığını belirlemek için yapılan çalışmada, adsorpsiyon denemeleri ne sodyum silikat nede sodyum karbonatın P adsorpsiyonunu azalttığını göstermiştir. Sodyum silikatın aynı zamanda toprak örneklerinde adsorbe edilmiş fosforun yerini değiştiremediği görülmüştür. Bu sonuçlar, çeltik bitkisinin büyümesine silikatın yararlı etkilerinin toprakta fosfor yarıyışlılığı artmasından sonuçlanmadığını göstermiştir. Silisyum uygulaması Mn alımını azaltarak bitkide dolaylı olarak fosfor yarıyışlılığını düzeltmektedir (Ma ve Takahashi, 1991a).

Diğer taraftan silisyum asit toprak şartlarında fosforu fikse eden Fe, Mn Al gibi katyonlarla bileşik oluşturmak suretiyle fosforun bitkiler tarafından yarıyışlılığının artmasına neden olduğu bildirilmiştir. Böylece silisyum gübrelemesi fosfor eksikliği olan toprakta yetişen bitkinin tane ve sapındaki fosfor konsantrasyonunu artırmakta ve fosfor kazanımının artması köklerden gövdeye fosfor taşınmasına yardımcı olmaktadır (IRRI, 1966). Fosfor kapsamı düşük toprakta yetiştirilen çeltik bitkisine uygulanan silisyumun toprağın fosfor kapsamını artırarak bitkinin fosfor içeriğini artırmıştır (Ma ve Takahashi, 1990a; Ma ve Takahashi, 1991b).

Fosfor eksikliği olan toprağa silisik asit uygulanması sonucunda, ilave fosforlu gübre uygulanmadığı halde çeltik bitkisinin sapında silisyum konsantrasyonunun arttığı, Fe ve Mn konsantrasyonunun azaldığı gövde kuru ağırlığı hem su altında kalan koşullarda hem de su altında kalmayan koşullarda önemli derecede arttığı bildirilmiştir (Ma ve Takahashi, 1990a). Çeltik bitkisinin beslenmesinde silisyumun fosfora bağlı yararlı etkileri köklerdeki Fe ve Mn konsantrasyonunu azaltmak suretiyle gövdede artan P/Mn ve P/Fe oranlarına bağlanmıştır (Ma ve Takahashi, 1991a). Fisher (1929) toprakta fosfor kullanışlılığını artırma ile sonuçlanan sodyum silikat uygulamasından sonra arpa ürününde bir artış olduğunu göstermiştir. Bastisse (1947) adsorbe edilmiş fosforun silisyum tarafından

yerinin değiştirildiğini rapor etmiştir. Silisyum tarafından bazı topraklarda fosforun yerinden çıkarılması adsorpsiyon izotermi ile ispat edilmiştir (Obihara ve Russell, 1972).

Toprağa fosfor uygulandığında Si, toprağın fosfor fiksasyon kapasitesini azaltmakta ve çözülebilir fosforu artırmaktadır (Nagako, 1998). Ayrıca, silisyumlu ortamda yetişen bazı çift çenekli bitkiler ve çeltik bitkisinde aşırı fosfor birikimi silisyum tarafından engellenmiştir (Miyake ve Takahashi, 1985; Ma ve Takahashi, 1990a; Marschner ve diğ., 1990).

Çeltik bitkisinde (*Oryza sativa*) silisyumun besin çözeltisinde fosforun düşük yada yüksek olması durumuna göre bitki büyümesi üzerine doğrudan bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bu etki çözeltideki fosfor düzeyine göre farklı düzeylerde gelişebilmektedir. Örneğin toprakta fosfor düşük olduğunda silisyum, Fe ve Mn alımında bir azalmaya sebep olmak suretiyle fosfor yararlanılabilirliğini artırabildiği, yada fosfor yüksek olduğunda ise silisyumun toprakta fosfor alımını azaltmak suretiyle gövdedeki inorganik fosfor konsantrasyonunu azaltmak suretiyle bitki gelişimini artırdığı ifade edilmiştir (Ma ve Takahashi, 1990a). Bu etkiler çeltik bitkisi üzerinde yapılan araştırmalar temel alınarak belirlenmiştir. Bu fonksiyonların çoğu yapraklar, gövde ve tane kabuklarında biriktirilen silisyumla ilişkilendirilmiştir. Bu yüzden silisyumun bitkiler üzerindeki fonksiyonları fizyolojik değil mekanikseldir (Ma ve Takahashi, 2002).

Domates ve hıyar (Miyake ve Takahashi, 1983), soya fasulyesi (Miyake ve Takahashi, 1985) ve çilek (Miyake ve Takahashi, 1986) için de silisyumun gerekliliği sürpriz bir şekilde kabul edilmiştir. Ayrıca silisyumun pamuk, buğday, yer fıstığı, kakao, elma, tütün ve kavun gibi diğer bitki türlerinin de büyümesine yararlı etki gösterdiği belirlenmiştir (Ma ve Takahashi, 2002).

Silisyumsuz veya düşük silisyumlu ortamlarda yetişen bitkiler; kusurlu genç yapraklara, klorozlu olgun yapraklara, yaprak lekelerine, dar yapraklara (şekerkamışı), sararma veya daha alttaki nekrotik lekeli yaprakların kahverengileşmesine, az kardeşlenmeye, dışa doğru kurumuş veya solmuş yaprak uçları ve küçük başak salkımına (çeltik) sahiptir (Dobermann ve Fairhurst, 2000).

Hem toprak hem de su kültürü çalışmaları toprakta yeterli fosfor varken silisyum uygulamasının bitkilerin P alımını etkilemediğini ancak ortamda Al, Fe ve Mn iyonlarının varlığında fosfor elementinin özellikle yüksek affinitesi sebebiyle fosforun bu elementlerce yararlanılabilirliği azalmaktadır (Cocker ve diğ. 1998). Beslenme

ortamında aşırı P bulunması durumunda ise esansiyel metallere Fe ve Zn ile kompleksler oluşturarak kloroz ve nekrozlara sebep olur. Aşırı P bitki hücrelerinde inorganik fosfor konsantrasyonunda artışlara sebep olur (Turan ve Horuz, 2012).

Beslenme ortamına uygulanan silisilik asit fosforun bu elementlerce bağlanarak yarayışlılığının azalmasını engelleyerek fosfor noksanlığını önleyebilmektedir. Fosfor konsantrasyonu yüksek olduğunda ortama uygulanacak olan silisyum köklerde birikme veya transpirasyonu azaltarak bitkilerin aşırı fosfor alımını azaltmak suretiyle aşırı fosforun sebep olduğu zararları azaltır (Nagaoka, 1998). Ayrıca silisyum birçok bitki türünde köklerin endodermal hücrelerinde birikerek fosforun kökten ksileme olan radyal taşınımına karşı apoplastik bariyer oluşturarak bitkilerin fosfor alımını azaltmaktadır (Lux ve diğ., 2003). Dolayısıyla silisyum köklerde depozito olmak suretiyle fosforun bitki tarafından alımına karşı engel teşkil ederek aşırı fosfor toksitesini önleyebildiği görülmektedir (Ma ve diğ., 2001a)

Silisyum bitkide hidroksi alumino silikatlar oluşturmak suretiyle Al konsantrasyonunu azaltarak toksiteyi önler. Monosilisilik asit $[\text{Si}(\text{OH})_3]^-$ Ca, Mg, Al ve Fe fosfatlardaki $[\text{HPO}_4]^{2-}$ anyonu ile yer değiştirmek suretiyle fiksasyonu azaltarak bitkiye olan yarayışlılığını artırdığı gibi bitkideki muhtemel toksitelerini de önler. Ayrıca DNA ve RNA molekülündeki fosfat anyonlarının yerine geçmek suretiyle de DNA ve RNA moleküllerinin stabilitelerini artırır (Aleshin, 1982; Voronkov ve diğ., 1978).

Bu çalışmanın amacı, sera koşulları altında asit toprağa artan düzeylerde uygulanan fosfor ve silisyumun yulaf bitkisinin kuru madde miktarı, fosfor ve diğer bazı besin element kapsamı üzerine etkilerini belirlemektir.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1. Toprak ve Bitkide Fosfor

Fosfor toprakta çok az hareketli (immobil) olduğundan, fosforun kök bölgesine ulaşması difüzyon ile gerçekleşir. Genellikle köklere doğru fosfor difüzyonu ince ve orta tekstürlü topraklarda 0,64 cm'den daha fazla değildir. Bu yüzden fosforlu gübrelerin tohum/köklere yakın verilmesi erken dönemde uygulanan fosforun bitkilerce yarıyışlı bir şekilde kullanımı bakımından oldukça önemlidir.

Fosfor bitkilerde optimum büyüme ve gelişme için mutlak gerekli olan makrobesin elementlerinden ikincisidir. Fosfor bitki kuru ağırlığının yaklaşık % 0,2'sini oluşturmakta ve bitkide cereyan eden sayısız fizyolojik ve biyokimyasal reaksiyonlarda görev almaktadır (Theodorou ve Plaxton, 1993).

Bitkiler fosforu temelde fosfat anyonu şeklinde alırlar. Fosfat iyonları bitkilerce pH 6'dan düşük asit karakterli topraklarda primer ortofosfat (H_2PO_4), pH 7'den yüksek alkalın topraklarda ise sekonder ortofosfat (HPO_4^{2-}) anyonları formunda alınırlar.

Bitkide fosforun bitki gelişimi ve metabolizması açısından başlıca etkileri aşağıda sıralanmıştır (Marschner ve diğ., 1990; Mengel ve Kirkby, 2001).

- Fosfor bitkilerde proteinler, enzimler, koenzimler, nükleik asitler ve fosfolipidlerin önemli yapısal bileşenidir.
- Hem fotosentez ve hem de solunumda gerekli olan NAD, NADH, ADP ve ATP gibi fosfor içeren enerjice zengin bileşiklerin sentezinde mutlak bir elementtir. Enerjice zengin köprüler (pirifosfat bağları) sayesinde protein sentezi de dahil enerji gerektiren sayısız fizyolojik olayda rol alır.
- Bitkiler nükleik asit olmaksızın tohum ve meyve bağlayamaz ve yeniden üreyemezler. Nükleik asit olmaksızın gelişemez ve normal fonksiyonlarını gerçekleştiremezler.
- Fotosentezde şeker ve nişasta üretimi ve solunumda şeker ve nişastanın oksidasyonu ile enerji üretimi sağlar.

- Çiçeklenme, tohum bağlama, erken büyüme ve kök oluşumunu teşvik eder, olgunlaşmayı hızlandırır ve tohum/meyve üretimini artırır.
- Besin elementleri ve diğer bileşiklerin taşınmasında görev alır. Özellikle depo organlarına ve tohumlara organik bileşiklerin taşınması enerji gerektirir.

Fosfor bitkilerde hareketli (mobil) bir besin elementi olduğu için noksanlığında yaşlı yapraklardan genç dokulara fosfor taşınır. Dolayısıyla noksanlık belirtileri ilk önce yaşlı yapraklarda ve genellikle genç ağaçlarda ortaya çıkar (Aktaş ve Ateş, 1998). Mısır, kışlık buğday, pamuk, meyve ağaçları ve üzüksü meyveler fosfor noksanlığına duyarlı bitkilerdir.

Fosfor noksanlığının diğer genel etkileri; bodurlaşma, donuk-mavi yeşil yaprak rengi, bazı kısımlarda morlaşma, sürgün, çiçek ve tohum oluşumunda azalma, tomurcukların geç patlaması, olgunlaşmada geçikme, tane ve meyvede azalma, ürün kalitesinde ve hastalıklara karşı dirençte azalma şeklinde ortaya çıkar (Kacar ve Katkat, 2009).

Normal koşullarda fosfor fazlalığının bitkiler üzerindeki olumsuz etkileri daha çok dolaylıdır. Toprakta fosfor fiksasyonu fazla olduğundan ve çözeltideki fosfor düzeyi genellikle çok düşük olduğundan, bitkilere aşırı miktarlarda fosfat girişi kolay rastlanan bir durum değildir. Bununla birlikte fosfor fazlalılığı, Zn ve Fe gibi mikrobesein noksanlıklarına yol açar. Ayrıca fosfor fazlalılığı Ca, B, Cu, ve Mn noksanlıklarına da yol açabilir. Dolayısıyla fosfor fazlalığı aslında Fe, Mg, Zn ve Cu gibi diğer besinlerin interaksyonu ile ortaya çıkan belirtilerdir (Karaman ve diğ., 2006). Fosfor fazlalığı durumunda ayrıca bitkilerin hastalıklara karşı dayanıklılıkları da azalmaktadır.

2.2. Toprakta Silisyum

Silisyum yerkabuğunda yaklaşık % 28 oranında bulunan ve miktar bakımından oksijenden sonra ikinci sırada yer alan elementtir (Elawad ve Gren, 1979; Epstein, 1994). Silisyum yeryüzünde çok aktif olduğu için doğada serbest olarak bulunması mümkün değildir. Fakat bütün kayalarda, kum, kil ve topraklarda ya oksijenli bileşiği olan silis (SiO₂) halinde yada oksijen ve alüminyum, magnezyum, kalsiyum, sodyum potasyum, demir gibi başka elementlerde oluşturduğu silikatlar halinde bulunur. Ayrıca doğal sularda, atmosferde (silisli toz halinde), pek çok bitki ve bazı hayvanların iskeletlerinde, dokularında, vücut sıvılarında da silisyum bileşikleri vardır.

Silisyumun en önemli bileşikleri silis ve silikatlardır. Bilinen tek oksidi SiO_2 'dir ve "Silis" olarak isimlendirilir.

Serbest SiO_2 doğada kum, kuvars ve dağ kristali olarak bulunmaktadır. Saf silis doğada ve oda sıcaklığında kuvars şeklinde kristal yapıdadır. Kuvars kristali bir çok kayanın yapı taşıdır.

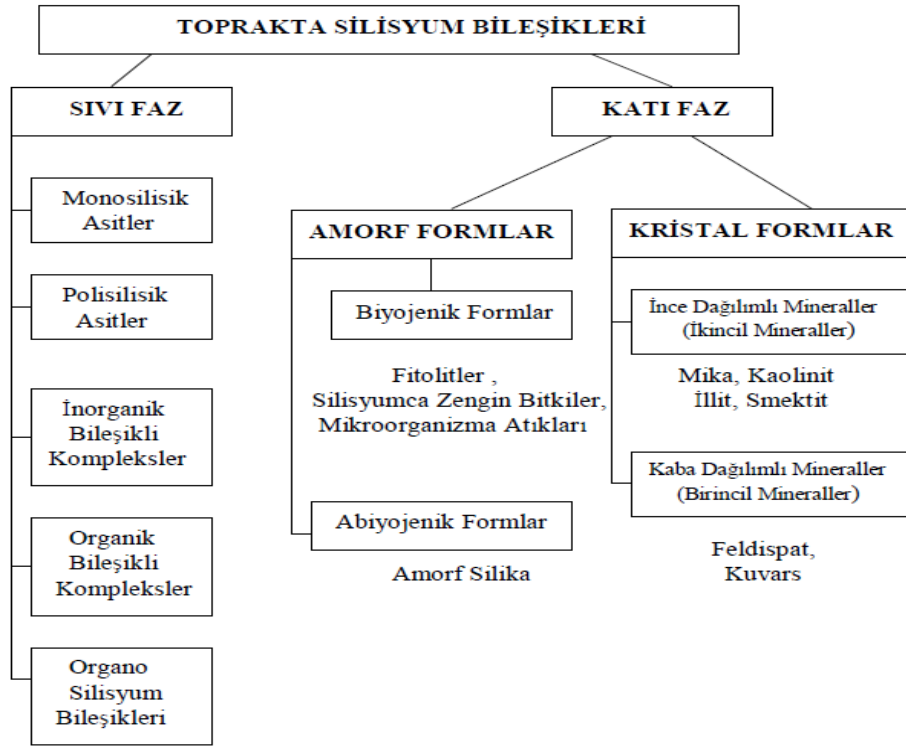
Kum ve kil biçimindeki silis beton ve tuğlanın yanı sıra yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter yapımında kullanılır. Kuvars minerali halindeki silisyumdan ise ısı ile yumuşatılarak cam eşyalar üretilir.

Suda çözülmeyen silikatların çoğundan da cam ve eşya, emaye, çanak, çömlek, porselen ve başka seramik malzemelerin üretiminde yararlanılır. Su camı olarak bilinen sodyum silikatlar sabun yapımında ahşap malzemelerin çürümelerini önlemede, yumurtaların saklanması, çimento olarak ve boyalarda kullanılır.

Silikonlar silisyum, oksijen, karbon ve hidrojenle yapay yolla üretilen organosilisyumoksitlerdir. Bunlar eylemsiz ve yüksek sıcaklıklara çok dayanıklı olmaları nedeniyle yağlayıcılarda hidrolik sıvılarında, su geçirmeyen malzemelerde, vernik ve emayelerde kullanılır.

Toprakların silisyum içeriği ağırlık ilkesine göre % 23 ve % 35 arasında değişir ve ortalama miktar % 32'dir (Tisdale ve diğ., 1985). Silisyum toprak çözeltisinde hesaba katılmayan bir molekül olarak mevcuttur ve alkaline topraklar hariç (McKeague ve Cline, 1963) konsantrasyonu genellikle diğer besinlerden çok daha yüksektir (Marschner, 1995). Tarım topraklarında ve normal pH sınırları içinde toprak çözeltisinde silisyum, genellikle çözülmüş silis (H_4SiO_4) ya da $\text{Si}(\text{OH})_4$ ve polisilik asitler olarak ortaya çıkar ve monosilik asit olarak bitkiler tarafından absorbe edilmektedir (Raven, 1983; Epstein, 2001).

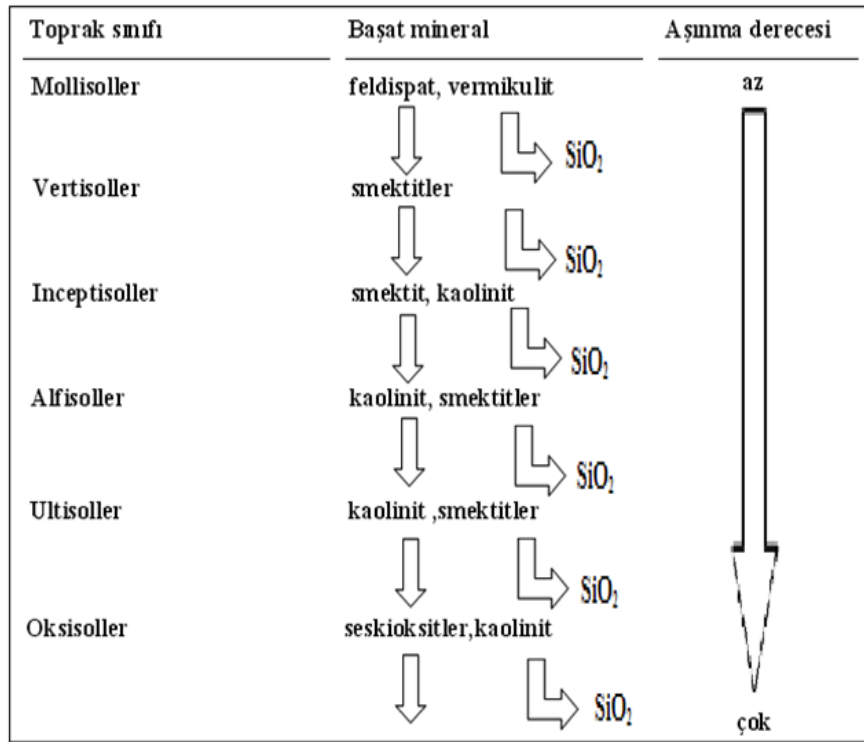
Silisyum elementinin temel kaynakları arasında birincil silikatlı mineraller, ikincil alüminosilikatlar ve silisin (SiO_2) çeşitli formları (biyogenik ve abiyojenik formlar) sayılmaktadır (Şekil 2.1.; Datnoff ve diğ., 2001). Bunlar Kuvars, Tridimit, Koerit, Kristobalit, Stishovit ve Opal'dir. Bunların ilk üçü ile Opal çoğu toprakların yüzde üzerinden en fazla ağırlık ve hacmini oluşturmaktadır.



Şekil 2.1. Toprakta silisyum bileşiklerinin sınıflandırılması

Toprakların çoğunda en yaygın minerallerden bir olan kuvars, toprakta kum ve silt fraksiyonlarının çoğunlukla % 90-95'ini oluşturur (Khalid ve diğ., 1978). Kuvars kısmen magmatik ve metamorfik kayalardan (Primer kuvars) gelir, kısmen de silikatların ayrışması sırasında (Sekonder kuvars) oluşur.

Toprak çözeltisinde silisyum miktarı (SiO_2), pH, sıcaklık, tanecik boyu, minerallerinin kimyasal bileşim ve çözünürlüğü, organik madde, su içeriği, redoks potansiyeli ve seksooksitler tarafından etkilenmektedir (Savant ve diğ. 1997a). Toprakta silisyum minerallerinin aşınma derecesinin topraklara göre farklılık gösterdiği, bazı topraklarda silis içeren mineraller hızlı aşınarak toprak çözeltisine daha fazla silisi serbest bırakabilirler (Brady, 1990). Topraktaki silikat minerallerinin aşınma hızı aşağıdaki Şekil 2.2'de olduğu bildirilmiştir (Savant ve diğ., 1997a).

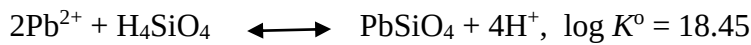
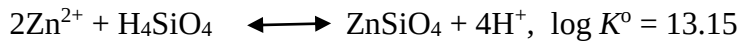
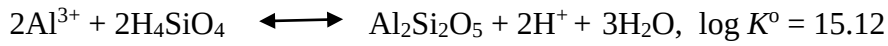


Şekil 2.2. Topraktaki silikat minerallerinin aşınma hızı

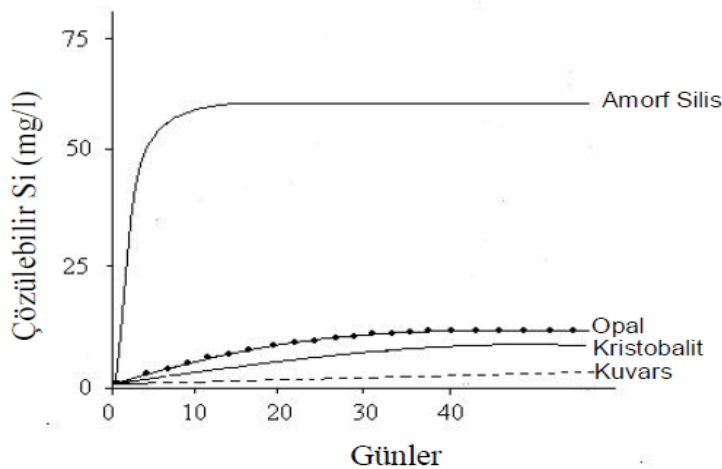
Oksisol ve ultisol gibi toprakların oluştuğu bölgelerde aşırı yağış, düşük pH ve baz doygunluğu, aşırı derecede ayrışma, yıkanma Si'un topraktan uzaklaşmasına neden olmaktadır (Savant ve diğ., 1997b). % 80'in üzerinde organik madde içeren topraklar (Histosollar) mineral madde kapsamı düşük olduklarından dolayı bitkiye yarayışlı Si kapsamı düşük olup, Si noksanlığı görülebilmektedir. Kuvars kumunca (SiO_2) zengin bütün entisoller bitkiye yarayışlı Si bakımından fakirdir (Datnoff ve diğ. 1997).

Toprak çözeltisinde monosilisilik asit konsantrasyonu $1-100 \text{ mg kg}^{-1}$ arasında değişmekle birlikte silisyumun yarayışlılığı pH, kil ve Fe-Al oksitler tarafından değişmekte ve pH arttıkça silisyumun iyonizasyonu artmaktadır (Jones ve Henreck 1965; Raij ve Camargo, 1973; Raven, 1983). Toprak çözeltisinde en yüksek silisyum konsantrasyonunun pH 9'a doğru oluştuğu belirtilmiş asit toprakların çözeltisinde silisyum kapsamının düşük olduğu, asit toprakların kireçlenmesi sonucu silisyum absorpsiyonun azaldığı bildirilmiştir. Loue, (1986) toprak çözeltisinin monosilisilik asit miktarı ile bitkiler tarafından adsorbe edilen silisyum miktarı arasında pozitif ilişki olup yulafta yapılan bir çalışmada toprak çözeltisinin monosilisilik asit kapsamı arttıkça bitkinin silisyum kapsamının arttığı tespit edilmiştir (Jones ve Handreck, 1967). Bu lineer ilişki Okuda ve Takahashi (1965) tarafından çeltik bitkisinde de ortaya konulmuştur.

Monosilisilik asit toprakta ağır metallere (Cd, Pb, Zn, Hg vd) kompleksler oluşturmak suretiyle onların toksik etkilerini azaltır. Bu etki ortamda silisyum konsantrasyonu ile değişkendir. Toprak düşük silisyum içeriğine sahipse oluşan komplekslerin çözünürlüğü düşük olurken, yüksek düzeylerde silisyumun varlığında ise oluşan komplekslerin stabiliteside çok daha güçlü olmaktadır (Schindler ve diğ., 1976; Lindsay, 1979; Birchall ve diğ., 1989; Cherepanov ve diğ., 1994). Silisyum aşağıdaki eşitliklerde görüldüğü gibi Fe ve Al'a bağlanarak toprağın Fe ve Al aktivitesinin azalmasına yol açarak fosfatların demir ve alüminyum fosfatlar şeklinde çözünemez forma dönüşmesini önlemek suretiyle toprakların yararlı fosfor kapsamını artırır (Dobermann ve Fairhurst, 2000).



Silisikasitin en basit kaynağı kuvars (SiO_2)'dir. Kuvars gibi daha dirençli silikatlar alüminasilikat killere göre silisyumu çok daha yavaş serbest bırakır (Foy, 1992; Savant ve diğ., 1997a). Olivin (Mg,Fe) $_2\text{SiO}_4$ ve anorthit ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) gibi kolay aşınan silikatlar çözelti içine bol silisyum bırakır. Amorf silis ise kristal formlarından çok daha fazla çözünür (Dress ve diğ., 1989) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Zamana bağlı olarak değişik silis formlarından suda silisyum çözünürlüğü

Topraklarda Si yarayışlılığı üzerine etki eden toprak ve yönetim koşulları arasında topraklar da bulunan Fe ve Al oksitlerin miktarları, kireçleme, su ile doygunluk su basması ve uygulanan bitki elementlerinin miktarları sayılabilir (Tisdale ve diğ., 1993). Topraklarda Fe ve Al oksitlerin miktarlarının artması toprak çözeltisinde çözünmüş şekilde bulunan silisyum miktarındaki azalmaya paralel olarak bitkilerin silisyum alımı da azalmaktadır (Kacar ve Katkat, 1998). Kireçlemenin arpa, yulaf, kırmızı üçgül, çeltik, çim, çavdar otu, sorgum ve şeker kamışı bitkilerinde silisyum alımını olumsuz şekilde etkilediği saptanmıştır. Bunun aksine pH'ın asit yöne doğru değiştirilmesi yada asitlendirmenin yulafın silisyum adsorpsiyonunu artırdığı saptanmıştır (Jones ve Handreck, 1965).

Toprağın su içeriği silisyum konsantrasyonunu etkilemektedir. Toprağın su altında kalma süresi uzadıkça toprak çözeltisinde bulunan Si konsantrasyonunun arttığı ve bir defada 50 gün içinde 11 ppm'den 19 ppm silisyuma yükseldiği belirtilmiştir (Güzel ve diğ., 1992). Bununla birlikte toprağın silisyum yarayışlılığı toprağın oksidasyon ve redüksiyon durumları tarafından etkilenmektedir (Ma ve diğ., 1989). Toprak çözeltisinin Si içeriği genellikle absorpsiyon ve desorpsiyon olayları tarafından belirlenmektedir.

Aşırı erozyon ve yıkanma kayıplarından dolayı tropikal topraklar sıcak bölge topraklarına göre daha az silisyum içermektedirler (Foy, 1992; Savant ve diğ., 1997a). Bunların silisyum içerikleri sıcak bölgede yüksek alan topraklarından 5-10 kat daha düşüktür (Juo ve Sanchez, 1985). Tropikal yüksek alan toprakları alçak alan topraklarından daha az silisyum içerirler (Winslow ve diğ., 1997).

Türkiye'de silisyum noksanlığına Doğu Karadeniz'in toplam alüminyum içeriği yüksek, baz saturasyonu düşük ve asit reaksiyonlu topraklarda rastlanmaktadır (Kacar ve Katkat, 1998).

Silisyum bakımından noksan topraklarda toplam Si içeriği düşük, toplam Al içeriği fazla ve buna paralel olarak da pH düşük olmaktadır. Bununla birlikte bu toprakların P fiksasyon kapasiteleri aşırı derecede yüksektir.

2.3. Toprakta Si Noksanlık Şartları

Silisyum noksanlığı topraklarda genellikle aşağıdaki durumlarda görünür (Dobermann ve Fairhurst, 2000):

- İntensif yetiştiricilik sonucu silisyumu aşırı sömürülmüş topraklarda,
- Silisyum noksanlığı çok yaşlı ve aşırı yıkanmış topraklarda,
- Düşük miktarda Si ihtiva eden ana materyal üzerinde oluşmuş topraklarda görülmektedir.

2.4. Toprakta Yarayışlı Silisyumun Kritik Değeri

Toprakların yarayışlı silisyum içerikleri kullanılan yöntemle, kritik Si değeri seçilen bitkiye göre değişmektedir. Çeltik bitkisi için kritik Si değerinin 0,5 N asetik asit ekstraksiyon metoduna göre 24 ppm (Korndorfer ve diğ., 2001), Sodyum asetat buffer metodu için 60 ppm (Imaizumi ve Yoshida, 1958), Park (2001) aynı metodla organik topraklarda 26 ppm olarak belirlenmiştir. Liang ve diğ. (1994), Imaizumi ve Yoshida (1958) tarafından önerilen sodyum asetat buffer metodunun kalkerli topraklarda Si durumunun belirlenmesi için uygun olmadığını bildirmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca belirtilen kritik değerden fazla, 70-181 ppm arasında Si içermelerine rağmen, çeltik ekimi yapılan kalkerli topraklarda hem çeltik hem de buğday veriminin Si gübrelemesi ile arttığını bildirmişlerdir. Çeltikte oransal ürününün % 85'ini almak için yöre topraklarında 0,18 M NaOH + 0,087 M CH₃COOH yöntemiyle belirlenen kritik Si değerinin 17.11 mg kg⁻¹ olduğu ve bu değer altındaki toprakların silisyum bakımından yetersiz oldukları belirlenmiştir (Horuz ve diğ., 2013).

2.5. Toprakta Silisyum – Fosfor İlişkisi

Fosfor eksikliği olan toprağa silisik asit uygulanması sonucunda çeltik bitkisinin gövde kuru ağırlığı hem su altında kalan koşullarda hem de su altında kalmayan koşullarda önemli derecede artar. Gövde silisyum konsantrasyonları, fosfor konsantrasyonunun artmamasına rağmen artar. Mn konsantrasyonu azalır ve böylece P/Mn oranı hem su altı hem de su altı olmayan koşullarda artmış olur (Ma ve Takahashi, 1990a).

Roy ve diğ. (1971) Hawaii'de yürütülen çalışmaların çoğunu yeniden incelemiş ve silisyumunun absorpsiyon alanlarında fosforun yerini doldurabildiğini ortaya koymuştur.

Hawaii'nin aşırı derecede parçalanmış topraklarına CaSiO₃ uygulayan Fox ve diğ. (1967), soya fasulyesi ürün miktarında olduğu gibi, bitkiye yarayışlı fosfor

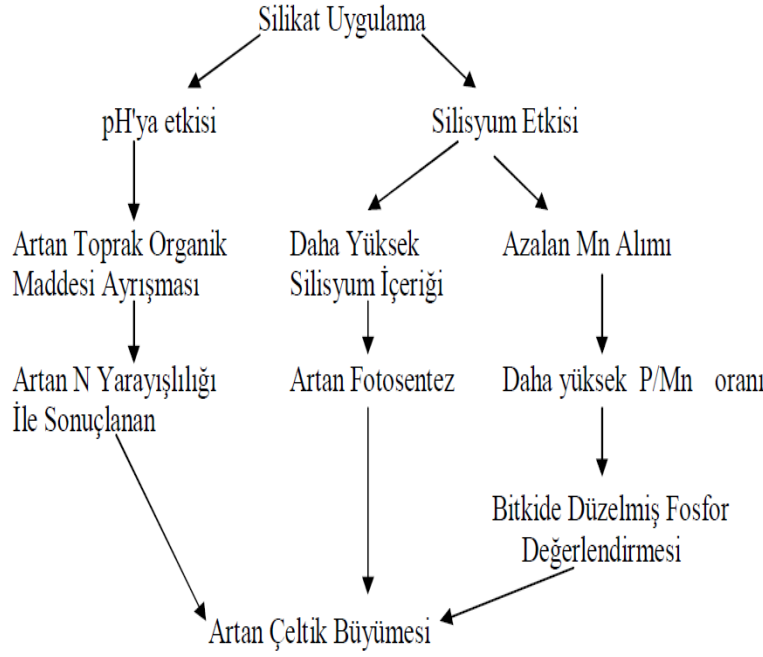
miktarında da önemli bir artış sağladığını rapor etmiştir. Ayrıca CaSiO_3 uygulanan topraklarda Al ve Fe oksitler tarafından H_2PO_4^- daha az fikse edildiğini saptamıştır.

Fosfor eksikliği olan topraklardaki adsorpsiyon ve desorpsiyon denemeleri, silisik asit $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ 'in fosforun yerini değiştirmedığını ve fosfor adsorpsiyonu için toprak kabiliyetini düşürmediğini göstermiştir. Aksine silisyum desorpsiyonu çözeltide artan fosfor konsantrasyonu ile artmıştır ve ilk önce uygulandığında silisyum adsorpsiyonu azalmıştır. Bu sonuçlar silisik asitinin, toprakta fosfor kullanışlılığını arttırmadığını göstermiştir (Ma ve Takahashi, 1990b).

Çeltik bitkisinin beslenmesinde silisyumun fosfora bağlı yararlı etkileri köklerdeki Fe ve Mn azaltıldığından dolayı gövdelerde P/Mn ve P/Fe oranlarına bağlanmıştır (Ma ve Takahashi, 1990a, 1991a). Silisyumlu ortamda yetişen bazı çift çenekli bitkiler ve çeltik bitkisinde aşırı fosfor birikimi silisyum tarafından engellenmiştir (Miyake ve Takahashi, 1985; Ma ve Takahashi, 1990a; Marschner ve diğ., 1990;).

Çeltik bitkisinin (*Oryza sativa*) fosfor alımı ve gelişimi üzerine silisyumun bir etkisi vardır, ve bu etki besin çözeltisinde fosfor düşük yada yüksek iken bitki büyümesi üzerine doğrudan etkidir. Bu doğrudan etki için etki yöntemi çözeltideki fosfor düzeyine göre farklıdır. Fosfor düşük olduğunda silisyum, Fe ve Mn alımında bir azalmaya sebep olmaktadır. Böylece bitki içinde fosfor yayırlılığı artmaktadır. Fosfor yüksek olduğunda silisyumun fosfor alımını azaltır ve böylece gövdedeki inorganik fosfor konsantrasyonu da azalmaktadır (Ma ve Takahashi, 1990a).

Fosfor eksikliği olan topraklarda, çeltik bitkisinde fosfor yayırlılığını belirlemek için yapılan bir çalışmada, adsorpsiyon denemeleri ne sodyum silikat nede sodyum karbonatın P adsorpsiyonunu azalttığını göstermiştir. Sodyum silikatın aynı zamanda toprak örneklerinde adsorbe edilmiş fosforun yerini değiştiremediği görülmüştür. Bu sonuçlar, çeltik bitkisinin büyümesine silikatın yararlı etkilerinin toprakta fosfor yayırlılığı artmasından sonuçlanmadığını göstermiştir. Silisyum uygulaması Mn alımını azaltarak bitkide dolaylı olarak fosfor yayırlılığını düzeltmektedir. Bu ve önceki çalışmalar temel alındığında fosfor eksikliği olan topraklarda çeltik bitkisinin büyümesi üzerine silikatın etkisi Şekil 2.4'de gösterilen şema ile tanımlanabilir (Ma ve Takahashi, 1991a).



Şekil 2.4. Fosfor eksikliği olan topraklarda çeltik büyümesine silikat uygulanması olanaklı etkilerini tanımlayan şema

2.6. Silisyumun Bitki Gelişimi Üzerine Etkileri

2.6.1. Bitkilerde Silisyum

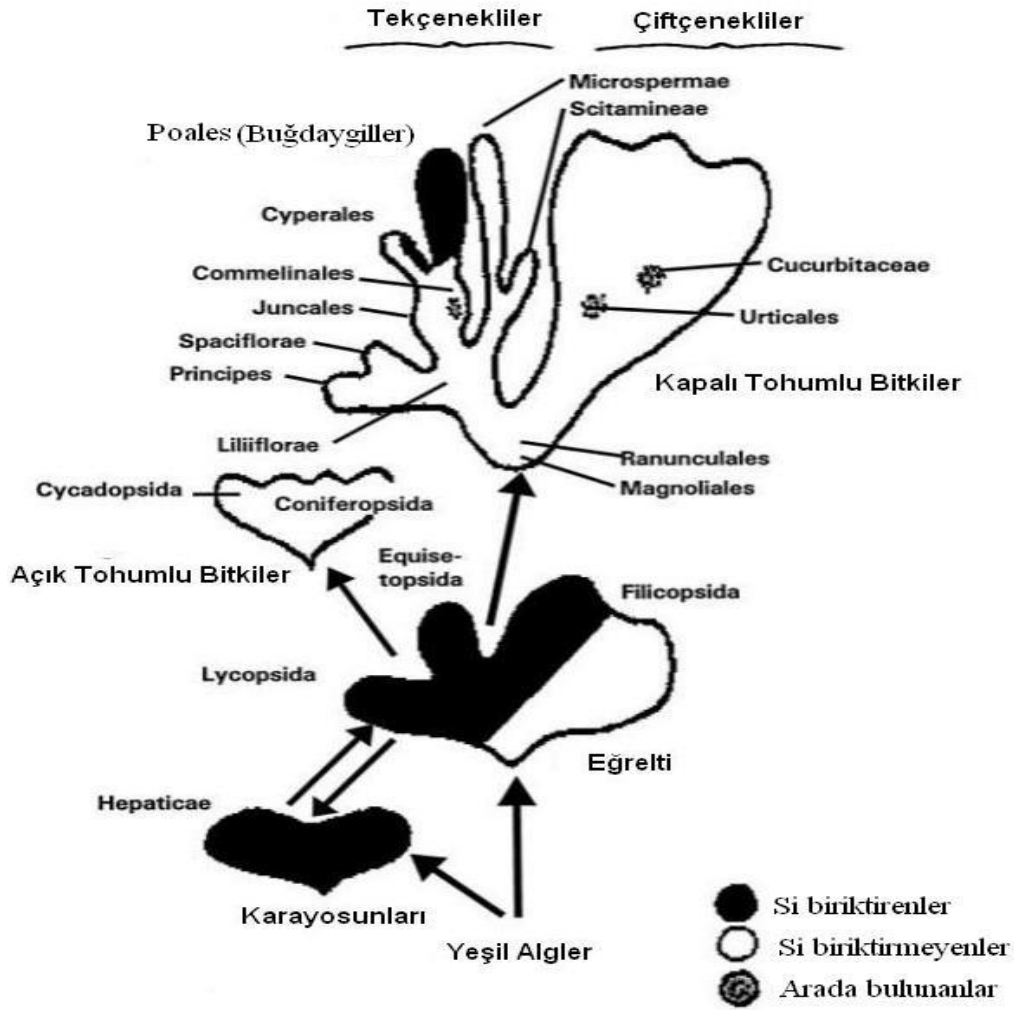
Bitkiler silisyumu kökleriyle monosilik asit (Si(OH)_4) ve pH'sı yüksek (alkalin) ortamlarda OH^- ve HCO_3^- iyonları aracılığı değişim yoluyla H_3SiO_4^- iyonu şeklinde alırlar. Silisyum biriktirmeyen bitkilerin silisyum alımları yavaş, buna karşılık silisyum biriktiren bitkilerin Si alımı daha hızlı olmaktadır (Ma, 2004).

Silisyum ksilem özsuyunda monosilik asit (Si(OH)_4) şeklinde bulunur ve iletim boruları içinde transpirasyon oranına bağlı olarak bitkinin ihtiyaç duyulan organlarına taşınır. Silisyum iletim boruları içinde transpirasyon oranına göre bitkinin ihtiyaç duyulan organlarına taşınmaktadır. (Jones ve Handreck, 1967; Mitani ve diğ., 2005). Silisyumun uzun mesafelere taşınması ksilemde sınırlanmakta ve Si ksilem kanalının hücre duvarlarında biriktirilmektedir (Raven, 1983). Bitkiler silisyumu dokularla depo ederler ve depolanan silisyum hareketsiz durumda kalır (Samuels ve diğ., 1991). Buğday kökü, ksilem özsuyu (Gantner ve diğ., 1984) ve ksilem damarlarında yüksek oranda Si bulunmasına karşılık (Casey ve diğ., 2003), sitoplazma Si miktarı düşük bulunmuştur (Hodson ve Sangster, 1990).

Tek çenekli bitkiler (Poaceae) genellikle baklagillerden ve diğer çift çenekli bitkilerden 10-20 kat daha fazla Si içermektedirler (Cheng, 1982). Metabolizma ve

transpirasyon gibi faktörler temel alındığında bitki dokusu içinde silisyum dağılımına rağmen daha fazla Si sıklıkla genç yaprak ile karşılaştırıldığında olgun yaprakta, kökler ile karşılaştırıldığında yaprak saplarında bulunmaktadır. Yaprakların ve sapların daha alttaki bölümleri genellikle üstteki bölümlerden daha fazla Si içermektedir. Örneğin, tropikal asidik toprakta yetişen sorgumda üst üç yaprağın silisyum konsantrasyonu birbirine yakın iken, ama dördüncü yapraktan altıncı yaprağa ilerledikçe artmaktadır. Birinci yaprağın Si içeriği 4.5 g/kg, altıncı yaprağın Si içeriği 12.2 g/kg olarak bulunmuştur (Clark ve Gourley, 1987).

Bitkiler Si'ü toprak solüsyonundan orto silisilik asit olarak da adlandırılan (H_4SiO_4) monosilisilik asit ($Si(OH)_4$) anyon formunda absorbe ederler (Lewin ve Reimann 1969; Yoshida, 1975). Silis bazı bitkilerde yüksek konsantrasyon gradientine karşı aktif adsorpsiyonla alındığı gibi pasif adsorpsiyonla da alınabilmektedir (Hodson ve Evans, 1995; Savant ve diğ., 1997b). Çeltik gibi Si akümüle eden bitkiler köklerinde toprak çözeltisinde bulunan silisyumdan ($0,1-1,6$ kg Si ha^{-1}) daha fazla silisyum bulunması bu bitkilerin silisyuma özel taşıyıcı proteinlere sahip oldukları ve silisyumun aktif olarak alındığı bildirilmektedir (Takahashi, 1995). Diğer bitkilerin ise silisi pasif adsorpsiyonla aldıkları kabul edilmektedir (Epstein, 1994). Pasif adsorpsiyonla alınan monosilisilik asit formundaki silis kök hücre membranlarını geçerek yaprak ve sürgünlere transpirasyon akımı ile taşınmaktadır (Tamai ve Ma, 2003). Bitkiler aleminde silisyum biriktiren bitkilerin dağılımı Şekil 2.5'de verilmiştir (Takahashi ve diğ., 1990).



Şekil 2.5. Bitkiler aleminde silisyum biriktiren bitkilerin dağılımı

Bitkilerin çiçekli kısımları vejetatif organlarına göre daha fazla silis içerdikleri ve köklerin toprak üstü kısımlara göre 10 kat daha fazla silisyum içerdigide belirtilmiştir. Ancak DNP (Dinitro fenol) gibi metabolik inhibitörler kökün silis adsorpsiyonunu bloke ettikleri belirtilmiştir (Loue, 1986). Silisyum çeltikte dane kabuğu teşekkülünde önemli bir rol oynar ve dane kalitesini artırır (Savant ve diğ., 1997b).

Dobermann ve Fairhust (2000), kardeşlenme döneminde çeltikte abiyotik ve biyotik streslere karşı kritik silisyum değerinin 50 gr Si/kg kuru maddede olduğunu, olgunlaşmada çeltik sapında 80-100 gr/kg kuru maddede olduğunu belirtmişlerdir. De Data (1981) ise Tanaka ve Yoshido (1970)' in çalışmalarına istinaden olgunlaşma döneminde çeltik sapında kritik değerin 50 gr Si/kg kuru madde olduğunu belirtmiştir.

Monokotiledon bitkilere oranla domates ve soya fasulyesi gibi dikotilodon bitkiler biomasda %0.1'den daha az Si değerine sahip oldukları için zayıf akümülator bitkiler olarak değerlendirilirler. Sucul çayırlar %5'e kadar Si ihtiva ederlerken; buğday, yulaf, çavdar, arpa, sorgum, mısır, şeker kamışı ve çayır çimeni biomasda takriben %1 Si ihtiva ederler (Epstein, 1994; Jones ve Handreck, 1967; Nishimura ve diğ., 1989). Silisyum bitkileri abiyotik ve biyotik stres şartlarına karşı korumak suretiyle etkili olmaktadır.

Çeltik (*Oryza sativa* L. cv Oochikara) bitkisi sağlıklı gelişebilmek ve yüksek verim verebilmek için aşırı derecede silisyuma ihtiyaç duymaktadır. Çeltik bitkisinin kuru ağırlığındaki Si miktarının % 10'undan fazlası gövdede toplanmakta ve % 90'ından fazlası da silika jeli olarak bulunmaktadır (Ma ve Takahashi, 2002). Silika jeli, çeltik bitkilerinde yaprakların, gövdenin ve tane kabuğunun epidermal hücrelerinin hücre duvarlarında çift silika epiderm tabakaları ve çift silika selüloz tabakaları formunda depolanmaktadır (Raven, 2003).

Çeltik dış kabuğu ve bambu (*Bambusa multiplex*) sapı gibi bazı bitki bölümleri diğer bitki bölümlerinden çok daha yüksek silisyum konsantrasyonuna sahip olmaktadır. Örneğin, çeltik bölümlerindeki silisyum konsantrasyonları dış kabukta 71 g/kg, yaprak sapında 56 g/kg, yaprak kılıfında 47 g/kg, gövdede 24 g/kg ve kökte 9 g/kg olarak bulunmuştur (Savant ve diğ., 1997a).

Geliştikleri ortamdan aldıkları silisyum miktarları yönünden bitkiler arasında önemli farklılıklar bulunur. İçerdikleri silisyum miktarlarına göre (kuru maddede SiO₂ olarak) bitkiler başlıca üç büyük gruba ayrılmaktadır. Tarla atkuyruğu (*Equisetum arvense*), ısırgan, ayak otu ve Poaceae'ların çeltik gibi sulak alanlarda yetişen türleri % 10-15, şeker kamışı ve çoğu buğdaygil çeşitleri gibi Poacea'ların kurak alanlarda yetişen türleri ile çift çenekli bitkilerin bir kaçı % 1-3 ve özellikle başta baklagiller olmak üzere çoğu çift çenekli bitkiler % 0.5 den daha az silisyum içermektedirler (Marschner, 1995).

Aynı toprakta yetişen 175 bitki türü üzerinde yapılan çalışmada Takahashi ve Miyake (1977), bitkileri silisyum biriktiren (Silikofil bitkiler) ve silisyum biriktirmeyen (Silikofob bitkiler) olmak üzere iki gruba ayırmıştır. Silisyum biriktiren silikofil bitkilerde Si alımı su alımından fazla iken Si biriktirmeyen silikofob bitkilerde Si alımı su alımına eş yada daha azdır. Silisyum biriktirmeyen bitkilerde Si miktarı ortalama olarak kuru ağırlıkta 2.5g/kg iken Si biriktiricilerde

ortalama olarak 19.6 g/kg'dır. Ayrıca silisyum birikimi aynı türler içindeki genotipler ve ıslah çeşitleri arasında değişmektedir (Nable ve diğ., 1990).

Silisyum bitkilerce alımı ile ilgili olarak aktif, pasif ve rejektif alım olmak üzere üç alım modeli ileri sürülmüştür (Takahashi ve diğ., 1990). Bu alım modelleri bitkiden bitkiye olduğu kadar bitki kökü üzerindeki monosilik asit $[\text{Si}(\text{OH})_4]$ konsantrasyonuna bağlı olarak değişmektedir (Kacar ve Katkat, 1998). Düşük konsantrasyondan yüksek konsantrasyonlara silisyum hareketi, silisik asitin aktif taşınması olarak ispat edilmiştir. Buğdaygiller ve özellikle çeltik ve şeker kamışı gibi silisyum biriktiren bitkiler için bu karakteristiktir (Tamai ve Ma, 2003).

Aktif adsorpsiyon çeltik (*Oryza sativa*) gibi yüksek silisyum biriktiren sulak alan buğdaygilleri için tanımlanır. Çeltik kökleri tarafından silisyum adsorpsiyonunun yüksek konsantrasyonlarda birikmesinden, anaerobik glikolizis ve aerobik respirasyon ile bağlantılarından dolayı aktif olduğu kabul edilmektedir (Savant ve diğ., 1997a). Kuru alan buğdaygillerinde silisyum adsorpsiyonu pasif olarak tanımlanır.

Soya fasulyesi aktif Si alımına göre pasif Si alımını daha fazla yapar. Çift çenekli bitkiler düşük Si biriktirdiklerinden dolayı bu alım modellerinden hariç tutulmaktadır (Takahashi ve Hino, 1978; Hodson ve Evans, 1995).

Silisyum biriktirmeyen bitkiler silisyumu sudan daha yavaş almaktadır. Buna karşı silisyum biriktirenlerse silisyumu sudan daha hızlı almaktadır. Özellikle buğdaygil türleri silisyumu endodermiste biriktirmektedir (Hattori ve diğ., 2001).

Çeltik kökleri ile Si alım oranı, dış çözeltinin Si konsantrasyonunda hızlı bir azalma ile sonuçlanan su alımından çok daha hızlıdır (Okuda ve Takahashi, 1962). Farklı bitki türleri ve çeltik kökleri silisyumu diğer besinlerden çok daha hızlı almaktadır (Takahashi, 1995). Çeltik ve buğday iyi bilinen bir silisyum biriktiricisi olup yapraklarında silisyum konsantrasyonu % 10 (w/w) dan daha fazla olabilir. Bu oran N, P ve K gibi diğer makro besinlerin konsantrasyonlarından çok daha yüksektir (Casey ve diğ., 2003).

Çizelge 1'de silikofil bitkileri, temsilen çeltik ve buğday ile silikofob bitkileri temsilen soya fasulyesinde Si alımı ile besin çözeltisinin Si konsantrasyonu arasındaki ilişki gösterilmektedir. Silikofil bitki olan buğday ve çeltiğin besin çözeltisinin SiO_2 konsantrasyonuna bağlı olarak silisyum alımı, soya fasulyesine göre ortalama 39 ve 10 kat daha fazla olmuştur. Buna paralel olarak çeltik ve buğday

bitkilerinin transpirasyon oranı soya fasulyesine göre ortalama % 28 daha fazla bulunmuştur (Kacar ve Katkat, 1998).

Çizelge 2.1. Silisyum içerikleri farklı besin çözeltisinde yetiştirilen bitkilerde transpirasyon oranı ile alınan SiO₂ miktarları (Vorm ve Vander, 1980)

Bitki	Besin çözeltisinin silisyum konsantrasyonu (mg SiO ₂)	Transpirasyon oranı H ₂ O / KM (kg)	KM Silisyum alımı SiO ₂ (mg)/km (kg)	Kitle akışının sonucu alınan Si*SiO ₂ (mg)/kuru ağırlık(kg)
Çeltik	0,75	286	10,9	0,2
	30	248	94,5	7,4
	162	248	124	40,2
Buğday	0,75	295	12	0,22
	30	295	18,4	8,9
	162	267	41	43,3
Soya Fasulyesi	0,75	197	0,2	0,15
	30	197	1,7	5,9
	162	197	4	31,9

* Hesaplamayla bulunan ve pasif absorpsiyon ile alınan Si miktarı

Çeltik bitkisinin yüksek silisyum biriktirmesinin sebebi köklerinin silisyumu aktif olarak almasından kaynaklanır. Lateral kökleri silisyum alımında önemli bir rol oynamakta, lateral köklerde silisyum alımı için özel bir taşıyıcı sistem olduğu kabul edilmektedir (Reed ve diğ., 1998; Richmond ve Sussman, 2003). Çeltik bitkisinde kök tüyleri Si alımında ispat edilebilir herhangi bir rol oynamamakta, fakat lateral kökler, silisyum alımına katkıda bulunmaktadır (Ma ve diğ., 2001).

Hıyar (*Cucumis sativus*) tepe noktalarında yüksek seviyede silisyum toplama özelliğine sahip bir tür olarak bilmekle beraber, yüksek seviyede silisyum alma mekanizması çok az anlaşılabilmektedir (Liang ve diğ., 2005).

Silisyum ksilem suyunda monosilik asit [Si(OH)₄] şeklindedir ve iletim boruları içinde transpirasyon oranına da bağlı olarak bitkinin ihtiyaç duyulan organlarına taşınmaktadır ve yalnızca taşınma sırasında yüksek seviyelerde bulunur (Jones ve Handreck, 1965; Mitani ve diğ., 2005). Mevcut bilgilere göre uzun mesafe silisyum taşınması ksilemi sınırlandırır ve nispi olarak silisyumun büyük miktarları terleme oranının yüksek olduğu, kanal sıkışması engellenmesinin önemli olabileceği yer olan ksilem kanalının hücre duvarlarında biriktirilmektedir (Raven, 1983). Bunun

temel sebebi transpirasyon oranının yüksek olması durumunda oluşacak basınç sebebi ile iletim borusunun zarar görmemesidir (Kacar ve Katkat, 1998).

Gövde ve gövde organları içindeki silisyum dağılımı transpirasyon ile taşınan özsuyn organndan geçiş durumuna ve organ yaşına bağlıdır (Jones ve Handreck, 1965). Çeşitli bitki hücre ve dokularında silisyum birikiminin miktarı farklılık göstermektedir (Epstein, 1999; Hodson ve Evans, 1995) ve yalnızca birkaç organın bazı bölümlerde silisyum birikiminin olmadığı rapor edilmiştir (Sangster ve Hodson, 1986). Bitkiler silisyumu dokularda depo ederler ve depolanan silisyum hareketsiz ve geri dağıtımsızdır (Samuels ve diğ., 1991). Buğday kökü, ksilem özsuyn (Gartner ve diğ., 1984) ve ksilem damarları yüksek silisyum içeriğine sahiptirler (Casey ve diğ., 2003), düşük Si içeriği ise yalnızca sitoplazmada bulunmaktadır (Hodson ve Sangster, 1990). Yapılan denemelerde buğday tarafından silisyum alımın eltik bitkisi ve diğer bitki türlerindeki ile benzer özellikte olduğu, silisyumun, ortosilisik asite (H_4SiO_4) maruz kalan buğday ksileminde birincil monosilisik asit [$Si(OH)_4$] olarak taşındığı ispatlanmıştır (Rains ve diğ., 2006).

Kök dokularında silisyum hücre duvarlarında depolanır. Silisyum buğday yaprağının epidermal hücrelerinin alt yüzeylerinde birirmektedir, yapraklar yaşlanır iken Si bu hücrelerin üst yüzeylerinde biriktirilmektedir (Hodson ve Sangster, 1989). Nispeten kalın silisyum tabakaları eltik yaprak hücrelerinin ince kutikula tabakası altında birikir (Yoshida, 1975). Sorgum epidermal hücrelerinin iç tanjential duvarları dış tanjential duvarlarından daha fazla Si birikimine sahiptir ve aynı zamanda bu alanda Si-Al bileşikleri bulunmaktadır (Hodson ve Sangster, 1993). Bitki tüyleri yüksek Si içermelerine rağmen en yüksek Si içeriği uzun ince lifli pamuk çeşitlerinde bulunmuştur (Belanger ve diğ., 1995).

2.6.2. Silisyumun Bitki Gelişimi Üzerine Etkisi

Silisyumun bazı bitki türlerinin gelişimi için gerekliliği, büyümeye ve verim artışına yararı, biyokimyasal reaksiyonları düzenlediği, tuz, ağır metaller (Mn, Al) ve patojenik mantar hastalıklarına karşı bitki direncini arttırdığı bir çok bilim adamı tarafından onaylanmıştır (Inanaga ve diğ., 2002; Rodrigues ve diğ., 2003; Datnoff ve Rutherford, 2004; Datnoff ve diğ., 2005).

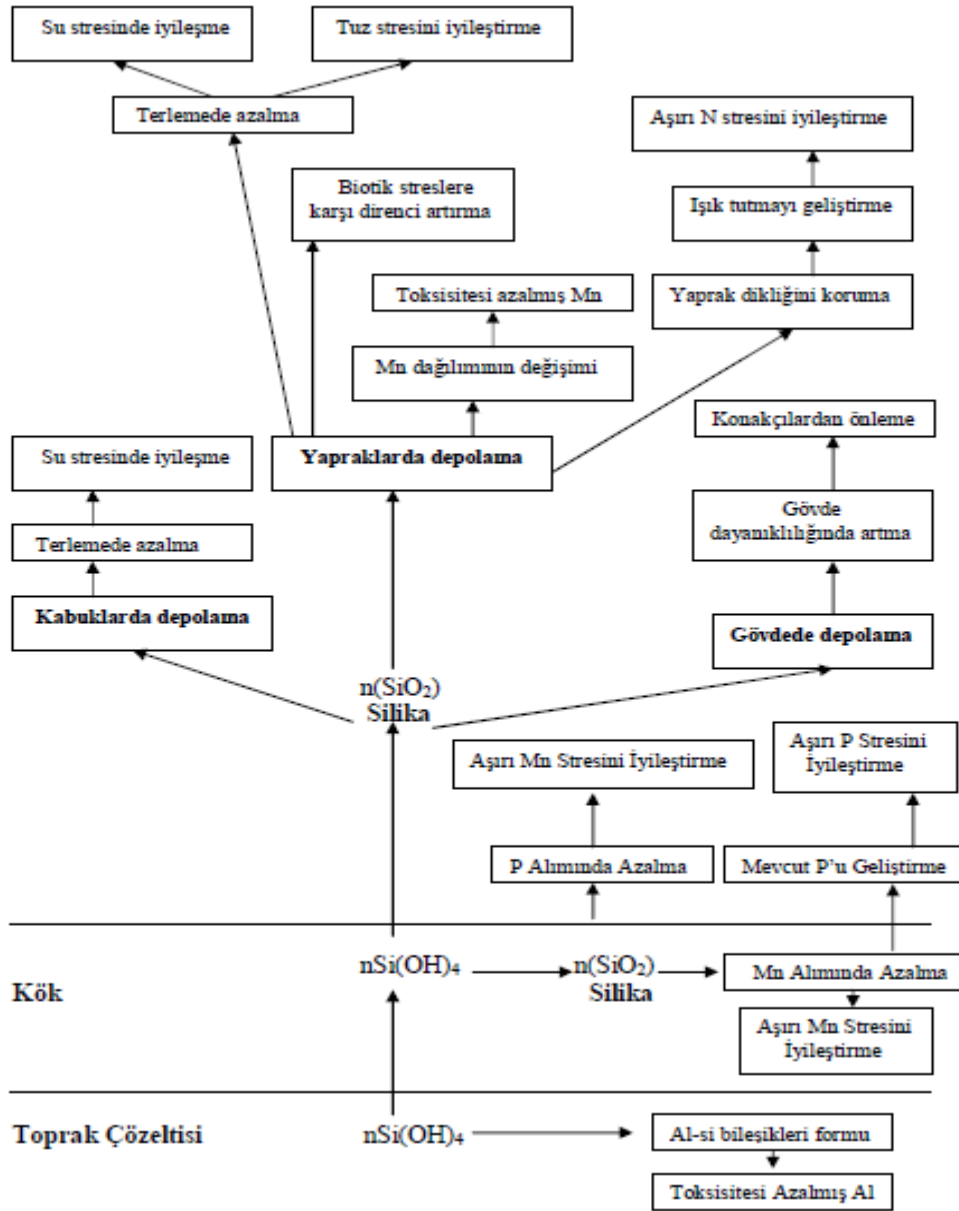
Silisyum, sulak alan ot türleri (Takahashi ve Miyake, 1977); *Equisiteum arvense*, *Claddophora glomerata*, *Symura petersenii*, eltik (*Oryza sativa*), şeker kamışı (*Saccharum officinarum*) gibi silikofil türler (Elewad ve diğ., 1982; Epstein, 1994) deniz algleri (diyatome) gibi tek hücreli organizmalar için temel element olarak

kabul edilmektedir (Werner ve Roth, 1983) ve bu elementin eksikliğinde bitkiler normal olarak büyümmez (Chen ve Lewin, 1969).

Silisyumun bitkilerdeki fonksiyonları Şekil 2.6'da özetlenmiştir. Bu fonksiyonların çoğu çeltik bitkisi üzerinde yapılan araştırmalar temel alınarak belirlenmiştir. Bu fonksiyonların çoğu yapraklar, gövde ve tane kabuklarında biriktirilen silisyumla ilişkilendirilmiştir. Bu yüzden silisyumun bitkiler üzerindeki fonksiyonları fizyolojik değil mekanikseldir (Ma ve Takahashi, 2002).

Domates ve hıyar (Miyake ve Takahashi, 1983), soya fasulyesi (Miyake ve Takahashi, 1985) ve çilek (Miyake ve Takahashi, 1986) için de silisyumun gerekliliği sürpriz bir şekilde kabul edilmiştir. Ayrıca silisyumun pamuk, buğday, yer fıstığı, kakao, elma, tütün ve kavun gibi diğer bitki türlerinin de büyümesine yararlı etki ettiği belirlenmiştir (Ma ve Takahashi, 2002).

Silisyumsuz veya düşük silisyumlu ortamlarda yetişen bitkiler; kusurlu genç yapraklara, klorozlu olgun yapraklara, yaprak lekelerine, dar yapraklara (şeker kamışı), sararma veya daha alttaki nekrotik lekeli yaprakların kahverengileşmesine, az kardeşlenmeye, kurumuş veya solmuş yaprak uçları dışına ve küçük panikulaya (çeltik) sahiptir (Dobermann ve Fairhurst, 2000).



Şekil 2.6. Bitki büyümesi üzerine silisyumun yararlı etkileri

Silisyum eksikliği olan sulak alan çeltiklerinde vejetatif büyüme ve tane üretimi farklı bir şekilde azalır ve bitkilerin solması, olgun yaprakların nekrozu gibi eksiklik belirtileri ortaya çıkabilir (Lewin ve Reinman, 1969).

Bitki büyümesi üzerine silisyumun yararlı etkileri ikincil dallanma, panikula, başakçık, kök filizleri ve yaprakların sayısını artırma; tohum dolmasını, dış kabuk şekillenmesini, çekirdek kalitesini ve çeltikte “Akiochi” ve bronzlaşma gibi düzensizliklerin iyileşmesini artırmaktadır (Cheng, 1982; Savant ve diğ., 1997a). Silisyumun şeker kamışında şeker ve kamış ürününü, gövde çapını, bitki ölçülerini, kök filizlenmesini ve bitki boyunu artırdığı rapor edilmiştir. Şeker kamışının, tarla koşulları altında optimal kamış ürünü için yaprak kuru maddesinde en az % 1 silisyum

olması istemektedir (yaklaşık %1-2 SiO₂). SiO₂ miktarı % 0.25 olduğunda ürün miktarı yarı yarıya azalmaktadır (Anderson, 1991). Bu azalma, tüm gün etkili gün ışığına bırakılan yaprak ağzlarında tipik olarak görülen eksiklik belirtilerine (yaprak çillenmesi) bağlanmaktadır. Buna karşın sera koşulları altında şeker kamışı için silisyum ihtiyacının çok düşük olduğu görülmüştür (Elawad ve diğ., 1982).

Silisyum ilavesi bitkilerin fotosentez, transpirasyon, su kullanım verimliliği ve vejetatif dönemden üretken büyüme dönemlerine daha hızlı geçmesini artırmaktadır (Savant ve diğ., 1997b). Düşük silisyumlu ortamda yetişen çeltik kötü dış kabuk kalitesine ve sütlü-beyaz çekirdeklere sahiptir (Mizuno, 1987). Silisyumlu yetişen bitkiler genellikle silisyumsuz yetişen bitkilerden daha erken olgunlaşır (Deren, 1997) ve silisyum genellikle üretken safhada vejetatif büyümede daha fazla etkilere sahiptir (Savant ve diğ., 1997a). Üretken safha sırasında silisyum tercihli olarak bayrak yapraklara taşınır ve bu safhadaki silisyum arzının kesilmesi başak verimliliği için zararlıdır. Çözeltide yetişen çeltik (*Oryza sativa*) bitkisinde üretken dönemde Si arzının kesilmesi sap kuru ağırlığı ve tanenin % 20-50 azalmasına sebep olmuştur. Bunun aksine üretken safhada silisyum ilavesi sap kuru ağırlığını % 243, tane kuru ağırlığını % 30 artırmıştır ve Si bütün bitkide % 66, yapraklarda % 70-75 üretken dönemde absorbe edilmiştir (Ma ve diğ., 1989).

Hıyar bitkisinin büyümesi üzerine silisyumun etkisini belirlemek için yapılan çalışmada; çözeltiye Si ilavesinin Si konsantrasyonunu artırdığı buna bağlı olarak yaprakların Si içeriğinin ve bitki gelişiminin arttığı, tütün küllenmesi hastalık belirtilerinin azaldığı gözlenmiştir. Bu sonuçlar Si eksikliğine hıyar bitkisinin büyüme tepkisinin kısmen domates bitkisine benzer olduğunu göstermiştir (Miyake ve Takahashi, 1983).

Çilek bitkisi silisyum biriktirmeyen bitki olarak sınıflandırıldığı için çilek bitkilerinin sağlıklı gelişimi için silisyum gereksiz olarak kabul edilir. Buna karşılık; yapılan bir çok araştırmada Si biriktirmeyen domates bitkisinde Si eksiklik belirtileri gözlenmiştir. Son denemelerde tarlada yetişen çilek bitkisinin taç yaprağının SiO₂ içeriğinin çiçeklenme safhasında, son safhasındakinden daha yüksek olduğu rapor edilmiştir. Bu sonuçla silisyumun çilek bitkisinde çiçek açma döneminde önemli bir rol oynayabildiğini göstermiştir (Miyake ve Takahashi, 1986).

Silisyumlu ve silisyumsuz çözeltilerde yetişen soya fasulyesi bitkileri ilk büyüme safhalarında normal olarak büyürler. Silisyumlu çözeltide yetişen bitkiler çiçek açma safhasında normal olarak gelişirken silisyumsuz çözeltide yetişen bitkilerde yedinci ve sekizinci yaprakların gelişiminde yaprak kıvrıncığı ve dışa doğru

eğilme gibi şekil bozuklukları oluşmakta, şiddetli durumlarda bitkilerin yaprak yüzeylerinde birçok negatif lekeler oluşmaktadır. Silisyumlu çözeltilerde yetişen bitkilerin polen/verimlilik oranı diğer bitkilerinkine göre daha yüksektir.

Soya fasulyesi bitkileri silisyumu, hıyar bitkisi gibi aktif alım ve rejektif alım arasında bulunan ara tip olarak almaktadır (Miyake ve Takahashi, 1985). Silisyum ilavesi ile topraktan alınan silisyum soya fasulyesinde filizlenmiş tohumun ve fidelerin fiziksel fonksiyonlarını geliştirerek soya fasulyesi tohumunda filizlenmeyi ve fide gelişimini artırmaktadır (Li ve diğ., 2005).

Silisyumun değişik tuzcul turba bitkilerinde de mevcut olduğu bilinir. *Spartina* cinsi türleri daha yüksek Si konsantrasyonlarına sahiptir (Lanning ve Eleuterius, 1989). *Spartina anglica* (Poaceae)'nın bitki doku konsantrasyonu ve büyümesi üzerine çözülmüş silisyumun etkisini belirlemek için yapılan çalışmada, hem tarla hem de laboratuvar denemelerinde artan silisyum seviyelerinin gövde büyümesi üzerine bir etki yapmadığı ve bitki dokusunun silisyum konsantrasyonlarında tutarlı bir artmaya neden olmadığı gözlenmiştir (Bakker ve diğ., 1999).

Tuzlu toprakta yetişen *Prosopis juliflora*'nın büyümesi üzerine silisyumun etkisini belirlemek için yapılan çalışmada, sulama suyuna 0.47 mM SiO₂ ilavesi ile tuzlu sulama suyu bitkiye 24 gün verildiğinde öğütülmemiş bitki kuru ağırlığında bir artma olduğu gözlenmiştir. Yüksek tuz ve SiO₂ verilen bitkiler, kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında kök ve gövde yapraklarına daha fazla kuru materyal dağılımı göstermiştir. Yüksek toprak tuzluluğu olan alanlarda SiO₂ kullanım imkanı yararlı olabilmektedir (Bradbury ve Ahmad, 1990).

Silisyum, bambu beslenmesinde özel bir role sahiptir. Bu bitkide silisyum hücre duvarı öğeleri ile ilişki kurar ve bitkilerin liflerinde ve ksilem hücre duvarlarında bulunur. Yenilebilir gövdelerin üretiminde silisyum gövde gelişmesini engelleyebilir ve artan lif içeriğinden dolayı kaliteyi azaltabilir (Hong, 1994; Fu ve Banik, 1995). Bunun aksine silisyum uygulaması, bir ton kerestede yaklaşık 16 kg silisyum kaldırma ile bambu saplarının mekaniksel özelliklerini düzeltmektedir (Nonaka, 1989).

Gelişen bitkilere silisyum ilavesi; yaprak kalınlığını ve kuru ağırlığını, kök tazeliğini ve kuru ağırlığını, daha az yaprak solmasını, alttaki yaprakların daha yeşilliğini (yüksek klorofil) ve bazı fotosentetik enzimlerin aktivitelerini artırmıştır (Adatia ve Besford, 1986).

Silisyumlu veya silisyumsuz yetişen *Bromus secalis* için çiçek durumu ağırlıkları, yaprak, gövde ve kökün daha fazla olmamasına rağmen silisyumlu yetişen bitkilerin çekirdekleri silisyumsuz yetişen bitkilerin çekirdeklerine göre daha dolu vedaha fazla uygulanabilirliğe sahiptir (Gali ve Smith, 1992).

2.6.3.Silisyumun Bitkilerde Abiyotik Streslere Karşı Etkileri

Bitkilerde gelişen abiyotik stres şartları kimyasal ve fiziksel olmak üzere 2'ye ayrılmaktadır (Ma ve diğ., 2001; Ma, 2004).

2.6.3.1. Kimyasal Stresler

- Fosforun noksanlığı veya aşırı fosfor (toksitesi)
- Kumlu topraklarda fosforun yıkanmasını önler
- Aşırı azot
- Tuzluluk
- Ağır metal toksitesi (Al, Cd, As, Mn, Fe)
- KDK'yı artırır
- Toprak matriksinde B, Cu, Fe, Mn ve Zn gibi mikro elementlerin alımını artırmakta, Al ve Na toksitesini azaltır.

Hem toprak hem de su kültürü çalışmaları toprakta yeterli fosfor varken silisyum uygulamasının bitkilerin P alımını etkilemediğini ancak fosfor elementinin özellikle Al, Fe ve Mn iyonlarına yüksek affinitesi sebebiyle ortamda bu iyonların varlığında fosforun bu elementlerce bağlanarak yarayışlılığı azalmaktadır. Beslenme ortamına uygulanan silisilik asit fosforun bu elementlerce bağlanarak yarayışlılığının azalmasını engelleyerek fosfor noksanlığını önler. Beslenme ortamında aşırı P bulunması durumunda ise esansiyel metallerden Fe ve Zn ile kompleksler oluşturarak kloroz ve nekrozlara sebep olur. Aşırı P bitki hücrelerinde inorganik fosfor konsantrasyonunda artışlara sebep olur. Fosfor konsantrasyonu yüksek olduğunda ortama uygulanacak olan silisyum köklerde birikme veya transpirasyonu azaltarak bitkilerin aşırı fosfor alımını azaltmak suretiyle aşırı fosforun sebep olduğu zararları azaltır. Ayrıca silisyum birçok bitki türünde köklerin endodermal hücrelerinde birikerek fosforun kökten ksileme olan radyal taşınımına karşı apoplastik bariyer oluşturarak bitkilerin fosfor alımını azaltmaktadır (Lux ve diğ., 2003). Dolayısıyla silisyum asit topraklarda fosfor yarayışlılığını artırarak P noksanlık stresi önler.

Silisyum bitkide hidroksi alumino silikatlar oluşturmak suretiyle Al konsantrasyonunu azaltarak toksiteyi önler. Monosilisilik asit $[\text{Si}(\text{OH})_3]^-$ Ca, Mg, Al ve Fe fosfatlardaki $[\text{HPO}_4]^{2-}$ anyonu ile yer değiştirmek suretiyle fiksasyonu azaltarak bitkiye olan yararlılığını artırdığı gibi bitkideki muhtemel toksitelerini de önler. Ayrıca DNA ve RNA molekülündeki fosfat anyonlarının yerine geçmek suretiyle de DNA ve RNA moleküllerinin stabiliteğini artırır (Aleshin, 1982; Voronkov ve diğ., 1978).

2.6.3.2. Fiziksel Stresler

- Kuraklık ve su stresi
- Radyasyon zararı
- Rüzgar zararı
- Bitkinin yatması
- Düşük ve yüksek ışık intensitesi durumlarında gelişen olumsuz şartlara karşı bitkileri korur.

Silisyumlu ve silisyumsuz çeltik fideleri farklı seviyelerde γ -ışına maruz bırakıldığında silisyum uygulanan fideler diğer fidelere göre daha iyi geliştikleri ve çok daha az ağırlık kaybı gösterdikleri belirlenmiştir (Takahashi, 1995).

Silisyum çeltik ve buğday gibi tahılların sap hücrelerinin kalınlığını ve damar hacmini artırmak suretiyle rüzgarlı havalarda bitkilerin yatmaya karşı direnini artırır. Ayrıca başaktan su kaybını önleyerek sterilitiyi sağlar.

Silisyum yaprakları dik tutarak ışıktan yararlanma oranını artırmak suretiyle bitkiyi korur (Hamayun ve diğ., 2010).

Silisyum hücre membranlarındaki lipidlerin termal stabilitesini artırmak suretiyle yüksek ısılarda bitkilerin zarar görmelerini önler (Ageria ve diğ., 1998).

Arpada çimlenme yüzdesini (Matichenkov, 1990), domates bitkisinde çiçeklenme oranını (Miyake, 1993), mısır ve turunçgillerde ise büyüme oranını %30-80 oranında artırarak meyvenin olgunlaşmasını artırdığı bildirilmiştir (Taranovskaia, 1939)

2.6.4. Silisyumun Bitkide Biyotik Streslere Karşı Etkileri

Silisyum, bitkilerdeki mekanik ve fizyolojik özellikler üzerinde faydalı etkilere sahip biyoaktif bir elementtir. Silisyum, abiotik ve biyotik stresleri azaltır ve bitkilerin, patojenik mantarlara karşı dayanıklılığını artırır. Maksimum ışık alımı için

yaprakların güneşe karşı yönlendirilmesine yardımcı olmaktadır. Böylece fotosentez artmakta ve bir çok mineralin adsorpsiyonu, taşınması ve bitkinin yaşamında diğer bir çok fonksiyonları etkilemektedir (Epstein ve Bloom, 2005).

Birçok araştırma, silisyumun bitkilerin savunma mekanizmasını aktif hale getirdiğini öngörmüştür, ancak henüz bu dayanıklılığa sebep olan silisyum elementi ile biyo kimyasallar arasındaki etkileşimin nasıl olduğu kesinlik kazanmamıştır. Buna karşın silisyumun patojenlere karşı bitki direncini artırması köke sağladığı mekaniksel güçle ilişkilendirilmiştir. Silisyumun kök hücre duvarlarının üstüne kabuk bağlamasından dolayı kökün mekaniksel gücü ve patojen penetrasyonuna engel olma özelliği artmakta ve böylelikle kökler patojenlere karşı daha dayanıklı olmaktadır. Silisyum, bitki savunma mekanizmasının düzenleyicisi olarak biyo aktiflik özelliğine dair ışık tutabilecek kendine has biyo kimyasal özelliklere sahiptir (Lux ve diğ., 2003; Fauteux ve diğ., 2005).

Silisyumun Bitkide Biyotik Streslere Karşı Etkileri;

- Bitki büyümesini ve gelişimini uyararak verimi artırır
- Bakteri ve mantarların sebep olduğu hastalıkları baskılar (hıyar, bal kabağı, buğday, arpada gibi bazı bitkilerde toz mildiyö, çok yıllık çimlerde ve bermuda çiminde gri yaprak lekesi)
- Koçan kurdu, sap tırtılı, yaprak örümcek böceği ve değişik yaprak yiyicilerin zararlarını baskılayarak zararlarını azaltır veya önler.

2.6.5. Silisyumun Stres Şartları Altında Faydalı Etkileri

Silisyumun faydalı etkilerinin çoğu kök, yaprak, sap, kabuk veya kavuzda depo edilmek suretiyle ortaya çıkmaktadır. Bitkilerin özellikle tahılların sürgünlerinde ne kadar çok silis akümüle edilirse faydalı etkiler o kadar çok ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte, sürgülerde akümüle olan silisyum genotip faktörlere (bitki çeşidine) göre önemli derecede farklılık arz eder. Çoğu bitki sürgünlerinde yüksek seviyelerde silisyum akümüle etme yeteneğinde değildir. Bitkilerin silisyum akümüülasyonundaki bu farklılık köklerin Si alım kabiliyetindeki farklılıktan kaynaklanır. Örneğin çeltik bitkisi köklerinde silisyuma özel taşıyıcı proteinlere sahip olduğundan silisyuma affinitesi yüksektir. Özellikle dikotiledon baklagil bitkileri bu çeşit taşıyıcılara sahip olmadıkları için silisyum alma kabiliyetleri monokotiledon tahıllardan daha azdır (Tamai ve Ma, 2003).

2.6.6. Silis Noksanlık Simptomları

Silisyumun; bitkilerin mangan (Shi ve diğ., 2005), alüminyum (Soldos ve diğ., 2003), kadminyum (Gong ve diğ., 2005) karşı direncini veya toleransını artırdığı belirtilmiştir. Silisyum bitki büyümesini dolaylı yoldan artırabilmektedir. Yeterli silisyumla beslenen bitkiler genellikle silisyumsuz yetişen bitkilerden daha erken olgunlaşmaktadır. Silisyum ilavesi bitkilerin fotosentez, transpirasyon, su kullanım etkinliği ve vejetatif dönemde üretken gelişme dönemlerine daha hızlı geçmesine artırır. Silisyum bitkilerde ayrıca ikincil dallanma, başakçık, kök filizleri ve yaprak sayısında artış, dış kabuk şekillenmesi, çekirdek kalitesi ve çeltikte 'akiochi' ve 'bronzlaşma' gibi düzensizliklerin giderilmesinde olumlu etkiye sahiptir (Mengel ve Kirkby, (1982).

Silisyumun yetersiz olması durumunda bitkilerde ortaya çıkan belirtiler şu şekilde sıralanabilir (Marschner ve diğ., 1990; Singh ve diğ., 2005):

- Yapraklarda yaşlanma (senescence) hali (hıyar gibi bitkilerde) ortaya çıkar.
- Genç yapraklarda şekil bozuklukları, dışa doğru kıvrılarak sarılma ve yaprakta incelme (özellikle domateste)
- Yaprakların fotosentetik aktivitesi düşer ve olgun yapraklarda kloroz gözükür.
- Klorozla birlikte gelişen alt yaprakların kahverengileşmesi ve nekrotik benekler oluşur.
- Olgun yapraklarda çillenme ve şerit şeklinde oluşumlar (şeker kamışı gibi bitkilerde)
- Tahıllarda zayıf kardeşlenmede ve yaprak uçlarında solma ve kuruma
- Yüksek steriliteli (verimsiz) küçük başakçık oluşumu, dolu başak sayısında azalma
- Tahıllarda yatma görülür.
- Bitkilerin yaprak, gövde ve köklerinde fungal ve bakteri hastalıkları, böcek zararlanmalarına karşı hassasiyet artar.

Silisyum noksanlık simptomları göz ile açık bir şekilde görülmemekle birlikte indirek etkileri daha çok yaygındır. Özellikle fitopatolojik hastalıklarda veya entomolojik zararlanma durumlarında bitkilerde bazı simptomların oluşması şeklinde ortaya çıkar.

Örneğin silisce fakir bitkilerde aşırı transpirasyona bağlı solgunluk nedeniyle salkım söğüte benzer tarzda yaprakların aşağı doğru indiği görülür. Silisyum

noksanlığında balkabağı, hıyar, buğday gibi bitkilerin toz mildiyö hastalığına ve daneli bitkiler (hububat) ise yatmaya karşı daha hasas olmaktadırlar (Heckman ve Provance-Bowley, 2011).

Hububatlarda Mn ve Fe toksitesine bağlı olarak oluşan simptomlarda (nekroz) yaprakların silis kapsamlarının düşük olduğu görülmüştür (Vlamis ve Williams, 1967). Çeltik bitkisinde SiO_2 kapsamının % 0.2 den % 7 artması Fe konsantrasyonunun kuvvetli bir şekilde azalmasına, toksitenin önlenmesine neden olduğu ifade edilmiştir. Çeltikte Fe absorpsiyonunun köklerin oksidan gücü ile ters ilişkili olduğu ifade edilmiş, diğer bir ifade ile Fe oksidan gücü yüksek çeltik bitkilerinin Fe alımının azaldığı, toprak üstü organlarında SiO_2 kapsamının arttığı belirtilmiştir (Loue, 1986).

Çeltikte silis noksanlığı gösteren bitkilerin yattığı silisce iyi beslenen bitkilerde yaprakların daha dik, fotosentezin daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bitkilerde silis beslenmesin iyi olması transpirasyonu azaltmış aşırı su kayıplarını önlemiştir.

2.7. Silisyum Gübrelemesi

Silisyum gübrelemesi, bitkilerin dik kalmasına yardım etmekte, yatmaya karşı daha fazla direnç sağlamaktadır Silisyum ortamda yetişen bitkiler, silisyumsuz ortamda yetişen bitkilere göre su ve tuz stresine daha fazla direnç gösterebilmek için transpirasyonu azaltmaktadır.

Hububat ve çeltikte azot gübrelemenin artması bitkilerin silis kapsamlarının azalmasına neden olmuş, bunun nedeni birim adsorbe edilen su miktarı başına kuru maddenin daha fazla üretilmesi gösterilmiştir. Diğer bir ifade ile aşırı azotlu gübreleme sonucu oluşabilecek yatma problemlerinin önlenmesi yönünden çeltik bitkisine azotlu gübre dozuna bağlı olarak silisli gübrelemenin de yapılması gerektiği belirtilmiştir (Gascho ve Korndörfer, 1998).

Azot ilavesi meristematik büyümeyi artırdığından dolayı yatmayı ilerletir, fakat silisyum ile gelişen bitkiler yatmaya karşı daha dirençli olmaktadır (Lee ve diğ., 1990). Bitkilerde daha alttaki boğumlar arası, gövdelerdeki ve daha alttaki yaprakların bölümlerindeki artan Si bitkinin dik kalması ve yatmaya karşı direnç göstermesi için kalınlaşarak hücreleri desteklemektedir (IRRI, 1965; Synder ve diğ., 1986).

Silisyum içeren kimyasal gübreler silisyum noksanlığı olan topraklarda başarı ile kullanılabilir. Gübre olarak verilen silisyum toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini düzenleyici özelliğe sahiptir.

1840'dan bu yana sayısız laboratuvar ve tarla denemeleri Si gübrelemesinin çeltik (*Oryza sativa* L.), arpa (*Hordeum vulgare* L.), buğday (*Triticum vulgare* Vil), mısır (*Zea mays* L.), şeker kamışı, hıyar (*Cucumis sativa* L), domates (*Lycopersicon esculentum* Mill), turunçgiller (*Citrus taitensis* Risso) ve diğer türlerde büyüme ve verim üzerine olumlu etki ettiğini göstermiştir (Epstein, 1999; Matichenkov ve diğ.,1999).

Avustralya ve Güney Afrika'da yapılan araştırmalar şeker kamışına Kalsiyum Silikat (Ca_2SiOH_4) uygulamasının şeker kamışının büyümesini ve verimini artırdığını kanıtlamıştır (Berthelsen ve diğ., 2001).

Hıyar, şeker kamışı, çilek gibi farklı ürünler üzerinde yapılan araştırmalar silisyum gübrelemesinin ürün verimliliğini artırabildiğini ve uzun süre devam ettirilebilirliğini, yalnızca silisyum biriktiren bitkilerin değil aynı zamanda Si biriktirmeyen bitkileri de olumlu etkilediğini ve ekonomik yaklaşım temel alındığında silisyum bir çok farklı ürünün gübre yönetiminin bir parçası olabildiğini göstermiştir (Korndörfer ve Lepsch, 2001).

Silisyum gübreleri toprağın su tutma kapasitesini ve iyon absorpsiyonunu artırmakta ve toprağın fiziksel ve kimyasal özelliklerini sınırlamadan daha çok pozitifetki etmektedir (Matichenkov ve Calvert, 2002).

Japonya ve Kore'de yapılan tarla denemelerinde hektara 2 ton Volastonit (CaSiO_3) uygulamasının çeltik bitkisinin büyümesini geliştirerek verimi arttırdığı gözlenmiştir (Park, 2001).

Aşırı silisyum eksikliği olan topraklara silikat uygulaması % 0-400 arası verim artışı sağlamaktadır. Bir çok ülkede silisyum gübrelemesi çeltik verimini ortalama olarak % 10 dan fazla arttırmaktadır (Takahashi ve diğ., 1990).

Kolombiya (Correa-Victoria ve diğ., 1994) ve Brezilya'da silisyum eksikliği olan topraklarda yüksek alan çeltik bitkisi tarla denemelerinde silikat uygulaması (CaSiO_3) çeltik verimini % 70 artırmıştır (Prabhu ve diğ., 2001; Richmond ve Sussman, 2003). Silisyum gübreleri Çeltik bitkisi gelişimi ve verimi üzerine olumlu etki yaptığından dolayı silikat gübreleri uygulaması Florida, Kore, Çin ve Japonya'darutin bir uygulama olmuştur (Ma ve Takahashi, 2002).

Silisyum gübrelemesi çeltik bitkisine uygulanan azotun kullanımını artırır fakat özellikle ilk büyüme esnasında azot $\text{NH}_4\text{-N}$ olarak uygulandığında $\text{NO}_3\text{-N}$ 'ye göre silisyum kazanımını azaltabilir (Wallance, 1989).

Azot ile gübreleme çeltik yapraklarının, (yapraklar genellikle daha uzun, daha geniş, daha ince ve daha fazla alana sahip olduğu için) bükülmesine sebep olur. Oysa silisyum ile azot ilavesinin uygulanması ile bitkilerin yaprakları dik, daha az eğri, daha fazla dikey kalır ve dahasıktır (Cheng, 1982; Savant ve diğ., 1997a). Dik yapraklar özellikle ışığın sınırlı olduğu yerlerde fotosentez için ışık alma avantajına sahiptirler (Yoshida, 1981).

Fosfor eksikliği olan toprağa silisik asit uygulanması sonucunda çeltik bitkisinin Mn konsantrasyonunun azalarak, P/Mn oranının arttığı ve gövde kuru ağırlığı artmıştır (Ma ve Takahashi, 1990b).

pH'nın asit yöne doğru değiştirilmesi yada asitlendirmenin yulafın silisyum absorpsiyonunu artırdığı saptanmıştır (Jones ve Handreck, 1965). Bununla birlikte toprağın silisyum yarayırlılığı toprağın oksidasyon ve redüksiyon durumları tarafından etkilenmektedir (Ma ve Takahashi, 1989). Silisyum bakımından noksan topraklarda toplam Si içeriği düşük, toplam Al içeriği fazla ve buna paralel olarak da pH düşük olmaktadır. Bununla birlikte bu toprakların P fiksasyon kapasiteleri aşırı derecede yüksektir. Diğer yandan bu toprakların bitkilere yararlı Fe ve Mn içerikleri de yüksek olmaktadır (Tisdale ve diğ., 1993). Toprak çözeltisinin Si içeriği genellikle adsorpsiyon ve desorpsiyon olayları tarafından belirlenmektedir. H_4SiO_4 Fe ve Al oksitlere büyük afinite göstermektedir. Bunun yanında pH değeri 9.5 düzeyinde olduğu zaman maksimum silisyum adsorpsiyonu meydana gelmektedir; silisyum konsantrasyonu da bu sınırdaki minimumu göstermektedir (Kaya ve ark., 1995).

Çimlerde silisyum gübrelemesi çalışmalarında Datnoff (2005), silisyum gübrelemesinin çeşitli çim türlerinde bitki büyüme ve gelişmesini arttırdığı kadar abiyotik stresi (kuraklık stresi, sıcaklık stresi, mineral toksisitesi, yıpranmaya karşı tolerans) azalttığı ve pozitif etki sağladığını bildirmiştir. Si bitki hücre duvarlarında polisakkarit ve lignin polimerlerine bağlanarak ve kütikülde depo edilerek yaprak ve sapın dayanıklılığını artırmaktadır (Hull, 2004). Yapraktan 1,1-2,2 kg Si/ha, topraktan 22,4 kg Si/ha potasyum silikat uygulamaları bitkide yıpranma zararını %20 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Takahashi ve diğ., 1990).

Si ile gübrelenmiş çimlerin gübrelenmemişlere göre yaprak kalite ve renginde artış olduğu, kuraklık stresine daha iyi dayandıkları ve yaprak yoğunluğunun da %23,5 oranında arttığı görülmüştür (Trenholm ve diğ., 2004).

Dobermann and Fairhurst (2000), 1 ton çeltik dane verimi ile kaldırılan Si miktarının 50-110 kg arasında olduğunu, çeltiğin ortalama 80 kg Si kaldırdığını bildirilmişlerdir. Dönüme 600 kg ürünle yaklaşık olarak 48 kg Si kaldırıldığı ve kaldırılan silisyumun % 80'inin sap ile kaldırıldığını belirtmişlerdir. Araştırmacılar sap ürünün tarlaya geri dönüşümünün olmaması durumunda çeltik topraklarında yarayışlı silisyum kapsamında önemli azalışların olacağını ve çeltik sapının tarlaya geri dönüşümünün olması durumunda ise kaldırılan silisyumun daha az olacağını, 1 ton dane ile 15 kg Si kaldırılacağını bildirmişlerdir. Aynı araştırmacılar toprakta kritik Si seviyesinin 40 ppm altına düşmesi halinde çeltiğe dönüme 12 ile 20 kg arası Ca-silikat, 4 ile 6 kg arası K-silikat tavsiye edildiğini bildirilmiştir. Aynı araştırmacılar litrede 3-8 mg Si içeren sulama suyundan 1000 mm kullanılması durumunda dönüme 3-8 kg Si girişi olabileceğini de belirtmişlerdir.

Horuz ve diğ., (2013), Samsun yöresi çeltik topraklarının Si durumlarının belirlenmesi ve çeltiğin Si ihtiyacının belirlenmesi amacıyla sera şartlarında yürüttükleri çalışmada 19 farklı toprağa 0, 50, 100, 200 ve 400 ppm Si (H_4SiO_4 silisik asit formunda) uygulanması sonucu toprakların değişik dozlarda (50-200 mg kg^{-1}) silisyuma ihtiyaç duyduğu ve yöre topraklarına uygulanacak optimum Si dozunun ortalama 87 mg kg^{-1} olduğu bulunmuştur.

Silisli gübre olarak, kalsiyum silikat ($CaSiO_3$), magnezyum silikat ($MgSiO_3$), potasyum silikat (K_2SiO_3), silicik acid veya mono silicik acid (sırasıyla $Si(OH)_4$, H_4SiO_4) kullanılabilir.

3. MATERYAL ve METOD

3.1. Metod

Araştırma materyalini teşkil eden toprak örneği Samsun'un Terme ilçesi Mescitli köyü (GPS: Y-572678; X-4554038) 0-30cm toprak derinliğinden alınmıştır (Jackson, 1962). Denemenin yapıldığı toprak örneğinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.1'de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Deneme toprağının bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri

Toprak özelliği	Değer
pH	5,60
Tuz (EC), dS m ⁻¹	0,55
Kum, %	49,97
Kil, %	17,44
Silt, %	32,59
Tekstür sınıfı (Bünye)	Tınlı
Organik madde (OM), %	0,064
Kasyon değişim kapasitesi (KDK), meq 100 g ⁻¹	34,56
Fosfor (P), mg kg ⁻¹	1,42
Kalsiyum (Ca), meq 100 g ⁻¹	26,64
Magnezyum (Mg), meq 100 g ⁻¹	9,50
Potasyum (K), meq 100 g ⁻¹	0,152
Demir (Fe), mg kg ⁻¹	72,30
Mangan (Mn), mg kg ⁻¹	78,54
Çinko (Zn), mg kg ⁻¹	0,58
Bakır (Cu), mg kg ⁻¹	4,22
Silisyum (Si), mg kg ⁻¹	16,68

3.2. Yöntem

Asit toprak şartlarında silisyumlu gübrelemenin yulaf (*Avena sativa*) bitkisinin fosfor beslenmesi üzerine etkilerini belirlemek amacıyla 3 kg'lık saksılara 4 mm'lik elekten elenmiş 2 kg fırın kuru toprak konulmuştur. Her saksıya 0, 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P (TSP gübresi %42P₂O₅) ve silisyum 0, 50, 100, 200 ve 400 ppm Si silisik asit [Si(OH)₄] formunda verilmiştir.

Ayrıca temel gübreleme olarak saksılara 200 ppm N (dikimde 125 ppm N üre %46 N ile üst gübrelemede 125 ppm N amonyum nitrat %33 N ile) ve 150 ppm K (dikimde potasyum nitrat % 46 K₂O; %13 N) gübreleri verilmiştir. Deneme 6 (fosfor) x 5 (silisyum) x 3 (tekerrür) tesadüf parsellerinde faktöriyel deneme desenine göre, Ziraat Fakültesi deneme çiftliği Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümüne ait seralarında yürütülmüştür.

Saksılara yulaf tohumundan 20 adet ekilmiş, çıkışlardan sonra her saksıda 15 adet olacak şekilde seyreltilmiştir. Yulaf bitkisi 60 günlük gelişme periyodunun

sonunda toprak yüzeyinden çelik bir bıçkıyla kesilerek hasat edilmiştir. Hasat edilen bitki numuneleri 65 °C’de kurutulduktan sonra kuru madde (KM) miktarları belirlenmiştir. Kurutulan örnekler çelik değirmende homojen bir şekilde öğütüldükten sonra 4:1 oranında HNO₃:HClO₄ ile yaş yakılarak besin element analizlerine hazır hale getirilmişlerdir (Kacar ve İnal, 2008).

Yulaf bitkisinin nispi kuru madde değerleri, Kacar ve Katkat (1999)’ın Cate ve Nelson (1971)’e atfen bildirdiği şekilde, silisyum gübrelemesi ile kontrole göre sağlanan değişim (artış veya azalış) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Nispi Ürün, \%} = \frac{\text{Gübresiz kuru madde (kontrol)}}{\text{Maksimum kuru madde}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Değişim, \%} = \frac{\text{Gübreli kuru madde} - \text{Gübresiz kuru madde (Kontrol)}}{\text{Gübresiz kuru madde (Kontrol)}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Nispi kuru maddede sağlanan değişim} = \text{Gübreli nispi kuru madde} - \text{Gübresiz nispi kuru madde} \quad (3)$$

$$\text{Değişim} = \text{Gübreli değişim} - \text{Gübresiz değişim} \quad (4)$$

3.3. Toprak Analizleri

Araştırma toprağının fiziksel ve kimyasal özelliklerini belirlemek için aşağıdaki toprak analizleri yapılmıştır.

3.3.1. Toprak Reaksiyonu (pH)

Toprak reaksiyonu saturasyon macununda potansiyometrik olarak pH metre ile ölçülmüştür (Soil Survey Laboratory, 1992).

3.3.2. Elektriksel iletkenlik (EC)

Toprağın içerdiği toplam tuz miktarı saturasyon macununun elektriksel geçirgenliğinin EC metre (kondüktivimetre) ile ölçülmesi suretiyle tayin edilmiştir (Soil Survey Laboratory, 1992).

3.3.3. Toprak Tekstürü

Toprak tekstürü hidrometre metoduna göre belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951)

3.3.4. Organik Madde

Modifiye edilmiş Walkley-Black metoduna göre, toprağın K₂Cr₂O₇ ve H₂SO₄ ile reaksiyona tabi tutularak, organik maddedeki C’un yükseltgemesinden sonra ortamda tepkimeye girmemiş kromatın (Cr₂O₇²⁻) standart FeSO₄7H₂O çözeltisi ile titre edilmesi suretiyle belirlenmiştir (Kacar, 1994).

3.3.5. Yarayışlı fosfor (P₂O₅)

Asit topraklar için geliştirilen Bray ve Kurtz No. 1 metoduna göre belirlenmiştir (Kacar, 2009).

3.3.6. Yarayışlı Silisyum (Si)

0.5 M NH₄OAc pH= 4.8 ile ekstrakte edilebilir silisyum, Sauer ve diğ. (2006) tarafından bildirildiği şekilde, 10 gr toprak 100 ml ekstraksiyon çözeltisi ile 1 saat çalkalanıp süzülmüştür. Süzükte yarayışlı silisyum miktarı silikomolibdik asit mavi renk yöntemine göre kolorimetrik olarak belirlenmiştir (Kacar, 2009).

3.3.7. Katyon değişim kapasitesi

Sodyum ile saturasyon yöntemine göre, toprağın değişim komplekslerindeki negatif yüklerin 1 N NaOAc ile doyurulmasından ve çözeltideki fazla sodyumun etil alkolle yıkanmasından sonra, toprağın değişim komplekslerindeki sodyumun 1N NH₄OAc ile doyurularak sodyumun çözeltiye alınması ile konsantrasyonunun fleym fotometrede ölçölmesiyle belirlenmiştir (Sağlam, 2006).

3.3.8. Değişebilir katyonlar

Toprak örneği 1 N NH₄OAc ile ekstrakte edildikten sonra Ca ve Mg 0,01 N EDTA ile titrimetrik olarak, K fleym fotometrede belirlenmiştir (Kacar, 2009).

3.3.9. Yarayışlı mikro elementler

0.005M DTPA (Diethylene-triaminepenta acetic acid), 0.01M CaCl₂ ve 0.1M TEA (Treathanolamine) ekstraksiyon çözelti karışımı (pH=7.3) kullanarak demir, mangan, çinko ve bakır tayinleri A.A.S. (Atomic absorbtion spectrofotometer, Perkin Elmer-AA-400) aleti yardımıyla tespit edilmiştir (Lindsay ve Norvell 1978).

3.4. Bitki Analizleri

Silisyumlu ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin besin element içeriğine etkisini tespit ederek bunlar arasındaki ilişkileri ortaya koymak amacıyla aşağıdaki bitki analizleri yapılmıştır.

3.4.1. Toplam azot (N)

Kjeldahl metoduna göre, H₂SO₄-tuz karışımı ile yakma, NaOH ile destilasyon ve HCl ile titrasyon olmak üzere 3 aşamada belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

3.4.2. Toplam fosfor (P)

Yaş yakılan bitki numunelerinde P Bartın-sarı renk metoduna göre 430 nm dalga boyunda spektrofotometrede belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

3.4.3. Toplam potasyum (K), kalsiyum (Ca), magnezyum (Mg), demir (Fe), mangan (Mn), çinko (Zn) ve bakır (Cu)

Yaş yakılan bitki ekstraktlarının AAS'de (Atomik Absorpsiyon- Perkin Elmer AA-400) ölçülmesi ile belirlenmiştir (Kacar ve İnal, 2008).

3.5. İstatiksel Analizler

Fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen verilere ait varyans analizi SPSS 17.0 paket programı kullanılarak duncan testine ($P < 0.05$) göre belirlenerek Yurtsever ve diğ., (1984)'e göre değerlendirilmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Biyolojik İndeksler

Fosfor ve silisyum gübrelemesi ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı, nispi kuru madde ve kuru madde de sağlanan değişim oranları biyolojik indeks olarak değerlendirilmiştir. Belirlenen indeks değerler her bir fosfor dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübre ve her bir silisyum dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübre dozlarına ve genel ortalama olarak ayrı ayrı incelenmiştir.

4.1.1. Sap Kuru Madde Miktarı

Yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı her bir fosforlu gübre (0, 10, 25, 50, 100, 250 ppm P) ve silisyumlu gübre dozlarına (0, 50, 100, 200 ve 400 ppm Si) göre farklı varyasyonlar göstermiştir. Varyans analiz sonuçlarına göre farklı fosfor ve silisyum dozlarının ve P x Si interaksyonunun kuru madde üzerine etkisinin %1 seviyesinde önemli olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.1). Ghanbari-Malidarreh ve diğ. (2011), çeltik bitkisine 0, 50, 100 kg/ha fosfor ve 0, 500, 1000 kg/ha silisyum uygulamalarının fosforun %5, silisyumun %1 seviyesinde çeltik dane verimini artırdığını bildirmişlerdir. Bu etkiyi silisyum uygulamalarının toprakta depo halde bulunan fosforun bitki tarafından alınımı artırmak suretiyle kuru maddede artış şeklinde gerçekleştirdiği düşünülmüştür. Horuz ve Korkmaz (2014), Si uygulanmamış tuzlu kontrol topraklarda yarayışlı Si kapsamıyla çeltik dane verimi arasında %1 seviyesinde çok önemli pozitif ilişki bulmuşlardır ($r = 0.690^{**}$).

Silisyum ilavesi bitkilerin fotosentez, transpirasyon, su kullanım verimliliği ve vejetatif dönemden üretken büyüme dönemlerine daha hızlı geçmesini artırmaktadır (Savant ve diğ., 1997b). Düşük silisyumlu ortamda yetişen çeltik kötü dış kabuk kalitesine ve sütlü-beyaz çekirdeklere sahiptir (Mizuno, 1987). Silisyumlu yetişen bitkiler genellikle silisyumsuz yetişen bitkilerden daha erken olgunlaşır (Deren, 1997) ve silisyum genellikle üretken safhada vejetatif büyümede daha fazla etkilere sahiptir (Savant ve diğ., 1997a). Mısır bitkisinin gövde uzunluğunun düşük Si seviyelerinde (100 ppm) yüksek Si seviyelerine (400 ve 800 ppm) göre daha fazla arttığı bildirilmiştir (Mali ve Aery, 2008).

Tüm fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını artırdığı bulunmuştur (Şekil 4.1).

Yulaf bitkisine fosforlu gübreleme uygulanmaksızın (kontrol) artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme ile elde edilen sap kuru madde miktarı 3.20 ile 4.34 gr arasında değişirken, ortalama 3.6 gr bulunmuştur. Varyans analiz sonuçlarına göre artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Artan Si dozlarında elde edilen en yüksek KM (kuru madde) miktarı 400 ppm Si dozunda bulunmuştur.

Çizelge 4.1. Yulaf bitkisine uygulanan fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen sap kuru madde miktarları

Fosfordozları, ppm	Sap kuru madde miktarı(KM), gr					Ortalama KM, gr
	Si, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	3,20k*	3,39k	3,28k	3,82k	4,34jk	3,6E
P-10	5,35j	7,94f-i	6,96i	7,29h-i	7,57g-i	7,02D
P-25	7,06ii	8,13f-i	8,64e-i	8,50f-i	8,68e-i	8,20C
P-50	8,88e-h	9,10d-g	9,38d-f	8,92e-h	9,30d-f	9,12B
P-100	10,61cd	11,03bc	12,33ab	12,51ab	13,58a	12,01A
P-250	7,26h-i	7,36h-i	7,47g-i	10,26c-e	11,06bc	8,68BC
Ortalama	7,06D	7,82C	8,01BC	8,55AB	9,08A	8,10

*: Aynı harflerle gösteriler rakamlar arasında %5 seviyesinde fark yoktur.

P:0.000, Si:0.000, P x Si:0.005

10 ppm P dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarının 5.35 ile 7.94 gr arasında değiştiği, ortalama 7.02 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırmıştır. En yüksek KM 50 ppm Si dozunda elde edilmiştir.

25 ppm P dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarının 7.06 ile 8.68 gr arasında değiştiği, ortalama 8.20 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübrelemeyle kontrole göre en yüksek KM miktarına 400 ppm Si dozunda ulaşılmıştır.

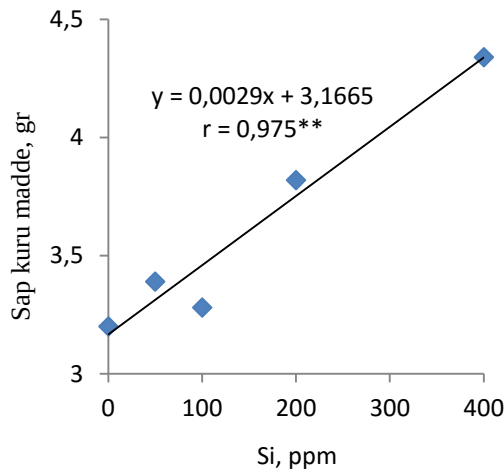
50 ppm P dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 8.88 ile 9.38 gr arasında değiştiği, ortalama 9.12 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre 50, 100 ve 400 ppm silisyum dozlarında kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırırken, 200 ppm silisyum dozundaki artışın önemli olmadığı bulunmuştur. En yüksek KM 100 ppm Si dozunda bulunmuştur.

100 ppm P dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 10.61 ile 13.58 gr arasında değiştiği, ortalama 12.01 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını 100, 200 ve 400 ppm silisyum dozlarında kontrole göre artarken, istatistiksel olarak 100 ppm Si dozunun önemli ($P<0.05$) olduğu ve en yüksek KM miktarına 400 ppm Si dozunda ulaşılmıştır.

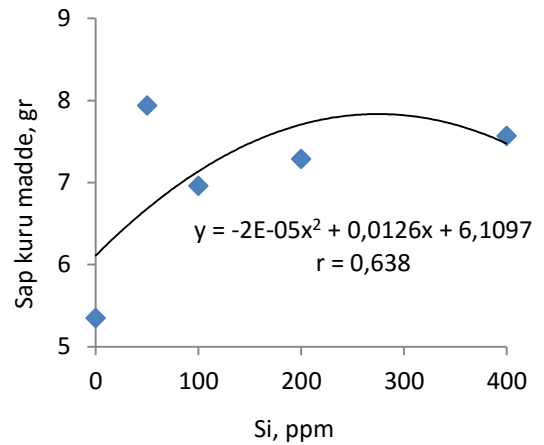
250 ppm P dozunda artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 7.26 ile 11.06 gr arasında değiştiği, ortalama 8.68 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını 200 ve 400 ppm silisyum dozlarında kontrole göre önemli ($P<0.05$) bulunmuştur. 50 ve 100 ppm silisyum dozlarında ise istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. En yüksek KM değerine 400 ppm Si dozunda ulaşılmıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 7.06 ile 9.08 gr arasında değiştiği, ortalama 8.10 gr olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını tüm Si dozlarında kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırdığı bulunmuştur. En yüksek KM miktarına 400 ppm Si dozunda ulaşılmıştır.

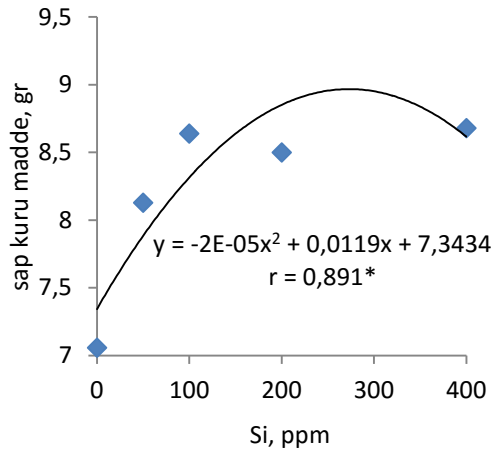
Silisyum bitkilerin besin element düzensizliğinde aşırı azot kaynaklı yatma problemlerinde bitkilerin sap ve kınındaki hücrelerinde birikerek yaprağın dik durmasını sağlar (Gerami ve Rameeh, 2012). Silisyum bitkileri dik tutmak suretiyle ışıktan daha fazla faydalanmayı sağlayarak fotosentezi ve kuru madde üretimini artırdığı (Ageria ve diğ., 1993), kuru maddenin de %90'ının ışık, CO₂, H₂O ve mineral besin gibi kaynaklar tarafında etkilendiği bildirilmiştir (Marschner, 1995).



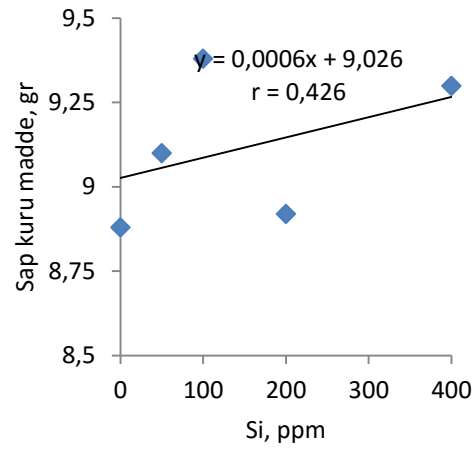
a) P-0



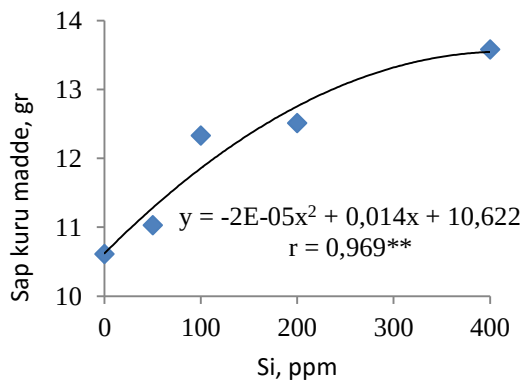
b) P-10



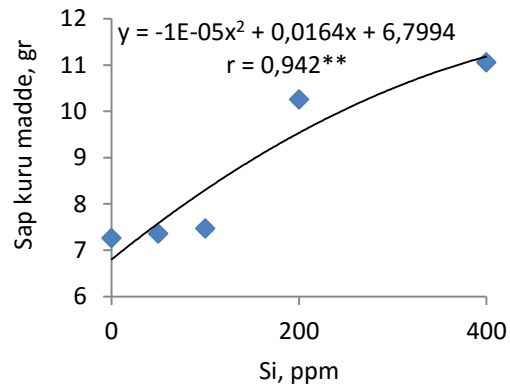
c) P-25



d) P-50



e) P-100



f) P-250

Şekil 4.1. Farklı fosfor dozlarında Si gübrelemesinin sap kuru madde miktarıyla olan ilişkileri

Tüm silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını artırdığı bulunmuştur (Şekil 4.2).

Silisyumlu gübre uygulanmaksızın (Si-0) artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 3.20 ile 10.61 gr arasında değiştiği, ortalama 7.06 gr olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre önemli ($P < 0.05$) derecede artırarak, en yüksek KM miktarına 100 ppm P dozunda ulaşılmıştır. Denemenin yapıldığı toprağın yarıyışlı fosfor içeriğinin düşük (1.42 ppm) olması nedeniyle sap kuru maddesi 100 ppm P dozunda kadar artmıştır. Ancak bu dozdan daha fazla (250 ppm P dozunda) uygulanan fosfor yulaf bitkisinin kuru madde miktarını önemli derecede azaltmıştır. Kacar (1994) asit toprak şartlarında yarıyışlı fosforun 3 ppm'in altında olması durumunda toprağın çok fakir olduğunu bildirmiştir.

50 ppm Si dozunda, artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 3.39 ile 11.03 gr arasında değiştiği, ortalama 7.82 gr olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırarak, en yüksek KM 100 ppm P dozunda elde edilmiştir.

100 ppm Si dozunda, artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 3.28 ile 12.33 gr arasında değiştiği, ortalama 8.04 gr olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırarak, en yüksek KM 100 ppm P dozunda elde edilmiştir.

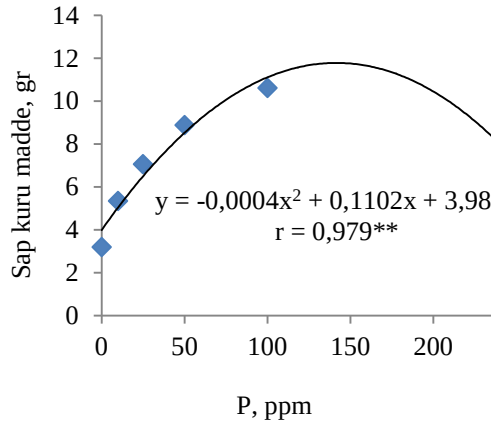
Silisyumun 200 ppm dozunda, artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 3.82 ile 12.51 gr arasında değiştiği, ortalama 8.52 gr olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artırarak, en yüksek KM 100 ppm P dozunda elde edilmiştir.

Silisyumun 400 ppm dozunda, artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 4.34 ile 13.58 gr arasında değiştiği, ortalama 11.06 gr olduğu bulunmuştur. Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı tüm fosfor dozlarında kontrole göre önemli ($P<0.05$) derecede artmıştır. Silisyum gübrelemesi ile elde edilen verilere göre en yüksek KM miktarı 100 ppm P dozunda elde edildiği görülmüştür.

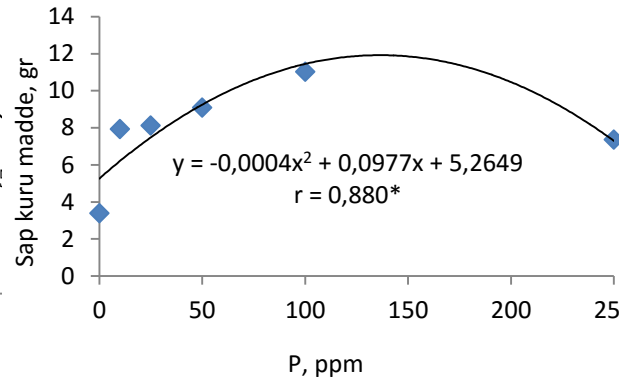
Tüm silisyum dozlarında artan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını azalan verim kanununa göre (Aktaş, 1994), 100 ppm P dozuna kadar artırdığı, 250 ppm P dozunda ise azalışa neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.2). Bu azalışın sebebi 250 ppm fosfor dozunun yulaf bitkinde toksik etki oluşturmasından kaynaklanmaktadır (Kacar ve Katkat, 2009). Fosforun toksik olduğu 250 ppm fosfor dozunda sap kuru madde miktarı artan silisyum dozlarına bağlı olarak arttığı ve bu artışın 200 ppm Si dozunda önemli olduğu bulunmuştur. Bir başka ifadeyle, düşük fosfor içeriğine sahip toprakta yetiştirilen yulaf bitkisine artan dozlarda uygulanan silisyum fosforun bitkiye olan yarayışlılığını artırarak yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını artırmıştır (Nagako, 1998). Çeltik bitkisine 50 ve 100 mg kg⁻¹ Si uygulamalarında en yüksek dane veriminin 100 ppm seviyesinde elde edildiği bildirilmiştir (Gerami ve Rameeh, 2012). Elde edilen sonuçlara göre aşırı fosfor düzeyinde silisyumun yulaf bitkisinde toksiteyi azalttığı ve sap kuru madde

miktarında artışa sebep olduğu bulunmuştur. Silisyumun çeltiğin sap + dane ağırlığını arttırdığı ve silisyum uygulamasının çeltikte başak sayısını, salkımda dane sayısını ve dolu dane oranını artırdığı bir çok araştırmacı tarafından bildirilmiştir (Balasta, 1989; Savant ve diğ. 1997a; Deren ve diğ., 1994; Ma ve diğ., 1989; Takahashi, 1995).

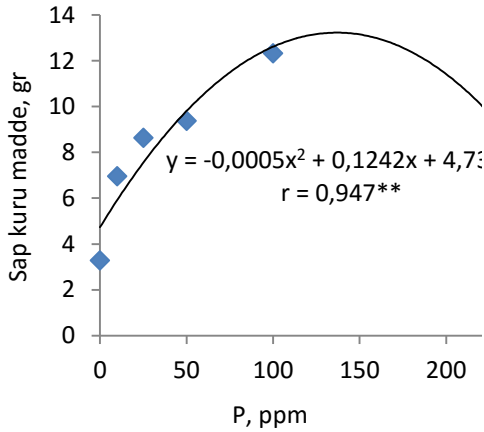
Ma ve Takahashi (1990a) silisyumsuz P uygulamalarında çeltik sap ağırlığının yüksek P dozlarına kadar arttığı, silisyumun varlığında P'nin düşük veya orta dozlarında sap ağırlığının daha fazla arttığını bildirmişlerdir.



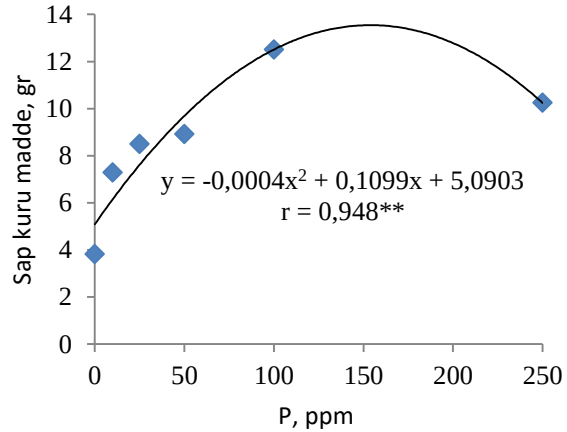
a) Si-0



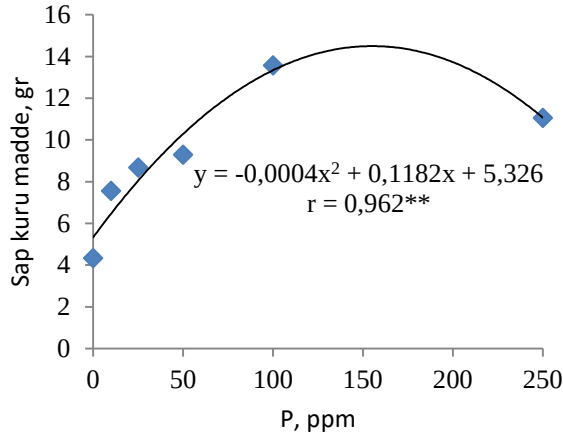
b) Si-50



c) Si-100



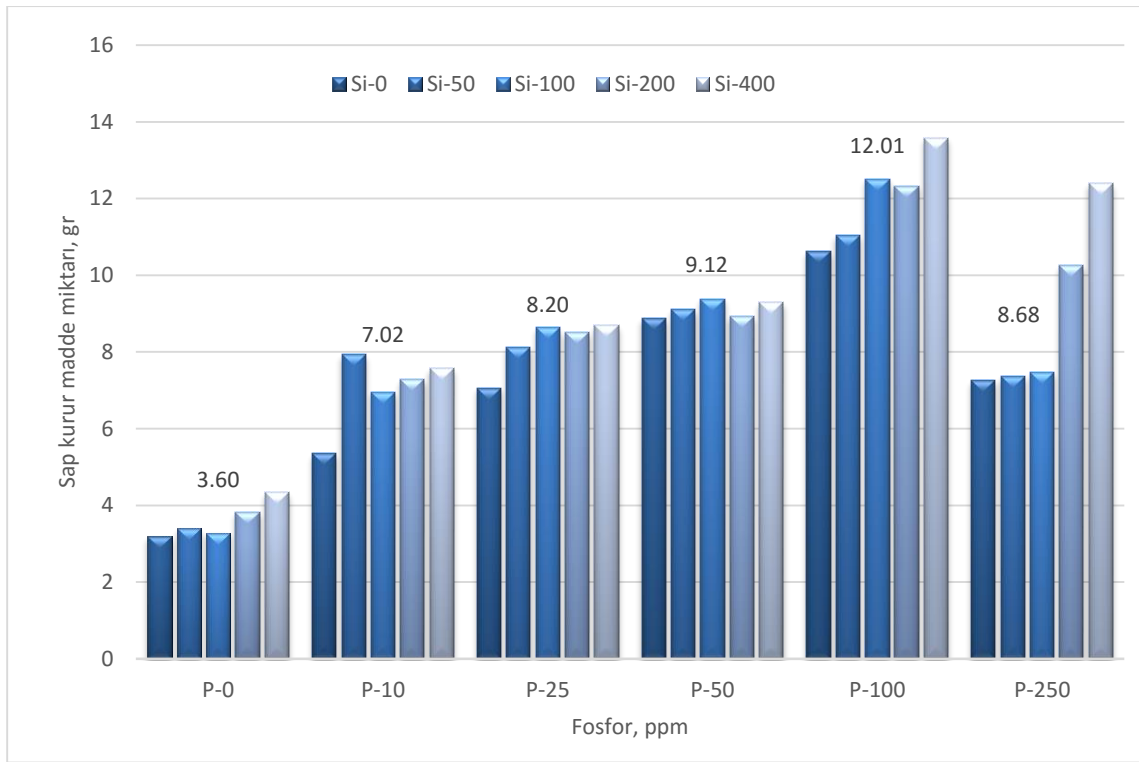
d) Si-200



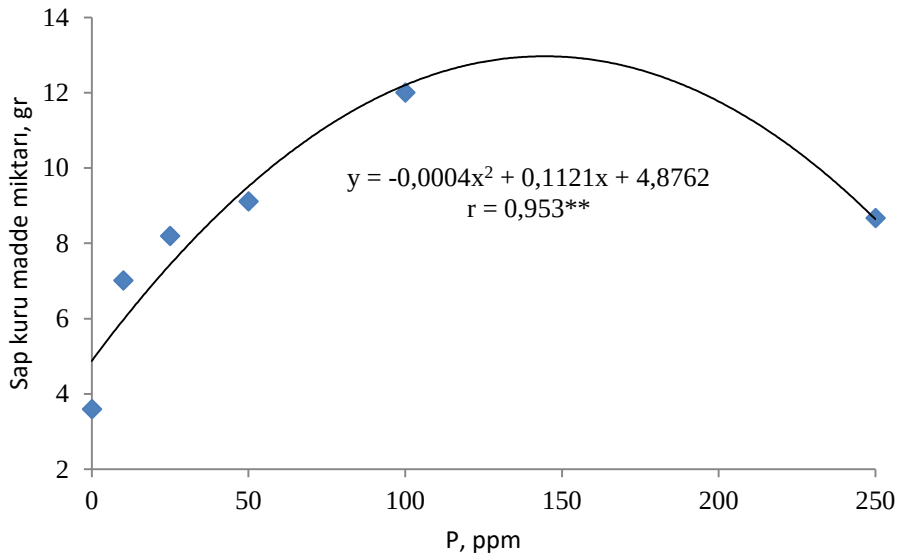
e) Si-400

Şekil 4.2. Farklı silisyum dozlarında fosfor gübrelemesinin sap kuru madde miktarıyla olan ilişkileri

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde, artan silisyum ve fosfor gübrelemesiyle elde edilen yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı 3,60 ile 12,01 gr arasında değiştiği, ortalama 8,10 gr olduğu bulunmuştur (Şekil 4.3). Kuru madde miktarı tüm fosfor dozlarında önemli ($P < 0.05$) bulunurken, en yüksek KM miktarı 100 ppm P dozundan elde edilmiştir. Sap kuru madde miktarları da azalan verim kanuna uygun bir şekilde 100 ppm P dozuna kadar artış göstermiş, 250 ppm P dozunda ise azalmıştır (Şekil 4.4).



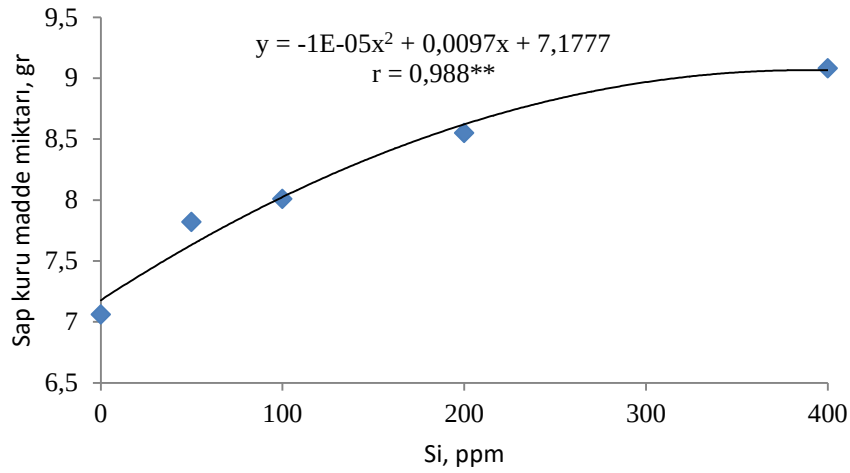
Şekil 4.3. Artan fosfor dozlarında uygulanan silisyum gübreleme ile elde edilen sap kuru madde ortalama değerleri ve arasındaki ilişki



Şekil 4.4. Genel ortalamaların fosforlu gübreleme ile elde edilen sap kuru madde miktarı arasındaki ilişki

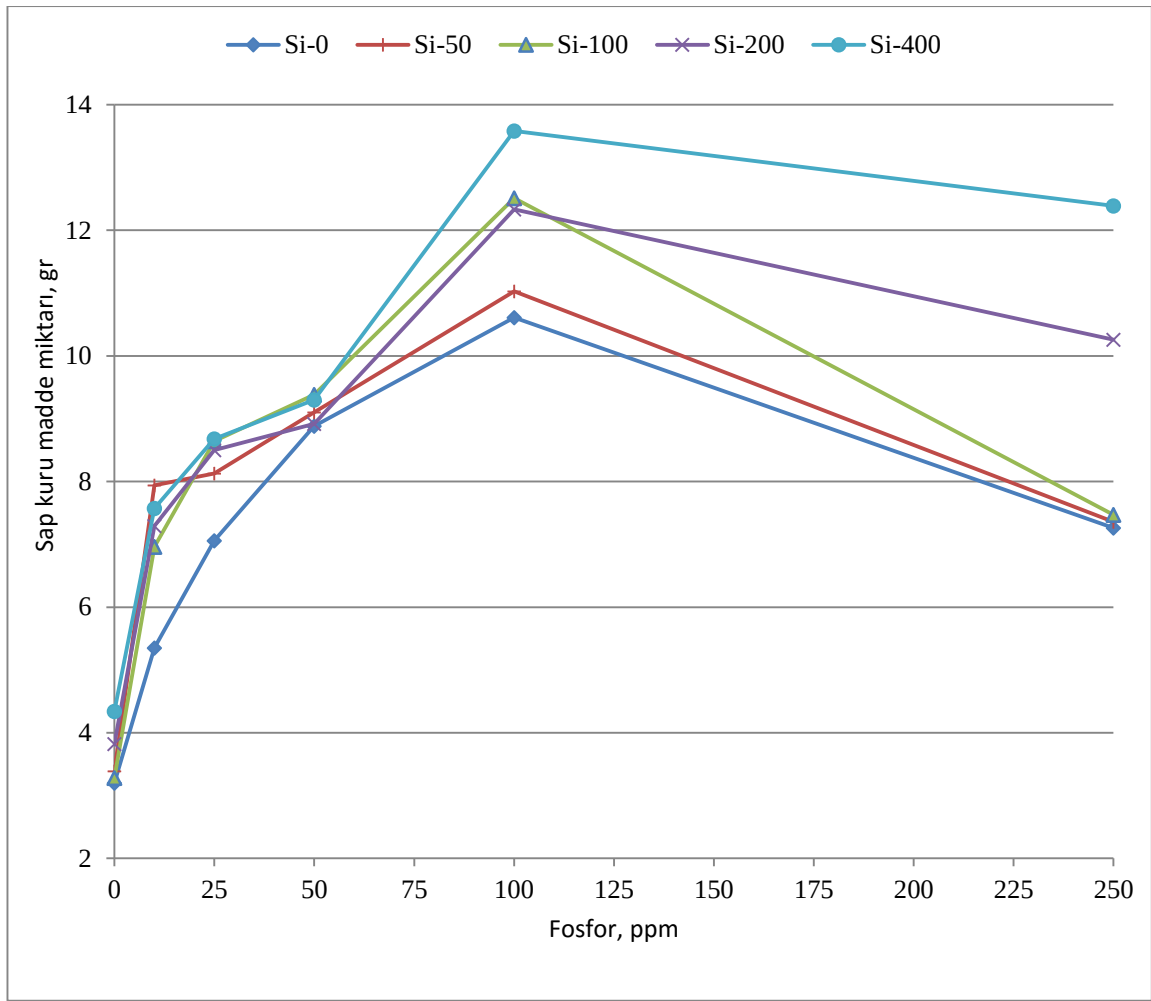
Benzer şekilde fosfor dozlarına bağlı olarak yapılan silisyum gübrelemesi ile elde edilen sap kuru madde miktarının 7.06 ile 9.08 gr arasında değiştiği, ortalama 8.10 gr olduğu bulunmuştur. En yüksek KM miktarı 400 ppm Si dozundan elde

edilirken, istatistiki bakımdan 200 ppm Si dozu önemli ($P<0.05$) bulunmuştur (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Genel ortalamaların silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen sap kuru madde miktarı arasındaki ilişki

Farklı Si dozlarında yapılan fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin kuru madde miktarı arasındaki interaksiyon ilişkisi önemli ($P<0,01$) bulunmuştur (Şekil 4.6). Her bir silisyum dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre artırdığı en yüksek artışın 400 ppm Si dozunda olduğu bulunmuştur. Silisyumun yapraktan uygulanmasının şeker kamışında 0,1-0,2 mg/L Na_2SiO_3 dozu (Okamoto, 1993), çeltik bitkisinde %1 Na_2SiO_3 dozunun (Hooda ve Srivastava, 1996; Parvar ve Hedge, 1979) bitki büyümesini teşvik ettiğini bildirmişlerdir. Jayabad ve Chocklingam (1990), şeker kamışına %2,5 dozunda uygulanan sodyum meta silikatın verimi artırdığını bildirmişlerdir. Çeltik, yulaf ve buğday bitkilerine uygulanacak optimal silisyum konsantrasyonunun 5-10 mM olduğu bildirilmiştir (Hossain et al., 2002).



Şekil 4.6. Farklı Si dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme ile kuru madde arasındaki interaksiyon ilişkisi

4.1.2. Nispi Kuru Madde Miktarı

Yulaf bitkisinin sap nispi kuru madde miktarı tüm fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme ile kontrole göre arttığı tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Yulaf bitkisine fosforlu gübreleme uygulanmaksızın (kontrol) artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme sap nispi kuru madde miktarını (NKM) Si-0 ile Si-400 arasında değiştirmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarının % 83.09 olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.2). Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını kontrole göre 400 ppm Si dozunda 26.27 birim, ortalama 11.70 birim artırmıştır (Çizelge 4.3). Dolayısıyla fosforlu gübreleme yapılmadan artan Si dozlarıyla elde edilen en yüksek nispi kuru madde miktarına 400 ppm Si dozunda (%100) ulaşılmıştır (Şekil 4.8).

10 ppm fosfor dozunda artan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı Si-0 ile Si-50 arasında değişmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı

% 88.44 olarak bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin maksimum nispi kuru madde miktarını kontrole göre 32.62 birim, ortalama 26.32 birim artırmıştır. Artan Si dozlarına bağlı olarak en yüksek nispi kuru maddemiktarı 50 ppm Si dozunda elde edilmiştir (Çizelge 4.2 - 4.3).

25 ppm fosfor dozunda artan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı Si-0 ile Si-400 arasında değişmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 94.49 olarak bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin maksimum nispi kuru madde miktarını kontrole göre 18.66 birim, ortalama 16.44 birim artırmıştır. Artan Si dozlarıyla en yüksek nispi kuru madde miktarı 400 ppm Si dozunda elde edilmiştir.

50 ppm fosfor dozunda artan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı Si-0 ile Si-100 arasında değişmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 97.19 olarak bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin maksimum nispi kuru madde miktarını kontrole göre 5.33 birim, ortalama 3.15 birim artırmıştır. Artan Si dozlarıyla en yüksek nispi kuru maddemiktarı 100 ppm Si dozunda elde edilmiştir.

100 fosfor dozunda artan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı Si-0 ile Si-400 arasında değişmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 88.45 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin maksimum nispi kuru madde miktarını kontrole göre 21.87 birim, ortalama 12.91 birim artırmıştır. Artan Si dozlarıyla en yüksek nispi kuru madde miktarı Si-400 dozunda elde edilmiştir.

250 fosfor dozunda artan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı Si-0 ile Si-400 arasında değişmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 78.50 olarak bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin maksimum nispi kuru madde miktarını kontrole göre 34.36 birim, ortalama 16.08 birim oranında artırmıştır. Artan Si dozlarıyla nispi kuru madde miktarında en yüksek artış 400 ppm Si dozunda elde edilmiştir.

Wattanapayapkul ve diğ., (2011), çeltik bitkisine 0-250-500-1000 kg ha⁻¹ dozlarında uygulanan silisyumun çeltik dane verimini % 2-43 oranlarında artırdığını ve optimum silis dozunun 1000 kg ha⁻¹ olduğunu bildirmişlerdir. Li ve diğ., (2011), silisyum uygulamalarının çeltikte sap verimini % 23 oranda artırdığını bildirmişlerdir. Singh ve diğ., (2006), silisyum uygulamasının çeltik verimini % 20-30 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Silisyum hücre duvarı içerisinde hidrata olmuş

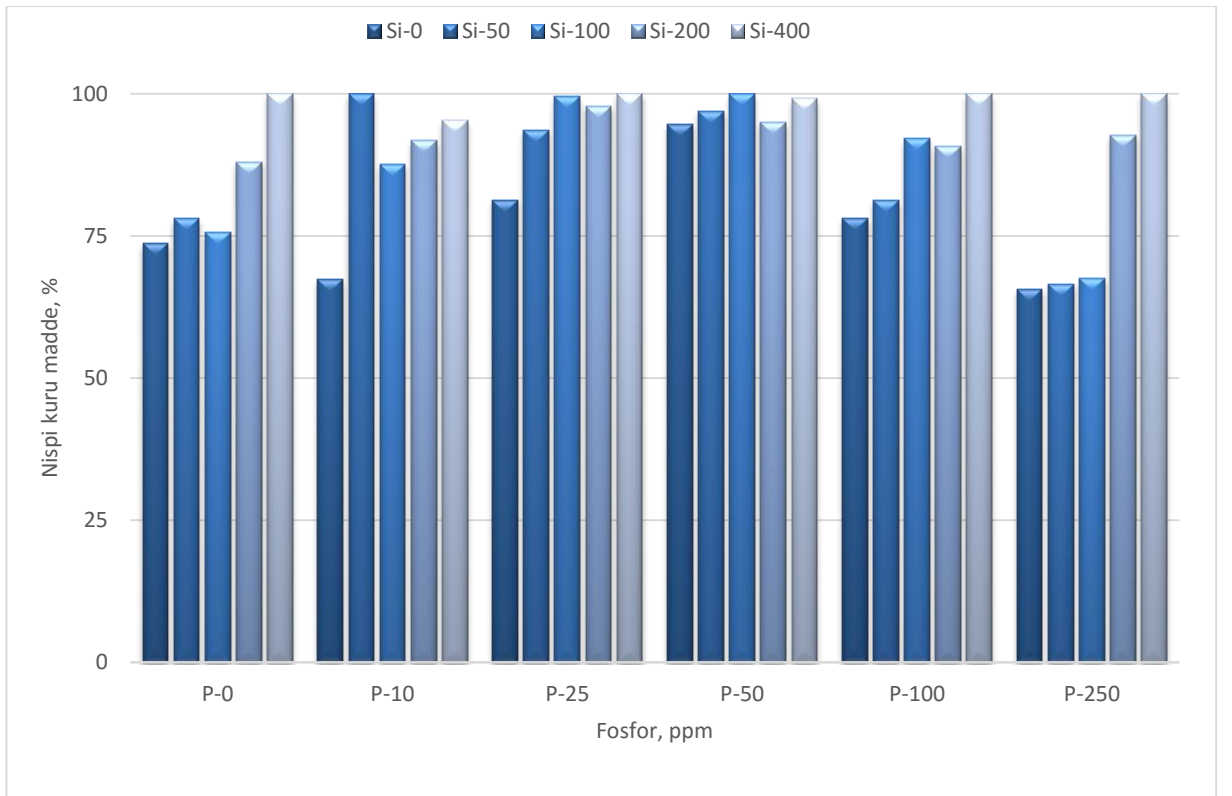
amorf silika polimerleri, silika-kütikül çift tabakası ve aynı şekilde sürgün hücrelerinde de depozite olduğu bildirilmiştir (Ma ve Takahashi 2002; Prychid ve diğ. 2004). Savant ve diğ., (1997b), silis uygulaması ile çeltik dane veriminin %4,6-48 oranında arttığını bildirmişlerdir. Horuz ve diğ., (2013), Samsun yöresi çeltik topraklarının % 79'unda silisli gübreleme ile çeltik dane veriminin önemli derecede ($P<0,01$) arttığı (% 1,56-45,85), toprakların değişik dozlarda (50-200 ppm) silisyumlu gübreye gereksinimleri olduğu ve optimum silis dozunun 100 ppm olduğunu bildirmişlerdir.

Çizelge 4.2. Fosfor ve silisyumlu gübrelemesi ile elde edilen sap nispi kuru madde değerleri, %

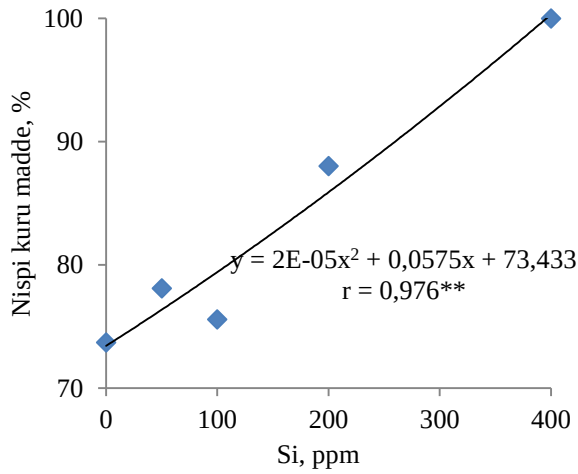
Fosfor dozları, ppm	Nispi kuru madde, %					Ortalama NKM, %
	Silis dozları ppm, SiO ₂					
	0	50	100	200	400	
P-0	73,73	78,11	75,58	88,02	100	83,09
P-10	67,38	100	87,66	91,81	95,34	88,44
P-25	81,34	93,66	99,54	97,93	100	94,49
P-50	94,67	97,01	100	95,1	99,15	97,19
P-100	78,13	81,22	92,12	90,80	100	88,45
P-250	65,64	66,55	67,54	92,77	100	78,50
Ortalama	76,82	86,09	87,07	92,74	99,08	88,36

Çizelge 4.3. Fosfor ve silisyumlu gübrelemesi ile nispi kuru maddede kontrole göre sağlanan değişim

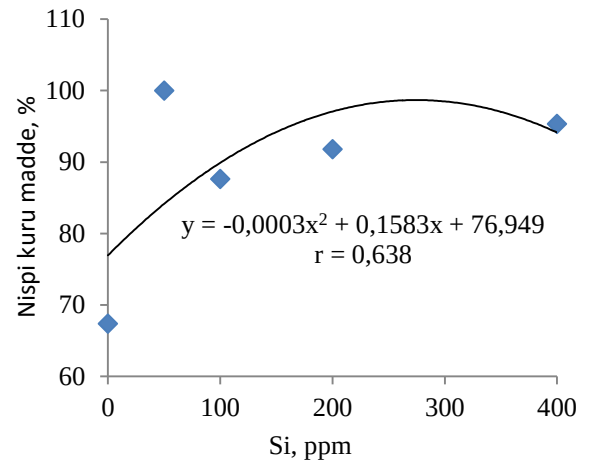
Fosfor dozları, ppm	Nispi kuru maddede sağlanan değişim					Ortalama değişim, %	En yüksek değişimin sağlandığı Si dozu, ppm
	Silis dozları ppm, SiO ₂						
	0	50	100	200	400		
P-0	-	4,38	1,85	14,29	26,27	11,70	400
P-10	-	32,62	20,28	24,43	27,96	26,32	50
P-25	-	12,32	18,2	16,59	18,66	16,44	400
P-50	-	2,34	5,33	0,43	4,48	3,15	100
P-100	-	3,09	13,99	12,67	21,87	12,91	400
P-250	-	0,91	1,90	27,13	34,36	16,08	400
Ortalama	-	9,28	10,26	15,92	22,27	14,43	291,66



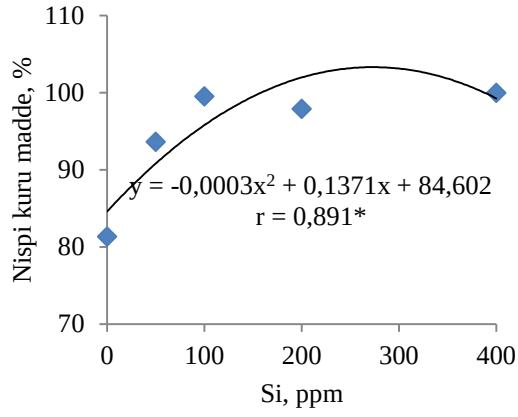
Şekil 4.7. Fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarı arasındaki ilişki



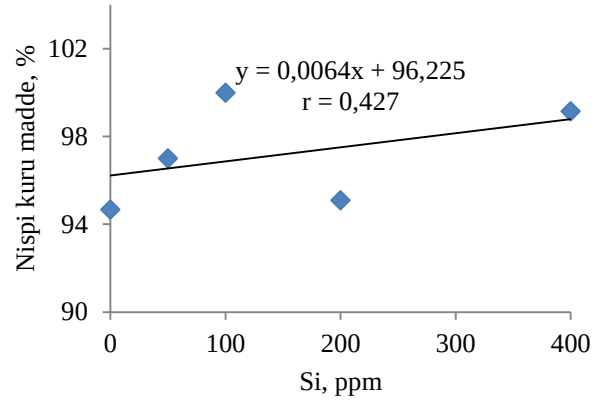
a) P-0 (Kontrol)



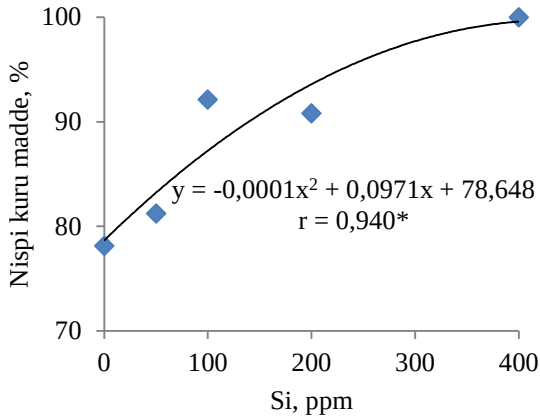
b) P-10



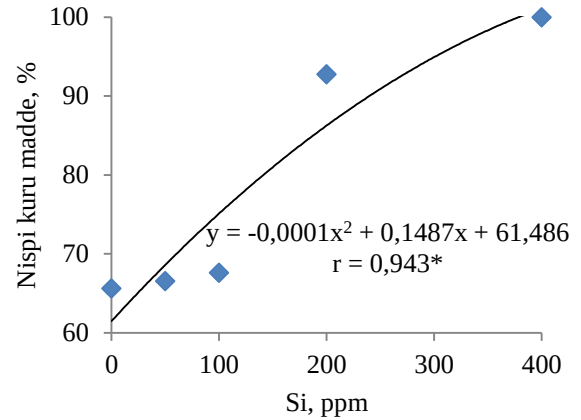
c) P-25



d) P-50



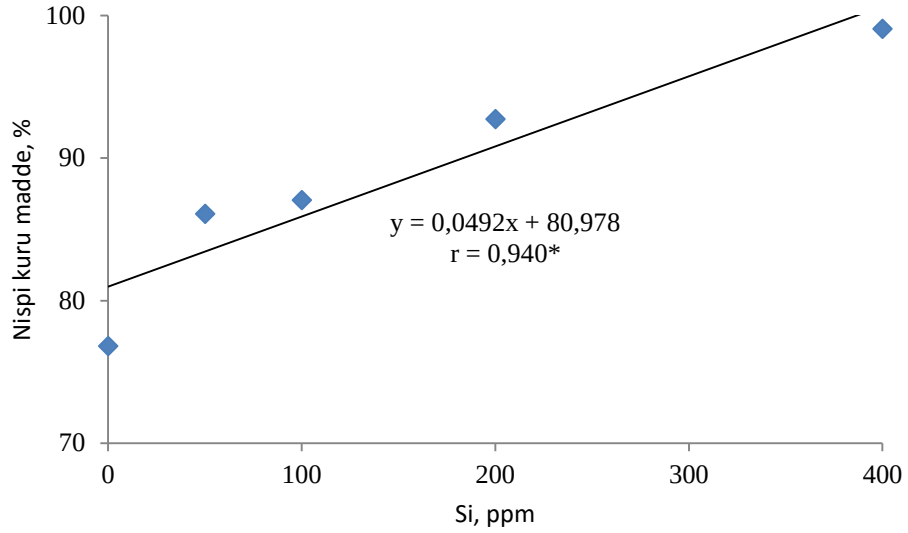
e) P-100



f) P-250

Şekil 4.8. Farklı fosfor dozlarında toprağa uygulanan silisyumlu gübre ile elde edilen nispi kuru madde miktarı arasındaki ilişkiler

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan dozlarda uygulanan silisyumun yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını % 76.82 ile 99.08 arasında değiştirdiği, ortalama % 88.36 olduğu bulunmuştur. En yüksek nispi kuru madde miktarı 400 ppm Si dozundan elde edilmiştir (Şekil 4.9). Ayrıca silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru maddesini 9.28 ile 22.27 birim artırdığı, ortalama artışın 14.43 birim olduğu ve ortalama silisyum dozunun 291.66 ppm olduğu bulunmuştur. Artan Si dozlarına bağlı olarak elde edilen en yüksek ortalama değişimin (artış) 10 ppm P dozunda 26.32 birim olduğu; artan P dozlarına bağlı olarak elde edilen en yüksek ortalama değişimin (artış) 400 ppm dozunda 22.27 birim olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.3).



Şekil 4.9. Fosfor dozlarında silisyumlu gübrelemenin nispi kuru madde miktarı ile olan ilişkisi

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme genel olarak yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarlarını kontrole göre arttırdığı tespit edilmiştir.

Silisyumlu gübre uygulanmaksızın (Si-0) fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı % 65.64-94.67 arasında değişmiştir. Silisyumun kontrol dozunda uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru maddemiktarını ortalama % 76.82 oranında artırmıştır. En düşük ve en yüksek nispi kuru madde miktarı sırasıyla P-250 ve P-50 dozlarında elde edilmiştir (Şekil 4.10).

Silisyumun 50 ppm dozunda artan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı % 66.55-100 arasında değişmiştir. Silisyumun 50 ppm dozunda uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını ortalama % 86.09 oranında artırmıştır. En düşük ve en yüksek nispi kuru madde miktarı sırasıyla P-250 ve P-10 dozlarında elde edilmiştir.

Silisyumun 100 ppm dozunda artan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı % 67.54-100 arasında değişmiştir. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını ortalama % 87.07 oranında artırmıştır. En düşük ve en yüksek nispi kuru madde miktarları sırasıyla P-250 ve P-50 dozlarında elde edilmiştir.

Silisyumun 200 ppm dozunda artan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin nispi kuru maddemiktarı % 88.02-97.93 arasında değişmiştir. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını ortalama % 92.74 oranında

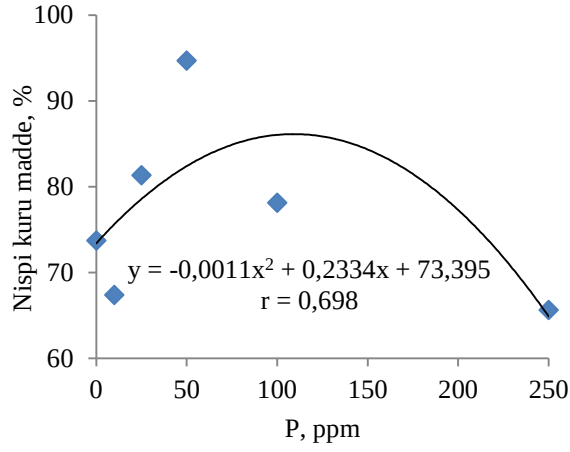
artırmıştır. En düşük ve en yüksek nispi kuru madde miktarları sırasıyla P-0 ve P-25 dozlarında elde edilmiştir.

Silisyumun 400 ppm dozunda artan fosforlu gübreleme ile elde edilen yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı % 95.34-100 arasında değişmiştir. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını ortalama % 99.08 oranında artırmıştır. En düşük nispi kuru madde miktarı P-10 dozunda % 95,34 olarak elde edilirken, en yüksek nispi kuru madde miktarı P-0, 25, 100, 250 dozlarında % 100 olduğu bulunmuştur.

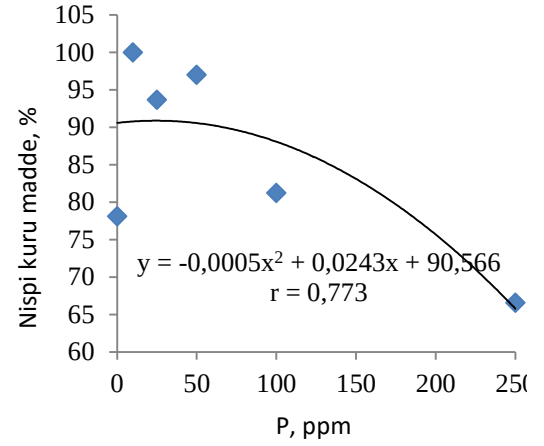
Farklı Si dozlarında yapılan fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı arasında elde edilen interaksiyon ($P \times Si$) ilişkisine göre her bir silisyum dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. En yüksek artışın genellikle 400 ppm Si dozunda olduğu bulunmuştur (Şekil 4.12).

Silisyum dozlarına bağlı olarak artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarları Si-0, 50, 100, 200 ve 400 dozlarında sırasıyla, % 94.67 (P-50), % 100 (P-10), % 100 (P-50), % 97.93 (P-25) ve % 100 (P-0) olduğu bulunmuştur. Genel olarak toprağa uygulanan silisyumlu gübre dozu arttıkça, düşük fosfor dozlarında daha yüksek nispi kuru madde elde edilme eğilimi tespit edilmiştir. Ancak toprağa uygulanan fosfor dozu arttıkça silisyumun bu etkinin azaldığı tespit edilmiştir. Nitekim 250 ppm P seviyesinde toprağa uygulanan 0, 50 ve 100 ppm silisyumun kontrole göre nispi kuru madde miktarını azalttığı, ancak 200 ppm Si dozunda arttığı, 400 ppm Si dozunda değişmediği bulunmuştur. Bununla birlikte nispi kuru maddede sağlanan değişimin 50, 100, 200, ve 400 ppm Si dozlarında sırasıyla 9.28, 10.26, 15.92, ve 22.27 birim olduğu ve en yüksek artışın 400 ppm Si dozunda elde edildiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre topraklarda 250 ppm P dozunda ortaya çıkan fosfor toksitenin 400 ppm Si ilavesi ile telafi edilebileceği anlaşılmaktadır. Diğer yandan en fazla bağıl artışın % 27.13 ile 200 ppm Si dozunda olduğu ve buna göre topraklarda 250 ppm P dozunda ortaya çıkan fosfor toksitenin 200 ppm Si ilavesi ile telafi edilebileceği anlaşılmaktadır.

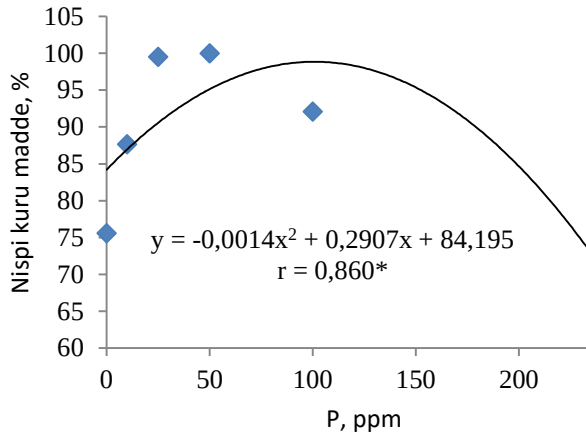
Silisyum çeltik gibi bitkilerde verimi % 20-50 oranında artırdığı üretken safhada silisyum ilavesi sap kuru ağırlığını % 243, tane kuru ağırlığını % 30 artırmış, silisyumun bütün bitkide % 66'sı, yapraklarda % 70-75'i üretken dönemde absorbe edildiği bildirilmiştir (Ma ve diğ., 1989).



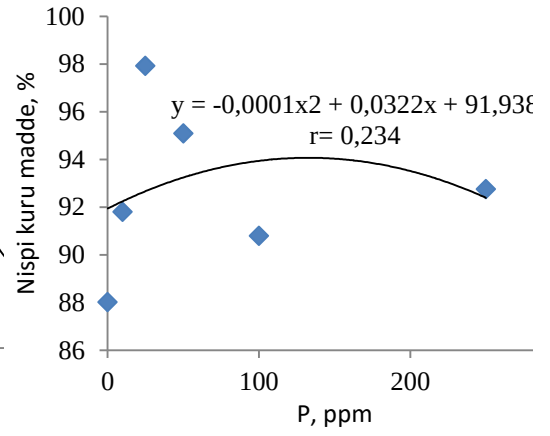
a) Si-0 (kontrol)



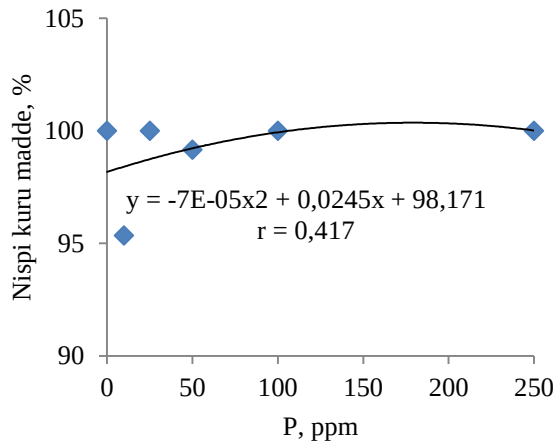
b) Si-50



c) Si-100

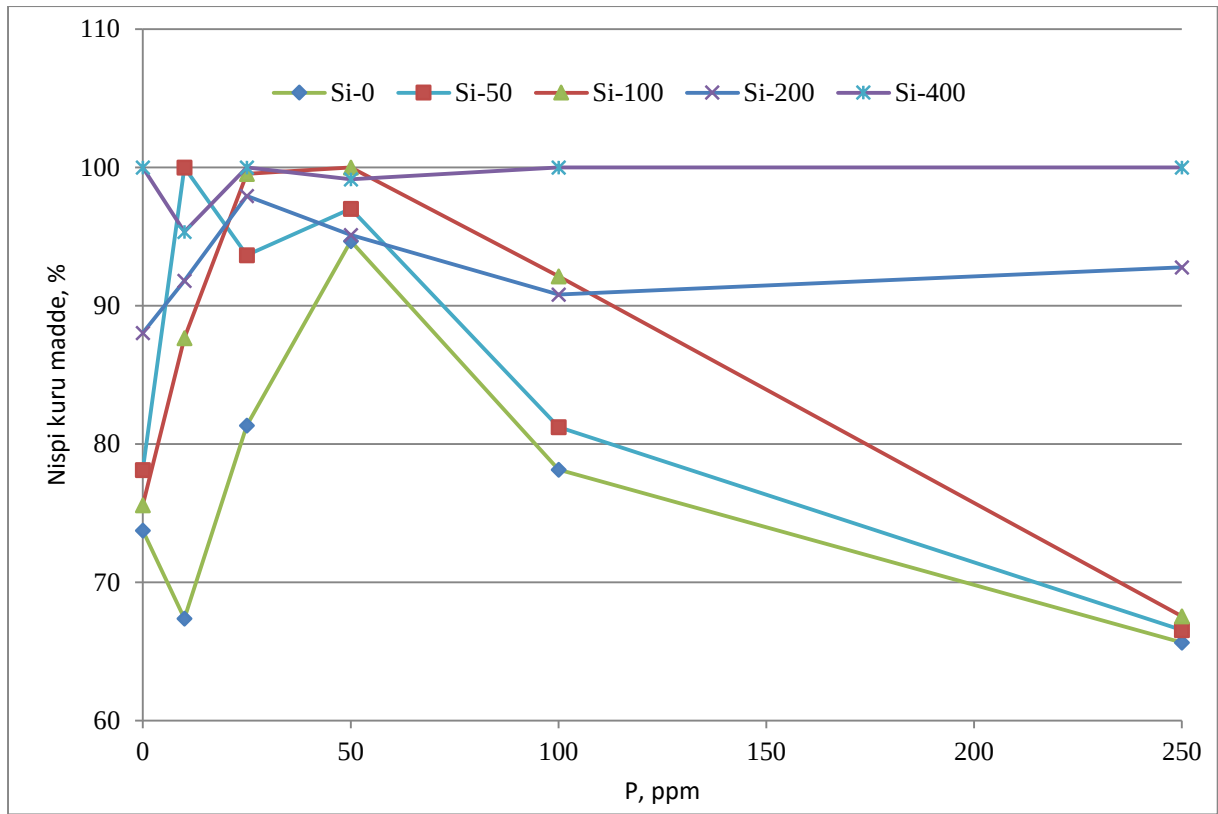


d) Si-200



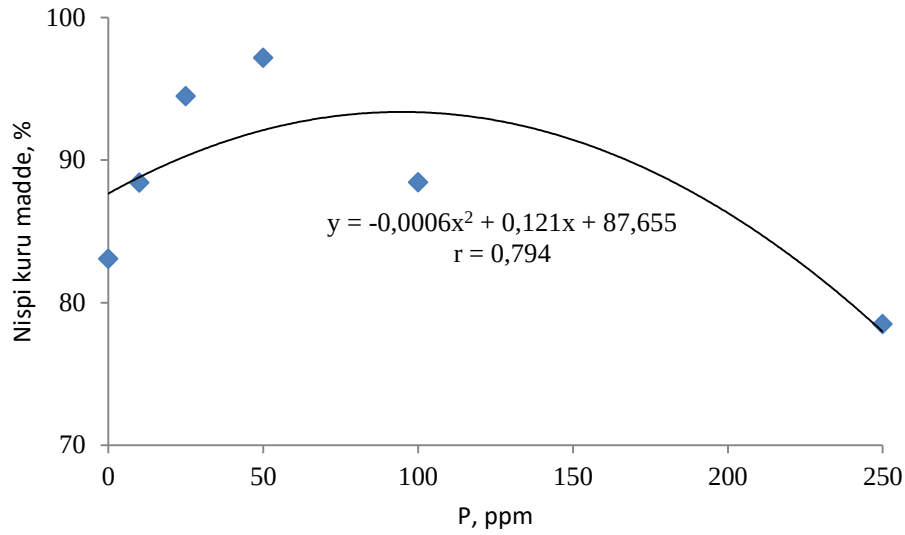
Si-400

Şekil 4.10. Farklı silisyum dozlarında toprağa uygulanan fosforlu gübreleme ile nispi kuru madde miktarı arasındaki ilişkiler



Şekil 4.11. Farklı Si dozlarında yapılan fosforlu gübreleme ile nispi kuru madde arasındaki interaksiyon (P X Si) ilişkisi

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde farklı silisyum dozlarına bağlı olarak artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru maddemiktarını % 78.50 ile 97.19 arasında değiştirmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 88,36 olduğu, en yüksek nispi kuru madde değerinin 50 ppm P dozunda elde edildiği bulunmuştur. Ortalama nispi kuru madde miktarları silisyumun 100 ppm P dozuna kadar artış gösterdiği (0, 10, 25 ve 50 ppm), daha yüksek P dozlarında (100 ve 250 ppm P) ise azaldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.11). Ayrıca nispi kuru maddede sağlanan değişimin kontrole göre P-10, 25, 100 ve 250 dozlarında arttığı, en fazla artışın ise P-10 dozunda %26,32 olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.2).



Şekil 4.12. Ortalama silisyum dozlarında fosforlu gübrelemenin nispi kuru madde miktarı ile olan ilişkisi

4.1.3. Kuru Madde Miktarında Sağlanan Değişim

4.1.3.1. Farklı fosfor düzeylerinde uygulanan silisyum ile kuru maddede sağlanan değişim yüzdesi

Farklı fosfor dozlarında toprağa uygulanan silisyum ile yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarında silisyumsuz kontrole göre sağlanan değişim yüzdesi Çizelge 4.4'te verilmiştir. Gerek P dozlarında uygulanan artan Si gübrelemesi ve gerekse Si dozlarında uygulanan artan P gübrelemesi ile sap kuru maddesinde kontrole göre sağlanan değişim artış göstermiştir.

Çizelge4.4. Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyum ile kontrole göre kuru maddede sağlanan değişim, %

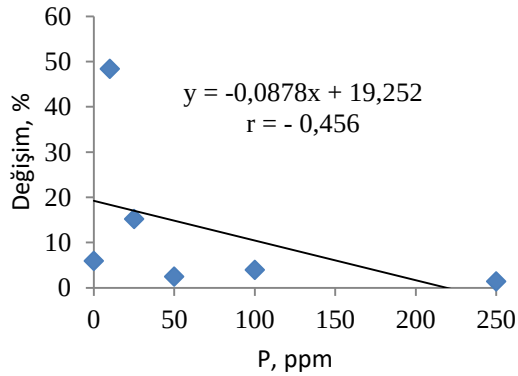
Fosfor dozları, ppm	Kuru madde miktarında sağlanan değişim, %					Ortalama değişim, %	En yüksek artışlar, %	En yüksek artışın elde edildiği Si dozu,ppm
	Silisyum dozları ppm, Si							
	0	50	100	200	400			
P-0	-	5,94	2,5	19,38	35,63	15,86	35,63	400
P-10	-	48,41	30,09	36,26	41,50	39,07	48,41	50
P-25	-	15,16	22,38	20,4	22,95	20,22	22,95	400
P-50	-	2,48	5,63	0,45	4,73	3,32	5,63	100
P-100	-	3,96	16,21	17,91	27,99	16,52	27,99	400
P-250	-	1,38	2,89	41,32	52,34	24,48	52,34	400
Ortalama değişim		12,89	13,57	22,34	30,86	19,91	32,16	291,67

Silisyumun 50 ppm dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı % 1.38-48.41 arasında değiştiği, ortalama % 12.89 oranında artış sağladığı tespit edilmiştir. En yüksek artış P-10 dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.13). Artan fosfor dozlarıyla sağlanan değişim arasındaki ilişkiye göre kuru maddede sağlanan artış istatistiksel bakımdan önemsiz bulunmuştur ($r = -0,456$).

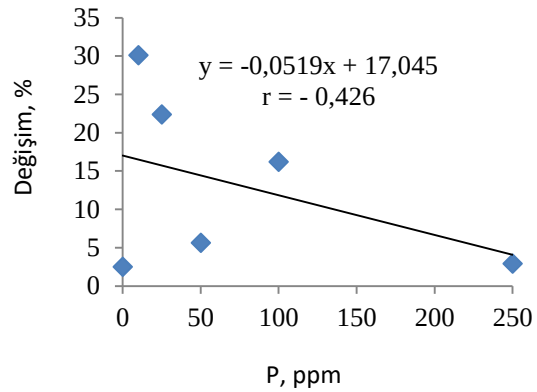
Silisyumun 100 ppm dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı % 2.89-30.09 arasında değiştiği, ortalama % 13.57 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış P-10 dozunda elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarına bağlı olarak kuru maddede sağlanan artış inişli çıkışlı olsa da genel olarak azaldığı ve istatistiki bakımdan önemsiz olduğu bulunmuştur ($r = -0,426$).

Silisyumun 200 ppm dozunda artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı % 0.45-41.32 arasında değiştiği, ortalama % 22.34 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış P-250 dozunda elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemsiz bulunmuştur ($r = 0,463$).

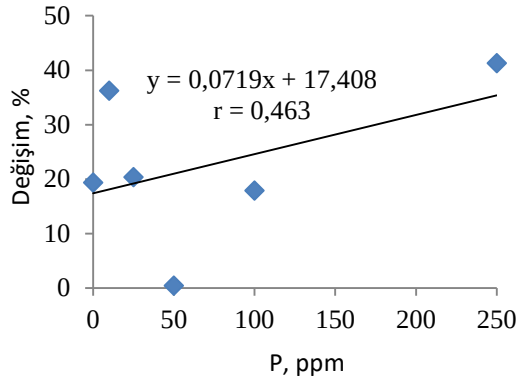
Silisyumun 400 ppm dozunda artan dozlarda fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarı % 4.73-52.34 arasında değiştiği, ortalama % 30.86 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış P-250 dozunda elde edilmiştir. Artan fosfor dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemsiz bulunmuştur ($r = 0,477$).



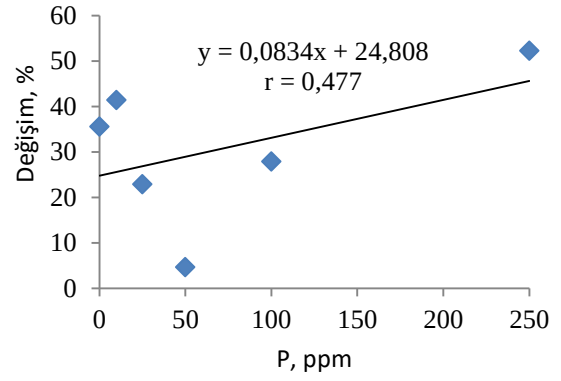
a) Si-50 dozundaki değişim



b) Si-100 dozundaki değişim



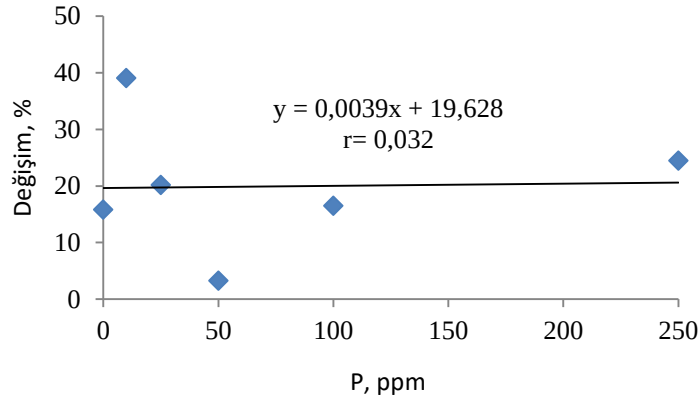
c) Si-200 dozundaki değişim



d) Si-400 dozundaki değişim

Şekil 4.13. Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübreleme ile sağlanan kuru madde değişimi

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde her bir fosfor dozunda uygulanan silisyumlu gübreleme ile elde değişim (artış) miktarı % 3.32 ile 39.07 arasında, ortalama % 19.91 oranında bulunmuştur. Uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre 10, 25, 100 ve 250 ppm P dozlarında artırdığı 50 ppm P dozunda azalttığı bulunmuştur ($r=0.032$). En yüksek artışın 10 ppm P dozunda % 39,07 olduğu bulunmuştur (Şekil 4.14).



Şekil 4.14. Silisyumlu gübrelemeye bağlı olarak uygulanan fosforlu gübreleme ile sağlanan ortalama kuru madde değişimiarasındaki ilişkisi

Yulaf bitkisine fosforlu gübreleme uygulanmaksızın (kontrol) artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübrelemeyle kuru madde miktarı kontrole göre % 2.50 -35.63 arasında değiştiği, ortalama % 15.86 oranında artış bulunmuştur. En yüksek artış 400 ppm Si dozunda elde edilmiştir (Şekil 4.15). Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemli bulunmuştur ($r= 0.969^{**}$).

10 ppm fosforlu gübreleme uygulanmışken silisyumlu gübrelemesi ile sap kuru madde miktarı % 30.09-48.41 arasında değiştiği, ortalama % 39.07 oranında

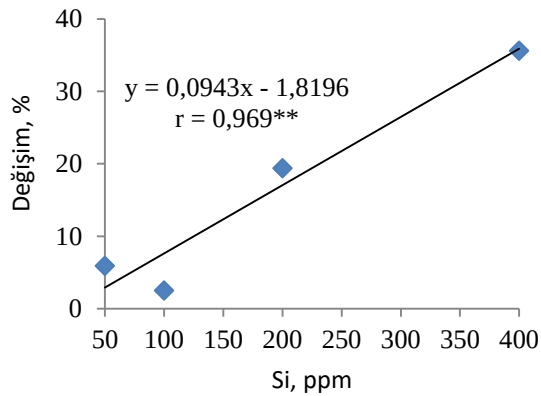
artış sağlandığı bulunmuştur. En yüksek artış 50 ppm Si dozunda elde edilmiştir. Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan değişim grafiği nötr seyir izlemekle birlikte hafifçe bir azalma olmuştur ($r = -0.005$).

25 ppm fosforlu gübreleme uygulanmışken silisyumlu gübreleme ile sap kuru madde miktarı % 15.16 - 22.95 arasında değiştiği, ortalama % 20.22 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış 400 ppm Si dozunda elde edilmiştir. Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemli bulunmuştur ($r = 0,661^*$).

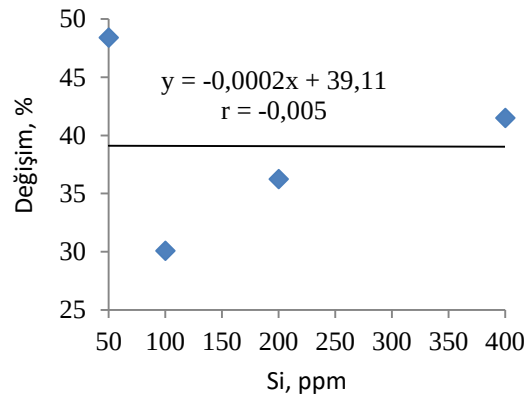
50 ppm fosforlu gübreleme uygulanmışken silisyumlu gübrelemesi ile sap kuru madde miktarı % 0.45 - 5.63 arasında değiştiği, ortalama % 3.32 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış 100 ppm Si dozunda elde edilmiştir. Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan değişim genel olarak düşükte olsa artırmıştır ($r = 0,164$). Ancak istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır.

100 ppm fosforlu gübreleme uygulanmışken silisyumlu gübrelemesi ile sap kuru madde miktarı % 3.96 - 27.99 arasında değiştiği, ortalama % 16.52 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış 400 ppm P dozunda elde edilmiştir. Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemli bulunmuştur ($r = 0,919^{**}$).

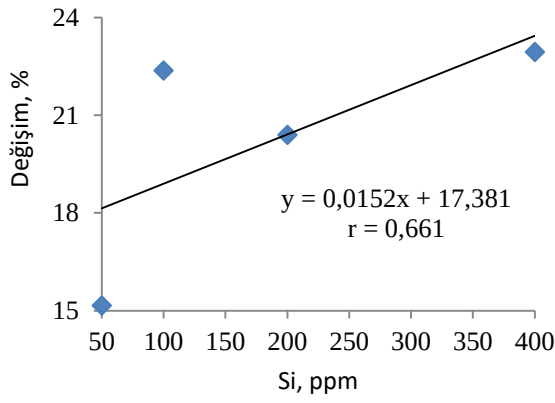
250 ppm fosforlu gübreleme uygulanmışken silisyumlu gübrelemesi sap kuru madde miktarı % 1.38 - 52.34 arasında değişti, ortalama % 24.48 oranında arttığı bulunmuştur. En yüksek artış 400 ppm Si dozunda elde edilmiştir. Artan silisyum dozlarında kuru maddede sağlanan artış önemli bulunmuştur ($r = 0,920^{**}$).



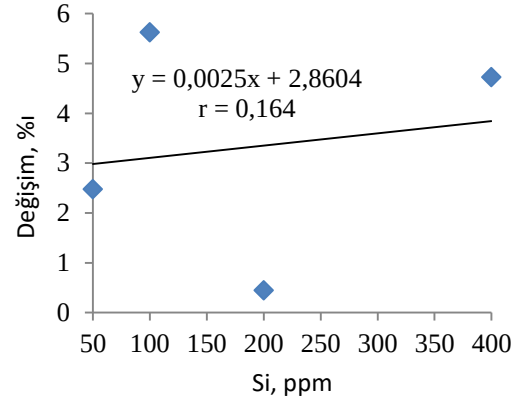
a) P-0 dozundaki değişim



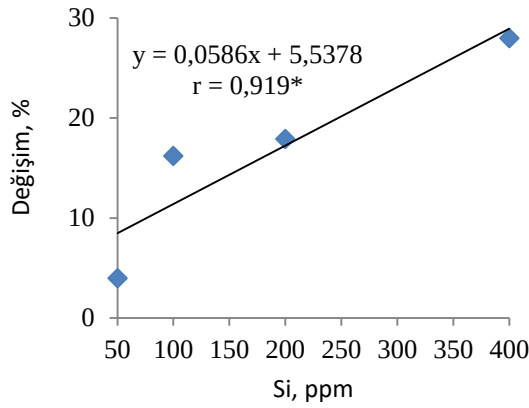
b) P-10 dozundaki değişim



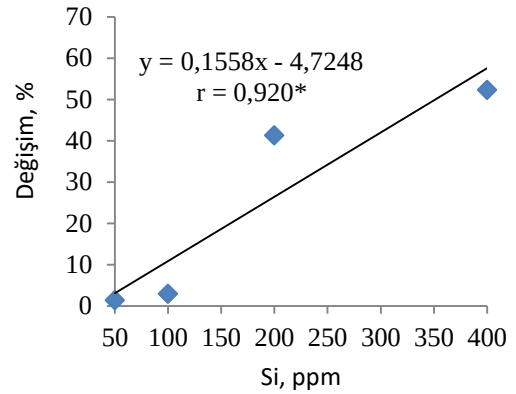
c) P-25 dozundaki değişim



d) P-50 dozundaki değişim



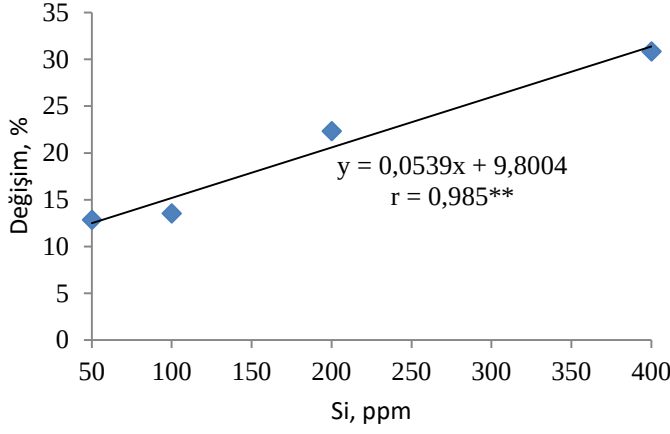
e) P-100 dozundaki değişim



f) P-250 dozundaki değişim

Şekil 4.15. Farklı fosfor dozlarında silisyumlu gübreleme ile kuru maddede sağlanan değişim

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme ile sağlanan değişim % 12,89 - 30,86 arasında değiştiği, ortalama % 19,91 olduğu bulunmuştur. Tüm silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını kontrole göre önemli derecede ($P < 0,01$) artırmıştır. En yüksek artışın 400 ppm Si dozunda olduğu bulunmuştur (Şekil 16). Genel olarak yulaf bitkisine düşük ve orta fosfor düzeylerinde 50 - 400 ppm Si dozu, yeterli fosfor düzeylerinde 100 ppm Si dozu önerilirken yüksek fosfor düzeylerinde 400 ppm Si dozu önerilmiştir. Matichenkov ve Bocharnikova (2008), hıyar bitkisine (*Cucurbit sativus* L.) 3. Yaprak döneminde sezon boyunca 10 kg ha⁻¹ dozunda haftada 1 kez uygulanan silisyumun meyve oluşumunu teşvik etmek ve meyve olgunlaşmasını hızlandırmak suretiyle verimi % 46 artırdığını bildirmişlerdir.



Şekil 4.16. Fosforlu gübreleme bağlı olarak uygulanan silisyumlu gübreleme ile sağlanan ortalama kuru madde değişimi arasındaki ilişki

Silisyum gübrelemesi ile fosforsuz kontrole göre en yüksek artışlar 0, 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında sırasıyla 400, 50, 400, 100, 400 ve 400 ppm Si dozlarıyla sağlamıştır. Silisyum gübrelemesi tüm fosfor düzeylerinde sap kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. Bu artışlar 0-50 ppm P dozlarında inişli çıkışlı bir seyir arz ederken, 100 ve 250 ppm P dozlarında sürekli bir artış göstermiştir. En yüksek artışlar 250 ppm P düzeyinde artan Si dozlarıyla sağlanmıştır. Horuz ve diğ., (2014), Samsun yöresi topraklarına uygulanacak optimum Si dozunun ortalama 87 mg kg^{-1} olduğunu ve bunun en fazla 255 mg kg^{-1} 'e kadar artırılabilceğini bildirmişlerdir.

Bu sonuçlar bize düşük ve orta fosfor düzeylerinde (sırasıyla 0, 10 ve 25 ppm P) toprağa uygulanan silisyumun toprak fosforunun yarıyışlılığını artırdığı, yeterli fosfor düzeylerinde (50 ppm P) fazla etkilemediği, yüksek fosfor düzeylerinde (100 ve 250 ppm P) ise fosfor toksitesini azaltarak sap kuru madde miktarını artırdığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle Si gübrelemesi sap kuru madde miktarında toprağın düşük ve yüksek P düzeylerinde yüksek oranda pozitif etki gösterirken, yeterli P düzeylerinde ise düşük oranda pozitif etki göstermektedir. Silisyum fosforun yarıyışlılığı üzerine yapılan pek çok çalışmada fosfor noksanlık ve toksitesini giderdiği bildirilmiştir (Ma ve Takahashi, 2002). Benzer şekilde topraktan 100 ppm silisilik asit uygulamasının fotosentezi, bitkide taşınan karbonu, başaktaki dane sayı, su kullanım randımanı, bitki büyümesi, kardeşlenme oranı, yaprak alanı, kısacası vejetatif ve generatif gelişmeyi artırmak suretiyle bitkide olumlu etkiler gösterdiği bildirilmiştir (Singh ve diğ., 2005). Silisyumlu ortamda yetişen bazı çift çenekli bitkiler ve çeltik bitkisinde aşırı fosfor birikiminin silisyum tarafından

engellendiği bildirilmiştir (Ma ve Takahashi, 1990a; Marschner ve diğ., 1990; Miyake ve Takahashi, 1985).

Fosfor düşük olduğunda Si, Fe ve Mn alımında bir azalmaya sebep olmaktadır. Böylece bitki içinde fosfor yarayışlılığı artmaktadır. Fosfor yüksek olduğunda silisyumun fosfor alımını azaltır ve böylece gövdedeki inorganik fosfor konsantrasyonu da azalmaktadır (Ma ve Takahashi, 1990a).

Wattanapayapakul ve diğ., (2011), çeltik bitkisine 0-250-500-1000 kg ha⁻¹ dozlarında uygulanan silisyumun çeltik dane verimini % 2-43 oranlarında artırdığını ve optimum silisyum dozunun 1000 kg ha⁻¹ (4070-4578 kg ha⁻¹) olduğunu bildirmişlerdir. Singh ve diğ., (2006), silisyum uygulamasının çeltik verimini %20-30 oranında artırdığını bildirmişlerdir. Silisyum hücre duvarı içerisinde hidrata olmuş amorf silika polimerleri, silika-kütikül çift tabakası ve aynı şekilde sürgün hücrelerinde de depozite olduğu bildirilmiştir (Ma ve Takahashi 2002; Prychid ve diğ. 2004). Savant ve diğ., (1997b), silis uygulaması ile çeltik dane veriminin % 4,6-48 oranında arttığını bildirmişlerdir.

Horuz ve diğ., (2013), Samsun yöresi Bafra ve Terme ilçeleri çeltik topraklarının Si bakımından değişik düzeylerde yetersiz oldukları ve çeltiğin bu topraklarda silisyumlu gübrelemeye ihtiyaç gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca yöre topraklarında silisyum gübrelemesi çeltikte dane veriminin en yüksek artışların ortalaması olarak % 30.02 oranında artarak pozitif etki sağladığını bildirmişlerdir.

4.1.3.2. Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübrelemeyle sağlanan değişim yüzdesi

Farklı silisyum düzeylerinde uygulanan fosfor gübrelemesi ile fosforsuz kontrole göre sap kuru maddesinde sağlanan değişim yüzdesi Çizelge 4.5’de verilmiştir. Çizelgenin incelenmesinden anlaşılaçağı üzere, silisyum gübrelemesi ile 10 ppm P düzeyinde % 67.19-134.22 arasında (Si-50), ortalama % 95.77 oranında; 25 ppm P düzeyinde % 100-163.41 arasında (Si-100), ortalama % 129.28 oranında; 50 ppm P düzeyinde % 114.29-185.98 arasında (Si-100), ortalama % 155.94 oranında; 100 ppm P düzeyinde % 212.90-281.40 arasında (Si-100), ortalama % 234.80 oranında ve 250 ppm P düzeyinde % 179-185.48 arasında (Si-400) ortalama % 146.16 oranında bir değişim sağlanmıştır. Kontrole göre en yüksek sap kuru maddesinde sağlanan artış 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında sırasıyla, 50, 100, 100, 100 ve 400 ppm Si dozlarında elde dilmiştir.

Fosforlu gübreleme ile Si-0 dozunda % 67.19-231.56 arasında, ortalama 144.75 oranında; Si-50 dozunda % 117.11-225.37 arasında, ortalama 156.99 oranında; Si-100 dozunda % 112.20-281.40 arasında, ortalama 174.19 oranında; Si-200 dozunda % 90.84-222.77 arasında, ortalama 147.64 oranında ve Si-400 dozunda % 74.42-212.90 arasında, ortalama 137.42 oranında bir değişim olduğu bulunmuştur. En yüksek değişimin Si-0'da P-100 (% 231.56); Si-50'de P-100 (% 225.37); Si-100'de P-100 (% 281.40); Si-200'de P-100 (% 222.77) ve Si-400'de P-100 (212.90) dozu olduğu bulunmuştur. Kontrole göre en yüksek sap kuru maddesinde sağlanan artış tüm Si dozlarında (50, 100, 200 ve 400 ppm Si) 100 ppm P dozunda elde edilmiştir. Ayrıca genel ortalama olarak en yüksek artışlar 0, 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında sırasıyla 50,100, 100, 100 ve 400 ppm Si dozları olduğu ve ortalama Si dozunun 150 ppm olduğu tespit edilmiştir.

Genel ortalamalara göre, silisyum gübrelemesi ile % 137.42-174.15 arasında ortalama 152.40 oranında bir artış sağlanmıştır. Fosfor gübrelemesi ile % 95.77-234.80 arasında, ortalama % 152.40 oranında bir artış sağlanmıştır. Benzer şekilde en yüksek artışın fosfor gübrelemesi ile 100 ppm P düzeyinde % 234.40 oranında ve silisyum gübrelemesi ile 100 ppm Si düzeyinde % 174.15 olduğu bulunmuştur. Fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen sonuçlara göre yulaf bitkisinin kuru madde miktarını arttırmak için ortalama olarak fosforun 100 ppm dozu tavsiye edilirken, silisyumun 150 ppm dozu tavsiye edilmiştir.

Reezi ve diğ., (2009), tuz stresi (NaCl) altında kesme gül bitkisine 50 ve 100 ppm Si uygulamasının bitki büyüme, kalite ve verimini arttırmada 150 ppm silisyum'a göre daha iyi sonuç verdiğini, silisyumun membran bütünlüğü ve fonksiyonunu düzelttiği, çiçek rengini artırdığı ve tuz stresinden kaynaklı malondialdehide içeriğini azalttığını bildirmişleridir.

Çizelge 4.5. Fosforlu gübreleme ile sağlanan değişim yüzdesi

Silisyum dozları, ppm	Farklı Si dozlarında P ile sağlanan değişim,%						Ortalama değişim	En yüksek değişimin sağlandığı P, dozu
	Fosfor, ppm							
	0	10	25	50	100	250		
Si-0	-	67,19	120,63	177,50	231,56	126,88	144,75	100
Si-50	-	134,22	139,82	168,44	225,37	117,11	156,99	100
Si-100	-	112,20	163,41	185,98	281,40	127,74	174,15	100
Si-200	-	90,84	122,51	133,51	222,77	168,59	147,64	100
Si-400	-	74,42	100,00	114,29	212,90	185,48	137,42	100
Ort. değişim		95,77	129,28	155,94	234,80	146,16	152,40	100
En yük. değ. Sağ. Si dozu		50	100	100	100	400	150	100

4.1.3.2.1. Farklı fosfor dozlarında silisyumlu gübrelemeyle sağlanan değişim

Silisyumlu gübrelemeyle sağlanan değişim, farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyum ile kuru madde miktarında sağlanan yüzde değişimin (Çizelge 4.5) silisyumsuz kontrole göre farkının alınmasıyla elde edilmiştir (Çizelge 4.6). Bu değer silisyumun toprak fosforunun yarayırlılığı üzerine sağladığı etkiyi kuru madde miktarında artış ile göstermektedir. Çizelgenin incelenmesinden anlaşılabileceği üzere silisyumlu gübreleme sap kuru madde miktarını 10 ppm P düzeyinde 7.24-67.03 arasında, ortalama 34.73 oranında artırmıştır. 25 ppm P düzeyinde -(20.63)-(+42.79) arasında, ortalama 10.81 oranında artırmıştır. 50 ppm P düzeyinde (-63.21)-(+8.48) arasında, ortalama -26.95 oranında artırmıştır. 100 ppm P düzeyinde(-18.66)-(+49.84) arasında, ortalama 4.05 oranında ve 250 ppm P düzeyinde (-9.77)-(+58.61) arasında ortalama 22.86 oranında olmak üzere farklı seviyelerde etkilemiştir. Silisyum gübrelmesi genel ortalama olarak % (-7.33)-(+29.40) arasında ortalama 9.3 oranında artış sağlamıştır. Silisyum ile sap kuru madde miktarında sağlanan artışlar çoktan aza doğru 67.03, 58.61, 49.84, 42.79 ve 8.48 birim ile P-10, P-250, P-100, P-25 ve P-50 dozlarında olduğu tespit edilmiştir. Yani en yüksek artışların en düşük (10 ppm P) ve yüksek fosfor dozlarında (100 ve 250 ppm P) olduğu, daha sonra orta seviyede fosfor dozunda (25 ppm P) olduğu ve en düşük artışın ise yeterli seviyede fosfor dozunda (50 ppm P) sağlandığı bulunmuştur. Horuz ve Korkmaz, (2014), tuzlu toprak şartlarında yetiştirilen çeltik bitkisine uygulanan 0, 50, 100, 200 ve 400 ppm Si'un Na zararını kontrole göre yaklaşık % 50 oranında önleyerek dane veriminde artış sağladığını bildirmişlerdir.

Silisyum gübrelemesi tüm fosfor düzeylerinde sap kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. Bu artışlar 10 ppm P düzeyinde giderek azalan bir seyir izlerken, diğer P düzeylerinde inişi çıkışlı bir seyir arz etmiştir. Artışların 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında, sırasıyla 50, 100, 100, 100 ve 400 ppm Si dozlarından sağladığı ve çoğunlukla 100 ppm Si dozunda gerçekleştiği bulunmuştur.

Bu sonuçlar bize çok düşük, düşük ve orta fosfor düzeylerinde (sırasıyla 0, 10 ve 25 ppm P) toprağa uygulanan silisyumun toprak fosforunun yararışlılığını artırdığı, yeterli fosfor düzeylerinde (50 ppm P) fazla etkilemediği, ancak yüksek fosfor düzeylerinde (100 ve 250 ppm P) ise yüksek oranda etkileyerek fosfor toksitesini azalttığı ve sap kuru madde miktarını artırdığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle Si gübrelemesi sap kuru madde miktarını toprağın düşük ve yüksek P düzeylerinde yüksek oranda, yeterli P düzeylerinde ise daha düşük oranda pozitif etki gösterdiği bulunmuştur. Yeterli fosfor düzeylerinde silisyumlu gübrelemesinin fosforun yararışlılığı üzerine etkisinin olmadığı görülmüştür.

Çizelge 4.6. Silisyumlu gübrelemeyle kontrole göre sağlanan değişim

Silisyum, ppm	Farklı P dozlarında Si ile sağlanan değişim ⁺					Ortalama değişim,
	Fosfor, ppm					
	10	25	50	100	250	
Si-0	-	-	-	-	-	-
Si-50	67,03	19,20	-9,06	-6,19	-9,77	12,24
Si-100	45,01	42,79	8,48	49,84	0,87	29,4
Si-200	23,65	1,89	-43,99	-8,79	41,71	2,89
Si-400	7,24	-20,63	-63,21	-18,66	58,61	-7,33
Ort. değişim	34,73	10,81	-26,95	4,05	22,86	9,3

*Silisyumlu gübrelemeyle sağlanan değişimin farkı = Gübreli değişim yüzdesi – Gübresiz değişim yüzdesi

4.2. Fosfor ve Silisyumun Yulaf Bitkisinin Besin Element İçeriği Üzerine Etkisi

Asit toprakta yetiştirilen yulaf bitkisine uygulanan fosfor ve silisyum gübrelemesinin sap'ın N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu besin element kapsamı üzerine etkisi varyans analizi ile incelenmiştir. Varyasyon kaynaklarını P, Si ve P x Si etkileşimini oluşturmaktadır. Burada P farklı Si dozlarında yapılan fosforlu gübrelemeyi, Si farklı P dozlarında yapılan silisyumlu gübrelemeyi ve P x Si etkileşimini iki gübrenin etkileşimi ile hasıl olan sap içeriğini veya alımı ifade etmektedir.

4.2.1. Azot Beslenmesi Üzerine Etkisi

Varyans analiz sonuçlarına göre fosfor ve silisyumlu gübrelemenin yulaf bitkisinin azot içeriği üzerine etkisinin artan P, Si dozlarında ve P x Si interaksiyonunda %1 düzeyinde önemli olduğu bulunmuştur. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme, yulaf bitkisinin azot içeriğini tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede etkilemiştir. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-250 dozu hariç tüm fosfor dozlarında kontrole göre artırmıştır. 250 ppm P dozu yulaf bitkisinin azot beslenmesini azalttığı tespit edilmiştir (Çizelge 4.7). Azot ve fosfor arasında sinergistik ilişki olması sebebiyle aşırı fosfor beslenmesi durumunda bitkilerin azot beslenmesi yetersiz kalacak ve N alımı azalacaktır (Aktaş, 1994; Kacar ve Katkat, 2009) .

Çizelge 4.7. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin azot içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Sap N içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	1,93e-g	2,36c-g	2,76a-f	3,55a	3,17ab	2,75AB
P-10	1,93e-g	2,63a-g	2,46b-g	2,72a-g	2,76a-f	2,50BC
P-25	1,83fg	2,82a-f	1,66g	1,6g	3,52ab	2,29C
P-50	2,7a-g	3,1a-d	2,46b-g	2,24a-d	3,53a	2,81A
P-100	2,83a-f	2,6g	3,45ab	3,26a-d	3,24a	3,08A
P-250	3,07a-c	2,61a-e	2,28d-g	3,05a-d	2,56a-g	2,71AB
Ortalama	2,43C	2,74BC	2,51C	2,90AB	3,23A	2,69

P:0.000, Si:0.000, PxSi:0.002

P-0 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,93-3,55 arasında değiştiği, ortalama % 2,75 olduğu bulunmuştur. En yüksek N içeriği Si-200 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

P-10 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,93-2,76 arasında değiştiği, ortalama % 2,50 olduğu bulunmuştur. En yüksek N içeriği Si-400 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

P-25 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,83-3,52 arasında değiştiği, ortalama % 2,29 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre azot içeriği silisyumun 100 ve 200 dozlarında azalma gösterirken diğer dozlarda artış sağlanmıştır. En yüksek N içeriği Si-400 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

P-50 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 2,24-3,53 arasında değiştiği, ortalama % 2,81 olduğu bulunmuştur. Azot içeriği

kontrole göre Si-100 ve 200 dozlarında azalmış, Si-50 ve 400 dozlarında artmıştır. En yüksek N içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 2,60-3,45 arasında değiştiği, ortalama % 3,08 olduğu bulunmuştur. Azot içeriği Si-50 dozunda azalma diğer dozlarda ise kontrole göre artış göstermiştir. En yüksek N içeriği Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 2,28-3,07 arasında değiştiği, ortalama % 2,71 olduğu bulunmuştur. Silisyum uygulaması yulaf bitkisinin azot içeriğini kontrole göre tüm Si dozlarında azaltarak, Si-100 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini % 2,29-3,08 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,69 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-10, 25 ve 250 dozunda azaltırken, P-50 ve 100 dozlarında artırmıştır. Artışlar kontrole göre önemli bulunmazken, azalışlar P-25 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Artan azot gübrelemesi silisyum kazanımını azaltırken, bitkinin büyümesini artırmaktadır (Jones ve Handreck, 1967; Lewin ve Reinmann, 1969). Artan silisyum gübrelemesi ise aşırı azot kazanımını azaltmaktadır (Deren, 1997). Tahıllara aşırı N uygulandığında bitkilerde yatma, gölgeleme, böcek zararlısı ve hastalıklara karşı hassasiyetin artabileceği silisyumun ise bu etkileri elemine edebileceği (Ma ve diğ., 1989; Munir ve diğ., 2003) ve azot ile sinergistik etkisinden dolayı bitkide optimum N seviyesini artırarak verimi artıracığı bildirilmiştir (Ho ve diğ., 1980).

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini tüm Si dozlarında kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır. Ancak bu artışlar uygulanan farklı fosfor dozlarına göre değişmiştir.

Si-0 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,83-3,07 arasında değiştiği, ortalama % 2,43 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğinde P-25 dozunda azalma diğer dozlarda ise artış sağlamıştır. En yüksek N içeriği P-250 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuş, diğer fosfor dozlarında ise önemli bulunmamıştır.

Si-50 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 2,36-3,10 arasında değiştiği, ortalama % 2,74 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-50 dozuna kadar artırmış daha sonra

artışlar azalmaya başlamıştır. En yüksek N içeriği P-50 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Si-100 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,66-3,45 arasında değiştiği, ortalama % 2,51 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-100 dozu hariç diğer P dozlarında azaltmıştır. En yüksek N içeriği P-100 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Si-200 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,60-3,55 arasında değiştiği, ortalama % 2,90 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini kontrole göre azaltmıştır. Bu azalma P-25 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Si-400 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin azot içeriği % 2,56-3,52 arasında değiştiği, ortalama % 3,23 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-10 ve 250 dozunda azaltmış, diğer dozlarda ise artırmıştır. Ancak bu artışlar kontrole göre önemli bulunmamıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini % 2,43-3,23 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,69 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini kontrole göre artırmış ve Si-200 dozu önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Silisyum çeltik bitkisi için faydalı bir element iken azot esansiyel bir elementtir (Gerami ve Rameeh, 2012). Wang, (2005), azotun en önemli bitki besin kaynağı olduğunu belirtilerek bitkilerin fotosentez ve biyomass üretiminde hayati bir rol oynadığını ve birim alanda başak sayısını artırdığını bildirmiştir. Ayrıca N hafifçe eksik olduğunda bitkinin NO_3 , serbest amino asit ve serbest amino-N'una talebinin hızlı bir şekilde arttığını bildirilmiştir. Zho ve Wang ve diğ., (2003), kardeşlenme safhasında protein N'unun protein olmayan N'a oranının üst ve alt yapraklar arasında önemli farklılık arz ettiğini bildirmişlerdir. Yeşil yaprak hücrelerinde total organik azotun % 75'inin enzim proteini olarak kloroplastlarda lokalize olduğu bildirilmiştir (Takahashi, 1995). Bu sebeple silisyum bitkilerin kuru madde üretimini olumlu yönde etkileyerek bitkilerin büyümesine katkıda bulunur (Yoshida, 1981). Silisyum ile N arasında sinerjistik bir ilişki vardır (Munir ve diğ., 2003). Bu yüzden silisyum çeltik gibi bazı bitkilerde azotun optimum seviyesini artırır (Ho ve diğ., 1980).

4.2.2. Fosfor Beslenmesi Üzerine Etkisi

Fosfor ve silisyumlu gübrelemenin yulaf bitkisinin fosfor beslenmesi üzerine etkisi P, Si ve P x Si interaksiyonunda istatistiki bakımdan % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur.

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini P-0, 10, 25, 50 ve 100 dozlarında kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede artırırken, P-250 dozunda kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede azaltmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin fosfor içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları ppm	Sapta fosfor, %					Ortalama
	Silisyum dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,03m	0,07lm	0,10k-m	0,20g-i	0,18g-k	0,12E
P-10	0,07l-m	0,13i-l	0,16h-l	0,16h-l	0,20g-i	0,14DE
P-25	0,11j-m	0,10j-m	0,16h-l	0,23f-ı	0,20g-i	0,16CD
P-50	0,14ı-l	0,17h-k	0,16h-l	0,19g-k	0,26d-g	0,18C
P-100	0,24e-h	0,25d-h	0,23f-ı	0,19g-k	0,32b-e	0,25B
P-250	0,45a	0,38a-b	0,36b-c	0,33b-d	0,29c-f	0,36A
Ortalama	0,17C	0,18C	0,19BC	0,22AB	0,24A	0,20

P:0.000, Si:0.000, PxSi:0.000

P-0 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,03-0,20 arasında değiştiği, ortalama % 0,12 olduğu bulunmuştur. En yüksek P içeriği Si-400 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

P-10 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,07-0,20 arasında değiştiği, ortalama % 0,14 olduğu bulunmuştur. En yüksek P içeriği Si-400 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

P-25 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,10-0,20 arasında değiştiği, ortalama % 0,14 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre fosfor içeriği silisyumun 50 dozunda azalma gösterirken, diğer Si dozlarında (100, 200 ve 400) önemli ($P<0,01$) derecede artmıştır.

P-50 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,14-0,26 arasında değiştiği, ortalama % 0,18 olduğu bulunmuştur. Artan silisyum dozlarında P içeriği kontrole göre Si-200 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede artmıştır. En yüksek P içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,19-0,32 arasında değiştiği, ortalama % 0,25 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre P içeriği Si-10 ve 200 dozlarında azalmış, diğer fosfor dozlarında ise artış göstermiştir. En yüksek artış Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,29-0,45 arasında değiştiği, ortalama % 0,36 olduğu bulunmuştur. Artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği kontrole göre tüm Si dozlarında azalmıştır. Bu azalma silisyumun 200 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. Silisyum gübrelemesi yulaf bitkisinin aşırı fosfor içeriğini en fazla Si-400 dozunda azaltmıştır. Elde edilen sonuçlara göre silisyum aşırı fosfor konsantrasyonu ortamında fosfor toksitesini azalttığı anlaşılmaktadır.

Topraklarda P noksanlığı tüm dünyada yaygın bir problemdir (Ma, 2004). Silisyum direkt olarak P alımını etkilemez (Ma ve Takahashi, 1989). Si toprakta Fe ve Mn ile kompleks oluşturarak onların konsantrasyonunu önemli derecede azaltır. Böylece fosforun bitki tarafından alımını teşvik ederek bitkideki konsantrasyonunu (özellikle sap ve başakta) artırır (Nagako, 1998).

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini % 0,12-0,36 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,20 olduğu bulunmuştur. Yulaf bitkisinin fosfor içeriği kontrole göre tüm fosfor dozlarında artarak P-250 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre tüm Si dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,03-0,45 arasında değiştiği, ortalama % 0,17 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin fosfor içeriğinde kontrole göre P-10 dozunda azalma P-50, 100 ve 250 dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek fosfor içeriği P-250 dozunda sağlanmıştır.

Si-50 dozunda artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,07-0,38 arasında değiştiği, ortalama % 0,18 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre P-50, 100 ve 250 dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır. En yüksek fosfor içeriği P-250 dozunda sağlanmıştır.

Si-100 dozunda artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,10-0,36 arasında değiştiği, ortalama % 0,19 olduğu bulunmuştur.

Fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre tüm fosfor dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır. En yüksek fosfor içeriği P-250 dozunda sağlanmıştır.

Si-200 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,16-0,33 arasında değiştiği, ortalama % 0,22 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre P-10, 50 ve dozlarında azalma, P-25 ve 250 dozlarında artış sağlanmıştır. En yüksek fosfor içeriğinin elde edildiği P-250 dozu önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Si-400 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,18-0,32 arasında değiştiği, ortalama % 0,24 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme ile yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre artmış, ancak P-100 ve 250 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek fosfor içeriği elde edildiği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini % 0,17-0,24 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,20 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre Si-200 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede artırmıştır.

Silisyum asit toprak şartlarında Fe ve Al'a bağlanarak toprağın Fe ve Al aktivitesinin azalmasına yol açarak fosfatların demir ve alüminyum fosfatlar şeklinde çözünemez forma dönüşmesini önlemek suretiyle toprakların yarayışlı fosfor kapsamını artırır (Dobermann ve Fairhurst, 2000). Yarayışlılığı artan fosforun bitki tarafından alımı ve bitkide içeriği artacaktır. Düşük fosfor içeren toprakta yetişen çeltik bitkisinde, silisyum gübrelemesi, fosfor gerekliliğini azaltmaktadır (Ma ve Takahashi, 1990b, 1991a) ve bitki için mevcut fosfor seviyelerini artırmaktadır (Ma ve Takahashi, 1990a). Marschner, (1996), silisyumun toprak fosforunu mobilize ettiğini bildirmiştir.

Tüm Si dozlarında artan düzeylerde fosfor uygulaması bitkinin P içeriğini genellikle kontrolün üzerinde artırmıştır. Tüm P dozlarında P₂₅₀ uygulaması hariç genellikle artırmıştır.

4.2.3. Potasyum Beslenmesi Üzerine Etkisi

Fosfor ve silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum beslenmesi üzerine etkisi P dozlarında %1 düzeyinde önemli bulunurken, Si ve P x Si interaksiyonunda istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu

gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini P-100 hariç tüm fosfor dozlarında artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin potasyum içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Bitkide potasyum, %					Ortalama
	Silisyum dozları ppm, Si					
	0	50	100	200	400	
P-0	1,36	1,36	1,49	2,23	2,16	1,72C
P-10	1,21	1,93	2,19	2,25	2,33	1,98BC
P-25	2,22	2,69	2,41	2,61	2,72	2,53A
P-50	2,44	2,71	2,23	2,05	2,09	2,30AB
P-100	2,27	2	1,7	1,85	2,21	2,01BC
P-250	1,97	2,37	2,41	2,15	2,47	2,27AB
Ortalama	1,91B	2,17AB	2,07AB	2,19AB	2,33A	2,14

P:0.000, Si:0.127, PxSi:0.273

P-0 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,36-2,23 arasında değiştiği, ortalama % 1,72 olduğu bulunmuştur. En yüksek K içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,21-2,33 arasında değiştiği, ortalama % 1,98 olduğu bulunmuştur. En yüksek K içeriği Si-400 dozunda bulunmuştur.

P-25 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 2,22-2,72 arasında değiştiği, ortalama % 2,53 olduğu bulunmuştur. En yüksek K içeriği Si-400 dozunda bulunmuştur.

P-50 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 2,05-2,71 arasında değiştiği, ortalama % 2,30 olduğu bulunmuştur. Potasyum Si-50 dozunda artarken, Si-100, 200 ve 400 dozlarında azalmıştır.

P-100 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 2,27-1,70 arasında değiştiği, ortalama % 2,01 olduğu bulunmuştur. Potasyum kontrole göre tüm Si dozlarında azalma göstermiştir. En fazla azalma Si-100 dozunda olmuştur.

P-250 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 1,97-2,47 arasında değiştiği, ortalama % 2,27 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre potasyum içeriği tüm Si dozlarında artmıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini % 1,72-2,53 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,14 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini tüm Si dozlarında artırırken, en yüksek artış P-25 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini tüm fosfor dozlarında artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır. Çeltik bitkisine artan dozlarda uygulanan silisyumun sap K kapsamını artırmıştır (Gerami ve Rameeh, 2012).

Si-0 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,21-2,44 arasında değiştiği, ortalama % 1,91 olduğu bulunmuştur. Potasyum kontrole göre P-10 dozunda azalırken diğer fosfor dozlarında artmıştır. En yüksek K içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,36-2,71 arasında değiştiği, ortalama % 2,17 olduğu bulunmuştur. Potasyum içeriği kontrole göre tüm fosfor dozlarında artmıştır. En yüksek K içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,49-2,41 arasında değiştiği, ortalama % 2,07 olduğu bulunmuştur. Potasyum kontrole göre tüm fosfor dozlarında artmıştır. En yüksek K içeriği P-25 ve 250 dozlarında elde edilmiştir.

Si-200dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 2,05-2,61 arasında değiştiği, ortalama % 2,19 olduğu bulunmuştur. Potasyum kontrole göre P-10 ve 25 dozlarında artarken, P-50, 100 ve 200 dozlarında azalmıştır. En yüksek K içeriği P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 2,09-2,47 arasında değiştiği, ortalama % 2,33 olduğu bulunmuştur. Potasyum kontrole göre P-50 dozunda azalırken diğer fosfor dozlarında artmıştır. En yüksek K içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Artan düzeylerde Si uygulaması $P_0 - P_{10} - P_{25}$ ve P_{250} dozlarında bitkinin K içeriğini kontrolün üzerinde genellikle artırırken, P_{50} ve P_{100} dozlarında azaltmıştır (izelge 4.9).

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini % 1,91-2,33 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,14 olduğu

bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini tüm Si dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır.

Bitkilerin K alımı üzerinde ortamda bulunan öteki besin elementleri etkili olduğu ve bu hususta N ve P'nin ortamda yeterince bulunması durumunda bitkilerin daha fazla K aldığı belirtilmiştir (Kacar ve Katkat, 2009). Gerami ve Rameeh, (2012), çeltik bitkisine 0, 50 ve 100 ppm Si uygulandığında sap K seviyesinin arttığı ve artan silisyum ile K içeriğinin pozitif yönde etkilendiğini bildirmişlerdir.

4.2.4. Kalsiyum Beslenmesi Üzerine Etkisi

Fosfor ve silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kalsiyum beslenmesi üzerine etkisi P dozlarında % 1 düzeyinde önemli bulunurken, Si ve P x Si interaksiyonunda istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır.

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine etkisi değişken olmuştur. P-0 dozunda belirgin artış, diğer P dozlarında artışlar görülmekle birlikte bu artışların önemli olmadığı ancak genelde bir azalma olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği üzerin etkisi

Fosfor dozları, ppm	Ca içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,89	1,33	1,52	1,64	1,5	1,38B
P-10	1,77	1,52	1,77	1,69	1,67	1,68A
P-25	1,65	1,59	1,55	1,69	1,8	1,66AB
P-50	1,57	1,23	1,32	1,71	1,63	1,49AB
P-100	0,69	0,71	1,29	0,83	0,79	0,86C
P-250	0,69	0,57	0,6	0,92	0,43	0,64C
Ortalama	1,21	1,16	1,34	1,41	1,30	1,29

P:0.000, Si:0.332, PxSi:0.832

P-0 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,89-1,64 arasında değiştiği, ortalama % 1,38 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği tüm Si dozlarında artmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 1,52-1,77 arasında değiştiği, ortalama % 1,68 olduğu bulunmuştur. Kalsiyum

içeriği kontrole göre silisyumun 50, 200 ve 400 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-0 ve 400 dozunda bulunmuştur.

P-25 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,55-1,80 arasında değiştiği, ortalama % 1,66 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği silisyumun 50 ve 100 dozlarında azalmış 200 ve 400 dozlarında artmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-400 dozunda bulunmuştur.

P-50 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 1,23-1,75 arasında değiştiği, ortalama % 1,49 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği silisyumun 50 ve 100 dozlarında azalmış 200 ve 400 dozlarında artmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-200 dozunda bulunmuştur.

P-100 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,69-1,29 arasında değiştiği, ortalama % 0,86 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği Silisyumun tüm dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Ca içeriği Si-100 dozunda bulunmuştur.

P-250 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,43-0,92 arasında değiştiği, ortalama % 0,64 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre potasyum içeriği silisyumun 50, 100 ve 400 dozlarında azalmış 200 dozunda artarak en yüksek değere ulaşmıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini % 0,64-1,68 arasında değiştirdiği, ortalama % 1,29 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini fosforun 100 ve 250 dozlarında azaltırken, diğer dozlarda artırmıştır. En yüksek Ca içeriği P-10 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. Ca ile silisyum arasında antagonistik ilişki olduğu ve Ca bulunan ortamlarda silisyumun Ca ile CaSiO_3 şeklinde kompleks oluşturduğu bildirilmiştir (Matichenkov ve Bocharnikova, 2001).

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini fosfor dozlarına göre değişken bulunmuştur. Kalsiyum içeriği istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,69-1,77 arasında değiştiği, ortalama % 1,21 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği, Fosforun 10, 25 ve 50 dozlarında artarken 100 ve 250 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği P-10 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,57-1,59 arasında değiştiği, ortalama % 1,16 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca

içeriği Fosforun 10 ve 25 dozlarında artarken 50, 100 ve 250 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,60-1,77 arasında değiştiği, ortalama % 1,34 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği Fosforun 10 ve 25 dozlarında artarken, 50, 100 ve 250 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği P-15 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,92-1,71 arasında değiştiği, ortalama % 1,41 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği Fosforun 10, 25 ve 50 dozlarında artarken 100 ve 250 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Ca içeriği % 0,43-1,80 arasında değiştiği, ortalama %1,30 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Ca içeriği Fosforun 10, 25 ve 50 dozlarında artarken 100 ve 250 dozlarında azalmıştır. En yüksek Ca içeriği P-25 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini % 1,16-1,41 arasında değiştirdiği, ortalama % 1,29 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini silisyumun 50 dozunda azaltırken, 100, 200 ve 400 dozlarında artırmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-200 dozunda bulunmuştur. Turan ve Horuz, (2012), normal koşullarda fosfor fazlalığının bitkiler üzerindeki olumsuz etkilerinin daha çok dolaylı olduğu ve fosfor fazlalığının Ca, B, Cu ve Mn noksanlığına yol açabileceğini bildirmişlerdir. Düşük Si seviyelerinde (100 ppm) Ca alımının arttığı buna bağlı olarak mısır bitkisinin gövde uzunluğunun arttığı bildirilmiştir (Correles ve diğ., 1997).

4.2.5. Magnezyum Beslenmesi Üzerine Etkisi

Fosfor ve silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin magnezyum beslenmesi üzerine etkisi P dozlarında %1 düzeyinde önemli bulunurken, Si ve P x Si interaksiyonunda istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır.

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin magnezyum içeriği üzerine etkisi nötr olmuştur (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin magnezyum içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Mg içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,30	0,31	0,38	0,37	0,32	0,34C
P-10	0,42	0,35	0,36	0,39	0,33	0,37BC
P-25	0,44	0,42	0,37	0,33	0,42	0,40AB
P-50	0,44	0,51	0,29	0,46	0,36	0,41AB
P-100	0,40	0,39	0,42	0,42	0,49	0,42AB
P-250	0,45	0,39	0,45	0,50	0,38	0,43A
Ortalama	0,41	0,40	0,38	0,41	0,38	0,40

P:0.009, Si:0.632, PxSi:0.127

P-0 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,30-0,38 arasında değiştiği, ortalama % 0,34 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği tüm Si dozlarında artmıştır. En yüksek Mg içeriği Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,33-0,42 arasında değiştiği, ortalama % 0,37 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Mg içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,33-0,45 arasında değiştiği, ortalama % 0,40 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Mg içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,29-0,51 arasında değiştiği, ortalama % 0,41 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği tüm silisyumun 50 ve 200 dozlarında artarken, 100 ve 400 dozlarında azalmıştır. En yüksek Mg içeriği Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,39-0,49 arasında değiştiği, ortalama % 0,42 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği silisyumun 50 dozu hariç tüm silisyum dozlarında artmıştır. En yüksek Mg içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,38-0,50 arasında değiştiği, ortalama % 0,43 olduğu bulunmuştur.

Kontrole göre Mg içeriği tüm silisyumun 50 ve 400 dozlarında azalırken, S-100 dozunda değişmemiş Si-200 dozunda ise artarak en yüksek değere ulaşmıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini % 0,34-0,43 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,40 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini tüm Si dozlarında artırmış ve fosforun 25, 50, 100 ve 250 dozları önemli bulunmuştur.

Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini genelde artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,30-0,45 arasında değiştiği, ortalama % 0,41 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği fosforun tüm dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Mg içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,31-0,51 arasında değiştiği, ortalama % 0,40 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği fosforun tüm dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Mg içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,29-0,45 arasında değiştiği, ortalama % 0,38 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği fosforun 50 dozu hariç tüm P dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Mg içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,33-0,50 arasında değiştiği, ortalama % 0,41 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği fosforun 50 dozu hariç tüm P dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Mg içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mg içeriği % 0,32-0,49 arasında değiştiği, ortalama % 0,38 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mg içeriği tüm fosfor dozlarında artış göstermiştir. En yüksek Mg içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini % 0,38-0,41 arasında değiştirdiği, ortalama içeriğin % 0,40 olduğu bulunmuştur. Mg içeriği kontrole göre Si-50, 100 ve 400 dozlarında azalırken, Si-200 dozunda değişmemiştir. En yüksek Mg içeriğinin S-0 ve 200 dozlarında olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre farklı Si dozlarında uygulanan fosforun yulaf bitkisinin sapında Mg içeriğini artırdığı tespit edilmiştir.

Magnezyum birçok enzimin gerek aktivasyonunda ve gerekse bileşiminde kofaktör olarak yer alır. Bu sebeple Mg ribüloz bifosfat karboksilaz, fosfoenol pirüvat karboksilaz (PEP), RNA polimeraz, ATPaz, proteinkinaz, fosfotaz, glutation sentaz ve karboksilaz gibi bir çok enzimin fonksiyon ve aktivasyonunu sağladığı için bitkide fosfat gruplarının taşınımında magnezyuma ihtiyaç duyulur (Williams ve diğ., 2000; Shaul, 2002). Bu sebeple yulaf bitkisinde fosfor ile Mg arasında sinergistik ilişki nedeniyle Si uygulamalarının Mg yararlanılabilirliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde Turan ve Horuz, (2012)'da bitkide fosfor ile Mg arasındaki sinergistik ilişkiyi bildirmişlerdir.

Tüm Si dozlarında Puygulama dozları ile birlikte bitkinin Mg içeriği genellikle artmıştır (Si₁₀₀ hariç). Tüm P dozlarında artan Si uygulama dozları ile birlikte bitkinin Mg içeriği genellikle azalmıştır.

4.2.6. Demir Beslenmesi Üzerine Etkisi

Silisyum ve fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin demir beslenmesini artan fosfor ve silisyum dozlarında % 1 düzeyinde, P x Si interaksyonu % 5 düzeyinde önemli bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Fe içeriğini kontrole göre önemli ($P<0,01$) düzeyde azalttığı bulunmuştur (Çizelge 4.12).

Çizelge 4.12. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin demir içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Fe içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	360,80a	316,53a-c	294,07b-d	232,27d-h	210,20e-ı	282,77A
P-10	333,47ab	282,21b-d	266,26c-e	239,13d-g	246,18d-f	273,45A
P-25	283,07b-d	253,30d-f	268,30c-e	249,30d-f	238,73d-g	258,53A
P-50	246,00d-f	262,93c-e	194,40f-i	214,90eı	199,87f-i	223,62B
P-100	197,00f-i	165,40ı-j	122,20j	180,26g-j	194,00f-i	171,77C
P-250	175,93h-j	171,50h-j	161,95ı-j	146,80ij	129,46j	157,13C
Ortalama	266,04A	241,97B	217,86C	210,46C	203,08C	227,88

P:0.001, Si:0.001, PxSi:0.013

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 210,20 - 360,80 ppm arasında değiştiği, ortalama 282,72 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği tüm Si dozlarında önemli ($P<0,01$) düzeyde azalmıştır. En yüksek Fe içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 239,13 – 333,47 ppm arasında değıştiğı, ortalama 273,45 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriğı Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 238,73 – 333,47 ppm arasında değıştiğı, ortalama 258,53 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriğı Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 2194,40 – 262,93 ppm arasında değıştiğı, ortalama 223,62 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı Si-50 dozu hariç tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriğı Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 122,20 – 197,00 ppm arasında değıştiğı, ortalama 171,77 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriğı Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 129,46 – 175,93 ppm arasında değıştiğı, ortalama 157,13 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriğı Si-400 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriğı 157,13 – 282,77 ppm arasında değıştiğı, ortalama 227,88 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriğı tüm P dozlarında azalırken, P-50, 100 ve 250 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek Fe içeriğı P-250 dozunda elde edilmiştir. Artan P dozlarına bağı olarak tüm Si dozlarında bitkinin toplam Fe içeriğı genellikle azalmıştır. Ma ve Takahashi, (1991b), Si uygulanan bitkilerde Fe ve Mn önemli derecede azaldığı bildirilmiştir. Silisyum bitki köklerinin oksidasyon gücünü artırarak veya bitkinin sap ve yaprak kınında birikerek bazı ağır metallerin bitkiye taşınımını azaltmak suretiyle onun toksitesini azaltabilmekte (Ma ve diğ. 2001a; Ma, 2004) bu sayede fosfor alımını artırabilmektedir (Aziz ve diğ., 2005).

Farklı silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin Fe içeriğini kontrole göre önemli ($P<0,01$) düzeyde azalttığı bulunmuştur.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 175,13 – 360,80 ppm arasında değiştiği, ortalama 266,04 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği fosforun tüm dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 165,40 – 316,53 ppm arasında değiştiği, ortalama 241,97 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği fosforun tüm dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 122,20 – 294,07 ppm arasında değiştiği, ortalama 217,86 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği fosforun tüm dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 146,80 – 239,13 ppm arasında değiştiği, ortalama 210,46 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği P-10 ve 25 dozlarında artmış, diğer fosfor dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 129,46 – 246,18 ppm arasında değiştiği, ortalama 203,08 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği P-10 ve 25 dozlarında artmış, diğer fosfor dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 203,08 - 266,04 ppm arasında değiştiği, ortalama 227,88 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Fe içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir. Artan Si dozlarına bağlı olarak tüm P dozlarında bitkinin toplam Fe içeriği genellikle azalmıştır.

Fosfor Fe ve Mn gibi metallere yüksek derecede affinitesi olduğu için fosforun bitki içerisindeki yarayışlılığı P konsantrasyonu düşük olduğunda Fe, Mn ve diğer mataller tarafından kontrol edildiği. Aşırı P durumunda ise Fe ve Mn alımını azaltarak sap ve başakta P taşınımını artırdığı bildirilmiştir (Nagako, 1998).

4.2.7. Mangan Beslenmesi zerine Etkisi

Fosfor ve silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Mn beslenmesi üzerine etkisi artan fosfor, silisyum dozlarında ve P x Si interaksiyonunda % 1 seviyesinde önemli bulunmuştur (izelge 4.13).

Tüm Si uygulama dozlarında artan düzeylerde P uygulamasına bağlı olarak bitkinin Mn içeriğinin azaldığı tespit edilmiştir. Tüm P uygulamalarında artan düzeyde Si uygulaması bitkinin Mn içeriğini genellikle azaltmıştır. Bu azalışlar P-0, 10 ve 50 dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunurken, diğer P dozlarında istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 69,10–146,80 ppm arasında değiştiği, ortalama 103,20 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında önemli ($P<0,05$) düzeyde azalmıştır. En düşük Mn içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 60,80 – 97,50 ppm arasında değiştiği, ortalama 72,70 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında azalmış, ancak bu azalma P-100, 200 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En düşük Mn içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 54,70 – 70,00 ppm arasında değiştiği, ortalama 63,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği Si-50 dozu hariç tüm silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük Mn içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 43,50 – 77,30 ppm arasında değiştiği, ortalama 58,20 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında azalmış, Si-100 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En düşük Mn içeriği Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 43,30 – 58,30 ppm arasında değiştiği, ortalama 50,30 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Mn içeriği Si-100 ve 400 dozlarında elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 38,10 – 58,40 ppm arasında değiştiği, ortalama 49,40 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Mn içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 49,40 – 103,20 ppm arasında değiştiği, ortalama 66,20

ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm P dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Silisyum apoplazmik Mn konsantrasyonunu düşürerek bezelye bitkisinin Mn toleransını artırdığı, Si ile Mn arasında negatif bir ilişki bulunduğunu bu yüzden apoplastik POD (peroksidaz) aktivitesi Si konsantrasyonun artışı ile azaldığı bildirilmiştir (Iwasaki ve diğ., 2002). Ma ve diğ., (2001) ve Ma ve Takahashi (2002) gibi, araştırmacılar silisyumun Al, Na, N ve Mn toksitesini önleyerek P noksanlığını giderdiğini bildirmişlerdir.

Çizelge 4.13. Fosfor ve silisyum gübrelmesinin yulaf bitkisinin mangan içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Mn içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	146,8a	113,9b	110,8b	69,1d-g	75,4c-e	103,2A
P-10	97,5bc	76,5cd	63,8d-ı	64,7d-h	60,8d-ı	72,7B
P-25	69,7d-f	70,0d-f	63,1d-ı	60,3d-ı	54,7d-ı	63,6BC
P-50	77,3cd	61,8d-ı	43,5g-ı	58,1d-ı	50,3e-ı	58,2CD
P-100	58,3d-ı	52,3d-ı	43,5g-ı	54,1d-ı	43,3hı	50,3D
P-250	58,4d-ı	55,1d-ı	49,7e-ı	45,5f-ı	38,1ı	49,4D
Ortalama	84,7A	71,6B	62,4C	58,6C	53,8C	66,2

P:0,000 Si:0,000 PxSi:0,006

Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübrelenmeyle yulaf bitkisinin Mn içeriği tüm silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede azalmıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor gübrelmesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 58,30 – 146,80 ppm arasında değiştiği, ortalama 84,70 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği fosforun tüm dozlarında önemli ($P<0,05$) düzeyde azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-100 ve 250 dozlarında elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelmesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 52,30 – 113,90 ppm arasında değiştiği, ortalama 71,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği fosforun tüm dozlarında önemli ($P<0,05$) düzeyde azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelmesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 43,50 – 110,80 ppm arasında değiştiği, ortalama 62,40 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği fosforun tüm dozlarında önemli ($P<0,05$) düzeyde azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-50 ve 100 dozlarında elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 45,50 – 69,10 ppm arasında değıştiğı, ortalama 58,60 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği P-250 dozunda önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-250 dozlarında elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 38,10 – 75,40 ppm arasında değıştiğı, ortalama 53,80 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği P-100 ve 250 dozunda önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En düşük Mn içeriği içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 53,80 – 84,70 ppm arasında değıştiğı, ortalama 66,20 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En fazla azalma Si-400 dozunda edilmiştir.

Aşırı Mn bitkilerde protein, lipid, ve nükleikasit gibi makro moleküllerle ardışık reaksiyona girerek hidrojen peroksit (H_2O_2), superoksit (O_2^-) ve hidroksil ($\bullet OH$) radikali gibi reaktif oksijen türlerinin artmasına sebep olmak suretiyle hücrelerde membran geçirgenliğinin azalmasına, enzimlerin aktivitesini kaybederek genomik zararlanmalara yol açmaktadır (Li ve diğ., 2012). Ayrıca klorofilin biyosentezini azaltarak bitkide fotosentez oranını düşürür (Stoch ve Bagchi, 1995). Si superoksit dismutaz (SOD), katalaz (CAT) ve askorbat peroksidaz (APX) gibi enzim aktivitelerini artırarak protein olmayan thiols (NPT) ve glutation (GSH) konsantrasyonunu azaltır (Gonçalves ve diğ., 2007; Li ve diğ., 2012). Bu sayede bitkilerde antioksidans defans etkisi oluşturulmak suretiyle aşırı Mn'ın neden olduğı zararlanmalar önlenabilmektedir (Shi ve diğ., 2005; Dragisic, Maksimovic ve diğ., 2012).

4.2.8. Çinko Beslenmesi Üzerine Etkisi

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin çinko beslenmesi üzerine etkisi artan silisyum dozlarında % 5 düzeyinde önemli bulunurken, fosfor dozlarında ve P x Si inetarksiyonunda önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.14. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin çinko içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Zn içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	27,2	29,2	28,33	32,4	28,6	29,15
P-10	27,87	27,73	27,2	26,07	25	26,77
P-25	25,13	33,73	25,27	27,07	29,53	28,15
P-50	34,53	37,4	19,93	21,87	30,93	28,93
P-100	33,07	49,6	22,73	24,4	19,8	29,92
P-250	22,53	32,93	28	32,53	27,47	28,69
Ortalama	28,39B	35,10A	25,24B	27,39B	26,61B	28,60

P:0.965, Si:0.021, P x Si :0.386

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Zn içeriğini artan silisyum dozlarına göre farklı düzeylerde etkilerken istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 27,20 – 32,40 ppm arasında değiştiği, ortalama 29,15 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm Si dozlarında artmıştır. En yüksek artış Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 25,00 – 27,87 ppm arasında değiştiği, ortalama 26,77 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En fazla azalma Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 25,13 – 33,73 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,15 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm Si dozlarında artmıştır. En yüksek artış Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 19,93 – 34,53 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,93 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm P-50 dozunda artış gösterirken, diğer P dozlarında azalmıştır. En fazla azalma Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 19,80 – 49,60 ppm arasında değiştiği, ortalama 29,92 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm P-50 dozunda artış gösterirken, diğer P dozlarında azalmıştır. En fazla azalma Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 22,53 – 32,93 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,69 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm silisyum dozların artış göstermiştir. En yüksek artış Si-50 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 26,77 – 29,92 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği P-100 dozunda artış gösterirken diğer P dozlarında azalmıştır. En fazla azalma Si-10 dozunda edilmiştir. Silisyum bitki hücrelerinin vakuolnde Zn-silikat şeklinde birikerek Zn alımını azaltmak suretiyle toksitesini önlemektedir (Neumann ve zur Nieden, 2001).

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin Zn içeriği üzerine etkisi artan fosfor dozlarına göre farklı bulunmuştur.

Si-0 dozunda artan fosfor gübrelemesine dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 22,53 – 34,53 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,39 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği fosforun 25 ve 250 dozlarında azalırken diğer P dozlarında artmıştır. En yüksek Zn içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 27,73 – 49,60 ppm arasında değiştiği, ortalama 35,10 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği fosforun 10 ppm dozu hariç tüm P dozlarında artmıştır. En yüksek Zn içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 19,933 – 28,33 ppm arasında değiştiği, ortalama 25,24 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Zn içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 21,87 – 32,53 ppm arasında değiştiği, ortalama 27,39 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği P-250 dozu hariç tüm P dozlarında azalmıştır. En düşük Zn içeriği P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 19,80 – 30,93 ppm arasında değiştiği, ortalama 26,61 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği P-250 ve dozlarında artış, diğer P dozlarında azalma olmuştur. En düşük Zn içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 25,24 – 35,10 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Zn içeriği P-50 dozunda artış gösterirken diğer P dozlarında azalmıştır. En düşük Zn içeriği Si-100 dozunda elde edilmiştir.

4.2.9. Bakır Beslenmesi Üzerine Etkisi

Silisyum ve fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin bakır beslenmesi üzerine etkisi artan fosfor dozlarında % 1, silisyum dozlarında % 5 düzeyinde önemli bulunurken, P x Si interaksiyonu önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.15).

Çizelge 4.15. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin bakır içeriği üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Cu içeriği, %					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	19,67	19,87	18,73	17,13	10,5	17,18A
P-10	14,06	10,47	10,27	9,42	9,40	10,71B
P-25	9,14	12,15	9,20	9,07	9,38	9,65BC
P-50	8,87	10,20	7,40	7,73	8,33	8,51CD
P-100	7,27	7,33	6,33	7,53	7,47	7,19D
P-250	8,13	6,33	7,13	9,2	7,67	7,69D
Ortalama	11,15A	11,03A	9,84AB	10,01AB	8,73B	10,15

P:0.001, Si:0.030, P x Si :0.091

Tüm P dozlarında artan Si uygulaması bitkinin Cu içeriğini genellikle azaltmıştır.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 10,50 – 19,87 ppm arasında değiştiği, ortalama 17,18 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriğinde Si-50 dozunda hafif bir artış sağlanırken, diğer Si dozlarında azalma olmuştur. En düşük Cu içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 9,40 – 14,06 ppm arasında değiştiği, ortalama 10,71 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 9,07 – 12,15 ppm arasında değiştiği, ortalama 9,65 ppm olduğu bulunmuştur.

Kontrole göre Cu içeriği Si-200 dozunda hafifçe azalırken diğer Si dozlarında artmıştır. En yüksek Cu içeriği Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 7,40 – 10,20 ppm arasında değiştiği, ortalama 8,51 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği Si-50 dozunda azalırken diğer Si dozlarında artmıştır. En yüksek Cu içeriği Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 6,33 – 7,537 ppm arasında değiştiği, ortalama 7,19 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği Si-100 dozunda azalırken diğer Si dozlarında artmıştır. En yüksek Cu içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 6,33 – 9,20 ppm arasında değiştiği, ortalama 7,69 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği Si-50 dozunda azalırken diğer Si dozlarında artmıştır. En yüksek Cu içeriği Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 7,19 – 17,18 ppm arasında değiştiği, ortalama 10,15 ppm olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme kontrole göre Cu içeriğini P-50 dozunda önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En fazla azalma P-100 dozunda elde edilmiştir. Genellikle Cu'nun fosforun 100 dozunda azaldığı tespit edilmiştir. Asidik ortamda yetişen *Erica andevalendid* süs bitkisine uygulanan silisyumun yaprak Cu konsantrasyonunu % 4,32'ye kadar azaltmıştır. (Oliva ve diğ., 2011). Bowen, (1972), besin solüsyonuna ilave edilen 5 mg L⁻¹ silisyumun bitki dokularında Mn, Cu, Fe ve Zn akümüülasyonunu azalttığını bildirmiştir.

Tüm Si dozlarında artan P' lu gübre uygulaması bitkinin Cu içeriğini genellikle azaltmıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 7,27 – 19,67 ppm arasında değiştiği, ortalama 11,15 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriği P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 6,33 – 19,87 ppm arasında değiştiği, ortalama 11,03 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriğı 6,33 – 18,73 ppm arasında değıştiğı, ortalama 9,84 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriğı tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriğı P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriğı 7,53 – 17,13 ppm arasında değıştiğı, ortalama 10,01 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriğı tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriğı P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriğı 7,47 – 10,50 ppm arasında değıştiğı, ortalama 10,15 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriğı tüm fosfor dozlarında azalmıştır. En düşük Cu içeriğı P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriğı 8,73 – 11,15 ppm arasında değıştiğı, ortalama 10,15 ppm olduğı bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriğı tüm Si dozlarında azalırken, Si-400 dozu önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

4.3. Yulaf Bitkisi Tarafından Kaldırılan Besin Element Miktarları

Hem bitki sağığı ve hem de toprak verimliliğı, özellikle abiotik ve biotik stres şartlarında, toprağı uygulanan silisyum ile bitkinin topraktan kaldırdığı Si ve diğ er besin element miktarları ile sağılanabilir (Ma, 2004). Bu bağlamada Silisyum bazı faydaları şu şekilde özetlenebilir (Ma ve Takahashi, 2002):

1. Artan toprak verimliliğı
2. Hastalık ve böcek zararlılarına karşı direnç gelişimi
3. Fotosentez ve bitki veriminde artış
4. Meyve kalitesinde artış
5. Transpirasyonun düzenlenmesi
6. Al, Mn ve Fe toksitesine karşı direnç artışı
7. Don zararında azalma

Silisyum noksanlığı polenlerin döl lenmesini azaltarak meyve verimini etkileme şeklinde kendini gösterir. Yıllık bitki gelişimi boyunca topraktan kaldırılan yarayışlı silisyumun büyük miktarı, P, Al, ağır metaller, Fe ve Mn yarayışlılığını düzenleme şeklinde etkiler. Bitkiler tarafından kaldırılan Si miktarındaki azalma mikrobiyal popölasyon, toprak erozyonu ve besin element miktarını etkiler (Epstein,

1999; Hou ve diğ., 2006). Kuraklık stresi şartlarında ayçiçeği bitkisinin mutlak gerekli ve mutlak gerekli olmayan elementlerin alımının azaldığı, Si ilavesi ile Si, K, S, Mg, Fe, Cu, Mn, NA, Cl, V, Al, Sr, Rb, Ti ve Cr alımı artarken; Zn, Mo, Ni ve Br alımının etkilenmediği bildirilmiştir (Güneş ve diğ., 2008). Silisyumun bitki görünüşü ve agonomik etkinliği üzerine etkisinin düşük Si seviyelerinde yüksek seviyelerine göre daha etkin olduğu ancak en yüksek N, P, K ve Si alımının yüksek Si seviyelerinde gerçekleştiği bildirilmiştir (Ghanbari-Malidareh, 2011).

Artan dozlarda uygulanan silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu besin element miktarları üzerine etkileri aşağıda verilmiştir.

4.3.1. Kaldırılan Azot Miktarı

Fosfor ve silisyumlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan azot miktarı üzerine etkisi fosfor, silisyum dozlarında ve P x Si interaksiyonunda % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.16).

Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan azot miktarını silisyum dozlarına göre farklı düzeylerde etkilemiştir.

Çizelge 4.16. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı N miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan N, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	62,21j	78,73ij	90,87ij	135,86ı-j	151,84g-j	103,90D
P-10	98,04ij	206,42e-ı	172,04g-i	198,41f-ı	206,67e-ı	176,31C
P-25	132,58ij	228,73c-ı	144,21h-j	135,88ı-j	304,54c-e	189,19C
P-50	237,79c-h	282,37c-f	229,10c-ı	287,05c-f	327,21bc	272,70B
P-100	305,59c-e	284,05c-f	425,90a	408,79ab	484,83a	381,83A
P-250	247,60c-g	216,86d-ı	170,43g-i	314,07cd	282,27c-f	246,25B
Ortalama	180,63C	216,20BC	205,43B	246,68B	292,89A	228,36

P:0,001, Si:0,001, PXSı:0,006

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 62,21 – 151,84 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 103,90 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 98,04 – 206,67 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 176,31 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artmıştır. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 132,58 – 304,54 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 189,19 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan N Si-400 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 229,10 – 327,21 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 272,70 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Si-100 dozu hariç diğer tüm Si dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 284,05 – 484,83 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 381,83 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Si-50 dozu hariç diğer tüm Si dozlarında artarken, Si-100, 200 ve 400 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan N miktarı 170,43 – 314,07 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 228,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan tüm Si dozlarında artmıştır. Si-50 ve 100 dozlarında azalmış, Si-200 ve 400 dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan N, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N 103,90 – 381,83 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 228,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, tüm silisyum dozlarında olmak üzere P-100 dozunda bulunmuştur.

Silisyumun çeltik bitkisi üzerinde iyileştirici gücü ve agronomik etkinliğinin düşük Si seviyelerinde (60 kg ha^{-1}) yüksek silisyum seviyesine göre (120 kg ha^{-1}) daha fazla olduğu, artan Si dozlarıyla bu etkinliğin azaldığı bildirilmiştir (Sing ve

diğ., 2005). Aynı araştırmacılar Si uygulaması ile en yüksek N, P, K ve Si alımının ise 180 kg Si ha⁻¹ seviyesinde gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Bitki tarafından kaldırılan silisyum sapta birikmek suretiyle bitkinin dik durmasını sağlayarak güneş ışınlarından daha fazla istifadeyle daha fazla fotosentez yapmasını sağlar. Ayrıca aşırı N uygulamalarında alınan N miktarını ayarlamak suretiyle bitkiyi yatmaya karşı korur (Ma, 2004). Ho ve diğ., (1980), Si ile N arasında sinergistik ilişki olduğu, N alımının Si uygulamaları ile arttığı, çeltik bitkisine 2 t ha⁻¹ kalsiyum silikat uygulandığında azot alımının arttığı ve optimum N alımının 100 kg ha⁻¹ N dozunda gerçekleştiğini bildirmişlerdir.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin N içeriği üzerine etkisi fosfor dozlarına göre farklı bulunmuştur.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N miktarı 62,21 – 305,59 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 180,63 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm Si dozlarında artmış, P-50, 100 ve 250 dozları önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, P-100 dozunda bulunmuştur.

Si-50 artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N miktarı 78,73 – 284,05 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 216,20 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm Si dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, P-100 dozunda bulunmuştur.

Si-100 artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N miktarı 90,87 – 425,90 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 205,43 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm Si dozlarında arttığı, P-50 ve 100 dozlarının önemli ($P<0,015$) olduğu ve en fazla kaldırılan N'un P-100 dozunda olduğu bulunmuştur.

Si-200 artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N miktarı 135,86 – 408,79 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 246,68 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm Si dozlarında arttığı, P-50, 100 ve 250 dozlarının önemli ($P<0,01$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, P-100 dozunda bulunmuştur.

Si-400 artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N miktarı 151,84 – 484,83 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 292,89 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N, P-10 dozu hariç diğer P dozlarında

önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, P-100 dozunda bulunmuştur.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N 180,63 – 292,89 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 228,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm P dozlarında arttığı, Si-100, 200 ve 400 dozlarının önemli ($P<0,01$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

Tüm Si dozlarında P₁₀₀ dozuna kadar bitkinin kaldırdığı toplam N miktarı artmışve sonra azalmıştır.

4.3.2. Kaldırılan Fosfor Miktarı

Fosfor ve silisyumlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan fosfor miktarı üzerine etkisi fosfor ve silisyum dozlarında % 1 düzeyinde önemli bulunurken, P x Si interaksyonu önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.17).

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan fosfor miktarını P-250 dozu hariç tüm Si dozlarında artırmıştır.

Çizelge 4.17. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı P miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan P, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,97	2,35	3,20	7,76	7,79	4,41C
P-10	3,99	10,61	10,89	11,32	15,45	10,45B
P-25	7,56	8,33	13,54	19,08	17,32	13,17BC
P-50	12,42	15,27	14,74	17,03	24,13	16,72BC
P-100	25,16	27,95	29,05	24,10	43,87	30,03A
P-250	32,29	27,25	27,35	33,97	32,17	30,60A
Ortalama	13,73C	15,29BC	16,46BC	18,88B	23,45A	17,56

P:0,001 Si:0,001 PXSİ:0,359

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 0,97 – 7,79 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 4,41 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 3,99 – 15,45 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

10,45 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 7,56 – 19,08 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 13,17 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan P, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 12,42 – 24,13 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 16,72 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 24,10 – 43,87 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 30,03 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P, Si-200 dozunda azalırken diğer tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 27,25 – 33,97 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 30,60 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm Si-200 dozunda arken diğer silisyum dozlarında azaldığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan P, Si-200 dozunda elde edilmiştir. P-250 dozunda fosfor toksitesi nedeniyle kaldırılan P miktarında azalmalar görülmüştür. En düşük kaldırılan P silisyumun 50 ve 100 dozlarında bulunmuştur. Fosforun düşük ve orta konsantrasyonlarında kaldırılan P üzerine silisyumun etkili olduğu, ancak yüksek P konsantrasyonunda silisyumun fosfor toksitesini giderme üzerine etkisinin azaldığı anlaşılmıştır.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan P miktarı, 4,41 – 30,60 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 17,56 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P, tüm P dozlarında arttığı, P-100 ve 250 dozlarının önemli ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan P, P-250 dozunda bulunmuştur.

Düşük toprak pH stresi koşullarında, toprak asitliği nedeniyle fosforun yüksek oranda fiske olarak P yarayışlılığının azaldığı, böyle topraklara Si uygulaması ile özellikle *Poaceae* 'ler olmak üzere birçok bitkide P alımının arttığı ifade edilmiştir (Ma ve Takahashi, 1991a; Ma ve diğ., 1997; Ma ve diğ., 2001).

Çeltik bitkisine 1,66 mM silisyum ile birlikte uygulanan düşük P dozunun (0,014 mM) sap fosfor alımını önemli derecede azalttığı, bununla birlikte silisyumsuz 0,21 ve 0,71 mM P dozlarında sap P alımının sırasıyla % 24 ve 30 oranlarında arttığı bildirilmiştir (Ma ve Takahashi, 1990a). Böylece P fosfor noksan olduğunda uygulanan Si fosfor noksanlığını giderebildiği gibi fosfor fazla olduğunda P toksitesini önleyebildiği anlaşılmaktadır.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan fosfor miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 0,97 – 32,29 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 13,73 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan fosfor, P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 2,35 – 27,95 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 15,29 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan fosfor, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 3,20 – 29,05 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 16,46 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan fosfor, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 7,76 – 33,97 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 18,88 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan fosfor, P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan P miktarı 7,79 – 43,87 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 23,45 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan fosfor, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan P miktarı 13,73 – 23,45 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 17,56 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm P dozlarında arttığı, Si-200 ve 400 dozlarının önemli ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda bulunmuştur.

Çeltik bitkisinin sapı tarafından kaldırılan Si fosfor dozlarıyla önemli derecede etkilenmemesine rağmen, artan Si dozlarıyla birlikte azalmıştır (Ma ve Takahashi, 1990a). Bunun sebebi silisyumun Fe ve Mn ile reaksiyona girerek çökmesinden kaynaklanmaktadır. Nitekim aynı araştırmacılar silisyum Fe ve Mn alımını sırasıyla % 20 ve 50 oranında azaltarak, P/Fe ve P/Mn oranını artırmıştır.

Asit toprağa fosfor ile birlikte silikat şeklinde uygulanan Si, mısır, sap ve kökünde Si içeriğini artırırken, P içeriği azaltmıştır. P azalmasının sebebinin uygulanan silikat iyonunun toprakta amorf silisilik asite (H_3SO_4) dönüşerek toprak pH'sındaki artışı durdurması amorf silisilik asidin fosfat iyonlarından daha az negatif yüzey yüklerine sahip olması sebebiyle Si toprağın bağlanma yüzeylerinde öncelikli olarak absorbe edilebilmesinden kaynaklanır. Ayrıca Si ile Ca birleşerek toprak pH'sını artırmak suretiyle asit toprakta P yarayışlılığını artırabilir. Bütün bu olaylar neticede fosfor alımını artırır (Owino-Gerrah ve Gascho, 2004).

4.3.3. Kaldırılan Potasyum Miktarı

Fosfor ve silisyumlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan azot miktarı üzerine etkisi fosfor, silisyum dozlarında ve P x Si interaksiyonunda % 1 düzeyinde önemli bulunmuştur (Çizelge 4.18).

Tüm fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme, yulaf bitkisi tarafından kaldırılan potasyum miktarını tüm genellikle artırmıştır.

Çizelge 4.18. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı K miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan K, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	43,43	46,02	49,77	85,04	93,18	63,49D
P-10	64,28	153,72	152,00	167,13	175,12	142,45C
P-25	155,62	219,64	208,76	220,58	236,20	208,16
P-50	216,16	246,66	209,63	183,42	195,57	210,29AB
P-100	242,48	222,38	214,32	231,10	305,55	243,17A
P-250	143,43	170,73	177,51	218,66	271,49	196,36AB
Ortalama	144,23C	176,52BC	168,67BC	184,32AB	212,85A	177,32

P:0,004 Si:0,001 PXSİ:0,491

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 43,43 – 93,18 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

63,49 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 64,28 – 175,12 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 142,45 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 155,62 – 236,20 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 208,16 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 216,16 – 246,66 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 210,29 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, Si-50 dozunda artarken diğer Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan K, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 214,32 – 305,55 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 243,17 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, Si-400 dozunda artarken, diğer Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan K, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 143,43 – 271,49 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 196,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, tüm Si dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 63,49 – 212,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 177,32 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, tüm Si dozlarında önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan K, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Potasyum bir çok bitki türünde bitkinin osmotik basıncının ayarlanmasına katkıda bulunan birincil element olduğu düşünülür (Iannucci ve diğ., 2002). Si bitkide H-ATPaz aktivitesini uyararak harekete geçirmek suretiyle K alımına pozitif etki yapmaktadır (Liang, 1999). Bu etki 100 ppm Si seviyelerinde maksimum düzeyde olduğu bulunmuştur (Mali ve Aery, 2008). Sargent Crabapple (*Malus*

sargentii) 2 yaşındaki fidelerine 4 gün ara ile 100 ml potasyum silikat (0, 100, 200 ve 400 ppm) uygulandığında bitki yapraklarında en fazla besin içeriği ve en az iyon sızıntısının 100 ppm potasyum silikat dozunda elde edildiği bildirilmiştir (Shirazi ve Mille, 1999).

Tüm silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme, yulaf bitkisi tarafından kaldırılan potasyum miktarını artırmıştır.

Si-0 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 43,43 – 242,48 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 144,23 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 46,02 – 246,66 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 176,52 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 49,77 – 214,32 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 168,67 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 85,04 – 231,10 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 184,32 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 93,18 – 305,55 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 212,85 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan K, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 144,23 – 212,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 177,32 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, tüm Si dozlarında artarken, Si-100 ve 400 dozları önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

4.3.4. Kaldırılan Kalsiyum Miktarı

Silisyumlu ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan kalsiyum miktarı üzerine etkisi artan P dozlarında % 5 düzeyinde, artan Si dozlarında %1 düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunurken, P x Si interaksyonu önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Ca miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Ca, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	28,50	45,61	48,85	63,42	62,34	49,75C
P-10	92,91	121,67	121,49	124,11	124,20	116,88AB
P-25	118,55	128,81	133,47	144,68	156,62	136,43A
P-50	140,29	111,05	123,77	150,96	153,32	135,88A
P-100	71,21	78,71	154,99	104,06	107,70	103,33B
P-250	47,31	41,14	44,34	96,89	47,35	55,41C
Ortalama	83,13B	87,83B	104,49AB	114,02A	108,59AB	99,61

P:0,046 Si:0,001 PXSi:0,807

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan kalsiyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 28,50 – 63,42 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 49,75 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 92,91 – 124,20 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 116,88 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 118,55 – 156,62 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 136,43 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 111,05 – 153,32 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 135,88 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm

silisyumun 50 ve 100 dozlarında azalırken, Si-200 ve 400 dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 71,21 – 154,99 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 103,33 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 41,14 – 96,89 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 55,41 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca, silisyumun 50 ve 100 dozlarında azalırken, Si-200 ve 400 dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 49,75 – 136,43 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 99,61 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca, fosforun 10, 25 ve 50 dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En fazla kaldırılan Ca, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Kalsiyum hücre membranlarının stabilite ve geçirgenliğinin korunmasında hayati rol oynar (Mengel ve Kirkby, 1987). Besin ortamına silisyumun düşük miktarda ilave edilmesi arpa bitkisinin hem sap hem de kökte Ca konsantrasyonunu artırdığı maksimum artışın 100 ppm Si dozunda gerçekleştiği ve kontrole göre artışın sırasıyla % 133,22 ve 87,31 olduğu bildirilmiştir (Mali ve Aery, 2008). Bitki dokularında Ca konsantrasyonundaki bir artış onları stres koşullarında kalmalarına yardımcı olarak bitki gelişimini artırır (Cachorro ve diğ., 1994). Ayrıca kuraklık nedeni ile sitosolde serbest Ca seviyesindeki düşüş koruyucu genleri harekete geçirerek Ca seviyesini artırmaktadır (Knight ve diğ., 1997).

Tüm silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme P₂₅₀'de önemli miktarda azalmıştır. Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan kalsiyum miktarını artırmıştır.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 28,50 – 140,29 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 83,13 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 41,14 – 128,81 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 87,83 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca miktarı, fosforun 250

dozunda azalırken, diğer fosfor dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 44,34 – 154,99 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 104,49 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca, fosforun 250 dozunda azalırken, diğer fosfor dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 63,42 – 150,96 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 114,02 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm fosfor dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 62,34 – 156,02 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 108,59 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca, fosforun 250 dozunda azalırken, diğer fosfor dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Ca, P-25 dozunda elde edilmiştir..

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 83,13 – 114,02 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 99,61 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artarken, silisyumun 200 dozu önemli ($P<0,01$) önemli bulunmuştur. En fazla kaldırılan Ca, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

4.3.5. Kaldırılan Magnezyum Miktarı

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan magnezyum miktarı üzerine etkisi artan P dozlarında % 5 düzeyinde, artan Si dozlarında % 1 düzeyinde istatistiki bakımdan önemli bulunurken, P x Si interaksyonu önemli bulunmamıştır (Çizelge 4.20).

Çizelge 4.20. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Mg miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Mg, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	9,64	10,48	12,29	14,13	13,94	12,10D
P-10	21,57	27,94	25,21	28,32	24,48	25,50C
P-25	31,40	34,05	32,08	27,98	36,87	32,48C
P-50	38,99	46,12	27,03	41,47	32,96	37,31C
P-100	42,67	42,95	50,25	52,22	66,18	50,85A
P-250	32,76	28,89	33,21	51,15	42,13	37,63C
Ortalama	29,51B	31,74AB	30,01B	35,88A	36,09A	32,65

P:0,043 Si:0,001 PXSİ:0,06

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan magnezyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 9,64 – 14,13 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 12,10 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 21,57 – 28,32 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 25,50 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 27,98 – 36,87 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 32,48 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg Si-200 dozunda azalma gösterirken diğer Si dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 27,03 – 46,12 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 37,31 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg Si-100 ve 400 dozlarında azalma gösterirken diğer Si dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 42,67 – 66,18 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

50,85 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg, tüm Si dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 28,89 – 51,15 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 37,63 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg Si-50 dozunda azalırken, diğer Si dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 12,10 – 50,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 32,65 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg, tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir. Aal ve Oraby, (2013), kuraklık stresi şartlarında genç mango (*Mangifera indica* cv. Ewaise) bitkisinin yapraklarında H_2O_2 muhtevasının arttığı, bu şartlarda uygulanan 150 ppm Si'un apoplasttaki H_2O_2 miktarını azaltarak N, P, K, Mg ve Si alımını artırdığını bildirmişlerdir. Solüsyon kültüründe yetiştirilen oilseed rape (*Brassica napus* L.) bitkisinin B noksanlık şartlarında Si uygulaması ile P, K, Ca ve Mg alımının korunduğu bildirilmiştir (Liang ve Shen, 1994).

Tüm silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan magnezyum miktarını P_0 dozunun üzerinde artırmıştır.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 9,64 – 42,67 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 29,51 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 10,48 – 46,12 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 31,74 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 12,29 – 50,25 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 30,01 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 14,13 – 52,22 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

35,88 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 13,94 – 66,18 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 36,09 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg tüm silisyum dozlarında artmıştır. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 29,51 – 36,09 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 32,65 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg, tüm Si dozlarında artarken, Si-200 ve 400 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En fazla kaldırılan Mg, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

4.3.6. Kaldırılan Demir Miktarı

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan demir miktarı üzerine etkisi artan silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunurken, fosfor ve P x Si interksiyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.21).

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan demir miktarını kontrol toprakta azaltırken diğer fosfor dozlarında genellikle artırmıştır.

Çizelge 4.21. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Fe miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Fe, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	1,15	1,06	0,96	0,89	0,91	0,99C
P-10	1,82	2,24	1,85	1,74	1,88	1,91A
P-25	1,98	2,08	2,32	2,13	2,08	2,12A
P-50	2,19	2,40	1,83	1,92	1,88	2,04A
P-100	2,10	1,80	1,52	2,25	2,62	2,06A
P-250	1,27	1,26	1,21	1,50	1,43	1,33B
Ortalama	1,75	1,81	1,62	1,74	1,80	1,74

P:0,487 Si:0,001 PXSİ:0,160

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 0,89 – 1,15 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

0,99 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,74 – 2,24 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,91 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe silisyum 200 dozunda azalırken, diğeri Si dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,98 – 2,32 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 2,12 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm silisyumun dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,83 – 2,40 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 2,04 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe silisyum 50 dozunda artarken, diğeri Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,52 – 2,62 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 2,06 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe silisyum 50 ve 100 dozlarında azalırken, diğeri Si dozlarında artmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-100 dozunda bulunurken, en fazla kaldırılan Fe, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,21 – 1,50 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,33 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe silisyum 50 ve 100 dozlarında azalırken, diğeri Si dozlarında artmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-100 dozunda bulunurken, en fazla kaldırılan Fe, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 0,99 – 2,12 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,74 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm silisyum dozlarında arttığı ve önemli ($P<0,01$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan Fe, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Tüm silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme, yulaf bitkisi tarafından kaldırılan demir miktarını tüm silisyum dozlarında genellikle artırmıştır. P_{250} 'de hızlı bir düşüş olmuştur.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,15 – 2,19 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,75 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm fosfor artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,06 – 2,40 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,81 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm fosfor artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 0,96 – 2,32 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,81 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm fosfor artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 0,89 – 2,25 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,74 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm fosfor artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 0,91 – 2,62 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,80 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe tüm fosfor artmıştır. En yüksek kaldırılan Fe, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,62 – 1,80 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 1,74 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe silisyum 100 ve 200 dozlarında azalırken, diğeri Si dozlarında artmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-100 dozunda bulunurken, en fazla kaldırılan Fe, Si-400 dozunda elde edilmiştir.

4.3.7. Kaldırılan Mangan Miktarı

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı üzerine etkisi artan fosfor dozlarında % 1 seviyesinde silisyum dozlarında ise % 5 seviyesinde önemli bulunurken, P x Si interaksyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4. 22).

Çizelge 4.22. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Mn miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Mn, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,47	0,38	0,37	0,26	0,32	0,36C
P-10	0,53	0,61	0,44	0,47	0,46	0,50B
P-25	0,48	0,57	0,55	0,51	0,48	0,52B
P-50	0,69	0,56	0,40	0,52	0,47	0,53AB
P-100	0,62	0,57	0,51	0,68	0,58	0,59A
P-250	0,43	0,41	0,37	0,47	0,42	0,42C
Ortalama	0,54A	0,52AB	0,44C	0,49BC	0,46BC	0,49

P:0,000 Si:0,016 PXSi:0,221

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan mangan miktarını artan silisyum dozlarına bağlı olarak genellikle azalttığı bulunmuştur.

Kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,26 – 0,47 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,44 – 0,61 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,50 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn, Si-50 dozunda artarken diğer silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,48 – 0,57 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,52 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn, Si-400 dozunda değişmezken, silisyum dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Mn, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,40 – 0,69 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,53 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,51 – 0,68 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama

0,59 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn, Si-200 dozunda artarken, diğ er Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,37 – 0,47 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,42 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn silisyumun 200 dozunda artarken, diğ er Si dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değ erlendirdiğ imizde artan fosfor dozlarına bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,36 – 0,59 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,49 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm silisyum dozlarında artarken, P-10, 25, 50 ve 100 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-100 dozunda bulunmuştur.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan mangan miktarını artan fosfor dozlarına bağı lı olarak artırdığı bulunmuştur.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,43 – 0,69 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,54 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn P-250 dozunda azalırken, diğ er fosfor dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Mn, P-50 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,38 – 0,61 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,52 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-10 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,37 – 0,55 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,44 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn, P-250 dozunda değı şmezken, diğ er fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı lı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,26 – 0,68 mg/saksı arasında değı ştiğı , ortalama 0,49 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,32 – 0,58 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,46 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,44 – 0,54 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,49 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda bulunmuştur.

Kacar ve Katkat, (2009), asit topraklarda aşırı Mn sebebiyle bitkilerin fosfor alımlarının engellendiğı, Voogt ve Sonneveld, (2001), silisyumun düşük dozlarının bile marul bitkisinde Mn toksitesini hafiflettiğini bildirmişlerdir. Silisyum metabolik antioksidan enzimlerin aktivitesinde artış ile Mn toksitesini hafifletir (Shi ve diğ., 2005). Besin solüsyonu kültüründe yetiştirilen balkabağının + (*Cucurbita moschata*) silisyum yokluğunda Mn'ın toksik seviyelerinde bitki büyümesinin strese girdiğı Si ilavesinin bu simptom ve etkileri hafifleterek bitki boyunu büyüttüğü, silisyumsuz Mn'ın yaprak kenarlarında lokalize olarak nekrotik lekelere sebep olduğı Si ilavesinin ise Mn toksitesini hafiflettiğini bildirilmiştir (Iwasaki ve diğ., 1999). Aşırı Mn konsantrasyonunda hıyar bitkisinin (*Cucumis sativus* L.) yapraklarında Mn toksitesi sebebiyle yaprak apoplastında serbest Mn ve H₂O₂ seviyesinin arttığı, Si uygulamaları ile serbest Mn konsantrasyonunun düştüğü ve serbest hidroksil radikallerinin azaldığı bildirilmiştir (Maksimovic ve diğ., 2012).

4.3.8. Kaldırılan Çinko Miktarı

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko miktarı üzerine etkisi artan fosfor dozlarında % 1 seviyesinde silisyum dozlarında ise % 5 seviyesinde önemli bulunurken, P x Si interksiyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.23).

Çizelge 4.23. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Zn miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Zn, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,09	0,10	0,10	0,12	0,11	0,10D
P-10	0,14	0,22	0,19	0,19	0,19	0,19C
P-25	0,18	0,27	0,22	0,23	0,26	0,23BC
P-50	0,31	0,34	0,19	0,20	0,29	0,26B
P-100	0,35	0,52	0,27	0,30	0,27	0,34A
P-250	0,17	0,24	0,21	0,34	0,30	0,25BC
Ortalama	0,21B	0,28A	0,20B	0,23AB	0,24AB	0,23

P:0,001 Si:0,036 PXSİ:0,251

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko miktarını artan silisyum dozlarına bağlı olarak artırdığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan çinkonun genellikle Si-50 dozunda olduğu bulunmuştur.

Kontrol fosfor (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,09 – 0,12 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,10 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında hafif bir artış gösterdiği bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,14 – 0,22 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,19 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Zn, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,18 – 0,27 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,23 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Zn, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,19 – 0,34 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,26 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn silisyumun 50 dozunda artarken, diğer Si dozlarında azaldığı bulunmuştur. En düşük kaldırılan Zn, Si-100 dozunda elde edilmiştir.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,27 – 0,52 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,34 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn silisyumun 50

dozunda artarken, diğ er Si dozlarında azaldığı bulunmuştur. En düşük kaldırılan Zn, Si-100 ve 400 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,17 – 0,34 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,25 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında artmıştır. En yüksek kaldırılan Zn, Si-200 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,10 – 0,34 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,23 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko miktarını artan fosfor dozlarına bağlı olarak artırdığı bulunmuştur.

Kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,09 – 0,35 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,21 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,10 – 0,52 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,28 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,10 – 0,27 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,20 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,12 – 0,34 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,23 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-250 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,11 – 0,30 mg/saksı arasında değiştiiği, ortalama 0,24 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm fosfor

dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-250 dozunda elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,21 – 0,28 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,23 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında artarken, Si-50 dozundaki artışın önemli ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, Si-50 dozunda elde edilmiştir.

4.3.9. Kaldırılan Bakır Miktarı

Silisyum ve fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır miktarı üzerine etkisi artan fosfor dozlarında % 5 seviyesinde önemli bulunurken, silisyum dozları ve P x Si interaksyonu önemsiz bulunmuştur (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24. Fosfor ve silisyum gübrelemesinin yulaf bitkisinin kaldırdığı Cu miktarı üzerine etkisi

Fosfor dozları, ppm	Kaldırılan Cu, mg/saksı					Ortalama
	Si dozları, ppm					
	0	50	100	200	400	
P-0	0,063	0,067	0,060	0,067	0,057	0,063C
P-10	0,080	0,083	0,073	0,067	0,073	0,075ABC
P-25	0,067	0,097	0,080	0,077	0,080	0,080AB
P-50	0,080	0,093	0,070	0,070	0,080	0,079AB
P-100	0,080	0,080	0,073	0,093	0,097	0,085A
P-250	0,057	0,047	0,053	0,093	0,083	0,067BC
Ortalama	0,071	0,078	0,068	0,078	0,078	0,075

P:0,019 Si:0,378 PXSİ:0,377

Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyum gübrelemesi yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır miktarını artan silisyum dozlarına bağlı olarak artırdığı bulunmuştur.

Fosforun kontrol (P-0) dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,063– 0,067 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,063 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu silisyumun 50 ve 200 dozlarında artarken, Si-100 ve 400 dozlarında azaldığı bulunmuştur. En düşük kaldırılan Cu silisyumun 400 dozunda elde edilirken, en yüksek kaldırılan Cu, Si-50 ve 200 dozlarında elde edilmiştir.

P-10 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,067 – 0,083 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,075 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu silisyumun 50

dozunda artarken, diğer silisyum dozlarında azaldığı bulunmuştur. En düşük kaldırılan Cu silisyumun 200 dozunda elde edilmiştir.

P-25 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,067 – 0,097 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,080 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu tüm silisyum dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu silisyumun 50 dozunda elde edilmiştir.

P-50 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,070 – 0,093 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,079 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu silisyum 100 ve 200 dozlarında azaldığı, Si-400 dozunda değişmediği ve Si-50 dozunda en yüksek seviyeye ulaştığı bulunmuştur.

P-100 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,073 – 0,093 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,085 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu silisyum 100 dozunda azaldığı diğer Si dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu silisyumun 200 dozunda elde edilmiştir.

P-250 dozunda artan silisyum gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,047 – 0,093 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,067 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu silisyum 50 ve 100 dozunda azaldığı diğer Si dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu silisyumun 200 ve 400 dozlarında elde edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,063 – 0,085 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,075 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu tüm fosfor dozlarında arttığı, P-25, 50 ve 100 dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu P-100 dozunda elde edilmiştir.

Li ve diğ., (2008), bazı bitki hastalıklarıyla mücadelede *Arapibopsis* (*Arabidopsis thaliana* L. Heyna) bitkisine yüksek konsantrasyonda kullanılan Cu'nın yaprak klorozunu artırdığı bu şartlar altında uygulanan silisyumun Cu-stresinin sebep olduğu enzim aktivitesini (phenylaline ammonia lyase-PAL) düşürerek, RNA'da 2 bakır taşıyıcı geninin aktivitesini azalttığını kök ve sürgün kalitesini artırdığını bildirilmişlerdir. Benzer şekilde Si akümülator bir bitki olan *Zinnia elegans*'ın yaprak, gövde ve kökünde Si konsantrasyonunun artırılması ile Cu toksitesinin

azaldığı ve stres aktivite göstergelerinin (PAL ve POD) düştüğü bildirilmiştir (Frantz ve diğ., 2011). Bizim elde ettiğimiz verilerde toprakta normal seviyelerde Cu varken uygulanan Si dozları ile kaldırılan Cu'nın değişken olmakla birlikte genellikle arttığı tespit edilmiştir.

Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır miktarını artan fosfor dozlarına bağlı olarak artırdığı bulunmuştur.

Silisyumun kontrol (Si-0) dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,057– 0,080 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,071 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, fosforun 250 dozunda azaldığı, diğer fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, P-10, 50 ve 100 dozlarında elde edilmiştir.

Si-50 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,047– 0,083 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,078 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, fosforun 250 dozunda azaldığı, diğer fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-100 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,053 – 0,080 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,068 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, fosforun 250 dozunda azaldığı, diğer fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Si-200 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,067– 0,093 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,078 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, fosforun 10 dozunda değişmediği, diğer fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, fosforun 100 ve 250 dozlarında elde edilmiştir.

Si-400 dozunda artan fosfor gübrelemesine bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,057 – 0,097 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,078 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, tüm fosfor dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, P-100 dozunda edilmiştir.

Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı 0,071 – 0,078 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,075 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu,

silisyum 100 dozunda azalırken, diğer silisyum dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu silisyumun 50, 200 ve 400 dozlarında elde edilmiştir.

4.4. Biyolojik İndeksler ile Besin Element İçeriği Arasındaki İlişkiler

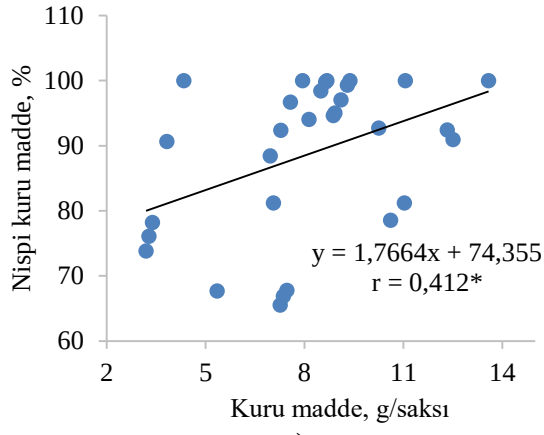
Yulaf bitkisine Si ve P uygulaması sonucu elde edilen kuru madde (KM), nispi kuru madde (NKM) gibi biyolojik indeksler ve besin element içeriği arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları Çizelge 4.25’de verilmiştir.

Çizelge 4.25. Besin Elementleri Arasındaki İlişkilere Ait Korelasyon Katsayıları (r)

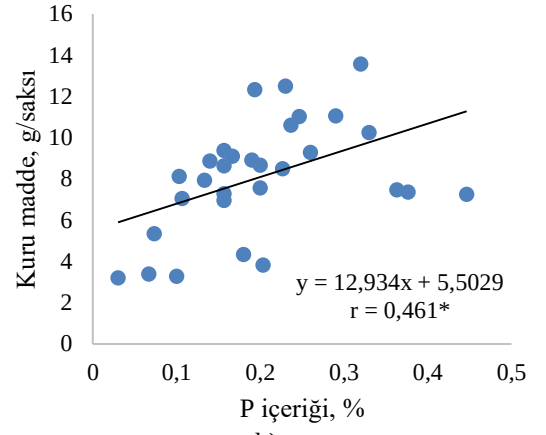
	NKM	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
KM	,412*	,279	,461*	,377*	-,354	,464**	-,685**	-,782**	-,015	-,824**
NKM		,240	-,141	,489**	,378*	-,079	-,142	-,400*	-,145	-,243
N			,412*	,123	-,114	,337	-,506**	-,381*	-,003	-,195
P				,352	-,609**	,402*	-,805**	-,694**	-,002	-,634**
K					,024	,251	-,353	-,628**	,167	-,549**
Ca						-,215	,557**	,227	-,159	,282
Mg							-,330	-,390*	,116	-,401*
Fe								,838**	-,029	,732**
Mn									,042	,881**
Zn										,063

KM:Kuru madde; NKM: Nispi kuru madde

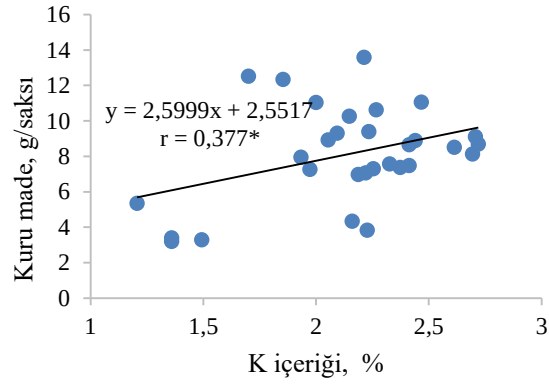
Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile nispi kuru madde ($r=0,412^*$), fosfor içeriği ($r=0,461^*$) ve potasyum içeriği ($r=0,377^*$) arasında önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Magnezyum içeriği ($r=0,464^{**}$) arasında çok önemli pozitif ilişki elde edilirken; demir ($r=-0,685^{**}$), mangan ($r=-0,782^{**}$), bakır ($r=-0,824^{**}$) içeriği arasında çok önemli negatif ilişkiler elde edilmiştir. Ayrıca azot içeriği ile pozitif, kalsiyum ve çinko içeriği arasında da önemli olmayan negatif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.17; sırasıyla a, b, c, d, e, f, g). Li ve diğ., (2011), aşırı Fe ve Mn’ın çeltik bitkisinde verimi % 72,7 oranında azaldığını bildirmişlerdir. Tuz stresi koşullarında arpa bitkisinde silisyumun Na alımını azaltarak K alımını artırdığı, Si ile K arasında pozitif ilişki olduğu ve artan potasyumun bitki gelişimini artırdığı bildirilmiştir (Liang, 1999).



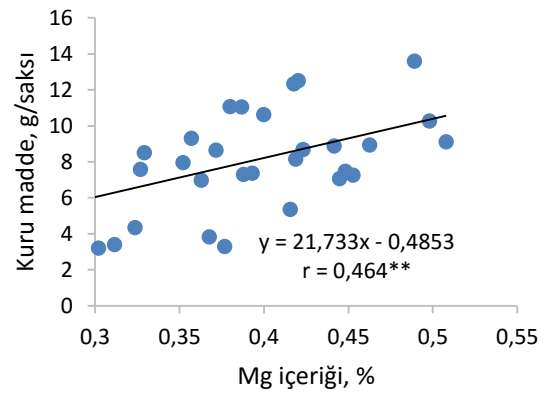
a)



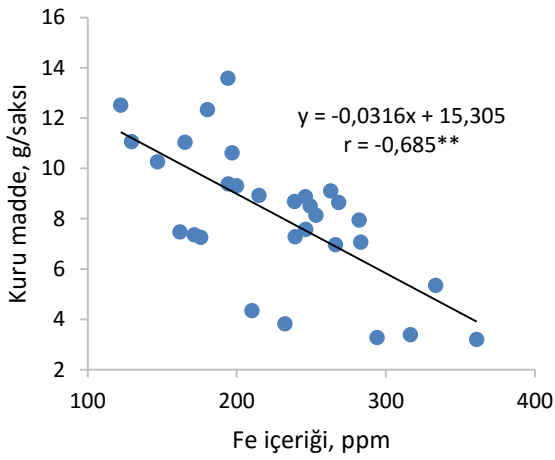
b)



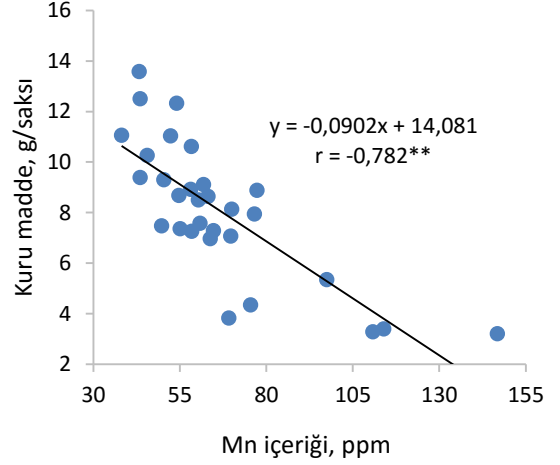
c)



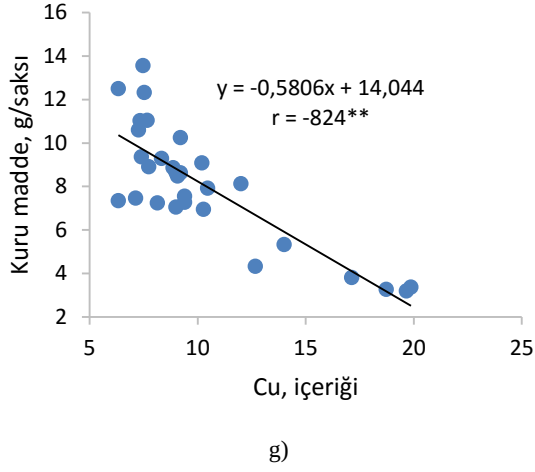
d)



e)

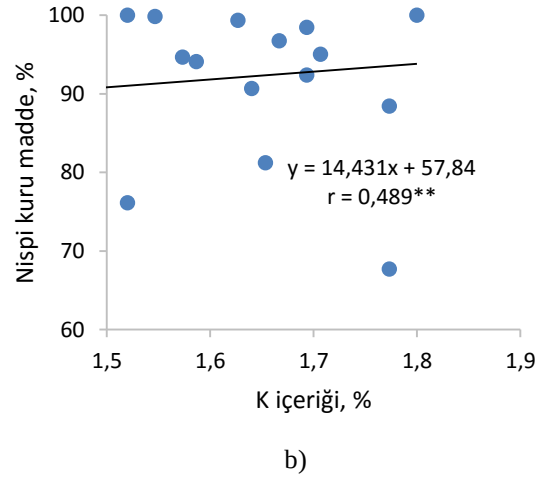
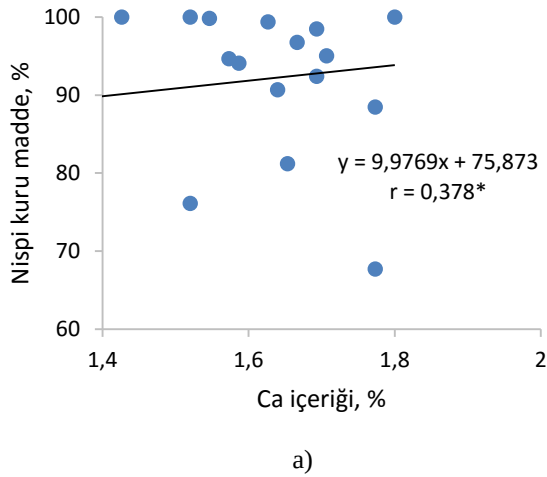


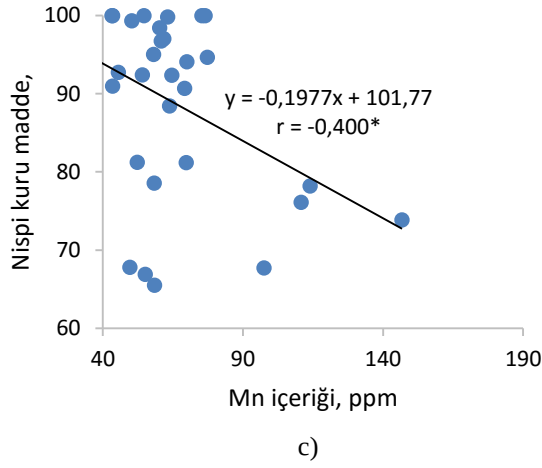
f)



Şekil 4.17. Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler

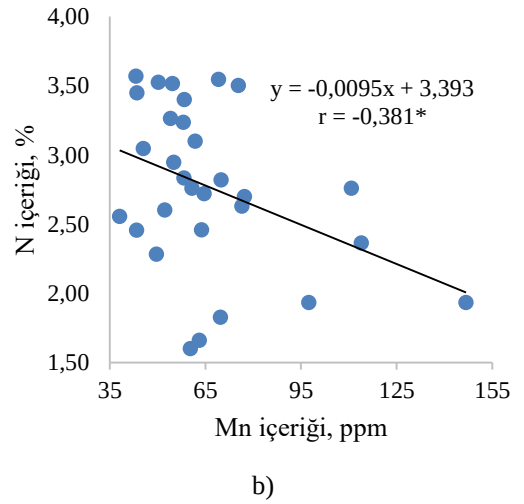
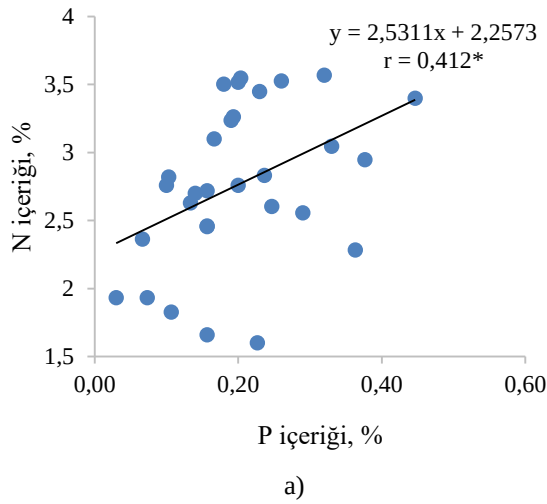
Yulaf bitkisinin nispi kuru maddemiktarı ile Ca içeriği arasında ($r=0,378^*$) önemli, potasyum içeriği arasında ($r=0,489^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunurken, mangan içeriği arasında ($r=-0,400^*$) önemli negatif ilişki bulunmuştur. Ayrıca N içeriği ile pozitif, P, Mg, Fe, Zn ve Cu içeriği arasındada önemli olmayan negatif ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 4.18; sırasıyla a, b, c). Azotun bitki büyümesini artırması sonucu ortaya çıkan sulandırma etkisi nedeni ile yüksek miktardaki azota bağlı olarak yaşlı yapraklardan meristematik dokulara bakırın daha az taşınmasından dolayı N uygulamalarının Cu alımını azaltmaktadır (Hill ve diğ., 1978; Gartrell, 1981).

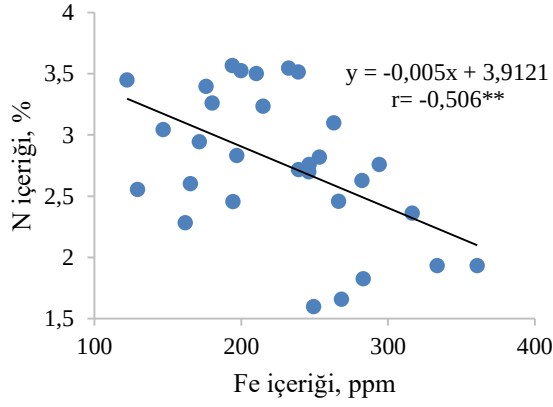




Şekil 4.18. Yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı ile bazı besin element içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin azot içeriği ile P içeriği arasında ($r=0,412^*$) önemli pozitif ilişki elde edilirken, Mn içeriği ile önemli ($r=-0,381^*$) Fe içeriği ile çok önemli ($r=-0,506^{**}$), negatif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca K ile pozitif Ca ve Cu ile negatif önemli olmayan ilişkiler elde edilmiştir (Şekil 4.19; sırasıyla a, b, c).

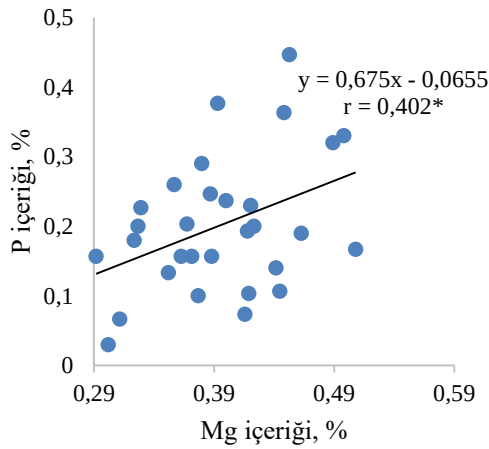




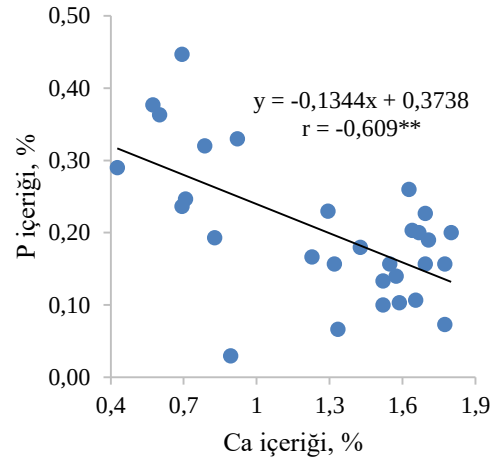
c)

Şekil 4.19. Yulaf bitkisinin azot içeriği ile bazı element içeriği arasındaki ilişkiler

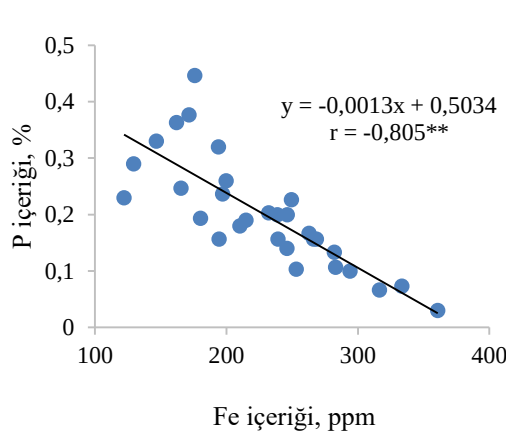
Yulaf bitkisinin fosfor içeriği ile Mg içeriği arasında ($r=0,402^*$) önemli pozitif, Ca ($r=-0,609^{**}$), Fe ($r=-0,805^{**}$), Mn ($r=-0,694^{**}$) ve Cu içeriği arasında ($r=-0,634^{**}$) çok önemli negatif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca K ile önemli olmayan pozitif ilişki bulunmuştur (Şekil 4.20; sırasıyla a, b, c, d, e). Karaman ve diğ., (2006), toprakta fosfor fazlalığının bitkide Zn ve Fe, Ca, B, Cu, ve Mn gibi mikro besin noksanlıklarına yol açtığını ve fosfor fazlalığının aslında Fe, Mg, Zn ve Cu gibi diğer besinlerin interaksyonu ile ortaya çıkan belirtiler olduğunu bildirmişlerdir. Rizosferde yüksek konsantrasyonda Fe ve Al akümüasyonu bitki köklerinin P ve Ca gibi elementlerin alımına engel teşkil eder (Wang ve diğ., 1994). Si, sorgum bitkisinde Al ve Mn toksitesini gidererek yüksek kök/sap oranını düşürdüğü ve sürgün gelişimini artırdığı bildirilmiştir (Galvez ve diğ., 1987).



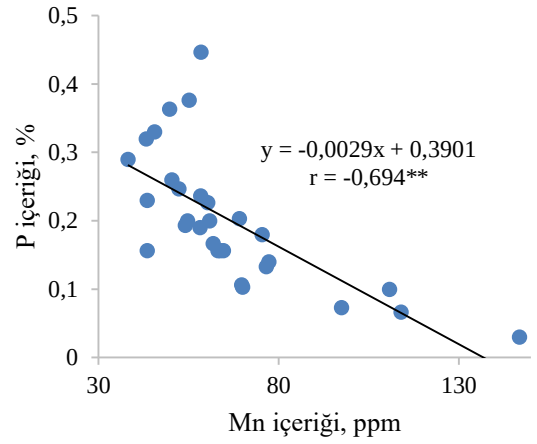
a)



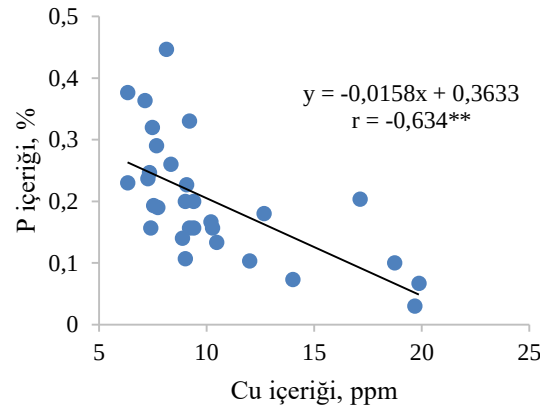
b)



c)



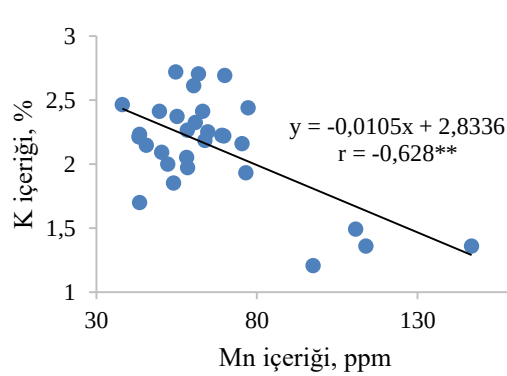
d)



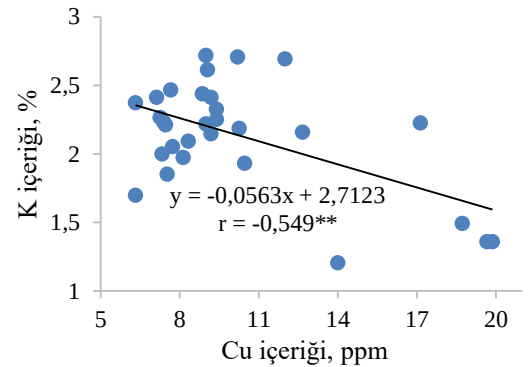
e)

Şekil 4.20. Yulaf bitkisinin fosfor içeriği ile bazı element içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin potasyum içeriği ile Mn ($r=-0,628^{**}$) ve Cu ($r=-0,549^{**}$) arasında çok önemli negatif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca Mg ve Zn ile pozitif, Fe ile negatif önemli olmayan ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.21; sırasıyla a ve b).



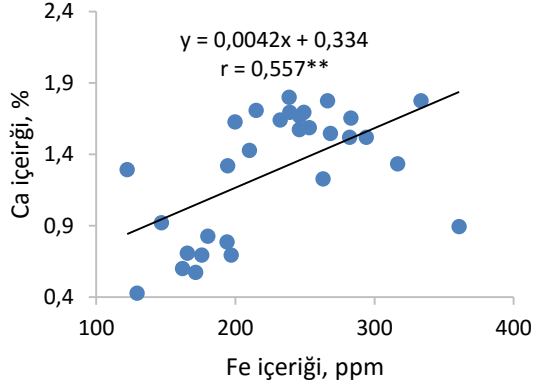
a)



b)

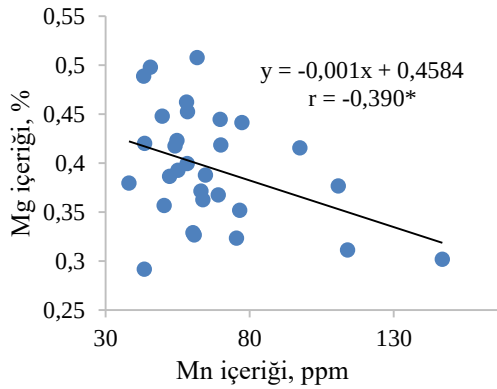
Şekil 4.21. Yulaf bitkisinin potasyum içeriği ile bazı element içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği ile Fe arasında ($r=0,557^{**}$) çok önemli pozitif ilişki elde edilmiştir. Ayrıca Ca içeriği ile Mn ve Cu arasında pozitif, Mg ile negatif olan önemli olmayan ilişkiler bulunmuştur. (Şekil 4.22). Bitki dokularında sap ve kök büyümesi ile Ca arasında pozitif ilişki vardır (Mali ve aery, 2008).

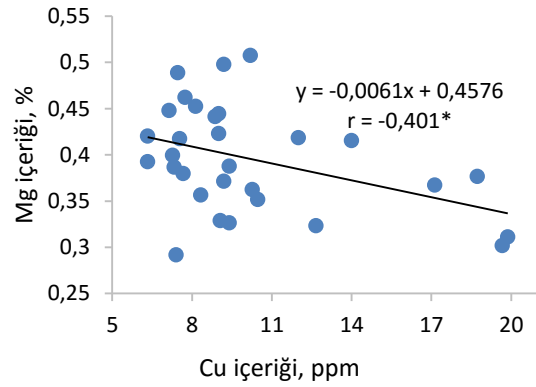


Şekil 4.22. Yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği ile bazı element içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin magnezyum içeriği ile Mn ($r=-0,390^{*}$) ve Cu ($r=-0,401^{*}$) içerikleri arasında önemli negatif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca Fe ile önemli olmayan negatif ilişki elde edilmiştir (Şekil 4.23; sırasıyla a ve b).



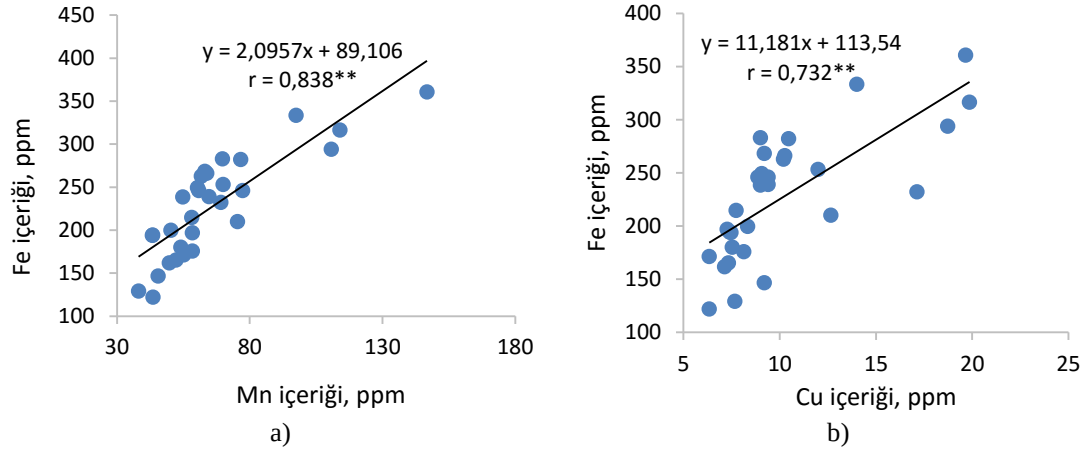
a)



b)

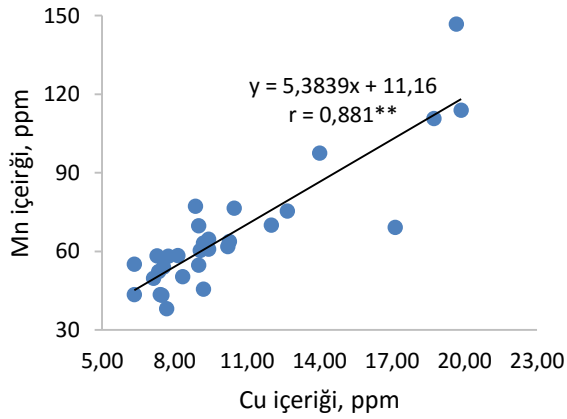
Şekil 4.23. Yulaf bitkisinin magnezyum içeriği ile bazı element içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin demir içeriği ile Mn ($r=0,838^{**}$) ve Cu ($r=0,732^{**}$) arasında çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.24; sırasıyla a ve b).



Şekil 4.24. Yulaf bitkisinin demir içeriği ile Mn ve Cu içeriği arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin mangan içeriği ile Cu içeriği arasında ($r=0,881^{**}$) arasında çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.25).



Şekil 4.25. Yulaf bitkisinin mangan içeriği ile Cu içeriği arasındaki ilişki

4.5. Biyolojik İndeksler ile Kaldırılan Besin Element Miktarı Arasındaki İlişkiler

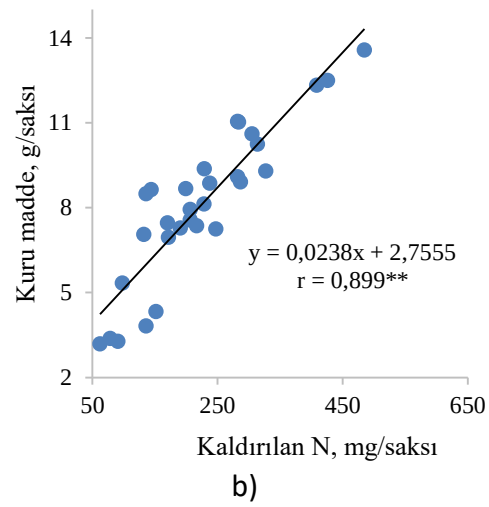
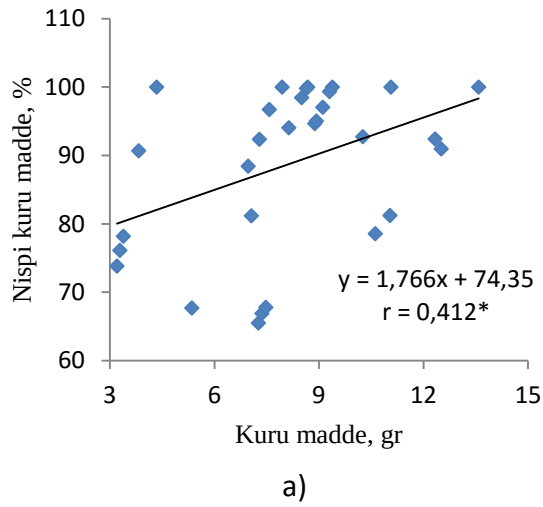
Yulaf bitkisine Si ve P uygulaması sonucu elde edilen kuru madde (KM), nispi kuru madde (NKM) gibi biyolojik indeksler ile kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkilere ait korelasyon katsayıları Çizelge 4.26’da verilmiştir.

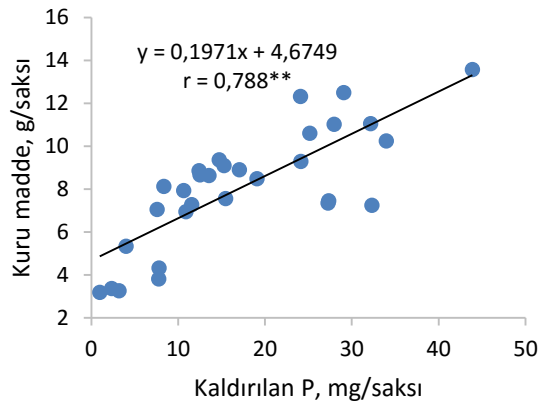
Çizelge 4.26. Kaldırılan Besin Maddesi Arasındaki İlişkilere Ait Korelasyon Katsayıları (r)

	NKM	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Zn	Cu
KM	,412*	,899**	,788**	,924**	,470**	,930**	,642**	,610**	,777**	,547**
NKM		,348	,058	,475**	,647**	,273	,446*	,214	,206	,414*
N			,801**	,786**	,358	,905**	,475**	,483**	,660**	,515**
P				,743**	,025	,806**	,237	,206	,621**	,286
K					,442*	,880**	,687**	,552**	,787**	,591**
Ca						,371*	,688**	,489**	,258	,421*
Mg							,628**	,614**	,753**	,609**
Fe								,827**	,519**	,714**
Mn									,592**	,636**
Zn										,556**

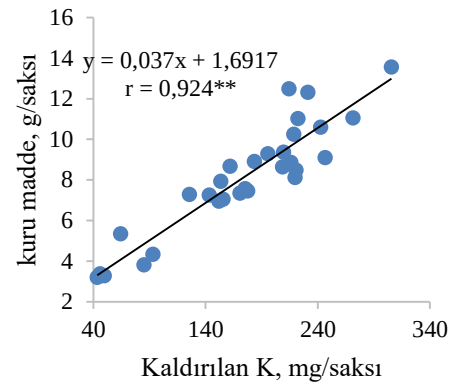
KM:Kuru madde; NKM: Nispi kuru madde

Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile nispi kuru madde arasında önemli ($r=0,412^*$), kaldırılan N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu miktarları arasında (sırasıyla, $r=0,899$, $0,788$, $0,924$, $0,470$, $0,930$, $0,642$, $0,610$, $0,777$, $0,547$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.26; sırasıyla a, b, c, d, e, f, g, h, i, j).

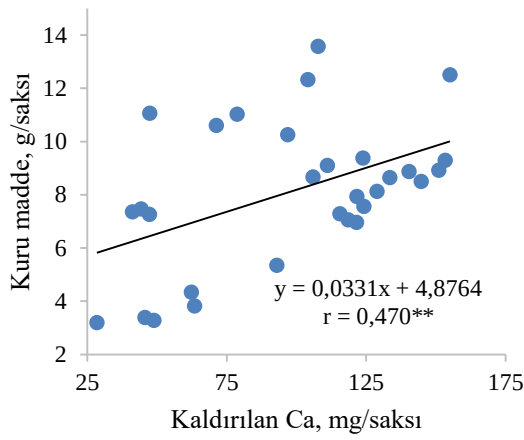




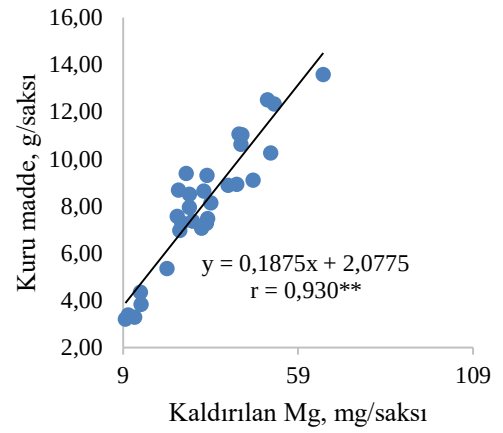
c)



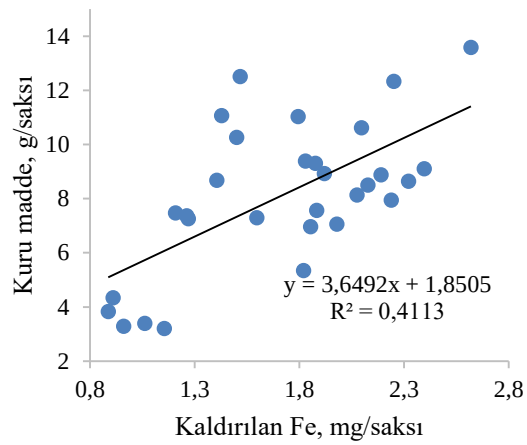
d)



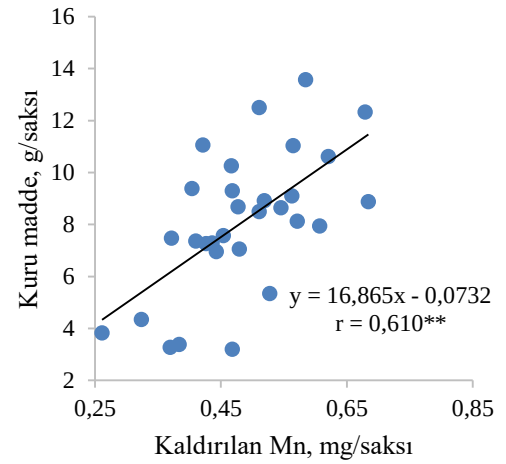
e)



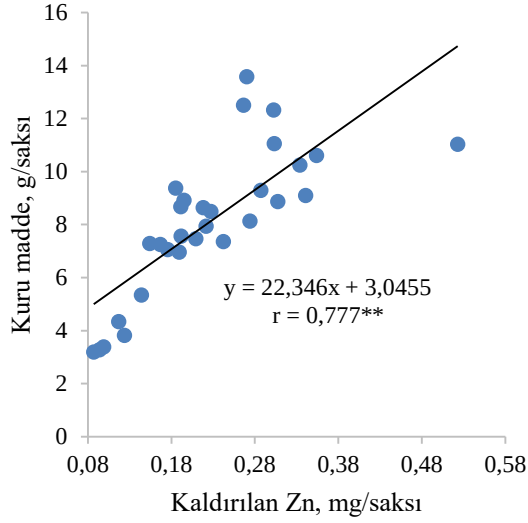
f)



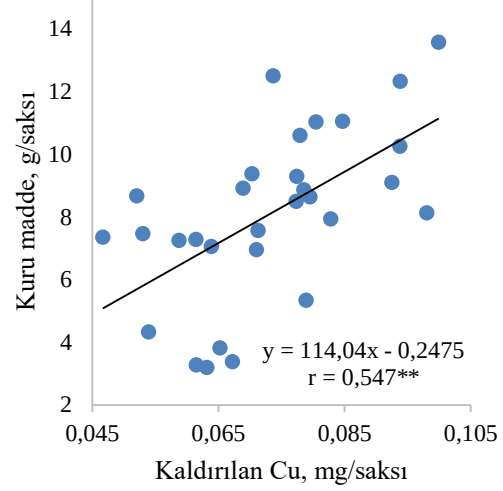
g)



h)



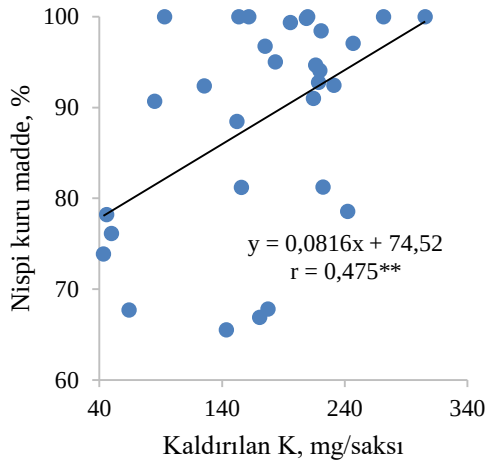
I)



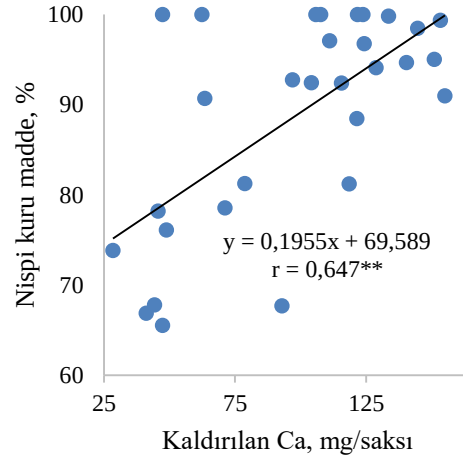
i)

Şekil 4.26. Yulaf bitkisinin kuru madde miktarı ile nispi kuru madde ve kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

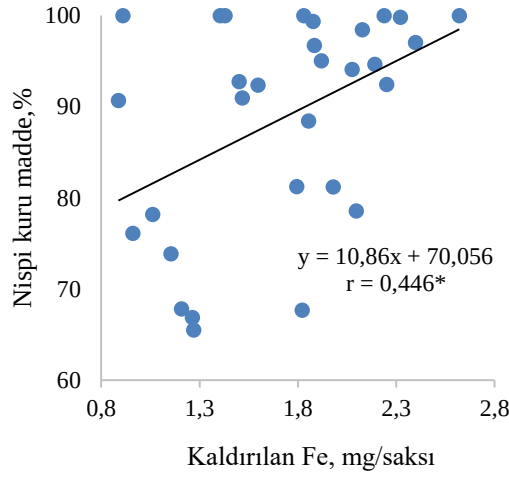
Yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı ile kaldırılan Fe ve Cu miktarları arasında (sırasıyla, $r=0,446^*$, $0,414^*$) önemli, K ve Ca içeriği arasında ($r=0,475^{**}$, $0,647^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler belirlenmiştir (Şekil 4.27; a, b, c, d). Ayrıca N, P, Mg, Mn ve Zn içeriği arsında da istatistiki bakımdan önemli olmayan pozitif ilişkiler bulunmuştur.



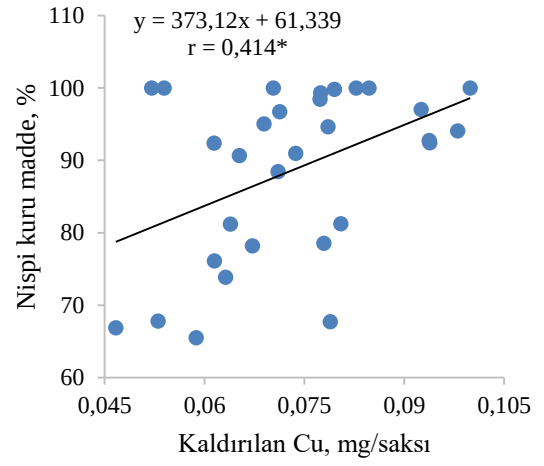
a)



b)



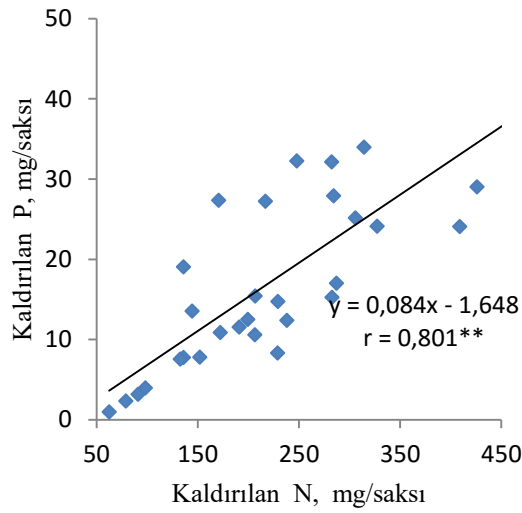
c)



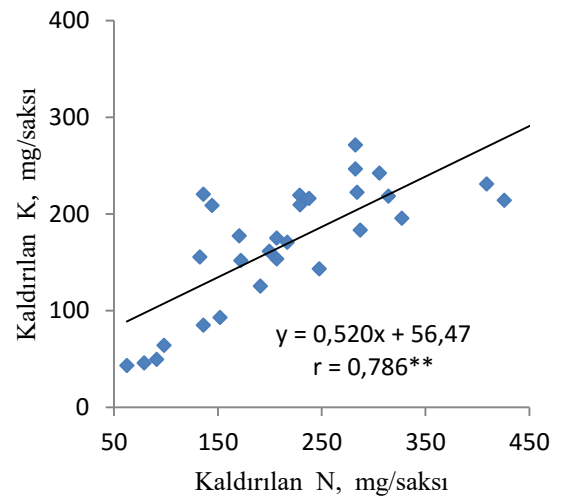
d)

Şekil 4.27. Yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

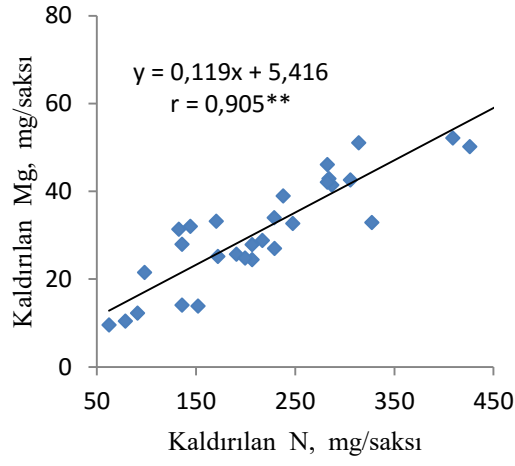
Yulaf bitkisinin kaldırılan azot miktarı ile kaldırılan P, K, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu miktarları arasında korelasyon katsayıları sırasıyla, $r=0,801^{**}$, $0,786^{**}$, $0,905^{**}$, $0,475^{**}$, $0,483^{**}$, $0,660^{**}$ ve $0,515^{**}$ olan çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca Ca arasında da önemli olmayan pozitif ilişki elde edilmiştir. (Şekil 4.28; sırasıyla a, b, c, d, e, f, g).



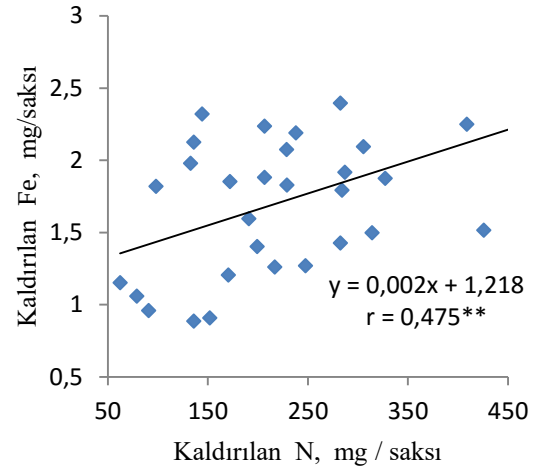
a)



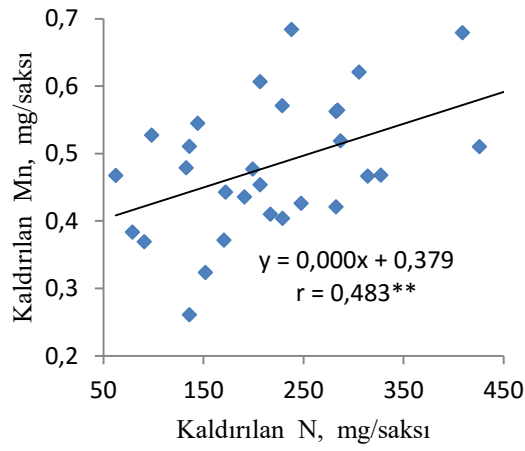
b)



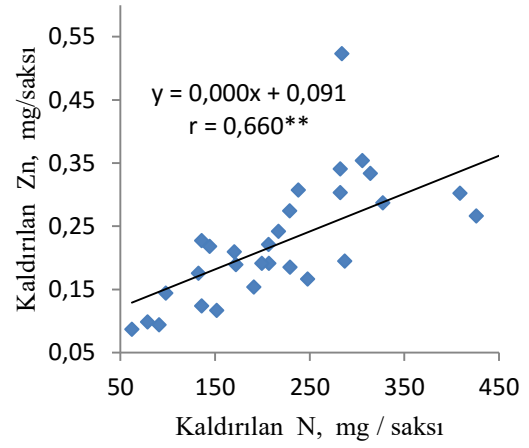
c)



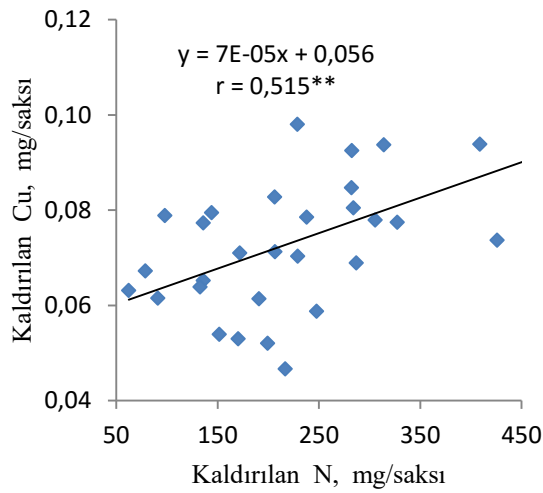
d)



e)



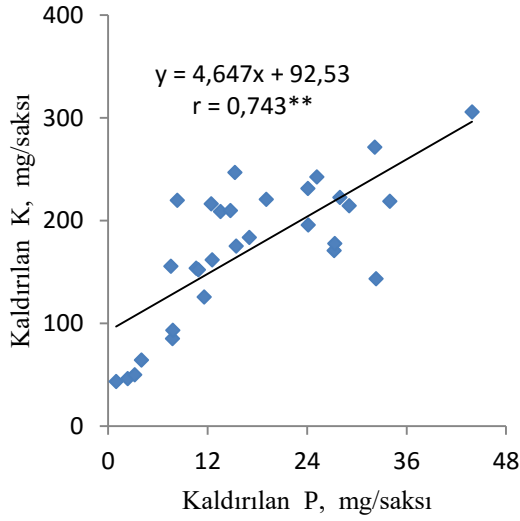
f)



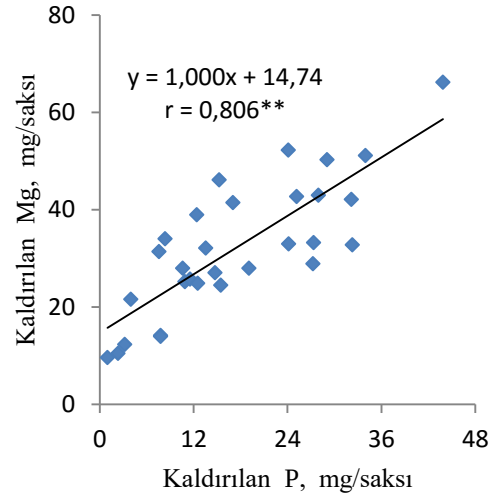
g)

Şekil 4.28. Yulaf bitkisinin kaldırılan N miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

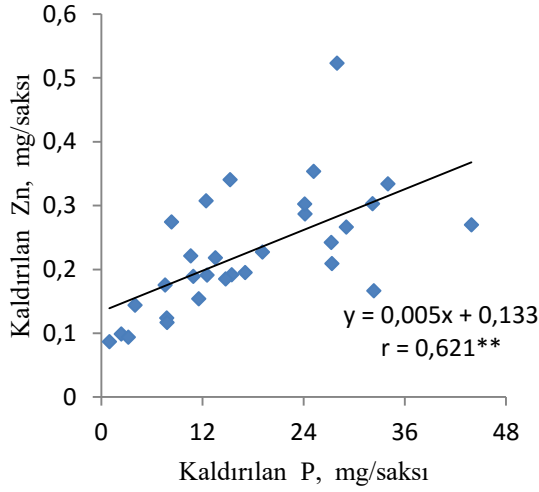
Yulaf bitkisinin kaldırılan fosfor miktarı ile kaldırılan K, Mg ve Zn miktarı arasında ($r=0,743^{**}$, $0,806^{**}$ ve $0,621^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca Fe, Mn ve Cu arasında da pozitif ilişkiler tespit edilmiştir (Şekil 4.29; sırasıyla a, b, c).



a)



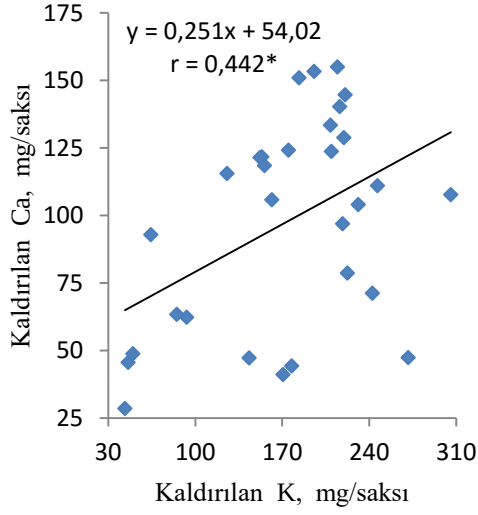
b)



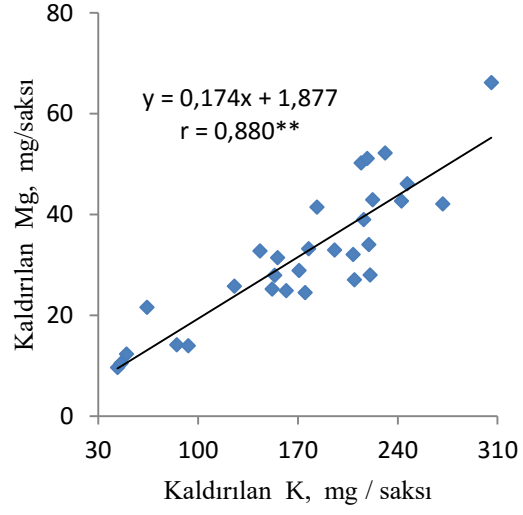
c)

Şekil 4.29. Yulaf bitkisinin kaldırılan P miktarı ile kaldırılan K, Mg ve Zn arasındaki ilişkiler

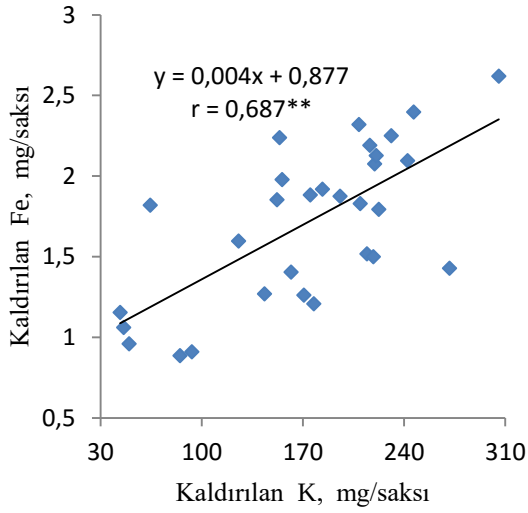
Yulaf bitkisinin kaldırılan potasyum miktarı ile kaldırılan Ca arasında ($r=0,442^{**}$) çok önemli, Mg, Fe, Mn, Zn ve Cu miktarı arasında ($r=0,880^{**}$, $0,687^{**}$, $0,552^{**}$, $0,787^{**}$ ve $0,591^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.30; sırasıyla a, b, c, d, e, f).



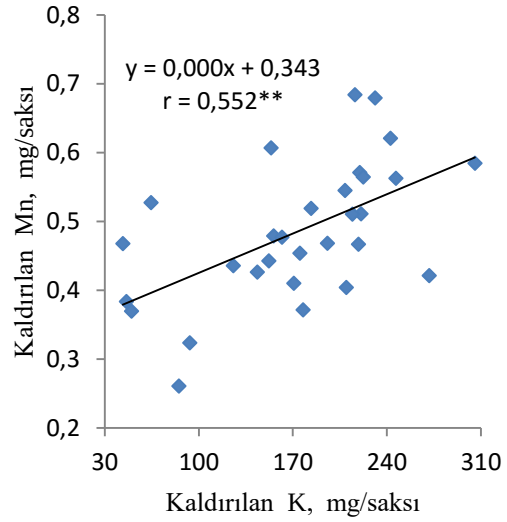
a)



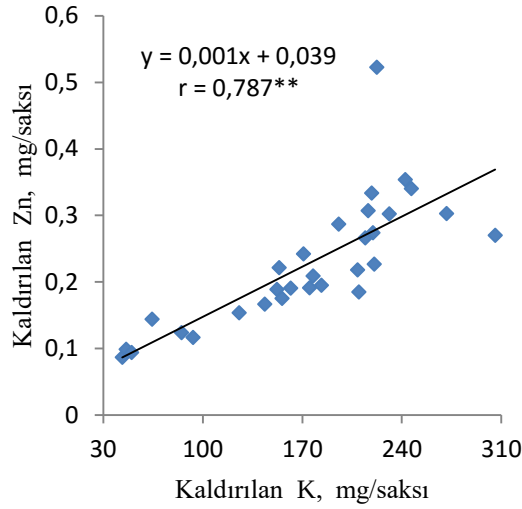
b)



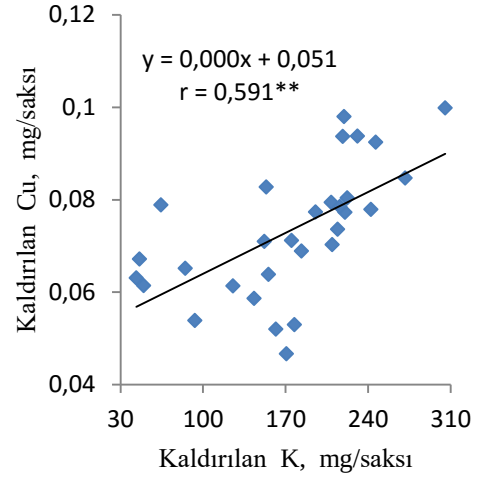
c)



d)



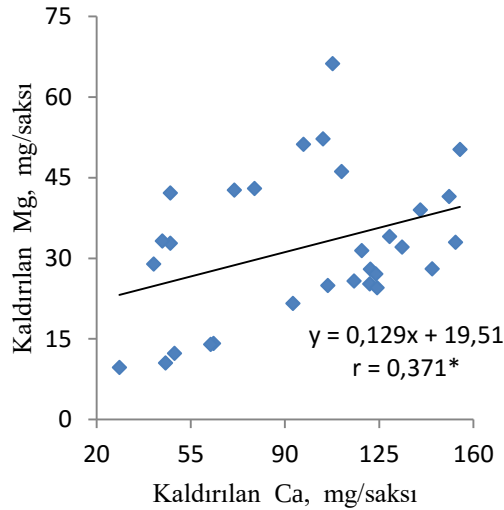
e)



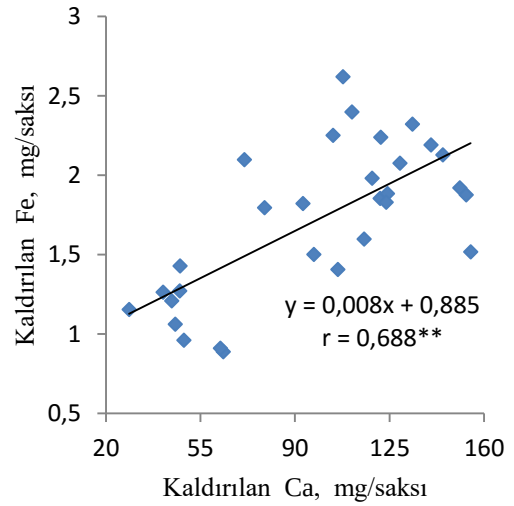
f)

Şekil 4.30. Yulaf bitkisinin kaldırılan K miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

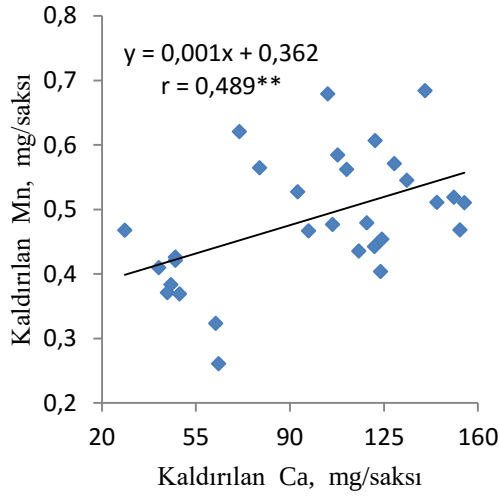
Yulaf bitkisinin kaldırılan kalsiyum miktarı ile kaldırılan Mg ve Cu miktarı arasında ($r=0,371^*$ ve $0,421^*$) önemli, Fe ve Mn arasında ($r=0,688^{**}$, $0,489^{**}$) çok önemli ilişkiler bulunmuştur. Ayrıca Zn arasında da önemli olmayan pozitif ilişki olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.31; sırasıyla a, b, c, d).



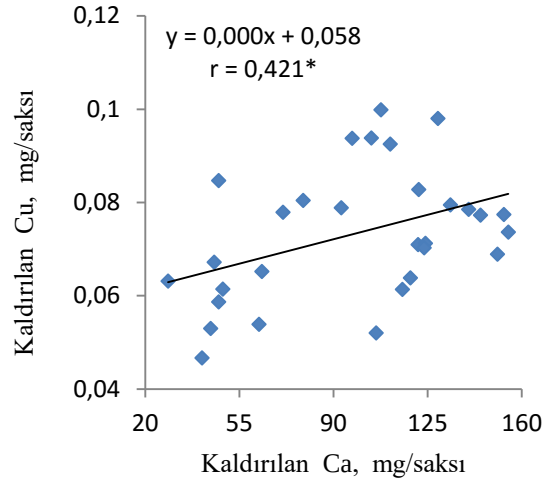
a)



b)



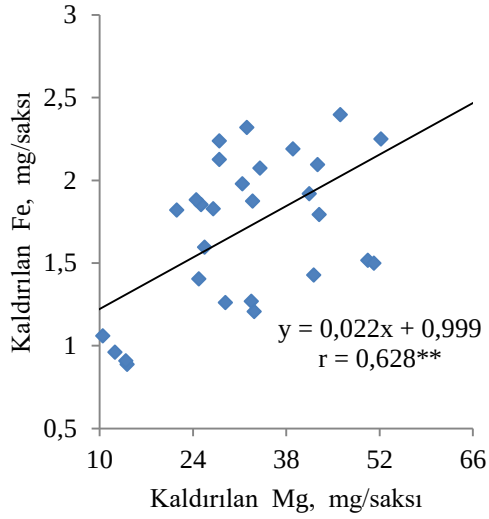
c)



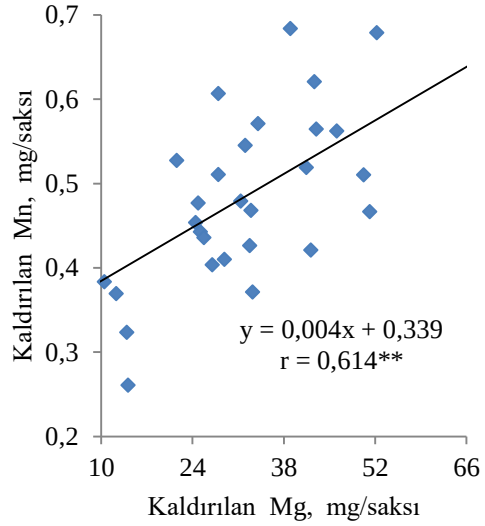
d)

Şekil 4.31. Yulaf bitkisinin kaldırılan Ca miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

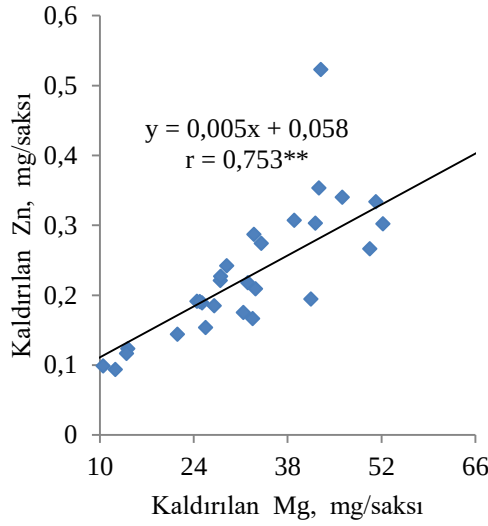
Yulaf bitkisinin kaldırılan magnezyum miktarı ile kaldırılan Fe, Mn, Zn Cu miktarı arasında ($r=0,628^{**}$, $0,614^{**}$, $0,753^{**}$ ve $0,609^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.32; sırasıyla a, b, c, d).



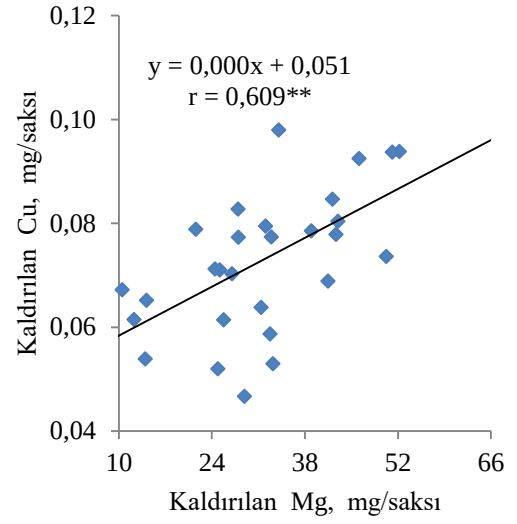
a)



b)



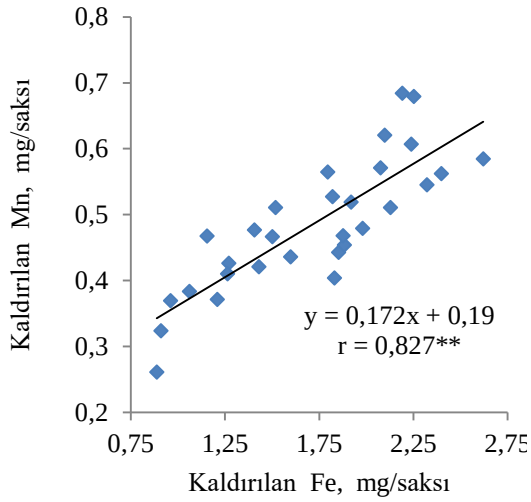
c)



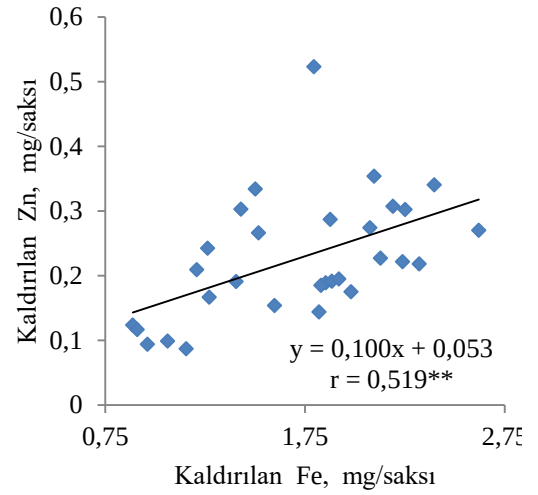
d)

Şekil 4.32. Yulaf bitkisinin kaldırılan Mg miktarı ile bazı kaldırılan besin element miktarı arasındaki ilişkiler

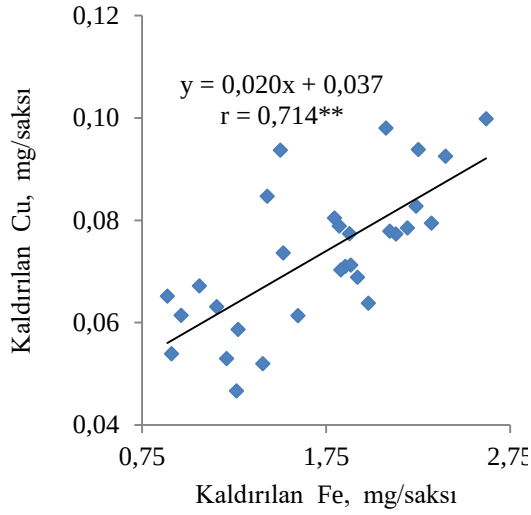
Yulaf bitkisinin kaldırılan demir ile kaldırılan Mn, Zn ve Cu miktarı arasında ($r=0,827^{**}$, $0,519^{**}$ ve $0,714^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.33; sırasıyla a, b, c).



a)



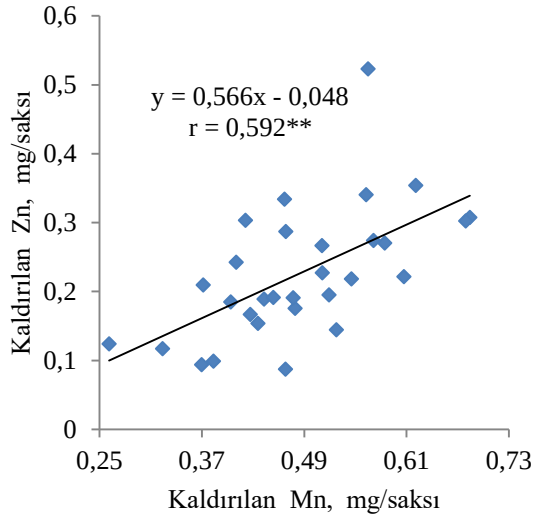
b)



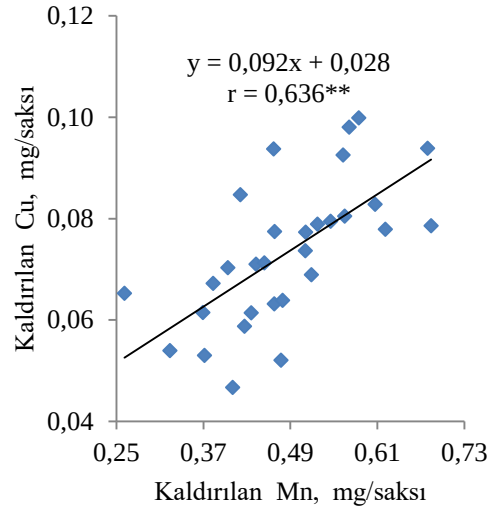
c)

Şekil 4.33. Yulaf bitkisinin kaldırılan Fe miktarı ile kaldırılan Mn, Zn ve Cu miktarı arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin kaldırılan mangan miktarı ile kaldırılan Zn ve Cu miktarı arasında ($r=0,592^{**}$ ve $0,636^{**}$) çok önemli pozitif ilişkiler bulunmuştur (Şekil 4.34; sırasıyla a ve b).



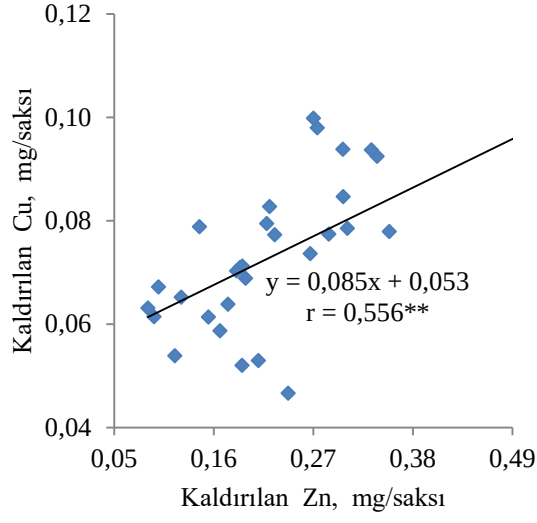
a)



b)

Şekil 4.34. Yulaf bitkisinin kaldırılan Mn miktarı ile kaldırılan Zn ve Cu miktarı arasındaki ilişkiler

Yulaf bitkisinin kaldırılan Zn ile Cu arasında ($r=0,556^{**}$) çok önemli pozitif ilişki bulunmuştur (Şekil 4.35; a).



Şekil 4.35. Yulaf bitkisinin kaldırılan Zn ile Cu miktarı arasındaki ilişki

5. SONUÇ

Yulaf bitkisine uygulanan farklı silisyum ve fosforlu gübrelemenin sap kuru madde miktarı üzerine etkisi ve interaksiyon ilişkisi istatistiki bakımdan önemli ($P<0.01$) bulunmuştur. En düşük sap kuru madde miktarı kontrol dozundan (P ve Si 0 ppm) elde edilirken (3,20 g), en yüksek kuru madde miktarı 100 ppm P ve 400 ppm Si (13,58 g) dozundan elde edilmiştir. Tüm Si dozlarında uygulanan fosfor KM miktarını 100 ppm P dozuna kadar artırmış, 250 ppm P dozunda ise azalma göstermiştir. Bu azalışın sebebi 250 ppm fosfor dozunun yulaf bitkinde toksik etki oluşturmamasından kaynaklanmıştır.

Benzer şekilde silisyum gübrelemesi tüm fosfor düzeylerinde sap kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. Bu artışlar 10 ppm P düzeyinde giderek azalan bir seyir izlerken, diğer P düzeylerinde inişli çıkışlı bir seyir arz etmiştir. Artışların 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında, sırasıyla 50, 100, 100, 100 ve 400 ppm Si dozlarından sağlandığı ve çoğunlukla 100 ppm Si dozunda gerçekleştiği bulunmuştur. Ayrıca fosforun toksik olduğu 250 ppm fosfor dozunda sap kuru madde miktarı artan silisyum dozlarına bağlı olarak arttığı ve bu artışın 200 ppm Si dozunda önemli olduğu bulunmuştur. Bir başka ifadeyle, düşük fosfor içeriğinde yetiştirilen yulaf bitkisine artan dozlarda uygulanan silisyum toprak fosforunun bitkiye olan yararlılığını artırdığı, aşırı fosfor düzeyinde uygulanan silisyumun yulaf bitkisinde P toksitesini azalttığı ve sap kuru madde miktarında artışa sebep olduğu bulunmuştur. Buna göre yulaf bitkisine fosforun toksik olduğu dozun altında 100 ppm Si önerilirken, fosforun toksik olduğu dozda 200 ppm Si önerilmiştir.

Genel ortalamalar da benzer şekilde silisyum gübrelemesi ile elde edilen sap kuru madde miktarının 7.06 ile 9.08 gr arasında değiştiği, ortalama 8.10 gr olduğu bulunmuştur. Fosfor gübrelemesiyle elde edilen yulaf bitkisinin kuru madde miktarı 3,60 ile 12.01 gr arasında değiştiği, ortalama 8.10 gr olduğu bulunmuştur. En yüksek KM miktarı 400 ppm Si dozundan elde edilirken, istatistiki bakımdan 200 ppm Si dozu önemli ($P<0.05$) bulunmuştur.

Silisyum dozlarına bağlı olarak artan dozlarda uygulanan fosforlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarları Si-0, 50, 100, 200 ve 400 dozlarında sırasıyla, % 94.67 (P-50), % 100 (P-10), % 100 (P-50), % 97.93 (P-25) ve % 100 (P-0) olduğu bulunmuştur. Fosfor dozlarına bağlı olarak artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme ile elde edilen nispi kuru madde miktarları ise P-0, 10, 25, 50,

100 ve 250 dozlarında sırasıyla, Si-400, 50, 400, 100, 400 ve 400 olmak üzere % 100 artış şeklinde olmuştur. Genel olarak toprağa uygulanan silisyumlu gübre dozu arttıkça, düşük fosfor dozlarında bile daha yüksek nispi kuru madde edilme eğilimi tespit edilmiştir. Ancak toprağa uygulanan fosfor dozu arttıkça silisyumun bu etkinin azaldığı belirlenmiştir. Nitekim 250 ppm P seviyesinde toprağa uygulanan 0, 50 ve 100 ppm silisyumun kontrole göre nispi kuru madde miktarını azalttığı, ancak 200 ppm Si dozunda arttığı, 400 ppm Si dozunda değiştirmedığı bulunmuştur.

Genel ortalama olarak farklı fosfor dozlarına bağlı olarak artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını % 78.50 ile 97.19 arasında değiştirmiştir. Ortalama nispi kuru madde miktarı % 88,36 olduğu, en yüksek nispi kuru madde değerinin 50 ppm P dozunda elde edildiği bulunmuştur. Ortalama nispi kuru madde miktarları silisyumun 100 ppm P dozuna kadar artış gösterdiği (0, 10, 25 ve 50 ppm), daha yüksek P dozlarında (100 ve 250 ppm P) ise azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca nispi kuru maddede sağlanan değişimin kontrole göre P-10, 25, 100 ve 250 dozlarında arttığı, en fazla artışın ise P-10 dozunda % 26,32 olduğu bulunmuştur. Benzer şekilde farklı silisyum dozlarında artan dozlarda uygulanan fosfor yulaf bitkisinin nispi kuru madde miktarını % 76.82 ile 99.08 arasında değiştirdiği, ortalama % 88.36 olduğu bulunmuştur. En yüksek nispi kuru madde miktarı 400 ppm Si dozundan elde edilmiştir.

Kontrole göre en yüksek nispi kuru madde miktarında sağlanan değişim tüm fosfor dozlarında birim artış şeklinde ifade edilmiştir. Buna göre P-0 dozunda 400 ppm Si (26.27 birim), P-10 dozunda 50 ppm Si (32.62 birim), P-25 dozunda 400 ppm Si (18.66 birim), P-50 dozunda 100 ppm Si (5.33 birim), P-100 dozunda 400 ppm Si (21.87 birim) ve P-250 dozunda 400 ppm Si (34,36 birim) ile ulaşılmıştır. Dolayısıyla farklı fosfor dozlarında artan dozlarda uygulanan silisyumlu gübreleme kuru madde miktarını kontrole (fosforsuz ve silisyumsuz) göre düşük ve yüksek fosfor dozlarında en yüksek silisyum dozuyla (400 ppm Si) sağlarken, yeterli P seviyesinde (50 ppm P) ise 100 ppm Si dozuyla sağladığı görülmektedir.

Bununla birlikte silisyumlu gübrelemeyle ortalama nispi kuru maddede kontrole göre sağlanan değişimin 50, 100, 200, ve 400 ppm Si dozlarında sırasıyla 9.28, 10.26, 15.92, ve 22.27 birim olduğu ve en yüksek artışın 400 ppm Si dozunda elde edildiği bulunmuştur. Ortalama artışın 14.43 birim ve ortalama silisyum dozunun 291.66 ppm olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre topraklarda 250 ppm P dozunda ortaya çıkan fosfor toksitenin 400 ppm Si ilavesi ile telafi

edilebileceği anlaşılmaktadır. Diğer yandan en fazla fazla bağıl artışın 27.13 birim ile 200 ppm Si dozunda olduğu ve topraklarda 250 ppm P dozunda ortaya çıkan fosfor toksitenin 200 ppm Si ilavesi ile telafi edilebileceği anlaşılmaktadır.

Farklı silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme ile kuru maddede sağlanan değişim yüzdesi genel ortalama olarak % 12,89-30.86 arasında değiştiği, ortalama % 19.91 olduğu bulunmuştur. Tüm silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin sap kuru madde miktarını kontrole göre önemli derecede ($P < 0.01$) artırmıştır. En yüksek artışın 400 ppm Si dozunda olduğu bulunmuştur. Aynı şekilde farklı fosfor dozunda uygulanan silisyumlu gübreleme ile kuru maddede elde edilen yüzde değişim (artış) miktarı % 3.32 ile 39.07 arasında, ortalama % 19.91 oranında olduğu bulunmuştur. Uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kuru madde miktarını kontrole göre 10, 25, 100 ve 250 ppm P dozlarında artırdığı 50 ppm P dozunda azalttığı bulunmuştur. En yüksek artışın 10 ppm P dozunda % 39,07 olduğu bulunmuştur. Kontrole göre en yüksek sap kuru maddesinde sağlanan artış 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında sırasıyla, 50, 100, 100, 100 ve 400 ppm Si dozlarında elde edilirken tüm Si dozlarında 100 ppm P dozu bulunmuştur.

Farklı silisyum düzeylerinde uygulanan fosfor gübrelemesi ile fosforsuz kontrole göre sap kuru maddesinde sağlanan değişim yüzdesi genel ortalamalara göre % 137.42 - 174.15 arasında olduğu ortalama 152.40 oranında bir artış sağlandığı bulunmuştur. Fosfor gübrelemesi ile % 95.77 - 234.80 arasında, ortalama % 152.40 oranında bir artış sağlanmıştır. Benzer şekilde en yüksek artışın 100 ppm P düzeyinde % 234.40 oranında ve 100 ppm Si düzeyinde % 174.15 olduğu bulunmuştur. Fosfor ve silisyumlu gübreleme ile elde edilen sonuçlara göre yulaf bitkisinin kuru madde miktarını arttırmak için ortalama olarak fosforun 100 ppm dozu tavsiye edilirken, silisyumun 150 ppm dozu tavsiye edilmiştir.

Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyum gübrelemesi ile fosforsuz kontrole göre en yüksek artışlar 0, 10, 25, 50, 100 ve 250 ppm P dozlarında sırasıyla 400, 50, 400, 100, 400 ve 400 ppm Si dozlarıyla sağlamıştır. Silisyum gübrelemesi tüm fosfor düzeylerinde sap kuru madde miktarını kontrole göre artırmıştır. Bu artışlar 0 - 50 ppm P dozlarında inişi çıkışlı bir seyir arz ederken, 100 ve 250 ppm P dozlarında sürekli bir artış göstermiştir. En yüksek artışlar 250 ppm P düzeyinde artan Si dozlarıyla sağlanmıştır. Farklı silisyum dozlarında uygulanan fosfor gübrelemesi ile fosforsuz kontrole göre kuru madde miktarında sağlanan değişim çoktan aza doğru

67.03, 58.61, 49.84, 42.79 ve 8.48 birim ile P-10, P-250, P-100, P-25 ve P-50 dozlarında olduğu tespit edilmiştir. Yani en yüksek artışların en düşük (10 ppm P) ve en yüksek fosfor dozlarında (100 ve 250 ppm P) olduğu, daha sonra orta seviyede fosfor dozunda (25 ppm P) olduğu ve en düşük artışın ise yeterli seviyede fosfor dozunda (50 ppm P) olduğu bulunmuştur.

Bu sonuçlar bize düşük ve orta fosfor düzeylerinde (sırasıyla 0, 10 ve 25 ppm P) toprağa uygulanan silisyumun toprak fosforunun yarayışlılığını artırdığı, yeterli fosfor düzeylerinde (50 ppm P) fazla etkilemediği, yüksek fosfor düzeylerinde (100 ve 250 ppm P) ise fosfor toksitesini azaltarak sap kuru madde miktarını artırdığını göstermektedir. Başka bir ifadeyle Si gübrelmesi sap kuru madde miktarında toprağın düşük ve yüksek P düzeylerinde yüksek oranda pozitif etki gösterirken, yeterli P düzeylerinde ise düşük oranda pozitif etki göstermektedir. Genel olarak düşük ve orta fosfor düzeylerinde sırasıyla 50 ve 400 ppm Si dozu, yeterli fosfor düzeylerinde 100 ppm Si dozu önerilirken yüksek fosfor düzeylerinde 400 ppm Si dozu önerilmiştir.

Yulaf bitkisinin azot içeriği % 1,6 ($P_{25}Si_{200}$) - 3,53 ($P_{50}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede etkilemiştir. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-250 dozu hariç tüm fosfor dozlarında kontrole göre artırmıştır. 250 ppm P dozu yulaf bitkisinin azot beslenmesini azalttığı tespit edilmiştir. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini % 2,29-3,08 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,69 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini P-10, 25 ve 250 dozunda azaltırken, P-50 ve 100 dozlarında artırmıştır. Artışlar kontrole göre önemli bulunmazken, azalışlar P-25 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini tüm Si dozlarında kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır. Ancak bu artışlar uygulanan farklı fosfor dozlarına göre değişmiştir. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini % 2,43-3,23 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,69 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin azot içeriğini kontrole göre artırmış ve Si-200 dozu önemli ($P<0,01$) bulunmuştur.

Yulaf bitkisinin fosfor içeriği % 0,03 (P_0Si_0) - 0,45 ($P_{250}Si_0$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin

fosfor içeriğini P-0, 10, 25, 50 ve 100 dozlarında kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede artırırken, P-250 dozunda kontrole göre önemli ($P<0,01$) derecede azaltmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini % 0,12-0,36 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,20 olduğu bulunmuştur. Yulaf bitkisinin fosfor içeriği kontrole göre tüm fosfor dozlarında artarak P-250 dozunda önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre tüm Si dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini % 0,17-0,24 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,20 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin fosfor içeriğini kontrole göre Si-200 ve 400 dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede artırmıştır.

Yulaf bitkisinin potasyum içeriği % 1,21 ($P_{10}Si_0$) –2,72 ($P_{25}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini P-100 hariç tüm fosfor dozlarında artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde fosforlu yulaf bitkisinin potasyum içeriğini % 1,72-2,53 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,14 olduğu bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini tüm silisyum dozlarında artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin potasyum içeriğini % 1,91-2,33 arasında değiştirdiği, ortalama % 2,14 olduğu bulunmuştur.

Yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği % 0,57 ($P_{250}Si_{50}$) –1,80 ($P_{25}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin kalsiyum içeriği üzerine etkisi değişken olmuştur. P-0 dozunda belirgin artış, diğer P dozlarında artışlar görülmekle birlikte bu artışların önemli olmadığı ancak genelde bir azalma olduğu bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini % 0,64-1,68 arasında değiştirdiği, ortalama % 1,29 olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini fosforun 100 ve 250 dozlarında azaltırken, diğer dozlarda artırmıştır. En yüksek Ca içeriği P-10 dozunda önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini fosfor dozlarına göre değişken bulunmuştur. Kalsiyum içeriği istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini

% 1,16-1,41 arasında değiştirdiği, ortalama % 1,29 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Ca içeriğini silisyumun 50 dozunda azaltırken, 100, 200 ve 400 dozlarında artırmıştır. En yüksek Ca içeriği Si-200 dozunda bulunmuştur.

Yulaf bitkisinin magnezyum içeriği % 0,29 ($P_{50}Si_{100}$) –0,51 ($P_{50}Si_{50}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin magnezyum içeriği üzerine etkisi nötr olmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini % 0,34-0,43 arasında değiştirdiği, ortalama % 0,40 olduğu bulunmuştur. Silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini tüm Si dozlarında artırmış ve fosforun 25, 50, 100 ve 250 dozları önemli bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini genelde artırmıştır. Ancak bu artışlar istatistikî bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosforlu gübreleme yulaf bitkisinin Mg içeriğini % 0,38-0,41 arasında değiştirdiği, ortalama içeriğin % 0,40 olduğu bulunmuştur. Mg içeriği kontrole göre Si-50, 100 ve 400 dozlarında azalırken, Si-200 dozunda değişmemiştir. En yüksek Mg içeriğinin S-0 ve 200 dozlarında olduğu bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre farklı Si dozlarında uygulanan fosforun yulaf bitkisinin sapında Mg içeriğini artırdığı tespit edilmiştir.

Yulaf bitkisinin demir içeriği 122,20 ppm ($P_{100}Si_{100}$) –360,80 (P_0Si_0) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Fe içeriğini kontrole göre önemli ($P<0,01$) düzeyde azalttığı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 157,13 – 282,77 ppm arasında değiştiği, ortalama 227,88 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği tüm P dozlarında azalırken, P-50, 100 ve 250 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek Fe içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında uygulanan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin Fe içeriğini kontrole göre önemli ($P<0,01$) düzeyde azalttığı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Fe içeriği 203,08 - 266,04 ppm arasında değiştiği, ortalama 227,88 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Fe içeriği tüm Si dozlarında azalmıştır. En yüksek Fe içeriği Si-400 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisinin mangan içeriği 38,10 ppm ($P_{250}Si_{400}$) –146,80 (P_0Si_0) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübrelemeyle yulaf bitkisinin Mn içeriği tüm P dozlarında azalmıştır. Bu azalışlar P-0, 10 ve 50 dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunurken, diğer P dozlarında istatistiki bakımdan

önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 49,40 – 103,20 ppm arasında değiştiği, ortalama 66,20 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği tüm P dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En düşük Mn içeriği P-250 dozunda elde edilmiştir. Kontrole göre Mn içeriği tüm Si dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En fazla azalma Si-400 dozunda edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında fosforlu gübrelemeyle yulaf bitkisinin Mn içeriği tüm silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede azalmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Mn içeriği 53,80 – 84,70 ppm arasında değiştiği, ortalama 66,20 ppm olduğu bulunmuştur.

Yulaf bitkisinin çinko içeriği 19,8 ppm ($P_{100}Si_{400}$) –49,60 ($P_{100}Si_{50}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Zn içeriğini artan silisyum dozlarına göre farklı düzeylerde etkilerken istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 26,77 – 29,92 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği P-100 dozunda artış gösterirken diğer P dozlarında azalmıştır. En fazla azalma Si-10 dozunda edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin Zn içeriği üzerine etkisi artan fosfor dozlarına göre farklı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Zn içeriği 25,24 – 35,10 ppm arasında değiştiği, ortalama 28,60 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Mn içeriği P-50 dozunda artış gösterirken diğer P dozlarında azalmıştır. En düşük Mn içeriği Si-100 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisinin bakır içeriği 6,33 ppm ($P_{100}Si_{100}$) –19,87 (P_0Si_{50}) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisinin Cu içeriğini silisyum dozlarına göre farklı düzeylerde etkilemiş ancak bu etki istatistiki bakımdan önemli bulunmamıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 7,19 – 17,18 ppm arasında değiştiği, ortalama 10,15 ppm olduğu bulunmuştur. Fosforlu gübreleme kontrole göre Cu içeriğini P-50 dozunda önemli ($P<0,05$) derecede azalmıştır. En fazla azalma P-100 dozunda elde edilmiştir. Genellikle Cu'nun fosforun 100 dozunda azaldığı tespit edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin Cu içeriği üzerine etkisi artan fosfor dozlarına göre farklı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı

olarak yulaf bitkisinin Cu içeriği 8,73 – 11,15 ppm arasında değiştiği, ortalama 10,15 ppm olduğu bulunmuştur. Kontrole göre Cu içeriği tüm Si dozlarında azalırken, Si-400 dozu önemli ($P<0,05$) bulunmuştur.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan azot 62,21 mg/saksı (P_0Si_{400}) –484,83 ($P_{100}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında uygulanan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan azot miktarını silisyum dozlarına göre farklı düzeylerde etkilemiştir. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N, 180,63 – 292,89 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 228,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm P dozlarında arttığı, Si-100, 200 ve 400 dozlarının önemli ($P<0,01$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, Si-400 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübrelemenin yulaf bitkisinin N içeriği üzerine etkisi fosfor dozlarına göre farklı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan N 103,90 – 381,83 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 228,36 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan N tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan N, tüm silisyum dozlarında olmak üzere P-100 dozunda bulunmuştur.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan fosfor 0,97 mg/saksı (P_0Si_0) –43,87 ($P_{100}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan fosfor miktarını P-250 dozu hariç tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan P miktarı 13,73 – 23,45 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 17,56 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P, tüm P dozlarında arttığı, Si-200 ve 400 dozlarının önemli ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan P, Si-400 dozunda bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan fosfor miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf tarafından kaldırılan P miktarı 4,41 – 30,60 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 17,56 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan P tüm P dozlarında arttığı, P-100 ve 250 dozlarının önemli ($P<0,05$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan P, P-250 dozunda bulunmuştur.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan potasyum 43,43 mg/saksı (P_0Si_0) –305,55 ($P_{100}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan potasyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 144,23 – 212,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 177,32 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, tüm Si dozlarında artarken, Si-100 ve 400 dozları önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan K, Si-400 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan potasyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan K miktarı 63,49 – 212,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 177,32 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan K, tüm Si dozları önemli ($P<0,05$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan K, P-250 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan kalsiyum 28,50 mg/saksı (P_0Si_0) –156,62 ($P_{25}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan kalsiyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı 83,13 – 114,02 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 99,61 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca tüm silisyum dozlarında artarken, silisyumun 200 dozu önemli ($P<0,01$) önemli bulunmuştur. En fazla kaldırılan Ca, Si-200 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan kalsiyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Ca miktarı, 49,75 – 136,43 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 99,61 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Ca, fosforun 10, 25 ve 50 dozlarında önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En fazla kaldırılan Ca, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan magnezyum 9,64 mg/saksı (P_0Si_0) –66,18 ($P_{100}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan magnezyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı 29,51 – 36,09 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 32,65 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg,

tüm Si dozlarında artarken, Si-200 ve 400 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan magnezyum miktarını tüm Si dozlarında artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mg miktarı, 12,10 – 50,85 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 32,65 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mg, tüm P dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En fazla kaldırılan Mg, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan demir 0,89 mg/saksı (P_0Si_{200}) –2,62 ($P_{100}Si_{400}$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan demir miktarını kontrol toprakta azaltırken diğer fosfor dozlarında genellikle artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı 1,62 – 1,80 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 1,74 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe, silisyum 100 ve 200 dozlarında azalırken, diğer Si dozlarında artmıştır. En düşük kaldırılan Fe, Si-100 dozunda bulunurken, en fazla kaldırılan Fe, Si-400 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tararından kaldırılan demir miktarını tüm silisyum dozlarında genellikle artırmıştır. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Fe miktarı, 0,99 – 2,12 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 1,74 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Fe, tüm silisyum dozlarında arttığı ve önemli ($P<0,01$) olduğu bulunmuştur. En fazla kaldırılan Fe, P-25 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan mangan 0,26 mg/saksı (P_0Si_{200}) –0,69 ($P_{50}Si_0$) arasında değişmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan mangan miktarını artan silisyum dozlarına bağlı olarak genellikle azalttığı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağlı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,44 – 0,54 mg/saksı arasında değiştiği, ortalama 0,49 mg/saksı olduğu bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn tüm silisyum dozlarında azalmıştır. En düşük kaldırılan Mn, Si-100 dozunda bulunmuştur. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan mangan miktarını artan fosfor dozlarına bağlı olarak artırdığı bulunmuştur. Genel ortalamaları değerlendirdiğimizde artan

fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Mn miktarı 0,36 – 0,59 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,49 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Mn, tüm silisyum dozlarında artarken, P-10, 25, 50 ve 100 dozları önemli ($P<0,01$) bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Mn, P-100 dozunda bulunmuştur.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko 0,09 mg/saksı (P_0Si_0) –0,52 ($P_{100}Si_{10}$) arasında değışmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyumlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko miktarını artan silisyum dozlarına bağı olarak artırdığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan çinkonun genellikle Si-50 dozunda olduğı bulunmuştur. Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,21 – 0,28 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,23 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn tüm silisyum dozlarında artarken, Si-50 dozundaki artışın önemli ($P<0,05$) olduğı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, Si-50 dozunda elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan çinko miktarını artan fosfor dozlarına bağı olarak artırdığı bulunmuştur. Genel ortalamaları değılendirdiğimizde artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Zn miktarı 0,10 – 0,34 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,23 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Zn, tüm silisyum dozlarında önemli ($P<0,01$) derecede arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Zn, P-100 dozunda elde edilmiştir.

Yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır 0,047 mg/saksı ($P_{250}Si_{50}$) –0,097 ($P_{25}Si_{50}$ ve $P_{100}Si_{400}$) arasında değışmiştir. Farklı fosfor dozlarında yapılan silisyum gübrelemesi yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır miktarını artan silisyum dozlarına bağı olarak artırdığı bulunmuştur. Genel ortalamalar bakımından artan silisyum dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı, 0,071 – 0,078 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,075 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu, silisyumun 100 dozunda azalırken, diğr silisyum dozlarında arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu, silisyumun 50, 200 ve 400 dozlarında elde edilmiştir. Farklı silisyum dozlarında yapılan fosforlu gübreleme yulaf bitkisi tarafından kaldırılan bakır miktarını artan fosfor dozlarına bağı olarak artırdığı bulunmuştur. Genel ortalamala bakımından artan fosfor dozlarına bağı olarak yulaf bitkisi tarafından kaldırılan Cu miktarı, 0,063 – 0,085 mg/saksı arasında değıştiğı, ortalama 0,075 mg/saksı olduğı bulunmuştur. Kontrole göre kaldırılan Cu,

tüm fosfor dozlarında arttığı, P-25, 50 ve 100 dozlarında önemli ($P<0,05$) derecede arttığı bulunmuştur. En yüksek kaldırılan Cu P-100 dozunda elde edilmiştir.

6. KAYNAKLAR

- Aal, A.M.K.A.A., Oraby, M.M.M. 2013. Using silicon for increasing the tolerance mango cv. Ewaise transplants to drought. *World Rur. Obs.*, 5(2):36-40.
- Adatia, M.H., Besford, R.T., 1986. The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. *Ann. Bot.*, 58:343-351.
- Aktaş, M., M, Ateş., 1998. *Bitkilerde beslenme bozuklukları, nedenleri ve tanınmaları*. Engin yayınevi, Ankara, 247 s.
- Aleshin, N.E., 1982. The content of silicon in DNA of rice. *Doklady VASHNIL* 6:6-7
- Anderson, D.L., 1991. Soil and leaf nutrient inter actions following applications of calcium silicate slag to sugarcane. *Fertil. Res.*, 30:9-18.
- Aziz, T., Gill, M.A., Rahmatullah, M.A., Maqsood, S., Mansoor, T. 2005. Differences in phosphorus absorption, transport and utilization by twenty rice (*Oryza saliva* L.) cultivars. *Pakistan J. Agric. Sci.*, 42: 8– 15.
- Bakker, N.Y.J., Hemminga, M.A., Van Solen, J., 1999. The relationship between silicon availability and growth and silicon concentration of the salt marsh lalophyte *Spartina Anglica*. *Plant Soil*, 215:19-27.
- Balasta, M.L.F.C., Perez, C.M. 1989. Effecets of silica level on some properties of *Oryza sativa* L. straw and hull. *Canadian Journal Botany*. 67:2356-2363.
- Bastisse, E.M., 1947. Recherches sur les conditions the oriques et pratiques permettant le maintien de l'assimilabilité de l'acide phosphorique dans les terres latéritiques. *Ann. Agron*, 16:463-475.
- Belanger, R.R., Bowen, P.A., Ehret, D.L., Menzies, J.G., 1995. Soluble silicon: Its role in crop and disease managment of greenhouse crops. *Plant Dis*. 79:329-336.
- Berthelsen, S., Noble, A.D., Gardise, A.C., 2001. Silicon research down under Past, Present and Future, p. 241-256.
- Birchall, J.D., Exley, C., Chappell, J.S., 1989. Acute toxicity of aluminum to fish eliminated in silicon-rich acid waters. *Nature* 338:146-148.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A recalibration of hidrometer method for making mechanical analysis of soils. *Agronomy Journal*, 43, 434-438.
- Bowen, J.E., 1972. Manganese-silicon interaction and its effect on growth of Sudan grass. *Plant Physiol*, 44:255-261.
- Bradbury, M., Ahmad, R., 1990. The effect of silicon on the growth of *Prosopis Juliflora* growing in saline soil. *Plant Soil*, 125:71-74.

- Brady, N.C., 1990. The Nature and properties of soils. 10th ed. Macmillian, New York.
- Cachorro, P., A, Ortiz., Cerda, A., 1994. Implications of calcium on the response of *Phaseolus vulgaris* L. to salinity. *Plant and Soil* 159: 205–212.
- Casey, W.H., Kinrade, S.D., Knight, C.T.G., Rains, D.W., And Epstein, E., 2003. Aqueous silicate complexes in wheat *Triticum aestivum* L. *Plant Cell Environ.*, 27:51–54.
- Cate, R.B., Nelson, R.A., 1971. A simple statistical procedure for partitioning soil test correlation data into two classes. *Soil Science Society of America Proceedings* 35: 658-660.
- Chen, C.H, Lewin J. 1969. Silicon as a nutrient element for *Equisetum arvense*. *Canadian Journal of Botany*, 47:125-131.
- Cheng, B.T., 1982. Some significant functions of silicon to higher plants. *J. Plant Nutr.*, 5:1345-1353.
- Cherepanov, K.A., Chernish, G.I., Dinelt, V.M., Suharev, J.I. 1994. The utilization of secondary material resources in metallurgy. Moscow: Metallurgy.
- Clark, R.B., Gourley, L.M., 1987. Leaf position and genotype differences for mineral element concentrations in sorghum grown on tropical acid soil. *J. Plant Nutr.*, 10: 921-935.
- Cocker, KM., Evans, DE., Hodson, MJ., 1998. The amelioration of aluminium toxicity by silicon in higher plants: solution chemistry or an *in planta* mechanism? *Physiol. Plant.*, 104, 608-614.
- Corrales, I., Poschenrieder, C., Barcelo, J., 1997. Influence of silicon pretreatment on aluminum toxicity in maize roots. *Plant and Soil* 190:203–209.
- Correa-Victoria, F.S., Datnoff, L.E., Winslow, M.D., Okada, K., Friesen, D.K., Sanz, J.I., Snyder, G.H., 1994. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered Savanna soils in Colombia. II. Diseases and grain quality. In: IX Int. Conference on Rice, Latin America, and Caribbean. Nat. Rice Res., Center Goiania, Brazil.
- Datnoff, L E., Rutherford, B.A., 2004. Effects of silicon on leaf spot and melting out in bermudagrass. *Golf Course Manage.* 5:89-92.
- Datnoff, L.E., 2005. Plant management network. Silicon in the life and performance of Turfgrass. Online. Applied Turfgrass Science doi:10.1094/ATS2005-0914-01-RV.
- Datnoff, L.E., Deren, C.W., Snyder, G.H., 1997. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. *Crop Prot.* 16:525-531.
- De Datta, S.K., 1981. Principles and practices of rice production. John Wiley & Sons. Inc. Newyork.

- Deren, C.W., 1997. Changes in nitrogen and phosphorus concentrations of silicon fertilized rice grown on organic soil. *J. Plant Nutr.*, 20:765-771.
- Deren, C.W., Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Martin, F.G. 1994. Silicon content, disease response and components of yield of rice genotypes grown on flooded organic histosols. *Crop Sci.* 34:733-737.
- Dobermann, A., Fairhurst, T.H., 2000. Rice:nutrient disorders & nutrient management. International Rice Research Institute. First edition, ISBN 981-04-2742-5, pp. 95-98.
- Dress, L.R., Wilding, L.P., Smeck, N.E., Senkayi, A.L., 1989. Silica in soils: quartz and disordered silica polymorphs. In: Eds. Dixon, J.B. and Weed, S.B. Minerals in Soil Environments. Soil Sci. Soc. Am., Madison, WI, p. 913- 974.
- Elawad, S.H., Gren, V.E., 1979. Silicon and the rice plant environment: A review of recent research. *Riv. Riso* 28:235-253.
- Elewad, S.H., Gasho, G.H., Sheet, J.J., 1982. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. *Agron. J.*, 74:481-484.
- Epstein, E., 1999. Silicon annual review. *Plant physiology Plant Mol Biol* 50:641-644.
- Epstein, E., 1994. The anomaly of silicon in plant biology. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 91: 11-17.
- Epstein, E., 2001. Silicon in plants: facts vs concepts. In Datnoff L.E., Snyder G.H., Korndorfer G.H. (eds) *Silicon in agriculture, studies in plant sciences*, vol:8, Elsevier, Amsterdam and New York, pp. 1-10
- Epstein, E., Bloom, A., 2005. Mineral nutrition of plants. Principles and Perspectives. 2nd ed. Sinauer Associates, Sunderland.
- Fauteux, F., Remus, B.W., Menzies, J.G., Belanger, R.R., 2005. Silicon and plant disease resistance against pathogenic fungi.
- Fisher, A.R., 1929. A preliminary note on the effects of sodium silicate in increasing the yield of barley. *J. Agric. Sci.* 19:132-139.
- Fox, R.L, J.A., Silva, O.R., Younge, D.L., Plucknett, Sherman, G.D., 1967. Soil and plant silicon and silicate response by sugar cane. *Soil Sci. Soc. Am.* 31:775-779.
- Foy, C.D., 1992. Soil chemical factors limiting plant root growth. *Advances in soil science*, 19:97-149.
- Frantz, J.M., S, Khandahar., S, Leisner., 2011. Silicon differentially influences copper toxicity response in silicon-accumulator and non-accumulator species. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 136:329-338.

- Fu, M.Y., Banik, R.L., 1995. Bamboo production systems and their management. In "Bamboo people and The Environment Proceedings of the 5. International Bamboo Workshop and the 4. International Bamboo Congress, Vbud, Bali, Indonesia, 19-22 June 1995, Vol 1: propagation and Management" Y. R.Rao C.B. Sastry Widjaja Eds), (I. Pp. 18-33. International Network For Bamboo and Ratton, New Delhi, India.
- Gali, H.U., Smith, C.C., 1992. Effect of silicon supply on growth, fertility and mineral composition of annual brome, *Bromus secalinus* L. (*Poaceae*), *Am. J. Bot.* 79:1259-1263.
- Galvez, L., Clark, R.B., Gourley, LM, Maranville., J.W. 1987. Silicon interaction whit Manganese and Aluminum toxicity In Sorghum. *J. Plant Nutr.*, 10: 1139-1147.
- Gartner, S., Le Faucher, L., Roinel, N., Paris-Pireyre, N., 1984. Preliminary studies on the element composition of xylem exudates from to wheat by electron probe analysis. *Scan. Elect. Microscop.* 1984 IV:1739-1744.
- Gartrell, J.W., 1981. Distribution and correctionof copper deficiency in crops and pastures. In: Copper in soils and plants. (Ed:Loneragan, J.F.) academic pres, pp. 313-350, Sydney, Australia.
- Gascho, G.J., Korndörfer, G.H., 1998. Availability of silicon from several sources determined.
- Gerami, M., Rameeh, V., 2012. Study of silicon and nitrogen effects on yield components and shoot ions nutrient composition in rice. *Agriculture (Poľnohospodárstvo)*, 58(3): 93-98.
- Ghanbari-Malidareh, A., 2011. Silicon application and nitrogen on yield and yield components in rice (*Oryza sativa* L.) in two irrigation systems. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 5(2): 88-95.
- Gonçalves, J.F., Becker, A.G., Cargnelutti, D., Tabaldi, L.A., Pereira, L.B., Battisti, V., Spanevello, R., Morch, V.M., Nicoloso, F.T., Schetinger, M.R.C. 2007. Cadmium toxicity causes oxidative stress and induces response to the antioxidant system in cucumber seedlings. *Braz. J. Plant Physiol.* 19:24-26.
- Gong, H., Chen, G., Chen, G., Wang, S., And Zhang, C., 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science.* 169:313–321.
- Günes, A., Kadioglu, Y.K., Pilbeam, D.J., Inal, A., Coban, S., Aksu, A., 2008. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and Nonessential Element Uptake determined by Polarized Energy Dispersive X-ray Fluorescence. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 39(13-14):1904-1927.
- Güzel, N., Gülüt, K.Y., İbrikçi, H., Ortaç, İ., 1992. *Toprakta bulunan mikro elementler ile diğer faydalı elementler ve bunların gübre ilişkileri.* Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları No:48, Adana.

- Hamayun, M., Sohn, E.Y., Khan, S.A., Shinwari, Z.K., Khan, A.L., Lee, I.J., 2010. Silicon alleviates the adverse effects of salinity and drought stress on growth and endogenous plant growth hormones of soybean (*Glycine max* L.). *Pak. J. Bot.*, 42(3): 1713-1722.
- Hattori, T., Lux, A., Tanimoto, E., Luxova, M., Sugimoto, Y., Inanaga, S., 2001. The effect of silicon on the growth of sorghum under drought. Proceedings of The 6th symposium of the International Society of Root Research, Nagoya, Japan, p.48–349.
- Heckman, J.R., Provance-Bowley, M., 2011. Silicon in soil fertility and crop production; Ten years of research. Northeast Branch Crops, Soils and Agronomy Meeting Abstracts. njaes.rutgers.edu/pubs/soilprofile/sp-v20.pdf. (Available at 2012).
- Hill, J., Robson, A.D., Loneragan, J.F., 1978. The effect of copper and nitrogen supply on the retranslocation of copper in four cultivars of wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 29:925-939.
- Ho, D.Y., Zhang, H.L., Zhang, X.P., 1980. The silicon supplying ability of some important paddy soils of South China In: Proceedings of the symposium on paddy soil. Nanning China pp. 19-24.
- Hodson, M.J., Sangster, A.G., 1986. Silica deposition in the influence bracts of wheat (*Triticum aestivum*). 1 Scanning electron microscopy and light microscopy. *Can. J. Botany* 66:829-837.
- Hodson, M.J., Sangster, A.G., 1989. Subcellular localization of mineral deposits in the roots of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Protoplasm* 151:19-32.
- Hodson, M.J., Sangster, A.G., 1990. Techniques for the microanalysis of higher plants with particular reference to silicon in cryofixed wheat tissues. *Scan. Microscop.* 4:407-418.
- Hodson, M.J., Sangster, A.G., 1993. The interaction between silicon and aluminum in *Sorghum Bicolor* (L.) Moench: Growth analysis and x-ray microanalysis. *Ann. Bot.* 72:389-400.
- Hodson, M.J., Evans, D.E., 1995. Aluminium/silicon interactions in higher plants. *J. Exp. Bot.* 46: 161–171.
- Hong, S., 1994. Multiple-year response of bamboo forest to fertilization. *Interciencia*, 19:394-398.
- Hooda, K.S., Srivastava, M.P., 1996. Role of silicon in the management of blast. *Indian Phytopathology*. 49:26-31.
- Horuz, A., Korkmaz, A., Karaman, M.R. 2013. *Çeltik Topraklarının Silisyumlu Gübrelemeye Tepkisi. Tarım Bilimleri Dergisi- Journal of Agricultural Sciences*, 19(4): 268-280

- Horuz, A., Korkmaz, A., 2014. *Çeltikte (Oryza sativa L.) tuz stresinin azaltılmasında silisyumlu gübrelemenin etkisi. Tarım Bilimleri Dergisi - Journal of Agricultural Sciences*, 20(3): 215-229.
- Hossain, M.T., Mori, R., Soga, K., Wakabayashi, K., Kamisaka, S., Fuji, S., Yamamoto, R., Hoson, T., 2002. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poaceae seedlings. *Journal of Plant Research*, 115:23-27.
- Hull, R.J., 2004. Beneficial nutrients of turfgrasses. *Turf Grass Trends in Golfdom*, 60:65-69
- Hou, L., Szwonek, E., Xing, S., 2006. Advances in silicon research of horticultural crops. pp. 5–17. In A. Dobrzanski, F. Adamicki, R. Kosson, J. Szwejd, K. Górecka, and B. Nowak (eds.) *Veg. Crops Res. Bull. No. 64*, Res. Inst. Veg. Crops, Skierniewice, Poland.
- Iannucci, A., Russo, M., Arena, L., Di Fonzo, N., Martiniello, P., 2002. Water deficit effects on osmotic adjustment and solute accumulation in leaves of annual clovers. *European Journal of Agronomy* 16: 111–122.
- Imaizumi, K., Yoshida, S., 1958. Edaphological studies on silicon supplying power of paddy soil. *Bull. Natl Inst. Agric. Sci. (Jpn) B*, 8:261-304.
- Inanaga, S., Higuchi, Y., Chışalcı, N., 2002. Effect of silicon application on reproductive growth of rice plant. *Soil Sci Plant Nutr.* 48(3):341-345.
- IRRI (International Rice Research Institute), 1965. The mineral nutrition of the rice plant. Proceedingd of a symposium at the international Rice Research Institute, February, 1964, The John Hopkins Press, Baltimore, Maryland, 494 p.
- IRRI (International Rice Research Institute), 1966. Annual report 1965, Los Bonos, Laguna, Philippines.
- Iwasaki, K., Matsumura, A., 1999. Effect of silicon on alleviation of manganese toxicity in pumpkin (*Cucurbita moschata* Duch cv. *Shintosa*). *Soil Sci. Plant Nutr.* (Jap. Soc.), 45(4):909–920.
- Iwasaki, K., Maier, P., Fecht, M., Horst, W.J., 2002. Effects of silicon on apoplastic manganese concentrations in leaves and their relation to manganese tolerance in cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). *Plant Soil*. 238:281–288.
- Jackson, M.L., 1962. Soil chemical analysis. Prentice-Hall, Inc. Ang. Cliffs, U.S.A.
- Jayabad, V., Chockalingam, S., 1990. Studies on drought management in sugarcane. *Cooperative Sugar*, 21:571-573.
- Jones, J.H., Handreck, K.A., 1965. Studies of silica in the oat plant. III-Uptake of silica from soils by the plant. *Plant and Soil*, 23: 79-96.

- Jones LHP, Handreck, K.A. 1967. Silica in soils, plants, and animals. *Advances in Agronomy*, 19: 107-149.
- Juo, A.S.R., Sanchez, A., 1985. Soil nutritional aspects with a view to charities upland rice environments in progress in upland Rice Research proceeding of the 1985 Jakarta Conference. The International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, p.185.
- Kacar, B., 2009. *Toprak analizleri. Nobel Yayınları* No:1387. S. 467, Ankara
- Kacar, B., İnal, A., 2008. *Bitki analizleri. Nobel Yayınları*, Fen Bilimleri 63, S.787-792, Ankara.
- Kacar, B., Katkat, A.V., 1999. *Gübreler ve gübreleme tekniği*. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı Yayın No:144, S.531.
- Kacar, B., Katkat, V., 2009. *Bitki besleme*. Nobel yayınları, 659 s., Ankara
- Karaman, M.R., Şahin, S., Çoban, S., Sert, T., 2006. Spatial variability of site specific P/Zn ratios on calcareous soil under the wheat plants (*Triticum aestivum*). *Asian Journal of Chemistry*, 18(3):1-8.
- Kaya, Z., Özbek, H., Gök, M., Kaptan, H., 1995. *Toprak Bilimi. Ç.Ü. Ziraat Fakültesi Yayınları*, 816 s., Adana.
- Khalid, R.A., Silva, J.A., Fox, R.L., 1978. Residual effects of calcium silicate in tropical soils. I. Fate of applied silicon during five years cropping. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42:89-94.
- Knight, H., Trewavas, A.J., Knight, M.R., 1997. Calcium signaling in *Arabidopsis thaliana* responding to drought and salinity. *Plant Journal* 12: 1067–1078.
- Korndorfer, G.H., Snyder, G.H., Ulloa, M., Powell, G., Datnoff, L.E., 2001. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. *J. Plant Nutr.* 24:1071-1084.
- Korndörfer, G.H., Lepsch, I., 2001. Effect of silicon on plant growth and crop yield. *Silicon in Agriculture*. Elsevier Science B.V.
- Lanning, F.C., Eleuterius, L.N., 1989. Silica deposition in some C3 and C4 species of grassiness, sedges and colposities in the USA. *Ann. Bot.* 395-410.
- Lee, D.B., Kwon, T.O., Park, K.H., 1990. Influence of nitrogen and silica on the yield and the lodging related traits of paddy rice. *Res. Rep. Rural Dev. Admmin. Soils Fertil.* 32(2):12-23.
- Lewin, C.J., Reimann. B.E., 1969. Silicon and plant growth. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 20:289–304.
- Li Y.Y., Liu, S.Q., Ji, J.H., Tong, Y.X., Liu, Y., Zhang, M.Y., 2011. Effect of silicon fertilizer on nutrition and yield of rice under the condition of iron and manganese

- stress. Proceedings of The 5th International Conference on Silicon in Agriculture, September, p. 107, Beijing, pp.13-18.
- Li, J., Leisner, S.M., J. Frantz. 2008. Alleviation of copper toxicity in *Arabidopsis thaliana* by silicon addition to hydroponic solutions. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133(5):670–677.
- Li, Q., MA, C., Li, H., Xiao, Y., Liu, X., 2005. Effects of soil available silicon on growth, development and physiological functions of soybean. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*. 15(1):73-6.
- Li., P, Song A, Li Z, Fan F, Liang Y (2012) Silicon ameliorates manganese toxicity by regulating manganese transport and antioxidant reactions in rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Soil* 354:404–419
- Liang, Y., Wong, J.W., Wei, L., 2005. Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil. *Chemosphere*, 58(4):475-483.
- Liang, Y.C., Ma, T.S., Li, F.J., Feng, Y.J., 1994. Silicon availability and response of rice and wheat to silicon in cacerous soils. *Soil Sci. Plant Anal.*, 25:2285-2297.
- Liang, Y.C., Shen, Z.G. 1994. Interaction of silicon and boron in oilseed rape plants. *J. Plant Nutr.* 17(2-3):415–425.
- Liang, Y., 1999. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil* 209(2):217–224.
- Lindsay, W.L. Norvell, W.A., 1978. Development of a DTPA soil test for Zn, Fe, Mn and Cu. *SSSAJ*. 42(3): 421-428.
- Lindsay, W.L., 1979. Chemical equilibria in soil. New York: Wiley, 1979.
- Loué, A., 1986. Les oligo-éléments en agriculture. Agri - Nathan International, 43 Rue du Chemin- Vert, 75011 Paris.
- Lux. A., Luxová, M., Abe, J., Morita, S., Inanaga, S., 2003. Silicification of bamboo (*Phyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. *Plant and Soil*, 255(1):85–91.
- Ma, J.F., K, Nishimra., E, Takahashi., 1989. Effect of silicon on the growth of rice plant at different growth stages. *Soil Science and Plant Nutrition*, 35:347-356.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 1989. Effect of silicic acid on phosphorus uptake by rice. *Plant Soil Sci. Plant Nutr.* 35:227-234.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 1990a. The effect of silicic acid on rice in a P-deficient soil. *Plant Soil*, 126:121-125.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 1990b. The effect of silicon on the growth and phosphorus uptake of rice. *Plant Soil*, 126:115-119.

- Ma, J.F., Takahashi, E., 1991a. Availability of rice straw Si to rice plants. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37:111-116.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 1991b. Effect of silicate on phosphate availability for rice in a P-deficient soil. *Plant Soil*, 133:151-155.
- Ma, J.F., Sasaki, M., Matsumoto, H., 1997. Al-induced inhibition of root elongation in corn. *Zea mays L.* are overcome by Si addition. *Plant Soil* 188:171-176.
- Ma, J.F., Miyake, Y., Takahashi, E., 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In *Silicon in Agriculture*, Edited by L.E. Datnoff, G.H. Snyder and G.H. Korndorfer. *Studies in Plant Science*, Amsterdam, Elsevier pp. 17-39.
- Ma, J.F., Miyake, Y., Takahashi, E., 2001. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: Datnoff, L., Korndorfer, G., Snyder, G. (Eds.), *Silicon in Agriculture*. *Elsevier Science Publishing*, New York, pp. 17-39.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. *Elsevier Science*, Amsterdam.
- Ma, J.F., Takahashi, E., 2002. Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan. *Elsevier Science*, Amsterdam.
- Ma, J.F., 2004. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses, *Soil Science and Plant Nutrition*, 50(1):11-18.
- Maksimović, J.D., M., Mojović, V., Maksimović, V., Römheld, M., Nikolic, 2012. Silicon ameliorates manganese toxicity in cucumber by decreasing hydroxyl radical accumulation in the leaf apoplast. *J. Exp. Bot.*, 63(7):2411-2420.
- Mali, M., Aery, N.C., 2008. Influence of silicon on growth, relative water contents and uptake of silicon, calcium and potassium in wheat grown in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition*, 31:11, 1867-1876.
- Marschner, H., 1996. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press INC San Diego, CA 92101.
- Marschner, H., H., Oberle, Cakmar, I., and V., Romheld, 1990. Plant nutrition-physiology and application. Kluwer Academic Dordrecht (M.L. Van Benschoten, ed.) pp: 241-249.
- Marschner, P., 2008. The role of rhizosphere microorganism in relation to P uptake by plants. In: *The Ecophysiology of Plant-Phosphorus Interactions* (Eds. P.J. White & J.P. Hammonds) pp. 165-176, Springer, Heidelberg.
- Matichenkov, V.V., 1990. Amorphous oxide of silicon in soddy podzolic soil and its influence on plants. Autoref. Diss. Cand., Moscow State University, Moscow,
- Matichenkov, V.V., Bocharnikova, E.A., Calvert, D.V., Snyder, G.H., 1999. Comparison study of soil silicon status in sandy soils of South Florida. *Proc. Soil Crop Sci. Florida* 59:132-137.

- Matichenkov, V.V., Bocharnikova, E.A., 2001. The relationship between silicon and soil physical and chemical properties. In: L.E. Datnoff, G.H. Snyder, H. Korndorfer, eds. *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: *Elsevier*, pp. 209–219.
- Matichenkov, V.V., Calvert, D.V., 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. *Journal American Society of Sugarcane Technologists*, Vol. 22.
- Matichenkov, V.V., A, Bocharnikova., 2008. New generation of silicon fertilizers. pp. 71. In Malcolm Keeping (ed.) *Silicon in Agriculture Conference South Africa 2008, 4th International Conference Abstracts*. University of Kwazulu-Natal, Wild Coast Sun, Port Edward, KwaZulu-Natal, South Africa.
- McKeague, J.A., Cline, M.G., 1963. Silica in soil solutions: II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances, *Can. J. Soil Sci.*, 43, 83–96.
- Mengel, K., Kirkby, E.A., 2001. *Principles of plant nutrition*, 5th edition. Kluwer Publishers, 849 pp.
- Mitani, N., Ma, J.F., Iwashita, T., 2005. Identification of the silicon form in xylem sap of rice (*Oryza sativa* L.). *Plant Cell Physiol.* 46(2):279-83.
- Miyake, Y., 1993. On the environmental condition and nitrogen source to appearance of silicon deficiency of the tomato plant. *Sci. Rep. of the faculty of Agriculture Okayama Univ., Japan* 81:27–35.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1983. Effect of silicon on the growth of solution cultured cucumber plant. *Jpn. Plant Nutr.* 29:71-83.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1985. Effect of silicon on the growth and of soybean plants in a solution culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 31:625-636. Tokyo.
- Miyake, Y., Takahashi, E., 1986. Effect of silicon on the growth and fruit production of strawberry plants in a solution culture. *Soil Sci. Plant Nutr.* 33:321-326. Tokyo.
- Mizuno, N., 1987. Effects of silicon on hull weight and ripening of rice plants. *J. Plant Nutr.* 10:2159.
- Munir, M., Carlos, ACC., Heilo, GF., Juliano, CC., (2003). Nitrogen and silicon fertilization of upland rice. *Science Agricola*, 60(4):1-10.
- Nable, R.O., Lance, R.C.M., Cartwright, B., 1990. Uptake of boron and silicon by barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. *Ann. Bot.* 66:83-90.
- Nagaoka, K., 1998. Study on interaction between P and Si in rice plants. Graduation Thesis, Kinki University

- Nishimura, K., Miyaki, Y., Takahashi, E., 1989. On silicon, aluminium, and zinc accumulators discriminated from 147 species of Angiospermae. Mem. Coll. Agric. Kyoto Univ. 133, 23–43.
- Nonaka, S., 1989. Bamboo shot. information of special product. Forestry Farm Fukova County in Japan.5, 92.
- Neumann, D., zur Nieden, U., 2001. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. *Phytochemistry*, 56, 685-692.
- Obihara, C.H., Russell, E.W., 1972. Specific adsorption of silicate and phosphate by soils. *Journal of Soil Science*, 23:105-117.
- Okamoto, Y., 1993. Effect of silicic acid absorbed from the surface of leaves on the growth of rice plants. *Proc. Crop. Soc. Jpn.* 32:61-65.
- Okuda, A., Takahashi, E., 1965. The role of silicon. Ch. 10 in The mineral nutrition of the rice plant (Proc. 1964 Symposium of the International Rice Research Institute, Philippine Islands). *Johns Hopkins Press, Baltimore*, pp. 123-146.
- Okuda, A., Takashi, E., 1962. Studies on the physiological role of silicon in crop plants. 8th Some specific behaviors of rice plants in silicic acid uptake. *J. Sci. Soil Manure, Japan*, 33:217-221,.
- Oliva, S.R., Mingorance, M.D., Leidi, E.O., 2011. Effects of silicon on copper toxicity in *Erica andevalensis* Cabezudo and Rivera: a potential species to remediate contaminated soils. *J. Envir. Monitor.*, 13(3):591-596.
- Owino-Gerroh, C., Gascho, G.J., 2004. Effect of silicon on low pH soil phosphorus sorption and on uptake and growth of maize. *Communications In Soil Science and Plant Analysis*, 35: 2369-2378.
- Park, C.S., 2001. Past and future advances in silicon research in the republic of Korea. In silicon in Agriculture. Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndorfer, G.H., Eds., *Elsevier: Amsterdam*, 359-371.
- Parvar, R.B., Hegde, B.A., 1979. Effect of silicon foliar application on growth, tillering and photosynthetic efficiency in *Oryza sativa* var. Satiya. *Indian J. Plant Physiol.* 21(1):12-16.
- Prabhu, A.S., Barbosa, M.P., Filippi, M.C., Datnoff, L.E., Snyder, G.H., 2001. Silicon from rice disease control perspective in Brazil. In: Datnoff, L. E.; Snyder, G.H., Korndorfer, G.H.. (Org.). *Silicon in Agriculture*. Amsterdam: , v. 8, p. 293-311.
- Prychid, C.J., Rudall, P.J., Gregory, M., 2004. Systematics and biology of silica bodies in monocotyledons. *Botanical Review* 69: 377–440.
- Raij, B., van; Camargo, O.A., 1973. Sílica solúvel em solos. *Bragantia*, 32: 223-236.
- Rains, D.W., Epstein, E., Zasoski, R.J., Aslam, M., 2006. Active silicon uptake by wheat. *Plant and Soil*. 280:223–228.

- Raven, J.A., 1983. The transport and function of silicon in plants. *Biological Reviews of Cambridge Philosophical Society*, 58: 179-207.
- Raven, J.A., 2003. Cycling silicon-the role of accumulation in plants. *New Phytol* 158: 419–430.
- Reed, R.C., Brady, S.R., Muday, G.K., 1998. Inhibition of auxin movement from the shoot into the root inhibits lateral root development in *Arabidopsis*. *Plant Physiol* 118:1369-1378.
- Reezi, S., Babalar, M., Kalantari, S., 2009. Silicon alleviates salt stress, decreases malondialdehyde content and affects petal color of salt stressed cut rose (*Rosa xhybrida* L.) “Hot Lady”. *Afric. J Biotech.*, 8(8):1502–1508.
- Ricmond, K.E., Sussman, M., 2003. Got silicon? The non-essential beneficial plant nutrient. *Curr Opin Plant Biol.* 6:268–272.
- Rodrigues, L.L., Daroub, S.H., Rice, R.W., Snyder, G.H., 2003. Comparison of three soil methods for estimating plant-available silicon. *Communications in soil science and plant analysis.* 34:2059-2071.
- Roy, A.C., Ali, M.Y., Fox, R.L., Silva, J.A. 1971. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Lataols. *Proc. Int. Symp. Fert. Eval. (New Delhi)* 1:757-765.
- Sağlam, T., 2006. *Toprak ve suyun kimyasal analiz yöntemleri*. Namık Kemal Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Yayın No:2, s. 184 Tekirdağ.
- Samuels, A.L., Glass, A.D.M., Ehret, D.L., Menzies, J.G., 1991. Distribution of silicon in cucumber leaves during infection by powdery mildew fungus (*Sphaerotheca fulginea*). *Can. J. Bot.* 69:140-146.
- Sangster, A.G., Hodson, M.H., 1986. Silica in higher plants. *Ciba Found Symposium.* 121:90-111.
- Sauer, D., Sacconel, L., Couley, D.J., Herrman, L., and Sommer, M., 2006. Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments. *Biogeochemistry* 80:89-108.
- Savant, N.K., Snyder, G.H., Datnoff, L.E., 1997a. Silicon management and sustainable rice production. Pages 151-199 in *Advances in Agronomy*, vol. 58. D.L. Sparks ed. Academic Press, San Diego, CA.
- Savant, N. K., Datnoff, L. E., Snyder, G. H. 1997b. Depletion of plant-available silicon in soils: A possible cause of declining rice yields. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 28:1245-1252.
- Schindler, P.W., B. Furst., R. Dick., P.O. Wolf., 1976. Ligand properties of surface silanol groups. I. Surface complex formation with Fe³, Cu², Cd², and Pb². *J. Colloid Interface Sci.* 55:469–475.

- Scheidt, D., Stober, J., Jones, R., Thornton, K. 2000. South Florida Ecosystem Assessment: Everglades Water Management, Soil Loss, Eutrophication and Habitat. Report No. 904-R-00-003, United States Environmental Protection Agency, West Palm Beach, Florida.
- Shaul, O., 2002. Magnesium transport and function in plants: the tip of the iceberg. *Plant. BioMetals* 15: 309-323,
- Shi, Q., Bao, Z., Zhu, Z., He, Y., Qian, Q., Yu, J., 2005. Silicon-mediated alleviation of Mn toxicity in *Cucumis sativus* in relation to activities of superoxide dismutase and ascorbate peroxidase. *Phytochemistry*, 66: 1551–1559.
- Singh, K., Ragavendra, Singh., J.P, Yogeshwar, S., Singh, K.K., 2006. Effect of level and time of Silicon application on growth, yield and its uptake by rice (*Oryza sativa*). *Indian Journal of Agricultural Science* 76: 410-413.
- Singh, K.K., Singh, K., Singhl, R.S., Singh, R., Chandel, R.S. 2005. Silicon Nutrition In Rice - A Review. *Agric. Rev.* 26 (3) : 223 – 228.
- Soil Survey Laboratory, 1992. Procedures for collecting soil samples and methods of analysis for soil survey. Soil Surv. Invest. Rep. I. U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C. USA.
- Soldos, F.Z., Vashegyi, A., Pecsvaradi, A., Bona, L., 2003. Influence of silicon on aluminum toxicity in common and durum wheats. *Agronomie*. 23:349–354.
- Takahashi, E., 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. *Japan J. Soil Sci. Plant Nutr.* 49:357–360.
- Takahashi, E., Hno, K., 1978. Effect of different Si form on silicic acid uptake. *J. Sci. Soil. Manure Japan*, 33:453-455.
- Takahashi, E., Ma, J.F., Miyake, Y., 1990. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. *Comments Agric. Food Chem.* 2:99-122.
- Takahashi, E., Miyake, Y., 1977. Silica Plant growth. *Proceeding of the International Seminar on Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture*, Tokyo, Japan. p.603-611.
- Tamai K, Ma, J.F., 2003. Characterization of silicon uptake by rice roots. *New Phytol* 158: 431–436.
- Tanaka, A., Yoshida, S., 1970. Nutritional disorders of the rice plant in Asia. *IRRI Technical Bull.* 10. IRRI Manila. Phillipines.
- Taranovskaia, V.G., 1939. The silicication of subtropic greenhouse and plantations. *Sov. Subtropics* 7:32–37.
- Theodorou, M.E., Plaxton, W.C., 1993. Metabolic adaptations of plant respiration to nutritional phosphate deprivation. *Plant Physiol*, 101:339-344.

- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, G.C., 1985. Soil fertility and fertilizers, Macmillan, New York.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L., Beaton, J.D., Havlin, J.L., 1993. Soil fertility and fertilizers. 5th edition. Macmillan Publishing Co., NY. 634 p.
- Trenholm, L.E., Datnoff, L.E., Nagata, R.T., 2004. Influence of silicon on drought and shade tolerance of St. Augustinegrass. *Hort Technology*14:487-490.
- Turan, M., Horuz, A., 2012. *Bitki besleme kitabı. Bölüm 3. Bitki Beslemenin temel İlkeleri.* (Ed:Karaman, M.R.) s. 123-347, Pelin-Ofset Matbaacılık, Ankara.
- Vlamis, J., Williams D.I., 1967. Manganese and silicon interaction in the *Poaceae*. *Plant Soil*. 27:131-140.
- Voogt, W., Sonneveld, C., 2001. Silicon in agriculture. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture (Chapter 6). *Plant Science*, 8: 115-131.
- Vorm, P.D, J, Vander., 1980. Uptake of si by five plant species as influenced Wby variations in Si- supply. *Plant And Soil* 56:153-156.
- Voronkov, M.G., G.I. Zelchan, A.Y. 1978. Lykevic Silicon and Lie. Riga: Zinatne, Wallence, A., 1989. Relationship among nitrogen, silicon, and heavy metal uptake by plants. *Soil Sci*. 147:457-460.
- Wang, J., Liao, Z., Shaman, L.M., 1994: Interaction of silicon, iron, and manganese in rice (*Oryza sativa* L.) rhizosphere at low ph in relation to rice growth. *J. Plant Nutr*. 17, 775–785.
- Wang, S., Zhu, Y., Jiang, H., Cao, W., 2005. Positional differences in nitrogen and sugar concentration of upper leave relate to plant nitrogen status in rice under different nitrogen rated. In *Field Crops Research*, vol. 96, 2005, no. 2–3, pp. 224–234.
- Wattanapayapakul, W., Polthanee, A., Siri, B., Bhadalung, N., Promkhambut, A., (2011). Effects of silicon in suppressing blast disease and increasing grain yield of organic rice in Northeast Thailand. *Asian Journal of Plant Pathology*, 5: 134-145.
- Werner, D., Roth, R., 1983. Silica metabolism In: Eds. Lauchli, A., and Bieleski, R.L. *Inorganic Plant Nutrition*, Vol.15B. In: Eds. Pirson, A. and Immermann, M.H. *Encyclopedia of plant Physiology New Series. Springer Verlag*, New York. p. 682-694.
- Williams, LE., Pittman, JK., Hall, JL., 2000. Emerging mechanisms for heavy metal transport in plants. *Biochim Biophys Acta* 1465, pp. 104-126.
- Winslow, M.D., Okada, K., Correa-Victoria, F., 1997. Silicon deficiency and the adaptation of rice ecotypes. *Plant and Soil*. 188:239-248.

- Yoshida, S., 1981. Fundamentals of rice crop science. Los Banos, Laguna Philippines : International Rice Research Institute (IRRI). p. 291.
- Yoshida, S., 1975. The physiology of silicon in rice. Technical bulletin, no. 25, Food and Fertilizer Technology Center, Taipei, Taiwan.
- Yurtsever, N., 1984. *Deneyisel istatistik metodları. ve gübre. Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Yayınları, Teknik Yayın No: 56*, Ankara.
- Zhou, Q., Wang, J. 2003. Comparison of upper leaf and lower leaf of rice plants in response to supplemental nitrogen levels. *In Journal of Plant Nutrition*, vol. 26, 2003, no. 3, pp. 607–617.

7. ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyadı: Rıfat BAKIR

Doğum Yeri ve Tarihi: Rize – 12.03.1980

E-Posta: rifatbakir@gmail.com

Ön Lisans: Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik / Elektronik ön lisans bölümü
(1999-2001)

Lisans: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bölümü (2002-2006)