

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet Remzi KAYMAK

KÜKÜRT'ÜN TOPRAK VE BİTKİ BESLEME YÖNÜNDEN ÖNEMİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

ADANA, 2011

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KÜKÜRT'ÜN TOPRAK VE BİTKİ BESLEME YÖNÜNDEN ÖNEMİ

Mehmet Remzi KAYMAK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI

Bu Tez / /2011 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Yrd. Doç.Dr.Kemal Y. GÜLÜT
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. Zülküf KAYA
ÜYE

.....
Prof. Dr. Hasan GÜLCAN
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Toprak Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

Prof. Dr. İlhami YEĞİNGİL
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜKÜRT'ÜN TOPRAK VE BİTKİ BESLEME YÖNÜNDEN ÖNEMİ

Mehmet Remzi KAYMAK

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TOPRAK BİLİMİ VE BİTKİ BESLEME ANABİLİM DALI**

Danışman : Yrd. Doç Dr. Kemal Yalçın GÜLÜT

Yıl: 2011, Sayfa:69

Jüri : Yrd. Doç Dr. Kemal Yalçın GÜLÜT

: Prof. Dr. Zülküf KAYA

: Prof. Dr. Hasan GÜLCAN

Son yıllarda kükürt (S) yetersizliği dünyanın pek çok bölgesinde bitkisel üretimi sınırlayıcı faktör olarak tanımlanmaktadır. Kükürt eksikliğinde ürün miktarı ve kalitesinde düşüşler olduğu belirlenmiştir. Bu sebepten dolayı topraktaki ve bitkideki S'ün kesin olarak tanımlanıp fonksiyonlarının belirlenmesine ihtiyaç vardır.

Kükürt'ün bitkilerde, sistein ve methionin gibi amino asitlerin temel yapı taşı olarak ürün kalitesi üzerinde ve ayrıca ağır metal toksitesi ve tuzluluk toleransı ile ilgili biyolojik proseslerde de önemli rol oynadığı son yıllarda yapılan çalışmalarda bildirilmektedir.

Kükürt toprakta organik formda karbona bağlı ve sülfat esterleri olarak ayrıca bitkilerin direk kullanabildikleri sülfat (SO_4^{2-}) formunda bulunur. Organik S bileşikleri bitkinin hemen kullanımına uygun olmamasına rağmen mineralizasyon yolu ile bitkiye S sağlamada potansiyel olarak bulunurlar. Ayrıca atmosferdeki SO_2 de bitkilerin ihtiyacını karşılayabilecekleri bir S kaynağıdır. Fakat son yıllarda atmosfere SO_2 salınımı artmakla birlikte yeterli S gübre uygulaması yapılmadığından tarımsal üretimde S noksanlığından kaynaklanan kayıplar yaşanmaktadır. İyi bir ürün kalitesi ve yüksek verim elde etmek için bitkinin ihtiyacına uygun miktarda ve formda S gübrelemesi yapılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toprak, bitki, kükürt, kükürt eksikliği

ABSTRACT

MSc THESIS

THE IMPORTANCE OF SULFUR FOR SOIL AND PLANT NUTRITION

Mehmet Remzi KAYMAK

**CUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE**

Supervisor : Asst. Prof. Dr. Kemal Yalçın GÜLÜT
Year: 2011, Pages:69

Jury : Asst. Prof. Dr. Kemal Yalçın GÜLÜT
: Prof. Dr. Zülküf KAYA
: Prof. Dr. Hasan GÜLCAN

In recent years , S deficiency has been described as a limiting factor for crop production in most regions of the world. It has been determined, that S deficiency decreases quality and yield of plant tissue and its functions must be investigated more,

It has been reported in recent researches that S plays an important role in yield quality as a main element of amino acids cysteine and methionine and furthermore in biological processes regarding heavy metal toxicity and salt tolerance

Sulfur exists in the soil carbon bounded organic forms and as sulfate esters which can be easily taken up by plants after releasing despite the unavailability of organic S compounds for plants, the build a potential for providing plants with S. Furthermore atmospheric S as SO₂ is also a source for plants. But in recent years agricultural application of S containing fertilizers. For obtaining high yield and quality more attention has to be given to S fertilization.

Key Words: Soil, Plant, sulphur, sulphur deficiency

TEŞEKKÜR

Öncelikle yüksek lisans tez çalışmalarında beni yönlendiren değerli yardımlarını zamanını esirgemeyen bana her konuda her zaman destek olan danışman hocam Sayın Yrd.Doç.Dr.Kemal Y. GÜLÜT'e çok teşekkür ederim.

Jüri üyesi değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Zülküf KAYA ' a ve Sayın Doç. Dr. M.Bület TORUN'a Sayın Doç Dr Ayfer ALKAN TORUN'a tezime yaptıkları yapıcı eleştirilerden dolayı teşekkür ederim. Toprak Bölümü de Ziraat Yük. Müh Ünzile Söğüt arkadaşşıma yüksek lisans eğitimime katkı sağlayan tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Bana çalışma ortamı hazırlayan, çalışmam boyunca maddi manevi destekleriyle yanımda olan aileme, özellikle babam Mehmet KAYMAK'a annem Asiye KAYMAK'a kardeşim Sebiha KAYMAK ya teşekkür ederim.

Eşim Zeynep KAYMAK' a da bana vermiş olduğu desteklerden dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
İÇİNDEKİLER.....	IV
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VI
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	VIII
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
2.1. Toprakta Kükürt ve Kükürt Formları.....	5
2.1.1. İnorganik Toprak Kükürdü ve SO_4^{-2} Adsorbsiyonu.....	7
2.1.2. Toprakta Organik Kükürt.....	10
2.1.3. Kükürt Mineralizasyonu ve İmmobilizasyonu	13
2.1.4. Biomas Kükürtü.....	19
2.1.5. Kükürtte Yıkanma Kayıpları	20
2.2. Bitkide Kükürt.....	21
2.2.1. Kükürt Alımı ve Taşınması	22
2.2.2. Sülfat Sentezlenmesi ve İndirgenmesi	23
2.2.3. Ürün Oluşumu ve Kalitesi.....	26
2.3. Kükürt Uygulamaları ile İlgili Araştırma Sonuçları	31
3. MATERYAL METOD.....	41
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	43
5. KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ.....	69

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 2.1. Fe ve Al hidro oksitlerde SO_4^{-2} adsorbsiyonu.....	9
Şekil 2.2: Sülfat esterleri.....	11
Şekil 2.3: C-bağlı S'ün mineralizasyonu.....	14
Şekil 2.4. Sülfat indirgenmesi reaksiyonu.....	25

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

S	: Kükürt
N	: Azot
P	: Fosfor
C	: Karbon
Fe	: Demir
Zn	: Çinko
Se	: Selenyum
Mo	: Molibden
Cd	: Kadminyum
pH	: Asitlik-Alkalilik Faktörü
-SH	: Sülfidril Grubu
Co-A	: Koenzim-A
APS	: Adenozine-fosfosülfat
PAPS	: Adenozin 3-fosfo-5 fosfosülfat
Kg	: Kilogram
%	: Yüzde
GLS	: Glucosinolate
Met	: Methionine
GSH	: Glutathione
NA	: Nikotin amid
PC	: Phitokhelatin
Cys	: Sistein

1. GİRİŞ

Yer kabuğu yaklaşık olarak % 0,06 oranında kükürt(S) içermektedir. Ilıman bölgelerin topraklarının toplam kükürt içeriği % 0,005-0,04 arasında değişmektedir. Yağışlı bölgelerdeki tarım topraklarının toplam S içerikleri % 0,01-0,15 arasında değişir (*Simon-Sylvestra, 1969; Tisdale ve ark., 1972; Kacar ve Katkat 1998*).

Topraklarda kükürt, azota benzer bir döngü içerisinde bulunur. Döngü atmosferle sürekli bir etkileşim içindedir. Toprak ile atmosfer arasında sürekli bir kükürt alışverişi mevcuttur. Toprağa kimyasal gübrelerden, ahır gübresinden, bitki ve hayvan atıklarından, toprak düzenleyicilerden, pestisitlerden ve yağışlardan kükürt girişi olmaktadır. Topraktan kükürdün yitmesi ise erozyon, yıkanma, bitkiler tarafından kullanılma ve gaz halinde kayıp (H_2S) yolu ile olmaktadır. Çeşitli yollar ile toprağa karışan kükürt bir seri tepkimelerle dönüşüme uğramaktadır.

Yağışlarla toprağa karışan SO_2 ve kimyasal gübrelerle verilen polisüfitler, tiyosülfatlar ve bisüfitler yükseltgenerek sülfatlara (SO_4^{2-}) dönüşür. Bitkiler toprak çözeltisinde koloidal yüzeylerle denge içinde bulunan sülfatlardan kökleri ile yararlanırken, yarayışlı kükürt formu olan sülfatlar bir yandan da organik kükürt bileşiklerine indirgenir. Toprak yapısında yer alan kükürt içeren mineraller süfitlere dönüşürken indirgenme ve yükseltgenme tepkimeleri ile süfit ve sülfatlar da birbirlerine dönüşürler.

Tüm canlı organizmaların temel besin ihtiyacı olan kükürde bitkilerin ihtiyacı fosfor gereksinimi ile kıyaslanabilir. S bitkileri gelişimi ve büyümesi için önemli bir besin elementidir. S yetersizliğinde ürün miktarı ve kalitesi düşmektedir (*Scott ve ark.,1984; McGrath ve Zhao 1996*). Kükürt ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyen glutation gibi bileşiklerin sentezlenmesinde önemli bir role sahiptir. (Zhao ve ark. 1999a.)

Buğdayda S noksanlığı, buğdayın tanesindeki protein ve amino asitlerin konsantrasyonunu azaltmasının yanı sıra buğday ununun ekmek yapılabilme özelliğini bozmaktadır. Buğdayın ekmek yapım kalitesi üzerine kükürdün etkisini gösteren bir çok çalışma vardır.(*Haneklaus ve Schnug, 1992*)

Yeteri kadar kükürdün alınamaması durumunda kök hidrolik geçirgenliği, stoma açıklıkları ve net fotosentez azalmaktadır. Yapraklarda küçülme ve özellikle yaprak hücreleri sayısındaki azalmadan dolayı S noksanlığı görülen bitkilerin yaprak alanları küçülür ve kloroplast sayıları azalır.

Bitkilerde kükürt noksanlığında görülen ve proteinlere bağlı olmayan azot birikiminin (amid ve nitratlar) nedeni olarak nitrat indirgenmesinde önemli rol oynayan, nitrat redüktaz enziminin kükürt noksanlığında işlevini gerçekleştirememesi gösterilmektedir.

Kükürt bitkide klorofil sentezi ve ferredoksinin yapısında da önemli rol oynamaktadır (*Marschener, 1995; Mengel ve Kirkby, 2001*). Ferredoksinler fotosentezin ışık ve karanlık tepkimelerine ek olarak nitrit ve sülfatın indirgenmesinde önemli ölçüde etkilendiği gibi, toprakta atmosfer azotunu fikse eden bakterilerin faaliyetlerine de etkilidir. Klorofilin yapısında yer almamasına rağmen sentezinde etkilidir (*Tisdale ve ark., 1985*).

Yağlık bitkilerde yağın oluşumunda kükürt temel bir elementtir. Bundan dolayı bitkilerin yağ içerikleri ile kükürt içerikleri arasında doğrusal bir ilişki vardır. Soya fasulyesi hardal ve yer fıstığı gibi yağ bitkilerinde yağ oluşumu üzerine kükürdün önemli bir etkisinin olduğu da uzun zamandır bilinmektedir.

Demir-Kükürt (Fe-S) bileşikleri her yerde bulunan prostetik gruplardır ki bunlar sağlıklı bir yaşam döngüsünün devamı için gereklidir. Bitki hücreleri fotosentez ve terleme yapabilmek için önemli miktarda Fe-S proteinlerine ihtiyaç duyarlar. Fe-S bileşikleri fotosentez, terleme ve N fiksasyonunu içeren temel yaşam aşamalarının merkezindedir, kimyasal yönden basit fakat çok yönlü özellikteki protein prostetik gruplarıdır (*Balk¹ ve Lobreoux², 2005*).

Kükürt , proteinin yapısını inşa eder ve klorofilin formasyonunda anahtar rol oynar (*Duke ve Reisenauer, 1986*). S yetersizliğinde tahıllar maksimum ürün potansiyeline ve iyi bir protein içeriğine ulaşamazlar (*Zhao ve ark., 1999*). kükürdün bitki gelişimi ve büyümesindeki temel rolüne rağmen özellikle buğday gibi tahılların üretiminde S noksanlığı tanımlanmamıştır (*Withers ve ark., 1995*). Bu genel inanış tahılların kükürt ihtiyacını organik maddeden, S'li bileşiklerden ve S depolarından karşılayabildiği düşüncesinden gelmekte idi. Yağmurlarla ortalama 10-120 kg ha⁻¹

Sülfat-S toprağa karışmaktadır ki bu miktar buğdayın ihtiyaç duyduğu 15-20 kg ha⁻¹ Sülfat-S ihtiyacından çok az düşüktür (*Zhao ve ark.,1999*).

Kalkerli ve asidik kahverengi topraklarda tütün ve kolza bitkileri ile kurulan saksı denemelerinde, her iki bitki türünün S alım oranı kalkerli topraklarda asidik kahverengi toprakların tersine çok daha önemli bulunmuştur. Ayrıca sürgün ve sürgün biyomasındaki S miktarı arasında deneysel bir ilişki tanımlanmıştır. Bu ilişki literatürlerdeki N (azot) ile ilgili bilgilerle benzerlik göstermektedir (*Phuy-Chhoy Vong**, *Cristophe Nguyen, Armand Guckert., 2007*),

Yetersiz kükürt beslenmesinde protein sentezi ve amino asitlerin yapısında bulunan ve S içeren methionin ve sistein gibi amino asitlerin faaliyetlerinin düşüşünün bir sonucu olarak bitkisel verim ve kalitesi düşmektedir. S'ün bitkilerdeki önemine rağmen uzun yıllar boyunca çok fazla çalışma yapılmamıştır. Bunun önemli sebeplerinden biri atmosferdeki S miktarı, gübrelerden ve pestisitlerden toprağa sağlanan kükürttür. Son yıllarda yapılan yoğun tarımsal faaliyetler birim alanda en yüksek ürün miktarını elde etme çabaları toprağa yeterli S'lü gübre girişinin olmaması S içeriği düşük pestisitlerin kullanılması, topraktaki hayvansal ve organik gübrelerin yetersizliği sonucu S tarımsal faaliyetlerde verimi ve ürün kalitesini etkileyen kısıtlayıcı faktör olarak karşımıza çıkmaya başlamıştır.1996 yılında Avrupa Ekonomik Komisyon Protokolünde yer alan endüstriyel alanlarda SO₂ emisyonunun azaltılması ile ilgili kararın bir sonucu olarak da atmosferdeki S miktarı azalmış ve atmosferden toprağa sağlanan S'ün miktarını da düşürmüştür.

Kükürt eksikliği dünyanın bazı bölgelerinde rapor edilmektedir. Bunun başlıca sebepleri 1- endüstriyel alanlardaki SO₂ emisyonunun çevresel kontrolü. 2- S içeriği düşük gübre kullanımı 3- diğer teknolojik avantajların bir sonucu olarak ürün miktarındaki artış (*Scherer, 2001; Blair 2002*). Avrupa da son 20-30 yıldır atmosferdeki SO₂ konsantrasyonu dramatik olarak azalmaktadır ve tarımsal alanlara düşük S sağlanmasını göstermektedir. *Zhao ve ark., (2002)* tahılların Avrupa da S'lü gübrelere tepkisini yeniden gözden geçirmiş ve pek çok Avrupa ülkesinde tarımsal üretimde en çok kısıtlayıcı faktör olarak S tespit ettiğini bildirmiştir.

Bu çalışmanın amacı kükürdün toprak ve bitkisel üretim için önemini en son bilimsel bulguların ışığında ortaya koymak ve irdelemektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Toprakta Kükürt ve Kükürt Formları

Kükürt toprakta organik ve inorganik formda bulunur. Bitkiler için direkt S kaynağı olan SO_4^{-2} (sülfat), topraktaki toplam S'in % 5 'i kadardır.. Genellikle topraktaki S'ün % 95 'den fazlası organik bağlıdır. Organik S, sülfat esterleri ve organik bağlı S olmak üzere 2 ana gruba ayrılır. Toprakta bulunan kükürdün yaklaşık % 80-90'ını organik bileşiklerde ya hücre öz suyunda SO_4 şeklinde ya da protein bileşiklerinde S-H veya S-S bağları şeklinde bulunan kükürt, % 10-20'sini ise inorganik sülfat formunda bulunan kükürt oluşturmaktadır. Dolayısıyla organik maddece zengin topraklar organik maddece fakir olan topraklara oranla göreceli olarak daha fazla kükürt içermektedir. Organik bağlı S, bitkilerin direkt kullanımı için uygun olmamasına rağmen yetersizlik durumlarında bitkinin S ihtiyacı için potansiyel olarak kullanılabilir. S döngüsü biyokimyasal ve biyolojik mineralizasyonu kapsamaktadır. Biyolojik mineralizasyon enerji sağlamak için gerekli organik C ihtiyacını sağlayan mikrobiyal aktiviteler tarafından yürütülmesi sonucu oluşan S sağlaması biyokimyasal S mineralizasyonunu kontrol eder ki biyokimyasal mineralizasyon enzimatik hidrolizden dolayı ester sülfatlardan SO_4^{-2} salınımıdır. (Scherer., 2009).

Topraktaki organik ve inorganik formdaki S'ün döngüsü mobilizasyon, mineralizasyon, immobilizasyon, oksidasyon ve indirgenme yoluyla olmaktadır. Organik S bileşikleri genellikle kararlı hareketsiz haldeyken, inorganik formdaki S daha hareketli ve SO_4^{-2} formu en hareketli durumdadır (Scherer, 2001). SO_4^{-2} taşınımı (hareketliliği) toprakta bulunan diğer anyonlar ve koloidal yüzeyler, toprak pH'sı, topraktaki SO_4^{-2} konsantrasyonu tarafından kontrol edilen adsorbsiyon (bağlanma) ve desorbsiyon (çözünme) ile yakından ilgilidir ki, adsorbsiyon SO_4^{-2} taşınımını engelleyebilir. Organik S; ester bağlı sülfatlar ve karbon bağlı S olmak üzere 2 ana formda bulunur (Scherer*, 2009).

Organik maddeler parçalandığında hücre öz suyunda bulunan SO_4 -S kısa süre içerisinde toprak çözeltisine geçer. Bu şekilde toprak çözeltisine geçen SO_4

yıkılarak yitmekte ya da bitkiler tarafından alınmaktadır. Diğer yandan proteinlere bağlı bulunan kükürt ise aerobik koşullar altında toprakta bulunan mikroorganizmaların cins ve miktarları ile toprak havalanmasına bağlı olarak H_2S 'e indirgenir. Oluşan H_2S ise yine aerobik koşullar altında ileri derecede oksidasyona uğrayarak SO_4 şekline dönüşür (*Kaçar ve Katkat, 1998*).

Toprakta bulunan S fraksiyonu, indirgen şartlarda FeS , FeS_2 (pirit) ve H_2S formundadır. Aynı şartlarda H_2S , organik S'ün mikrobiyal mineralizasyonunun bir sonucudur. Oluşan H_2S indirgen koşulların kalkmasıyla okside olur ve SO_4^{-2} 'ye yükseltgenir. Bu olay sonucu toprak tepkimesi asit yöne doğru eğilim gösterir. Kireçli veya alkali topraklarda toprak pH'sının düşürülmesinde elementel kükürt başarılı bir şekilde kullanılabilir. Böyle bir uygulama toprak pH'sını düşürmekle kalmayıp bitki besin elementlerinin yararlılığını da artırmaktadır. Anaerobik ortamda ise H_2S kemo-ototrofik bakteriler tarafından elementel S'e oksitlenir. Kemo-ototrofik bakteriler oksijenin varlığında elementel S'ü H_2SO_4 'e okside ederler. Aynı bakteri cinslerince elementel S'de de oksitlenme olabilir. Tarım topraklarında genellikle elementel S'ün oksidasyonu mikrobiyal reaksiyonla veya abiyotik şekilde gerçekleşir (*Mengel ve Kirkby, 2001*).

Kurak bölge topraklarında kükürt çözünebilir $CaSO_4$, $MgSO_4$ ve Na_2SO_4 formunda bulunurken, yağışlı bölge topraklarında ise toprak çözeltisinde sülfat iyonu halinde bulunmaktadır. Su altında kalmış alanlarda ise genellikle inorganik S, FeS veya H_2S formunda indirgenmiş biçimde bulunmaktadır.

Topraktaki kükürt içeriği kükürt içeren minerallere (sülfürler, sülfatlar) ve organik madde içeriğine bağlı olarak değişir. Son yıllarda kükürt içermeyen gübrelerin kullanılmasıyla (amonyum nitrat, üre, triplesüper fosfat, monoamonyum fosfat, diamonyum fosfat) toprağa daha az kükürt girişi almaktadır. Bitkiler de topraktan önemli miktarda kükürt kaldırdığından birçok bitkiler için (turpgiller, soğangiller, baklagiller, hatta buğdaygiller) kükürt ihtiyacı ortaya çıkabilmektedir, bu nedenle kükürt uygulaması gerekli hale gelmektedir.

2.1.1. İnorganik Toprak Kükürdü ve SO_4^{-2} Adsorbsiyonu

Sülfatlar (SO_4^{-2}), bitkiler için en önemli S kaynağıdır. Genellikle miktarı topraktaki toplam S'ün % 5'den azdır. Toprak çözeltisindeki SO_4^{-2} ve bağlanmış SO_4^{-2} olmak üzere ikiye ayrılır (*Barber, 1995*). Bununla birlikte CaCO_3 'lu topraklardaki SO_4^{-2} 'in kalsiyum ve magnezyum ile birlikte çökmesinden dolayı çözünmez formda görülebilir (*Tisdale ve ark., 1993*). Özellikle arid bölge topraklarında CaSO_4 , MgSO_4 , ve Na_2SO_4 gibi S tuzlarının biriktiği bulunmuştur (*Scherer, 2001*).

Toprakta az miktardaki SO_4^{-2} konsantrasyonu göstermiştir ki aralıksız ve herhangi bir zamandaki bitkinin S alımı; S-gübreleme, mineralizasyon ve immobilizasyon arasındaki dengeye bağlıdır (*McLaren ve Cameron, 2004*). Toprak yüzeyindeki yüksek SO_4^{-2} konsantrasyonunun ana sebebi yüksek S içerikli gübre uygulamalarının (*Eriksen, 1996*) ve toprak organik maddesinden gelen S'ün mineralizasyonunun bir sonucudur (*McLaren ve Cameron, 2004*). Normal şartlarda kış ve bahar mevsiminde toprak çözeltisindeki SO_4^{-2} konsantrasyonu düşüktür, bunu sebebi düşük mineralizasyon oranı ve yıkanmadır (*Castellano ve Dick, 1990*).

Elementel S'ün, SO_4^{-2} 'a okside edilinceye kadar alınmadığı uzun süredir bilinmektedir. Gübre olarak elementel S'ün etkisi, oksidasyon oranına bağlıdır ki bu özellikle mikrobiyal oksidasyon ile gerçekleşir. Bunun için mikrobiyal aktiviteyi etkileyen toprak sıcaklığı, nemi gibi fiziksel faktörler S oksidasyonunun düzenlenmesinde önemli rol oynar. Partikül ne kadar ince olursa, oksidasyon o kadar hızlı olur. 0,1 mm büyüklüğünde öğütülmüş elementel S'ün toprağa uygulanması ile pH'nın düştüğünü, bu düşmenin zamana bağlı olarak yavaşladığını ve belirli bir noktada sabit kaldığı saptanmıştır (*Tisdale ve Nelson 1972, Janzen ve Bettany 1987*).

Elementel S'ün oksidasyonuna etki eden faktörler, uygulanan gübrenin partikül büyüklüğü, bileşimi ve çözünürlüğü gibi özellikleri; sıcaklık, nem, havalanma, pH ve mikrobiyal popülasyon gibi toprak faktörleri; ürün türleri, zaman, metot ve uygulama dozu gibi faktörlerdir (*Tisdale ve Nelson 1972; Stevenson 1986, Chien ve ark.,1988*).

İzotopik değişim çalışmaları göstermiştir ki toprak çözeltisindeki SO_4^{-2} , Fe ve Al hidroksitler tarafından bağlanan SO_4^{-2} ile kinetik bir dengededir ki bu kil mineralleri veya serbest oksitler ve alimünosilikatlı kil partikülü yüzeylerinde kaplanmış olabilir (Bohn ve ark., 1986). Bunun yanı sıra Scott (1976)'a göre SO_4^{-2} adsorbsiyonu ve ditiyonit ile ekstrakte edilebilir Fe arasında pozitif bir ilişki vardır. Buna ek olarak kil mineral yüzeylerinin miktarına da bağlıdır (Kpirmwang ve ark., 1997).

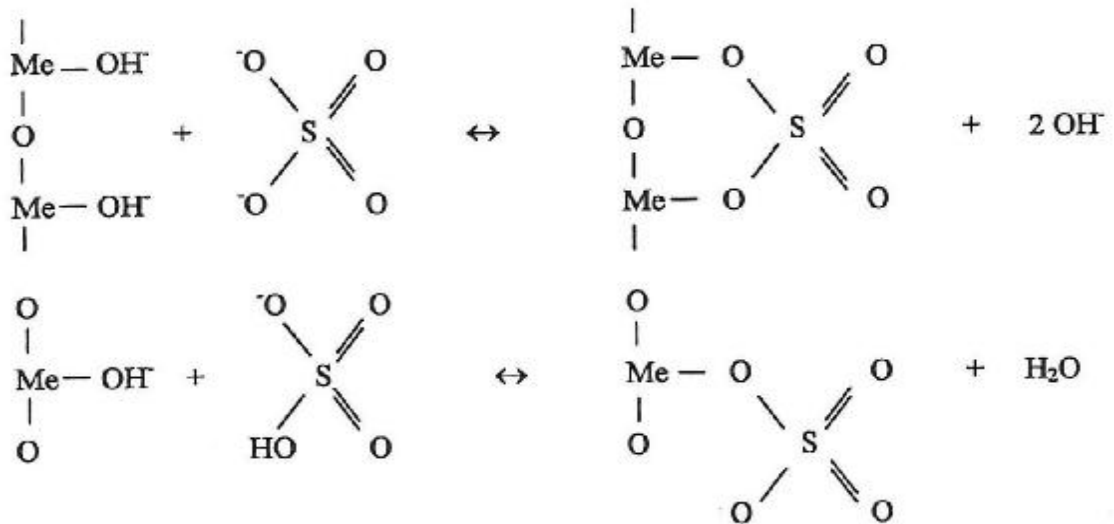
Çeltik tarlalarında, potansiyel S sağlamlasının tanımlanabilmesi için, su baskın koşullar altındaki 4 çeltik toprağında S mineralizasyonunu ölçmek amacı ile açık inkübasyon tekniği kullanılmıştır. Çin'de ana tarım topraklarında biri olan çeltik toprakları uzun süredir pirinç üretimi için su baskın koşullar altındadır. Wei Zhau (2005) ve arkadaşları ısı kontrollü seralarda kurdukları saksı denemelerinde S mineralizasyonunun, su baskınına maruz çeltik topraklarında indirgenmiş S ve sülfat S'den meydana geldiğini söylemişlerdir. İndirgenmiş inorganik S, mineralize S' ana S formlarında birisidir ve su baskınına maruz çeltik topraklarında, organik S mineralizasyonunun da hesaplanarak dikkatte alınması gerekmektedir. Çeltik topraklarındaki potansiyel S, mineralizasyonun habercisi olabilir. Açık inkübasyon sistemlerinde S mineralizasyonu, C- bağlı S'den ve indirgenemez organik S havuzundan gelmektedir. Bununla birlikte bitkiler ile yapılan toprak S tüketim deneyleri mineralize S büyük kısmının, C, S, ve O havuzundan geldiğini göstermiştir. (Whei Zhou ve ark., 2005)

Sülfat SO_4^{-2} adsorbsiyonu toprak pH'na bağlıdır ve düşük toprak pH'larında güçlenir (Martin ve Mutters, 1984; Prietzel ve ark., 2001). pH 3'de sülfat (SO_4^{-2}) maksimum düzeydedir ve pH, kireçli topraklar da egemen normal düzeye yükselmesi ile birlikte hızlıca düşmektedir (Scott, 1976). pH >6,5' de SO_4^{-2} adsorbsiyonu göz ardı edilebilir ve toprak çözeltisindeki SO_4^{-2} büyük bir kısmı (Curtin ve Syers, 1990). Bunda dolayı, kireçli üst topraklarda az miktarda SO_4^{-2} adsorbsiyonu beklenmektedir (Evans, 1986) ve asidik topraklardaki adsorbe SO_4^{-2} ' ın hareketi, kireçleme ile kolaylaştırılır (Mehlich, 1964). Kireçlemenin etkisi, Fe ve Al hidroksit yüzeylerindeki adsorbsiyon bölgeleri için OH^- ve SO_4^{-2} arasındaki rekabete bağlanabilir veya fosfat bileşiklerinin yapılmasıyla, yüksek pH değerlerinde

daha fazla çözünebilir ve burada adsorbsiyon bölgeleri için rekabet edebilirler (Korentajen ve ark. ,1983).

Su tutumu iyi topraklarda yapılan adsorbsiyon-desorbsiyon çalışmaları SO_4^{2-} adsorbsiyonunun denge çözeltisindeki SO_4^{2-} konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Tisdale (1993), göre SO_4^{2-} adsorbsiyonu diğer anyonların varlığından da etkilenmektedir. (Fosfat > nitrat= klorid) SO_4^{2-} ve HPO_4^{2-} içeren toprak çözeltilerindeki artan HPO_4^{2-} konsantrasyonu, SO_4^{2-} adsorbsiyonunu azaltmaktadır (Bohn ve ark.,1986). Çünkü adsorbe edilmiş , SO_4^{2-} adsorbe edilmiş HPO_4^{2-} 'den daha az güçlü tutulmaktadır, sınırlı P-gübre uygulamaları SO_4^{2-} 'ın bitkiye yararıllılığını artırmaktadır.

Sülfat (SO_4^{2-}) adsorbsiyonu üzerine organik maddenin etkisi tutarlı değildir. Haque ve Walmsley (1973), organik madde ile SO_4^{2-} adsorbsiyonu arasında pozitif bir ilişki ortaya koyarken Singh ve Johnson (1986) negatif bir ilişki bulunduğunu rapor etmiştir çünkü Fe-Al hidroksitlerinin adsorbsiyon bölgeleri organik maddenin anyonik grupları tarafından bloke edilmiş olabileceği düşünülmektedir (Johnson ve Todd, 1983). Topraktaki organik anyonlar adsorbsiyon bölgeleri için SO_4^{2-} ile rekabet eder (Kasier ve Zech,1996; Martinez ve ark., 1998) ve bundan dolayı SO_4^{2-} adsorbsiyon oranı azalır (Chourchesne ve Landry, 1994).



Şekil 2.1. Fe ve Al hidro oksitlerde SO_4^{2-} adsorbsiyonu

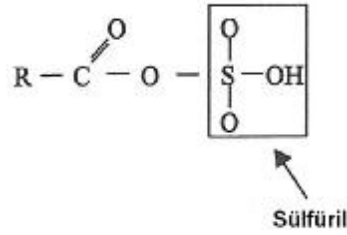
Me: Fe ve Al hidro oksitler

Toprakta adsorbe edilmiş SO_4^{-2} bitkilerin ihtiyacı için iyi bir kaynak olmasına rağmen yıkanmaya karşı SO_4^{-2} tutulması için iyi bir mekanizma olarak düşünülebilir (*McLaren ve Cameron , 2004*). 300 den fazla Almanya toprağında SO_4^{-2} , 1 mg $\text{SO}_4^{-2} - \text{S kg}^{-1}$ den daha az adsorbe edilmiştir ki bu oran İskoçya topraklarında 48 mg $\text{SO}_4^{-2} - \text{S kg}^{-1}$ düzeyine ulaşır.

Kalsiyum karbonat (CaCO_3)'lı Çin toprağı 64 adet, 1 N HCl ile ekstrakte edilmiş ve toplam S'ün % 0,03 ile % 40,3 (ortalama % 11,7) hesaplanan miktar ile CaCO_3 içeriği arasında pozitif bir ilişki bulunmuştur (*Hu ve ark., 2005*). CaCO_3 'lı Kanada topraklarında CaCO_3 ile çökelmiş SO_4^{-2} miktarı % 42 'e kadar yükselmiştir (*Roberts ve Bettany, 1985*) ve Avusturalya'da toplam S'ün miktarı % 93'e çıkmıştır . (*Williams ve Steinbergs, 1962*). CaCO_3 'sız topraklarda dahi CaCO_3 ile çökelmiş SO_4^{-2} bulunmuştur. (Toplam S'ün % 6,9, *Chen ve ark.,1997*). Bununla birlikte *Morche (2008)* yaptığı araştırmalarda topraklarda CaCO_3 içeriğinin % 1'den az olduğu durumlarda organik bağlı S, 1 N HCl ile ekstrakte edildiğinde S'ün büyük bir kısmının çözünebildiğini gözlemlemiştir.

2.1.2. Toprakta Organik Kükürt

Bloem 1998'e göre toplam toprak S'nün % 98'e yakını, organik S bileşikleri olarak bulunabilir ve bitki kalıntıları, hayvan ve toprak mikroorganizmalarının heterojen karışımı ile birleşmişlerdir (Freney,1986). Bununla birlikte, organik-S bileşikleri heterojen karışımlardır ve kimyasal kimlikleri hakkında çok az şey bilinir. (*Kertesz ve Mirleau, 2004*). Çünkü C, N ve S, toprak organik maddesinin bileşiklerini meydana getirir, organik-S miktarı, toprak organik-C ve toplam N düzeyi ile önemli düzeyde ilişkilidir (*Nguyen ve Goh, 1992; Wang ve ark., 2006*). Toprak organik maddesinde C:N:S oranı 125:10:1,2 şeklinde bulunur.



Şekil 2.2: Sülfat esterleri

C-bağlı S, toplam toprak organik maddesi ile amino asit sistein, methionin ve dahi mercantslar ve disülfidler gibi esas olarak S içeren bileşikler arasındaki farkı temsil eder (Freney , 1986)

Steveson (1986)'a göre toprak organik S'ün % 1 ve % 3 arasındaki miktarı mikrobiyal biomasın bir parçası olarak hesaplanabileceğini söylerken son çalışmalar topraktaki mikrobiyal biomass S'nün, toplam toprak organik madde S'nün % 1,5 ile % 5 arasında hesaplandığını göstermiştir (Banerjee ve ark., 1993; Wu ve ark., 1993). Mikrobiyal hücrelerdeki S ana formu protein ve amino asitlerdir (Banerjee ve ark., 1993; Chapman, 1996)

Kuru ağırlığa dayanarak temel alınan oranlar, pek çok toprak mikroorganizmasının S konsantrasyonu 1-10 µg/g, C:S oranı 57:1 ve 85:1 arasında ve N:S oranı ortalama 10:1 olduğu söylenmektedir. Bununla birlikte biomasdaki C:S oranının çok karışık olmadığı fakat S sağlamasına bağlı olarak çok çeşitlilik gösterebileceğine dair deliller vardır.

Genellikle toprağa yapılan organik madde uygulamaları, mikrobiyal S içeren mikrobiyal bioması artırır. Ayrıca mikrobiyal S toprak sıcaklığı ile arttığı ve düşük toprak nem içeriği ile de azaldığı görülmektedir (Gupta ve Germina, 1989; Ghani ve ark., 1990)

Toprak-S bileşikleri geniş bir çeşitlilik göstermesine rağmen ester SO_4^{-2} ve C-bağlı S olmak üzere 2 ana gruba ayrılabilir. Diğer organik-S formlarında sülfonatlar ve heteroçiklik sülfür (Kertesz ve Mirlau, 2004) kıyaslamalı olarak da az bir öneme sahiptir (Edwards,1998). Bu iki grup için, geleneksel fraksiyon metodu Johnson ve Nishita (1952), Freney ve ark. (1970), Landers et al., (1983) ve Shan ve Chen (1995) tarafında laboratuvar fraksiyon teknikleri olarak kullanılmıştır. HCl asit

indirgenmesiyle, ester sülfatların belirlenmesinde. C-bağlı S, toplam S ile ester sülfatlar arasındaki farktan hesaplanmıştır.

Son zamanlarda NEXAFS (near-edge x-ray absorbtion fine structure spectroscopy) veya XANES (x-ray absorbtion fine structure spectroscopy) olarak bilinen yeni aletler XANES tasarlanmıştır. *Prietzl ve ark., (2003)* bu tekniklerin verilen toprak örneklerinde teşhisini ve miktarını hesaplayabildiğini gösteren ilk kişilerdir.

HI-indirgenir S, toprakta ki organik S'ün %30 ile % 70 kadardır (*Neptune ve ark., 1975*) fakat bu değerin % 93'e kadar (*Tabatabai ve Bremner, 1972*) yükselebildiği veya % 18'e kadar düşebildiği (*Kowalenko ve Lowe, 1975*) bulunmuştur. HI-indirgenir S, esas olarak daha önceki sınıflandırmada baskın baskın bileşikler olan ester sülfatlardan ve sülfamateslerden oluşur (*Nguyen ve Goh, 1992*). Ester sülfatları, kolin sülfatı, sülfat polisakkaritleri ve fenoloik sülfatlar gibi bileşikler kapsar (*Edwards, 1998*), organik S'ün %27 - %45' ni oluşturur ve çözünürden, adsorbe kil bileşiklerine (*Eriksen ve ark., 1998*) 52 mg (kg toprak)⁻¹ den 92 mg (kg toprak)⁻¹ a değişen geniş konsantrasyonlarda bulunabilir (*Eriksen ve ark., 1995*)

McGill ve Cole (1981) ester sülfatlarının, C-bağlı S'den daha fazla geçici formda bulunduğunu önermiştir. Ester SO₄⁻² formları, C-bağlı S formundan daha hızlı dengeye ulaşır (*Fitgerald ve ark.,1982*) fakat bazı topraklarda ester sülfat formlarında SO₄⁻² toprak çözeltisine geçişi birkaç haftadan birkaç aya kadar devam edebilir. Çalışmalarda etiketlenmiş ³⁵S kullanılmış ve toprağa % 60 ile % 90 oranında SO₄⁻² verilmiştir ve bu ester sülfatları ile çok hızlı birleşmiştir ve bu havuzdan gelen SO₄⁻² bitkiler tarafından C-bağlı S depolarının aksine (*McLaren ve ark.,1985*) daha çok oranda alınmıştır. Bununla birlikte ester sülfat S' nün büyük bir kısmı C-bağlı S'e dönüşmüştür.

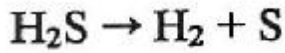
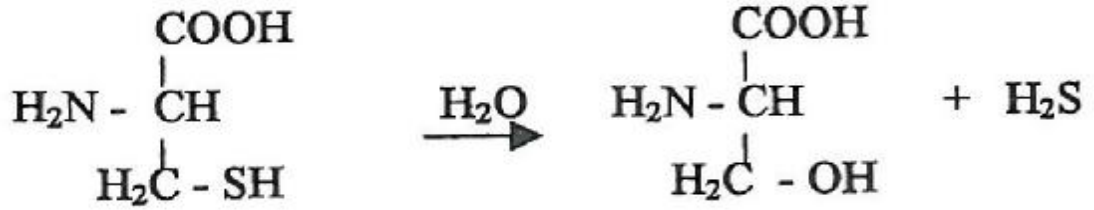
C-bağlı S'ler iki ana gruptan oluşur, S içeren amino asitler sistein ve methionin ve mikrobiyal biomas S ile ilişkilendirilir (*Castellano ve Dick,1990*). C-bağlı S ve C, N ve toplam organik S arasındaki ilişki ester SO₄⁻² 'dan daha güçlüdür C-bağlı S toprağın bütün organik fraksiyonunda bulunur ve daha stabildir (*Scott ve Anderson, 1976*).

Yang (2007b)'ın çalışmalarında uzun dönemli hayvan gübresi uygulamalarında kontrol ile kıyaslandığında, ester sülfatta bir etki görülmezken C-bağlı S'ün birikimi görülmüştür.

2.1.3. Kükürt Mineralizasyonu ve İmmobilizasyonu

Toprakta S inorganik ve organik form arasında sürekli bir döngü içindedir. İnorganik sülfür, organik S formlarına immobilize olur, organik S formları karşılıklı döngü içindedir ve hareketsiz S bitkinin alımı için uygun inorganik S formlarına kendiliğinden mineralize olur (Kertesz ve Mirlau, 2004). Mineralizasyon ve immobilizasyon mikrobiyal faaliyetlerin olduğu bir aşamadır (Ghani ve ark., 1992) toprak organik maddesinde bulunan organik S döngüsünün modeli hem biyokimyasal ve hem de biyolojik mineralizasyonu kapsadığı önerilmektedir (McGill ve Cole, 1981). Organik S formlarından, SO_4^{-2} salınımı atmosferden ve gübrelerden düşük S sağlaması ile tarımsal alanlarda bitkinin S ihtiyacı karşılamak için özel bir önem taşır (Eriksen, 1997)

Biyokimyasal mineralizasyon farklı sülfatlar tarafından ester sülfatlarının hidrolizizasyonudur (sülfohidrolaz; Fitzgerald ve Strickland, 1987). Topraktaki inorganik SO_4^{-2} tarafından mikrobiyal S ihtiyacı karşılanamadığı zamanlarda ester sülfatlarını enzimler hidrolize eder. Sülfataz aktivitesi mikroorganizmaların enerji ihtiyacından daha çok toprak mikroorganizmalarının S ihtiyacı tarafından kontrol edilir (Eriksen ve ark., 1998).Devam eden S uygulamaları sulfataz aktivitesinin azalmasına sebep olurken (Gupta ve ark., 1988), düşük SO_4^{-2} düzeyi ne sülfataz üreten mikroorganizmaları ne de enzim aktivitesini canlandırır (Ghani ve ark., 1991; Saviozzi ve ark., 2006).



Şekil 2.3: C-bağlı S'ün mineralizasyonu

Xiao Quan Shan ve ark., (1997) tarafından yönetilen saksı ve tarla denemelerinde topraktaki S ve bitkideki S konsantrasyonu arasında ilişki araştırılmıştır. Toprak S, suda çözünür sülfat (S_1), adsorbe edilmiş sülfat (S_2), karbonat absorbe sülfat(S_3), ester sülfat(S_4), ve c-bağlı sulfur (S_5) gruplandırmışlardır. Korelasyon, bağlı değişkenler olarak bitki S konsantrasyonu ve bağımsız değişkenler olarak bitki S konsantrasyonu toprak-S çeşitleri aracılığıyla çok iyi tanımlandı. Suda çözünür S (S_1), en kolay ulaşılabilir S formudur, bunu sırası ile adsorbe sülfat (S_2), ester sülfat (S_3), C- bağli S(S_5) ve karbonat absorbe S takip etmektedir. Saksı denemelerinden sonra, toprakta farklı formlardaki S konsantrasyonunda ki değişim, yararlılık düzeyleri hakkında bize direk bilgi vermektedir. S_1 ve S_2 miktarları önemli ölçüde değişirken, S_4 içeriği, S_5 kıyasla daha azalmıştır, S_3 miktarı ise değişmeden kalmıştır.

Organik S, özellikle de ester sülfatlarda SO_4^{-2} 'e mineralizasyon bitinin S alımı için önemli bir mekanizma iken suda çözünür ve absorbe SO_4^{-2} bitkilerin direk kullanımı için daha uygun olduğunu söylemişlerdir Xiao Quan Shan ve ark., (1997).

Maynard (1985) ve Prietzel (2001)'e göre sülfataz aktivitesi topraktaki inorganik SO_4^{-2} yoluyla geri itilimli çekingendir. Bundan dolayı McLaren (1985) azalan SO_4^{-2} düzeyinin sebep olduğu, sülfataz aktivitesinin canlandırılması, SO_4^{-2}

miktarında ki azalmadan sonra ağırlıklı olarak mineralizasyonun artmasından kaynaklandığı önerilmektedir.

Kertesz ve Mirleu (2004) hücre içi ve hücre dışı sülfatazlar arasında fark görmüşlerdir. Bununla birlikte pek çok sülfataz hücre dışıdır, ve bağırsak kökenli bakterilerden türler sülfatazlar *Pseudomonas* türleri içinde tanımlanmıştır ve ayrıcalıklı olarak hücre içidirler ve aktif sülfat alım sistemi ile bağlantılıdır. (*Kertesz, 1999*). Sülfatazların birkaç çeşidi moleküller doğrultusundaki yüksek türler tarafından açıkça karakterize edilir ve doğada oluşur (*Tabatabai ve Bremner, 1970a*). Bunlardan arilsülfatazlar ester sülfatlarının inorganik S'e hidrolizini katalize eder ve ilk örneği doğada keşfedilmiştir (*Fitzgerald, 1976*).



Topraktaki enzim aktivitesi, toprak neminin mevsimsel değişimi (*Cooper, 1972; Freeman ve ark., 1996*), ağır metal fazlalığı (*Kandeler ve ark., 1996; Tschirko ve Kandeler, 1997; Gülser ve Erdoğan, 2008*) ve pH (*Ganesmurty ve Nielsen, 1997*) gibi çeşitli parametrelere bağlıdır.

Arilsülfatazlar optimum 5,8'den 8,2 'ye değişen geniş pH arasında bulunurlar (*Kertesz, 1999; Klose ve ark., 1999*) Bundan dolayı nötral ve hafif alkalın şartlardaki enzim aktivitesi düşük pH'ya sahip topraklardan daha yüksek olduğu düşünülmektedir. *Klose (1999)* arilsülfataz aktivitesi ve toprak-organik C içeriği arasında bir ilişki olduğunu bulmuştur. Toprak profilinde derinliklere inildikçe organik maddenin azalması sonucu enzim aktivitesi de azalmaktadır (*Tabatabai ve Bremner, 1970b; Melero ve ark., 2008*)

Uzun dönemli organik gübreleme, (*Knauff ve Scherer, 1998; Knauf ve ark., 2008*) geniş C bileşikleri ve N sağlaması (*Hopkins ve ark., 2008*) ve toprak işlemenin azalması ile toprakta arilsülfataz aktivitesini artırmıştır. Enzim aktivitesi, örnekleme tarihinde tahıl rotasyonu ve tahıl-otlak rotasyonu alanlarında önemli ölçüde fark yaratmıştır ve bu alanlarda ki enzim aktivitesi sürekli mısır, soya fasülyesi ekimi yapılan alanlara kıyasla daha yüksek bulunmuştur. (*Klose ve ark., 1999*)

Ester sülfatlardan, SO_4^{2-} salınımı topraktaki konsantrasyonuna bağlıdır (*Ganesmurty ve Nielsen, 1990*). Bununla birlikte *Eriksen (1980)* göre ester sülfatları geniş oranda kolay bulunabilmesi ile organik S bileşikleri fraksiyonudur. Bunların biyokimyasal stabilitesi humik polimer strüktüründeki lokasyonlarında bağlı olabilir (*Nannipier ve ark., 1990; Lou ve Warman, 1992*). Ester sülfat grupları, humik polimerlerin iç strüktürlerine tutunurken daha az yararıdır, dış yüzeyde tutulan sülfat gruplarına daha kolay ulaşılabilir. Bunlar sülfatazlardır ve daha kolay mineralize olurlar (*Eriksen ve ark., 1998*). Bundan başka kil mineralleri ile ester sülfatlarının yakın birlikteliği onları mikrobiyal transformasyondan koruduğu öne sürülmektedir (*Bettany ve ark., 2007a*).

Bitki örtüsü olmayan topraklar ile kıyaslandığında S mineralizasyonu bitki gelişimi görülen alanlarda daha fazladır. Bunun kök bölgesindeki yüksek mikrobiyal yoğunluk sebebi ile olduğu düşünülmektedir (*Nguyen ve Goh, 1994*) ve sülfataz salgılanmasında bu enzimlerin aktivitesi yıllık vejetasyondan dolayı işlenmiş topraklarda daimi meralarınkine oranla daha düşük olduğunu *Bandick ve Dick (1999)* ileri sürmektedir ve buna ek olarak çimlerdeki yoğun kök sistemi, rizosfer etkisini artırabilir.

Sülfatazlar bakterilerden izole edilmişlerdir (*Kertesz, 1999*) fakat köklerdeki oluşumları için çok az bilgi bulunmaktadır. *Knauff ve ark., (2003)* steril yetiştirilen bitki köklerinde bir miktar arilsülfataz aktivitesi bulmuştur ve özellikle steril yetiştirilmiş buğdaygil köklerinde dikkate değer miktarda buldukları arilsülfataz aktivitesi S yetersizliği şartlarında ekstrakte edilebilir. Ester sülfatların tüketilmesindeki sülfataz salgılanmasına ve üretilmesine bitkilerin direkt yanıt verdiği düşünülmektedir. İlginç bir şekilde, buğdaygil köklerindeki enzim aktivitesi, düşük S talepleriyle turpgillerden daha yüksektir . Bu etki kök kompozisyonundaki farklılıklardan (*Grayston ve ark., 1998*) ve bekli de glukozinotlardan (*Knauf ve ark., 2003*) kaynaklandığı düşünülmektedir. Brassicaceae tarafından üretilen glukozinatlar, isothiocyanat ve nitriller gibi biosidal bileşikler salgılayan mirosinazlar tarafından hidrolize edilebilir (*Dedourge ve ark., 2003*). *Vong (2007)*, topraktaki S dinamiklerine bitki türlerinin kök depozitleri ile etki ettiğini düşünülmektedir.

McGill ve Cole (1981) , C-kaynağı ve SO_4^{-2} olarak C- bağlı S bileşikleri mikroorganizmalar tarafından kullanıldığı biyolojik mineralizasyon zaman oluşur ki bu süreç yan ürün olarak ortaya çıkarmaktadır (*Ghani ve ark.,1991*). Bunun anlamı mikrobiyal enerji ihtiyacının sağlanması sonucu , C- bağlı S'ün mineralizasyonu gerçekleşir (*Edwards, 1998*) ve C'nun CO_2 'e oksidasyonu yan ürün olarak ortaya çıkar (*Eriksen ve ark.,1998*) S içerikli materyal olmadığında mikroorganizmalar diğer elementleri içeren C materyalini mineralize edeceklerdir. Bu deliller göstermektedir ki C-bağlı S mineralizasyonu mikrobiyal aktiviteye ihtiyaç duyar ($>36^\circ$) (*Jaggi ve ark., 1999*), mineralizasyon C- bağlı S ve mikrobiyal metabolizma arasındaki sıkı bağdan meydana gelir (*Schindler ve Mitchel, 1987*).

C-bağlı S ve ester sülfatlar, SO_4^{-2} mineralize olabilir. Bununla birlikte özellikle kısa dönemli S döngüsünde (*Ngyen ve Goh, 1994*) S akışı, ester sülfatlar aracılığıyla, C- bağlı S aracılığına göre daha hızlı olduğu görülmektedir (*Kertesz ve Mirlau, 2004*) çünkü ester sülfatları, C-bağlı S gibi humik bileşiklere güçlü şekilde bağlıdır (*McGill ve Cole, 1981*). Bundan daha başka C-bağlı S muhtemelen oksidasyon ile ester sülfatlara çevrilir ve sonra SO_4^{-2} mineralize olur (*McLaren ve Swift, 1977; Ghani ve ark.,1991*). Böylece organik S bileşikleri tarla koşulları altında tahıllar için S sağlama kapasitesinde önemli bir belirleyici faktör olur (*Yang ve ark., 2007b*).

Tabatabai ve AlKhafaji (1980) tarafından 26 haftalık bir dönem süresince S mineralizasyon oranının 1 kg toprakta 16 mg S'den 86 mg S kadar olduğu rapor edilmiştir. Topraktaki toplam organik S'ün ifade edilen yüzdelilerindeki çalışmalarda birikmiş S'ün % 3,5 ile % 34,9 oranları arasındaki miktarı mineralize olur.

Mineralize S ile toplam toprak S, toplam N, toplam C veya C:N oranı (*Janzen and Ellert, 1998*) önemli şekilde ilişkilendirilmez. Almanyanın kuzey bölgesindeki 3 farklı tarıma elverişli toprakta *Bloem (1998)* mineralize olan ortalama net S miktarı gelişme sezonu sırasında 7 ve 49 kg ha⁻¹ arasında değiştiği bulunmuştur ayrıca *Preuschoff (1995)* tarafından da benzer önemde olduğu belirtilmiştir .Bu sonuçlardaki farklılıklar, inkübe edilmiş ve topraktaki organik maddenin formlarından ve miktarında kaynaklanan sonuçlar olduğu varsayılmaktadır.

Sülfür mineralizasyonu topraktaki tahıl çeşitlerinin birlikteliğinden dahi etkilenir. Hızlı S hareketliliği, kısmen bitki kalıntılarının birlikteliğinden sonraki SO_4^{-2} mineralizasyonunun hızı, kısmen kalıntılardaki SO_4^{-2} çözünmesi ve kısmen olgunlaşma sırasındaki organik S bileşiklerin hidrolizinden dolayı olduğu düşünülmektedir. (*Anzen ve Ellert, 1998*). Organik-S mineralizasyon oranı kireç ilavesi ile artabilir ve bu mikrobiyal aktivite için daha uygun bir ortam yaratabilir (*Probert, 1976*). Uygulanan CaCO_3 miktarını takip eden S ilavesinin, mineralizasyonu topraktan toprağa farklılık gösterir ve mineralizasyon artışı toprak çeşidi ve toprak özellikleri ile yakından ilişkili değildir.

pH 7,5'in üstünde mineralizasyon daha hızlı artmaktadır, organik maddenin peptinleştirilmesinin veya kimyasal hidrolizin bir sonucu olarak tahmin edilmektedir ki bu mineralizasyon aşamaları ile ilişkilendirilebilir (*Williams, 1976*) Kireçlemeden sonra artan SO_4^{-2} oranının bir diğer sebebi, (*Wolt, 1980*) özellikle Fe ve Al hidroksi sülfatlar gibi, az çözünür SO_4^{-2} formlarının çözünürlüğünün artışı olarak görülebilir. (*Korentajer ve ark., 1983*). Mineralizasyonun toprak sıcaklığında güçlü şekilde etkilendiğini bulan *Pirela ve Tabatabai (1988)*, *Strickland ve ark., (1984)*'nın sonuçlarını teyit etmişlerdir. Bu etkilenme farklı enzimlerin, farklı sıcaklıklarda optimum aktivite düzeyine ulaşmasından dolayıdır.

Pek çok mikroorganizma yeni hücre duvarlarının sentezi için ihtiyacı olan sülfürü toprakta kendiliğinden oluşan immobilizasyon, mineralizasyon (*Maynard, 1982*) ve inorganik SO_4^{-2} bileşikleri veya salınımından temin eder ki salınım ve inorganik SO_4^{-2} işbirliği birkaç aşamanın net sonucudur (*Eriksen ve ark., 1995*). Bundan dolayı doğru S-gübre uygulamalarının yönetimi için net S-mineralizasyon oranlarının dikkate alınması gerekmektedir (*Dedourge ve ark., 2003*) İmmobilizasyon, toprak nemi ve sıcaklığı, organik madde, S'lü gübreleme miktarı, atmosferden S girişi ve bitki varlığı gibi mevsimsel faktörlerden etkilenir (*Nguyen ve Goh, 1994*). Bununla birlikte immobilizasyon genişliği C:S oranının iyileştirilmesine bağlıdır. C:S oranı 200'den düşük olduğunda organik-S bileşiklerinin mineralizasyonu teşvik ederken C:S oranı 400'ün üstüne çıktığında SO_4^{-2} immobilizasyonunda sonuçlanır (*Janzen ve Kucey, 1988*). 200 ve 400 arasındaki C:S oranı için SO_4^{-2} , toprak organik maddesi tarafından ya tutulur veya salınır

(Scherer,2001). Genellikle C kaynaklarının eklenmesi (Saggar ve ark.,1981) veya metabolize organik maddenin varlığı (Goh ve Gregg,1982) SO_4^{-2} miktarında artmaya meyil ettiği görülmüştür ki bu organik formlarda hareketsizdir.

Yeterli organik C ve N yarıyışlılığı ile SO_4^{-2} , ester sülfatlarve C-bağlı S'e immobilizasyonu yüksek mikrobiyal aktiviteden dolayı hızlı gerçekleşir (Fitzgerald ve ark., 1982). Bununla birlikte ester sülfat fraksiyonlarında ki SO_4^{-2} birlikteliği, C-bağlı formlardakinden daha hızlıdır (Freney, 1986). C-bağlı fraksiyonlardaki SO_4^{-2} birlikteliği, mikrobiyal metabolizmaya bağlı iken (Schindler ve Mitchell, 1987; Ghani ve ark., 1992) ester sülfat fraksiyonlarında ki SO_4^{-2} birlikteliği, toprak mikroorganizma ve köklerden salgılanan sulfotransferaz enzimi tarafında direkt olarak düzenlenmektedir (Fitzgerald ve ark., 1983). C-bağlı S ve ester sülfatlardaki SO_4^{-2} birlikteliği toprak derinliği ile birlikte azalmaktadır, bu daha az sulfotrasferaza ve daha az mikrobiyal metabolik aktiviteye bağlanabilir (Fitzgerald ve ark., 1983; Strickland ve ark., 1987).

2.1.4. Biomas Kükürtü

Mikrobiyal biyomass toplam toprak S'nün sadece % 3'den daha az miktarını (Strick ve Nakas, 1984) oluşturmaya rağmen topraktaki S transformasyonunu kontrol eden ana faktörlerden biridir (Yang ve ark., 2007b) ve onun kararsız doğası topraktaki S döngüsünde önemli bir depo görevi yapar (Gupta ve Germida, 1989). Biyomastaki S miktarı artıkça yüksek bitkiler için kükürdün yarıyışlılık potansiyeli de artmaktadır. Mikrobiyal biyomas topraktaki S transformasyonunda anahtar unsurdur ve düşük inorganik SO_4^{-2} içeren topraklarda büyük bir öneme sahiptir (Chapmann, 1987; Ngyen and Goh,1994). Mikrobiyal biyomas S'de ki dalgalanma, topraktaki inorganik SO_4^{-2} miktarı ile ilişkilidir (Chapman, 1987.). Babiuk ve Poul (1970) toprak mikrobiyal aktivitesinin toprak yer altı ve yerüstüne giren madde tarafında kontrol edilen yarıyışlılığına bağlı olduğunu rapor etmişlerdir. C-uygulamalarının toprak mikrobiyal aktivitesini canlandırdığını bulmuşlardır (McLaren,1985).

Chowdhury (1999) araştırmalarında biyomas S miktarının 1 kg toprakta 0,8 ile 13,4 mg arasında değiştiğini ortalama olarak ise 6,2 mg kg⁻¹ olduğunu bulmuşlardır. Biyomas S toplam organik S'ün % 0,9 ile % 2,6 arasında değişmektedir ve biyomas C ile güçlü bir ilişki içindedir (*Chapman, 1987*). Mevsimsel toprak sıcaklığı ve nemindeki değişikliklerden (*Ghani ve ark., 1990*) etkilenmiştir ve *Zang (2004)* göre selüloz uygulamasından (*Saggar ve ark., 1981*). kentsek kompost (*Perruci, 1990*) ve hayvan gübresi uygulamaları (*Yang et al., 2007b*) sonra mikrobiyal aktivite artmıştır.

Biyomasın C:S oranı 30'dan 149 kadar değişir ve toprak organik maddesindeki C:S oranı düşüktür. Bunu uygulanan organik artıkların S içeriği etkiler (*Wu ve ark., 1993*) C:S oranı 1-40:50 bulunmuştur ki bu oran ıslah edilmemiş topraklardaki C:S oranından 1-85:100 çok daha dardır.

2.1.5. Kükürtte Yıkanma Kayıpları

Yıkanma ile sülfat kaybı temelde toprakta tutulan SO₄ miktarına bağlıdır. Yıkanma kayıpları ince tekstürlü topraklarda kaba tekstürlü topraklara oranla daha azdır. Bu muhtemelen ince tekstürlü topraklardaki su hareketinin düşüklüğünden ve yüksek SO₄⁻² tutma kapasitesinden kaynaklanmaktadır (*Barrow, 1975; Gregg ve Goh, 1978*) ve toprakta SO₄⁻² yıkanmasını kontrol eden en önemli faktörlerden biri toprak ve SO₄⁻² arasındaki ilişkinin süresi olduğu düşünülmektedir (*Vance ve David, 1992*).

Toprakta gübre türevi SO₄⁻² yıkanması, gübre uygulamalarının miktarına, formuna ve zamanına bağlıdır. Beklenildiği gibi yapılan sulama ile birlikte SO₄⁻² artan uygulamaları, SO₄⁻² toprak profili içindeki hareketi ile sonuçlanır (*Chao ve ark., 1962*). Normalde yıkanma SO₄⁻² içeren gübre uygulamalarından sonra SO₄⁻² formundaki gübre uygulamalarına kıyasla daha yüksektir. Bundan dolayı, bu alanlar S yıkanmasına maruz kalmaktadır ve pirit (*Nesheim ve ark., 1997*) ve elementel S (*Eriksen ve ark., 1998 Aluakh ve ark., 2002*) tavsiyesi yapılmaktadır.

Pensilvalyadaki boşalma havzasındaki SO₄⁻² kayıplarını açıklamak için *Lynch ve Corbett (1989)* kullandıkları modelde ve şubat ve mayıs arasındaki

dönemde yıkanmanın yüksek olduğunu bulmuşlardır. Kuru dönemde toprak yüzeyinde depolanmış çözülebilir SO_4^{-2} önemli bir rezervuar yaratmıştır ki, bu olay toprağın yeniden ıslanması ile tekrar ortaya çıkmıştır. Yıkanma ile olan kaybı hesaplamak buna etki eden faktörlerden dolayı oldukça güçtür. Pek çok çalışma göstermiştir ki yıkanma kayıpları genellikle tahıl ekili alanlarda , nadas alanlarına ve kısa gelişme periyodundaki bitkilerin bulunduğu alanlara göre daha azdır (*Garrwood ve Tyson 1973; Kirckmann ve ark., 1996*).

2.2. Bitkide Kükürt

Kükürt, sistein ve methionin gibi amino asitlerin ve dolayısı ile proteinin temel elemanlarından biridir. Bu amino asitlerin her ikisi koenzim ve ikincil bitki metabolitler gibi S içeren diğer bileşiklerin göstergesidirler. Kükürt bu bileşiklerin yapısal bir elemanı ($R^1 -C -S -C -R^2$ gibi) veya metabolik olaylarda doğrudan ilgilendiren fonksiyonel bir grup ($R- SH$ gibi) hareket eder. Bitkideki organik indirgen S'ün yaklaşık % 2'si suda çözünür thiol fraksiyonunda ($-SH$) bulunur ve normal koşullar altında bu fraksiyonun % 90'ından fazlası tripeptit glütatyon şeklindedir (*De Kok ve Sluten, 1993*). Glutatyon bitkideki bir çok fonksiyondan sorumludur ve bununla ilgili olarak, *Bergmann ve Rennenberg (1993)* de hazırladıkları derlemede, glutatyon sentazının 2 aşamda gerçekleştiğini bildirmişlerdir. 1. aşamada glutamat ve sisteinden glutamilsisteinnin oluştuğunu 2. aşamada ise aktivitesi için mutlak şekilde Mg'a gereksinim duyan glutatyon sintaz enzimi aracılığı ile gfsin glutamilsisteine bağlandığını bildirmişlerdir (*Hell ve Bergmann, 1988*) . Bitkilerde glutatyon içeriği köklere oranla yapraklarda daha fazla bulunmaktadır. Ayrıca glutatyonun % 50'sinden fazlası kloroplastlarda lokalize olmuştur (*Renneberg ve Lamoureux, 1990*).

Bitkilerde kükürt noksanlığında görülen ve proteinlere bağlı olmayan azot birikiminin (amid ve nitratlar) nedeni olarak, nitratın indirgenmesinde önemli rol oynayan, nitrat redüktaz enziminin kükürt noksanlığında işlevini gerçekleştirememesi gösterilmektedir (*Ergle ve Eaton, 1951*).

Bitki bünyesinde kükürt içeren koenzim A, tiamin (B₁ vitamini) ve biotin (H vitamini), metabolizma olaylarında önemli rol oynarlar. Biotin çeşitli karboksilasyon tepkimelerinde görev yaparken, tiamin pirofosfat oksiasitlerin dekarboksilasyonunda kofaktör olarak görev yapar. İndirgeyici bir element olan glutasyon indirgenmiş kükürdün geçici depo havuzu olarak görev yapmaktadır. Glutatiyon aynı zamanda fitoşelatların öncüsüdür. Yüksek bitkilerde bazı ağır metallerin detoksifikasyonunda da etkilidir (*Güneş ve ark., 2000*). Bunlar arasında koenzim A yağ asitlerinin sentezinde, yükseltgenmesinde, amino asitlerin sentezi ile trikarboksilik asit yada sitrik asit döngüsünde, ara ürünlerin yükseltgenmesinde önemli rol oynamaktadır (*Kaçar ve ark., 2002*)

2.2.1. Kükürt Alımı ve Taşınması

Kükürt toprak çözeltisinden bitki kökleri vasıta ile divalent anyon olarak alınır. SO₄⁻² alımındaki ana bölge kök saç bölgesidir (*Cacco ve ark., 1980*) Son araştırmalar SO₄⁻² alımının H⁺/SO₄⁻² birlikte taşınım yoluyla olduğu tahminini teyit etmiştir (*Clarkson ve ark., 1993; Leusteck ve Saito 1999*) SO₄⁻² içakışı pH 4’de en hızlıdır ve pH yükseldikçe azalmaktadır (*Leggett ve Epstein , 1956*) Selenit, topraktaki SO₄⁻² nitrat, fosfat ve klorit konsantrasyonu ile rekabetçi bir müdahalede iken topraktaki etkisi ölçülememektedir. *Bowen ve Rovira (1971)* göre buğday köklerinin SO₄⁻² alımı kök uçlarında ilk 5 cm çok yüksektir.

Bitki örtüsü, atmosferik S girişi için güçlü bir kanaldır (*Faller,1972; Baldocchi,1993*). Pek çok çalışma göstermiştir ki SO₂ girişi esas stomal pertuslardadır (*Taylor ve Tingey, 1983; Olszyk ve Tingey,1985*). % 75 ve% 90 oranı arasındaki SO₂ yapraklara bu rotada akar ve SO₂ alımında günlük bir ritim vardır fakat gece vejetasyon tarafından absorbe edilen SO₂ sudaki yüksek çözünürlüğünden dolayı korunmaktadır. Stomalara girişinden sonra bitki içinde dağılır ve farklı S fraksiyonları ile birleşir.

Tarla koşulları altında, sülfür yetersizliği olan topraklardaki kolza ve yulaf yetiştiriciliğinde gelişme sezonu boyunca alınan toplam kükürdün’ün ortalama yarısının atmosferdeki buharlaşabilen S bileşiklerden türemiş olduğu bulunmuştur

(Siman ve Johnson, 1976). Düşük SO_2 ($1,5 \text{ mg m}^{-3}$) konsantrasyonları S yetersizliliğini hafifletici yararlı bir etkiye sahipken (Faller1972; Cowling ve Lockyer, 1976) kısa dönemde yüksek SO_2 (50 mg m^{-3}) konsantrasyonuna maruz kalmak fotosentezde uzun dönemli depresyona sebep olmaktadır (Keller, 1981). Yıllık bitkiler için kritik SO_4^{-2} konsantrasyonu $120 \mu\text{g SO}_2 \text{ m}^{-3}$ iken çok senelik bitki çeşitleri için bunun yarısı kadardır (Saalbach, 1984).

Cucurbita pepo ile yapılan çalışmalar göstermiştir ki aşırı sülfat sağlanması durumunda sistein sentezlenmesi sülfat indirgenmesi tarafından sınırlanmıştır fakat O-asetilserin sağlaması sınırlamıştır (Rennenberg, 1983). Aşırı sülfat durumlarında hidrojen sülfüre indirgenme ve atmosfere salınım olmaktadır. Grundon ve Asher (1986) göre S bileşiklerinin salınımı farklı günlük bir ritim takip etmekte ve gece yarısı yüksek düzeylere ulaşmaktadır.

Organik S bileşikleri köklerde sentezlenebilmesine rağmen S ağırlıklı olarak filizlerde sülfat olarak taşınır. Köklerden filiz dokularındaki kloroplastlara S taşınımı ki burada indirgenme ve özümsem yer alır çok yönlü geçiş membranlarını ve ksilemde uzun mesafe taşınma aşamalarını kapsar (Clarkson ve ark. 1993).

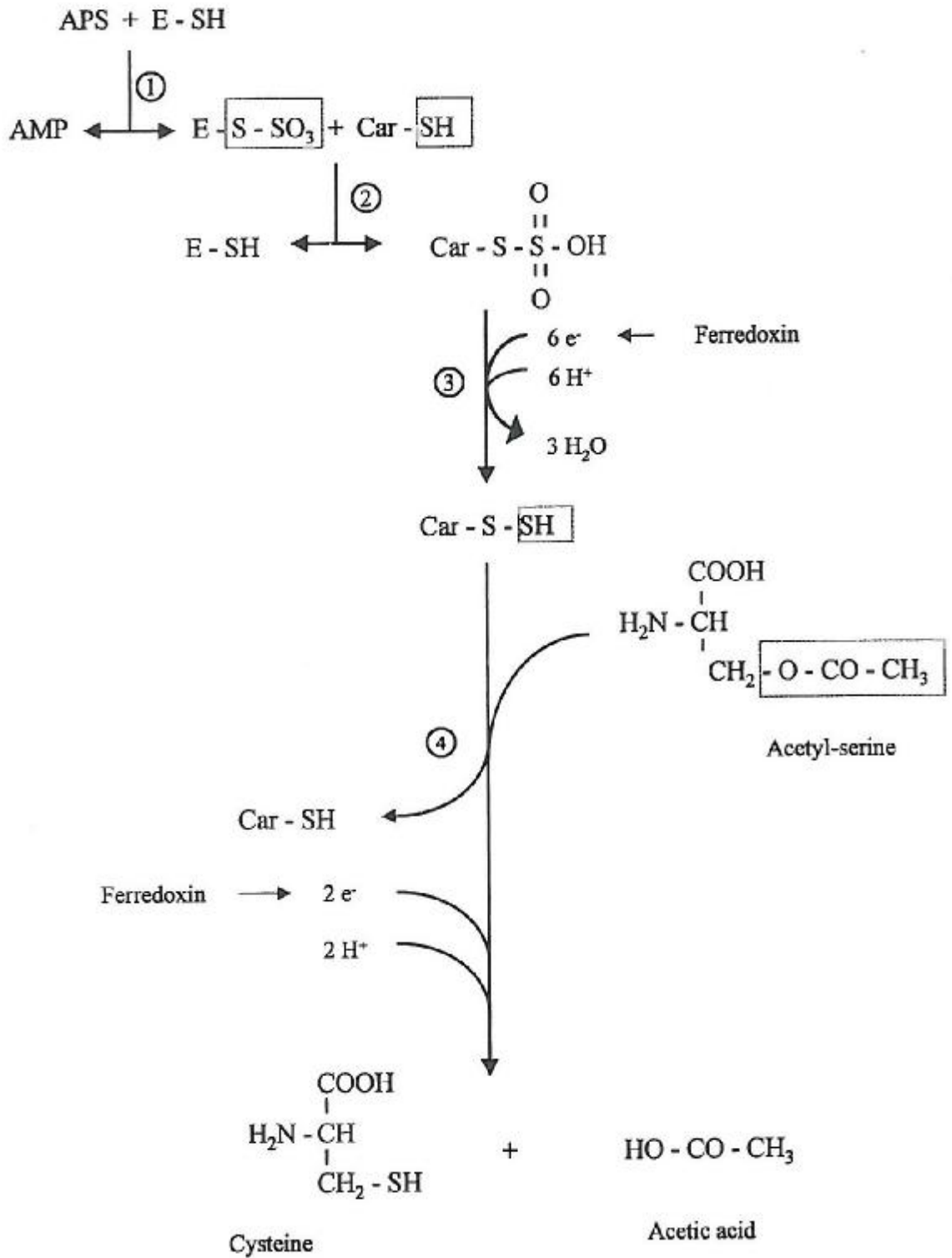
Smith (1976)' in kinetik çalışmaları göstermiştir ki SO_4^{-2} taşınımında rekabetçi bir inhibitördür. Ksileme SO_4^{-2} yüklenmesi, suyun dikey hareket oranı ile birbirini etkilemektedir ve yapraklara SO_4^{-2} taşınışını motive eden itici güç terlemedir. İndirgenmiş S formunda, sistein olarak taşınır ki burada glutathion bileşiklerine dönüşür (Zhao ve ark., 1999a). Hell ve Rennenberge(1998)'e göre sülfat genellikle floem de meydana gelir. Bununla birlikte phloem deki sülfat hareketinin, sucros un kütle akışını takip edip etmediği hala açık bir sorudur. Filizlerden köklere indirgenmiş S akışı esas olarak glutathion formunda olmaktadır.

2.2.2. Sülfat Sentezlenmesi ve İndirgenmesi

Sülfat indirgeyen enzimlerin büyük çoğunluğu, yüksek bitkilerde kloroplastlarda lokalize olmuştur. İndirgenmenin büyüklüğü ışık şiddetine bağlıdır (Frankhauser ve Brunold, 1978; Schmutz ve Brunold, 1984). İndirgenme olayında

diğer organellerin rolünün bulunup bulunmadığı bilinmemektedir. Sülfat indirgenmesinin kök plastidlerinde yapılmadığı bildirilmiştir.

Kükürt asimilasyonu adenozin fosfosülfatın oluşumu ile başlar. Bu reaksiyon ATP sülfür az enzimi tarafından katalize edilir. Bu enzimin yüksek bitkilerdeki temel sülfotransferaz olduğu ve bir çok bitki türünde bulunduğu düşünülmektedir. Reaksiyon SO_4^{2-} 'tan ATP'ye transfer edilmiş sülfürl grubunun bir değişimidir ve adenosine-fosfosülfat (APS) ve profosfat oluşumu ile sonuçlanır. APS, ATP tarafından fosforilize edilir ve böylece adenozin 3-fosfo-5 fosfosülfat (PAPS) oluşur. *Schiff ve ark., (1993)* göre , sülfat esterlerinin oluşumunda PAPS sülfürl gruplarının ana vericisidir.



Şekil 2.4. Sülfat indirgenmesi reaksiyonu

PAPS sülfotransferaz bakteride, siyanobakteride ve ıspanakta bulunmuştur. Sülfüril gruplarının asimilasyonundan (indirgenmesi) daha karmaşık prosesler bu zamana kadar tam olarak açıklanamamıştır. *Schiff ve ark., (1993)* en önemli reaksiyon basamaklarını aşağıda göstermiştir.

I.Basamak APS sülfüril grubu bir enzime (E-SH) sülfirlenmiş enzim oluşturarak transfer olur.

II.Sülfüril grubu bilinmeyen bir taşıyıcıya transfer edilir, SH grubundaki H ile sülfüril grubu yer değiştirir böylece disülfir köprüsü oluşur.

III.Taşıyıcının sülfiril grubu ferredoksinde gelen elektronla indirgenir ve böylece SH grubu taşıyıcı kompleksin üretildiği yerdeki bir S'e bağlanır.

SH (thiol grubu) acetillelerine ve sisteine transfer olur ve asetik asit üretilir. Transfer için gerekli iki elektron ferredoksinle sağlanır. Katalizi yapan enzim O-acetyl serine sülfürhidrolazdır.

2.2.3. Ürün Oluşumu ve Kalitesi

Kükürt (S) asimilasyonu hayati hücre molekül bileşiklerini sağlamada ve bitki metabolizmasında anahtar rol oynamaktadır buna ek olarak çevre ile hücrel iletişim içinde sinyal molekül rolü oynar. Köklerdeki S alımı, S asimilasyonunda düzenleyici adımlardan biridir. S kök hücrelerinde plasma membranları boyunca salınır ve ksilemde yüklenir, terleme ile filizlere taşınır (*Höffgen ve ark., 2001*).

Sistein ve methionin gibi amino asitlerin ve dolayısı ile proteinin temel yapı taşlarından birisi S'dir. Bu amino asitlerin her ikisi ko-enzim ve ikincil bitki metabolitler S içeren diğer bileşiklerin göstergesidir. S bu bileşiklerin yapısal bir elemanı ($R^1 - C - S - C - R^2$ gibi) veya metabolik olaylarda doğrudan ilgili bir fonksiyonel grup (R- SH gibi) gibi hareket eder. Bitkideki organik indirgen S'ün yaklaşık % 2'si suda çözünür thiol fraksiyonunda (-SH) bulunur ve normal şartlarda bu fraksiyonun % 90'nın dan fazlası tripeptit glütation şeklindedir. (*De Kok ve Sluten, 1993*). Glütation bitkilerde bir çok fonksiyondan sorumludur. Glutation sentezi iki aşamada gerçekleşir, birinci aşamada glutamat ve sisteinden

glutamilsistein oluşumu, ikinci aşamada Mg'a gereksinim duyan glutatyon sintaz enzimi aracılığı ile glisin'in glutamilsisteine bağlanmasıdır (*Hell ve Bergmann, 1988*).

Bitkilerde glutation içeriği köklere oranla yapraklarda daha fazla bulunmaktadır. Yapraklardaki glutationun % 50'den fazlası ise kloroplastlarda lokalize olmuştur (*Rennberg ve Lamourex, 1990*). Kök apikal bölgesinde glutation temel düşük molekül ağırlıklı thiol bileşik olmuş yaş ağırlık açısından $0,7 \text{ mmol kg}^{-1}$ içerdiği ve bu değerin sisteinden ortalama 4 kat yüksek olduğunu bulmuşlardır (*Nieto-Sotelo ve Ho, 1986*). Glutation suda çözünür ve bitkilere anti oksidatif dayanıklılık kazandırır ve sistein-sistin redoks sisteminde de büyük bir rol oynamaktadır. Kloroplastlardaki anti oksidanlardan glutation ve askorbatın oksijen radikallerinin ve hidrojen-peroksitin detoksifikasyonunda askorbat peroksidaz ve glutation reduktaz enzimler aracılığı ile de önemli role sahiptir. Hücrelerde glutation reduktazdan dolayı glutation indirgen formda bulunur. Mg eksikliğindeki bitkilerde yoğun ışık altında glutation reduktaz enzim aktivitesinde görülen artışla (*Cakmak ve Marschner, 1992*) veya ozon ve SO_2 gibi diğer oksidatif streslere karşı tepkilerin belirlenmesiyle (*Smith ve ark., 1990b*) glutationun oksidatif rolü ortaya konmuştur.

Glutathion'nin tuzluluk stresi altında sentezi, tuzluluğa tolerans ile ilişkilendirilmiştir (*Noctor ve ark.,1998; Kocsy ve ark.,2004; Ruiz ve Blumwald, 2002*) ve GSH sentezi, S sağlama ve S asimilasyonuna bağlıdır. GSH sentezini hareketlendiren çevresel şartlar, Cys içinde S-asimilasyonunu artırır ve bu S-asimilasyonu, sorumlu anahtar enzimdeki artış doğrultusunda olur (*Farago ve ark., 1994*). Tripeptid GSH düşük molekül ağırlığıyla çok miktarda bulunur böylece ana depolama indirgenmiş S, taşınma formunda ve çeşitli biyotik ve abiyotik stres koşullarına karşı savunma sisteminde ve hücrelerdeki redoks bütçesinde önemli rol oynar (*Rahat N. ve ark.,2011*).

Tuzluluk dünya üzerinde üretime ve bitki gelişimine etki eden başlıca stres faktörüdür. Tuzluluk, iyonik/osmotik etkisi ile birlikte bitkinin büyüme ve gelişmesine fotosentezin azalmasına sebep olur. Bitkiler tuzluluk stresinin üstesinden gelebilmek için birkaç mekanizma geliştirmişlerdir. Tuzluluk etkisini azaltıcı bitkinin mineral beslenme durumunu düzenleyici etkili savunma sistemi olarak birkaç mekanizma olabilir. S bitki gelişimi ve büyümesinde önemli bir besin elementidir, N,

P, K'dan sonra bitki besin elementi olarak 4. sırada düşünülmektedir. Vitamin, Ko-enzimler, phitohormonlar gibi bir kaç önemli bileşiğin ayrılmaz bir parçasıdır. Optimal şartlarda ve stres koşullarında bitkinin tepkisini ve gelişimini anlamak amacıyla uygulanan S miktarı azalmıştır. Bu çalışmada bitkinin metabolizması ve psikolojisi üzerine tuzluluğun etkisini ve tuzluluk toleransında S'ün önemini anlamak amacıyla yapılmıştır.

S içerikli bileşikler bitki stres savunmasında önemli rol oynamaktadır, bununla birlikte tuzluluk stresi ve sülfat asimilasyonunun mekanizması hakkında çok az bilgi bulunmaktadır.(*Rahat N. ve ark., 2011*).

Sistein habercidir ve bitkide diğer organik bileşiklerin çoğunda S-donörüdür.. Tuzluluk stresi altında, Cys için talep oldukça yüksektir ayrıca antioksidan veya osmolites gibi S bileşiklerin rolünün olduğu da kabul edilmiştir (*Barrosa ve ark., 1999*).

GSH sentezini hızlandıran çevresel koşullar Cys içinde S- asimilasyon talebini artırır. (*Ruiz ve Blumwald, 2002*). Bitkilerde ki GSH sentezinin, bikiin S-sağlaması tarafından düzenlendiği ve buna bağlı olduğu bulunmuştur. Arabiadopsis thaliana bitkisinde azalan gluthaonin S-yetersizliği ile ilişkilendirilmiştir (*Nikiforova ve ark., 2003*). S-yetersizliği sırasında GSH içeriği domates hücre kültürlerinde hızlıca azalmıştır fakat sülfat ve cys yeniden sağlanmasına bağlı bulunmuştur (*Smith, 1980*)

Kükürt assimilantları sadece bitki metabolizmasında anahtar rol oynamaz ayrıca hücresel moleküller için gerekli strüktürel bileşikleri de sağlar ve buna ek olarakta çevre ile iletişim için sinyal molekülleri olarak hareket ederler. S asimilasyonu köklerden sülfat alımını düzenleyen başlıca adımlardan biridir (*Rahat N. ve ark. 2011*). Çalışmalar göstermiştir ki S asimilasyon enzimleri tuzluluk stresinde ne artmış ne azalmış nede aynı oranda kalmıştır (*Lopez Berenguera ve ark., 2007; Fei ve ark., 2008; Koprivova ve ark., 2008*).

Sistein ve diğer metabolitler, serbest sülfhidril grupları taşır. Sistein indirgenmiş S içeren bütün organik metabolitlerin merkez habercisidir ayrıca sistein ve türevi metabolitler stres toleransında hassa bir rol oynarlar (*Höffgen ve ark.,2001*).

Glutation aynı zamanda geçici indirgen S kaynaklarının fonksiyonunda da rol oynar (*Schütz ve ark., 1991*) ve doku düzeyinde sistein konsantrasyonunu dengede tutabilir. (*Schimid ve Jager, 1992*).

Kükürt asimilasyonu ve S-içerikli bileşiklerin üretimi temel biyolojik bir aktivitedir ki bunlar pek çok biyolojik proseste önemli rol oynar, glutathion ve phitochelatin gibi S- içerikli bileşikler rolü bitkideki iz elementlerin dengeleşmesini kapsar.

Bitkilerde iz elementlere maruz kalma tepkisi ve S dengeleşimi bağlantılı görülmektedir, iz element uygulamaları sülfat alımında ve S asimilasyonunu kapsayan enzimlerin yukarı regülasyonlarında artışlara sebep olmuştur (*Notico ve ark., 2006; Sun ve ark.,2007; Van Hoewyk ve ark., 2008*). Methionine (Met), glutathione (GSH) , nikotin amid (NA), phitokhelatin (PC) ve phitoaleksinin de içeren pek çok elzem S bileşikler direkt veya indirekt sisteinden (Cys) türemiştir (*Droux ve ark., 1998; Mendoza-Cozalt ve ark., 2005; Rausch ve Wachter, 2005*).

Kükürt asimilasyon aktivasyonu ve iz elementlerin bitkideki dengeleşimi açıkça birbiriyle bağlantılıdır. S içerikli bileşiklerin biyosentezini kapsayan pek çok enzimin yukarı yönlü regülasyonu iz elementlere maruz kalmasıyla oluşur. Benzer olarak bu enzimlerin fazla üretimi, çeşitli iz elementlere direnci ile arttığı bulunmuştur, fakat pek çok durumda bu iz elementlerin birikiminin artmaması ile sonuçlanmıştır. S içerikli bileşiklerin, bitkilerdeki iz elementlerin zehrini gidermede önemli rol oynar. Biriktirici olmayanlar sitosoldaki iz elementlerin zehir etkisini gidermede iz element stresi altında PC gibi güçlü S içerikli bileşiklerin kompleksleşme yoluyla başarılmaktadır. Bununla birlikte hipertoplasyıldaki toleransları bazı parçalara GSH aracılı metal baskısının sebep olduğu oksidatif stres yoluyla ve iz element dengeleşimiyle başarı elde edilmiştir., ki bu iz element dengeleşimi vokuollerdeki depolama bölümlerindeki ayrılma vasıtasıyla devam etmektedir (*GunNam Na, David E. Salt, 2010*). Aynı zamanda glutatonda bitkilerde ağır metal detoksifikasyonunda görev alan fitoşelatinlerin (*Gril ve ark., 1987; Rsuser, 1990*) göstergesi olarak ta değerlendirilir.

S yükseltgenme-indirgenme tepkimeleriyle elektron aktarımında önemli rol oynayan ferredoksinlerin önemli bir parçasıdır (*Marchner, 1995*)

Nif -S gibi proteinler, S ve Se metabolizmasında önemli rol oynayan bakteriler de çalışılmıştır (*Doug Van Hoewyk., 2008*). Bunlar lar. NifS gibi proteinlerin artık bütün organizmalarda olduğu düşünülmektedir, en iyi bilinen sistein ve desülferaz aktivitesidir ki alanin içinde sistein değişim katalizidir ve çeşitli ko-faktörler için elementel S gereklidir. Fe-S bileşikleri tiamin, biotin ve molibden ko-faktörüdür. Bitkiler 3 çeşit Nif-S gibi protein içerir, mitokondride (mtNifS), kloroplastlarda (cpNifS) ve sitosol (ABA3) lokalize olmuşlardır. mtNifs, biotin formasyonu için ve mitokondrial ve sitolik proteinler, Fe-S bileşikleri için S sağlarlar. cpNifS, kloroplastlarda Fe-S bileşiklerinin birleşmesi için gereklidir ve belki tiamin sentezinde de ihtiyaç duyulabilir. 3. NifS proteini, ABA3 sitosoliktir ve muhtemelen Fe-S bileşiklerinin formasyonuna katılmaktadır fakat Mo (molibden) faktörünün sülfürasyonu için daha çok ihtiyaç vardır. Sistein desülfüraz aktivitesine ek olarak Nif-S gibi proteinler selenosistein lise aktivitesine sahiptirler ki bu element selenyum ve alanin içindeki selosisteine dönüşmektedir (*Doug V.H. ve ark.,2007*).

Pek çok hayvan, bakteri ve yeşil alglerin aksine temel selenoproteinler için selenosistein lise aktivitesine ihtiyaç vardır. Bitkilerin Se ihtiyaçları bilinmektedir. Bununla birlikte selenosistein lise aktivitesi cpNif-S de bulunmuştur, belkide selenat konsantrasyonu yüksek alanlarda yetişen bitkilerdeki, Se toksitesini önleyebilir.

Gen çağı başladığından bu yana bitki Nif-S gibi protein fraksiyonlarında heyecan verici anlayış doğmaktadır. Her üç Nif-S proteini Cys-desülfüraz ve SeCys lise aktivitesine sahiptir. SeCys lise aktivitesi, se toksitesini önlemede koruyuculuğa sahiptir (*Dough Van, Hoewyk, Marunus Pilon, Elizabeth, 2007*).

Toplam S ihtiyacı, ürün çeşidi ve bitkinin gelişim durumu arasında oldukça farklılık gösterir. Kuzey Avrupa tarım arazilerinde S yetersizliği, ana beslenme problemlerinden biri olduğundan bu yana yüksek S talepleri ile pirinç bitkisinde ki S beslenmesine büyük önem verilmektedir. (*Schnug and Haneklous, 1994*) S alımı ve S taşınması kolza yağlık tohum çeşitlerinde bitkinin bir parçası ve gelişme dönemlerindeki fonksiyonu açısından farklılık göstermektedir.

Bir çok yakın tarla denemesinde *Zhao ve ark., (1997)* S yetersiz bölgelere kıyasla S-yeterli bölgelerde yetişen kolza tohumunun glukosinolat konsantrasyonunu normalden yüksek bulmuşlardır. Bununla birlikte S-yeterli bölgelere kıyasla S-

yetersiz bölgelerdeki S-gübre uygulaması glukosinolat konsantrasyonu artışı daha çok olmuştur (*Withers ve O' Donnell, 1994*). Bu artış S-yetersizliğinin bir sonucu olarak S alış kapasitesindeki artış ile açıklanabilir (*Clarkson ve ark., 1993*). Glukosinolatlar ikincil metabolik gruplar olarak β -thioglucoze, sulphonated oxim ve yan zincir içerirler. Konsantrasyonlarının S sağlaması ile yakından ilişkili olması şaşırtıcı değildir çünkü her glukosinolat molekülü iki veya üç S atomu içerir (*Zhao ve ark., 1997*).

Kükürt sağlaması sadece kolza tohumundaki glukosinolat konsantrasyonuna etki etmez ayrıca bireysel glukosinolatların nisbi oranı üzerinde de etkilidir (*Zhao ve ark.,1997*).

Demir-sülfür bileşikleri kimyasal olarak basit yapıda olmasına rağmen fonksiyonel olarak çok yönlüdür ve protein prostetik gruplarıdır. Fotosentez , terleme ve N-bağlanmasını içeren hayatın temel aşamalarının merkezidir. FeS bileşikleri, sistein ve Fe atomlarının interaksiyonu boyunca polipeptid zincirlerinde bağlıdır. Fe-S bileşiklerinin kimyasal özellikleri protein birliktelikleridir, terleme fotosentez, N-fiksasyonu, DNA onarımı ve metabolik olaylar gibi temel aşamalarda rol alırlar.

Fe-S proteinleri, mitokondrilerdeki terleme fonsiyonunda elektron transferinde anahtar rol oynamaktadır. Buna ek olarak Fe-S prostetik grupları, sülfid ve nitritin redüktazında ko-faktördür ki bu kloroplastlarda anılan sırasıyla S ve N özümsemesini kapsar. Fe-S bileşikleri katalitik enzimlerin aktif bölgesi olarak hizmet etmektedir. Ayrıca bu bileşikler düzenleyici mekanizmada da görev almaktadır (*Janneke B. ve Stephan L., 2005*). Fe/S bileşikleri eukaryotic proteinler ve pek çok bakterilerin ko-faktörü olduğu çok yakında daha açık hale gelecektir. Fe/S proteinlerinin biyolojik fonsiyonu 3 katogoride gruplandırılabilir. Bunlar elektron transferi, enzim katalizi ve düzenlemesidir.(*Lill ve ark., 2006*).

2.3. Kükürt Uygulamaları ile İlgili Araştırma Sonuçları

Buğdayın S ihtiyacı, baklagil ve yağlık tohum tahıllarına kıyasla daha azdır (*Duke ve Reisenau, 1986*). Toprakta pek çok tahıl için yeterli miktarda S bulunmaktadır (*Johnson ve ark., 2000*) . Oklohomada ki bütün ürünler için S- gübre

tavsiyesi yapılmaktadır, özellikle buğday danesindeki N:S oranının 20:1 olması üzerine çünkü N:S oranı tahıllarda yeterli S kullanım değerini tayin etmek ve eksiklikleri araştırmak için güvenilir bir endekstir. (*Kefyalew G. ve ark., 2005*). Fakat bu oran çok farklı düzeylerde rapor edilebildiğini bildirmişlerdir (*Rasmussen, 1996*).

Kükürt ve Azot arasındaki interaksiyondan dolayı, glukosinolat sentezi üzerine kolzanın S- besleme durumunun etkisi daima N sağlaması ile birlikte düşünülmesi gerekmektedir. *Zhao ve ark., (1997)* glukosinolatlarda S-bağlı tohum oranı ve N sağlaması arasında güçlü bir interaksiyon bulmuştur. S yetersizliğinde artan N uygulamaları glukosinolat konsantrasyonunu azaltmıştır fakat S uygulandığı zaman glukosinolat konsantrasyonu artmıştır. *Fimes ve ark., (2000)* organik S bileşiklerce zengin rendzina topraklarında yaptığı araştırmada S-gübre uygulamalarının tohum üretimine ve tohumun yağ içeriğine etki yaptığına dair belirti görmezken tohumdaki glukosinolat konsantrasyonunu artırdığını bulmuştur.

Buğdayın S ihtiyacı göreceli olarak daha azdır. Yeterli S düzeylerinde sadece tatmin edici ürün gelişimi için değil, danedeki S-içeren amino asitlerin optimum düzeyde bulunmasının temini için de dikkate alınmalıdır. S-sınırlı şartlar altında yetişen danenin büyüklüğünün azalmasıyla, buğdayın yeniden üretimi vejetatif gelişmeye kıyasla S-yetersizliğinde çok daha hassas görülmektedir (*Zhao ve ark., 1999a*).

Olgunlaşmış danedeki ana S, proteini olarak S-içerikli amino asit methionin, sistein formundadır. Tahıllarda S-beslemenin bu amino asitlerin içeriğine etkisi araştıran bir çok çalışma yapılmaktadır. Genellikle yüksek S düzeyleri ile S içeren amino asit içeriğinde artış olmuştur. *Wringley ve ark., (1980)* ve *Byers ve ark., (1987)* kurdukları saksı denemelerinde S yetersizliğinin danedeki sistein ve methionin konsantrasyonunu ve toplam amino asit içeriğindeki yüzdelerle ifade edildiği gibi azalttığını bulmuşlardır. S ve N strüktürel protein içeriklidir ve bu iki element arasında interaksiyon beklenmektedir (*Rending, 1986*) ve danedeki S ve N arasındaki denge buğdayın ekmek yapım kalitesi için çok önemlidir (*Randall ve Wringley, 1986*).

Bağımsız bitki çeşitlerinde S yetersizliği vejetatif dokulardaki protein olmayan N birikimi ile sonuçlanırken (*Botton ve ark., 1976*) protein konsantrasyonunu azaltmıştır (*Rendin ve ark., 1976*).

Bezelyede S noksanlığı yüksek düzeyde S içeren depo proteinleri olan albumin ve legumin sentezlenmesinde bir azalmaya sebep olurken sistein ve methionin yönünden fakir vilicin ve convilicin depo proteinlerinin konsantrasyonunu arttırmıştır (*Chandler ve ark., 1984; Schroeder, 1974*).

Değişen sülfür uygulamalarına şeker kamışının yanıt hakkında çok az bilgi bulunmaktadır. Yapılan araştırma, şeker kamışındaki toplam S konsantrasyonu ve N:S oranı bitkinin S durumundaki gösterge olarak görülüp görülmeyeceği hipotezini bu araştırmada test edilmektedir.

Kontrollü şartlarda serada organik madde içeriği ve S miktarı düşük kullanılarak yapılan saksı denemelerinde, kum iyice yıkanarak tüm S uzaklaştırılmıştır. 1997 yılında kurulan denemede S, K₂SO₄ olarak saksı başına 0-30-70-200 ve 2000 mg ; 1999 yılında kurulan denemede ise 30-100-400 mg verilmiştir. Yağlık kolza tohumu ve hububatların aksine şeker kamışı üretiminde elde edilen sakaroz S'li bileşikler içermemektedir. Bundan dolayı şeker kamışındaki S eksikliği özümsemelerin miktarına etki etmekte ve bu suretle yapraklardaki klorofil içeriğindeki şiddetli düşüşten dolayı köklerdeki şeker depolanmasına etki etmektedir (*Hosking, 1995; Kastori ve ark., 2000*). Buna ek olarak S yetersizliği sadece ürün üzerindeki etkisi ile değil N:S oranındaki değişimiyle de dikkate alınmalıdır (*Hoffman, Koch; 2003*). Yüksek orandaki özümsemiş N, serbest amino asitler ve amidler olarak depolanmaktadır bu da teknik açıdan şeker kamışının kalitesini düşürür.

Her iki denemede de hazıranda alınan yaprak örneklerinin S konsantrasyonu ve genç yapraklardaki N:S oranı şeker kamışının S durumunun göstergesi olarak uygun görülmüştür. Genellikle şeker kamışı, S yetersizliğine karşı düşük riskli bir bitki olarak düşünülmektedir. Çünkü şeker glukosinolatlar veya S-içerikli proteinler gibi S'li bileşikler içermemektedir, fakat sonuçlar açıkça göstermiştir ki şeker kamışı üretimi ve kalitesi sınırlı S-sağlanması durumunda ciddi şekilde etkilenmiştir. S-sağlamanın kesilmesi ile klorofil içeriği, karotinoid, yaprak

yüzey alanı, stomal ve epidermal hücreler terleme oranı ve yaprak su potansiyeli azalmıştır. S yetersizliğinde fotosentezdeki ve bitki su durumundaki değişimden dolayı ürün azalması ile sonuçlanmıştır.

Yetersiz S sağlaması, amino N konsantrasyonu üzerine, şeker konsantrasyonundan daha fazla etkilenmiştir. Bu da S'ün N metabolizması üzerine C metabolizmasına kıyasla daha fazla etki ettiğini gösterir (*Christa H.ve ark.,2004*).

Thomas ve ark. (2003). Yaptığı çalışmada şeker kamışının uygun biçimde S ihtiyacı olduğunu göstermiştir. Ürün ve ürün kalitesinde S gübreleme ile farklılıklar olmuştur, özellikle atmosferik S girişinin az olduğu hafif kumlu topraklarda şeker kamışının kök yoğunluğu, diğer tahıllarla kıyaslandığında toprak altı çözeltisinin gücünü artırmaktadır ve bundan dolayı S yetersizliğindeki potansiyel riski sınırlandırmaktadır. Şeker kamışının S-gübrelemeye yanıtı ve S durumunun kritik seviyesinin tanımlanabilmesi için daha fazla çalışma yapılması gerektiğini belirtmişlerdir.

Hardal, soğan, sarmısak ve bunlar gibi bitkiler uçucu S bileşikleri içerirler. Bu bileşikler temelde disülfidler yada polisülfitlerdir. Hardal, kolza, lahana, turp ve şalgam gibi bitkiler ve hardal yağları olarak adlandırılan bileşikler S içerir, Glutamat, aspartat, alanin ve serin gibi amino asitleri hardal yağlarının sentezlenmesinde önemli rol oynar (*Kaçar ve ark. 2002*).

Lahanagillerin yüksek miktarda S'e gereksinim duyması S içeren glukosinolatlar ile ilişkili olduğu ve bu bileşiğin bitkide tat, aroma ve hastalıklara karşı dirençte önemli bir role sahip olduğu bilinmektedir. Bitki vegetatif dokularındaki S'ün % 10' nun glukosinolat şeklinde olduğu saptanmıştır. (*Blake-Kalff ve ark., 1998; Fieldsen ve Milford, 1994*). Buna karşın lahanagillerin dokusundaki total S'ün % 50'den fazlası SO₄ şeklindedir. Lahanagillerin yüksek S ihtiyacı içsel S kullanımlarının düşük olmasına rağmen yüksek sülfat alım kapasitesine sahip olmalarından kaynaklanabilmektedir. Pırasa ve soğanın S gereksinimi 30-40 kg ha⁻¹'dir. Bu bitkiler S-alk(en)il-L-sistein sulfo-oksit gibi S içeren ikincil metabolitlere sahiptirler. Bu bileşikler enzimler tarafından parçalandığında karakteristik bir tat verirler. Tahıllar, baklagiller ve şeker pancarı 10-

20 kg S ha⁻¹ ihtiyaç duyarlar. Bu değer aynı bitkinin N ihtiyacının yaklaşık % 10'nuna tekabül eder.

Buğday üretimi ve gübrenmesinde artan fiyatlar ayrıca atmosferden S miktarının azalması, tarım yönetimi ve üretim kalitesinde gelişmeyi gerektirmektedir. Zamana bağlı S-gübreleme iki farklı buğday çeşidinde, protein miktarı, bileşimi ve pişirme kalitesi araştırılmıştır. Batis ve Turkis buğday çeşitleri kullanılarak kurulan denemede danedeki glutathionun konsantrasyonu S'lü gübremelerde güvenilir bir markır olarak kullanılmıştır. Gliadins ve glutenin alt ürünlerinin S-gübrelemesi ile S-zengin proteinlerin önemli ölçüde arttığı görülmüştür, bununla birlikte S'çe fakir proteinlerde azalmıştır. Kepekli un kullanılarak yapılan pişirme testinde, pişirme kalitesinin hesaplanabilmesi için geç S-gübrelemede pişirme kalitesinin ve gluten protein kompozisyonunun geliştiği bulunmuştur. (Zörb ve ark.,2009).

Gelişen tohumlar N ve S depolarının dengeleri için dengeleşim mekanizmasını kullanırlar. N sağlaması tohumdaki protein birikim düzeyine karar vermede ana faktördür. S, bireysel protein genleri transkripsiyonel ve post-transkripsiyonel yoluyla devamını sağlayarak protein kompozisyonunda iyi bir yapı sağlamaktadır (Linda Tabe, Nicholas Hagan ve TJV Higgings, 2002).

Sınırlı kirlenme ve azalan asit yağmurları, kış buğdayında görülebilir S eksikliği semptomlarında S-gübreleme yapılmadığı zamanlarda arttığı gözlemlenmiştir. Dünya çapında buğday gübreleme girdileri yükselmektedir, gübreleme yönetim yeniliklerine ihtiyaç vardır. Ayrıca uygun S-gübreleme, iyi pişirme kalitesi elde etmek için gereklidir. Uzun zamandır bunu N yetersizliğinden kaynaklandığı bilinmekteydi. S yetersizliğiyle bitkilerde sülfat asimilasyonu ve nitrat indirgeme kapasitesi azalmıştır Christian ve ark., (2009) saksı denemelerinde S yetersizliği altında dane üretiminde % 70'e yakın oranda azalma olduğunu teyit etmişlerdir. Buna ek olarak buğday danesindeki N:S oranı, protein içeriği ve S konsantrasyonu üzerine S-gübrelemenin önemli ölçüde etki yaptığı sonucuna varmışlardır.

Buğday üzerine yapılan çalışmalarda S-sağlaması yapılmaksızın bitkiler fotosentez için yaprakta çözünebilir S kaynaklarından S alabilirler. N:S oranı 1:1 den

yüksek olması S yetersizliğinin bir göstergesi olarak amidler ve protein olmayan bileşiklerin birikimi ile sonuçlanır. Ayrıca bu bileşikler ekmek yapım kalitesini de kötü yönde etkilemektedir.

Buğdayda farklı S uygulamalarının, undaki gluten protein miktarında ve kompozisyonunda etkili olduğu bilinmesine rağmen, tek protein çeşitlerinin miktarı ve oranı üzerine etkisi tam karara bağlanamamıştır. Sonuçlar göstermiştir ki ham protein kadar gluten protein miktarı ve un içeriği çok az etkilenmiştir halbuki tek protein çeşitlerinin miktarı ve oranı farklı S uygulamaları ile güçlü şekilde etkilenmemiştir. Bu değişim açıkça her protein çeşidinin Cys ve Met içeriğine bağlıdır (Wieser H.; 2004).

Sülfat asimilasyonu, çeşitli hücre içi aşamaları için indirgenmiş S kaynağı olarak bitki stres savunmasında kullanılan GSH sentezi için temel bir yoldur. S asimilasyonu GSH formasyonu S gübreleme ve GSH formasyonu arasındaki korelasyon ve ekmek yapım kalitesi üzerinde çok önemli bir etkiye sahiptir (Christian zörb ve ark., 2009).

Hilal ve ark., (1992) kumlu topraklar üzerinde yetiştirilen bakla bitkisinin verimine, kök gelişimine ince ve garanüler S'ün etkisini incelemiştir. S uygulamaları toprak pH'sını düşürürken, yüzey toprağının alınabilir P_2O_5 ve SO_4^{-2} düzeyi artmıştır. S ayrıca aktif kök bölgesinde kök gelişimini ve bitki başına tohum verimi Cu ve Zn alımının da arttığını belirtmişlerdir.

S uygulamasının S-yetersiz toraklarda ki baklagil üretimini olduğu kadar N yüzdesini de artırdığı sık sık rapor edilmektedir (Eppendorf ve Bile, 1992). Baklagillerde S sağlamanın, N_2 fiksasyonu üzerine çok fazla çalışma yapılmamasına rağmen son zamanlarda Scherer ve Lange (1996) optimum S sağlama ile yüksek N birikiminin olduğunu bulmuşlardır. Lange (1998) S'ün N-bağlayan rizobiyum mikroorganizmalarına olan etkisi ile baklagillerde biyolojik N_2 fiksasyonunu, nodül oluşumunu, PEP karboksilaz aktivitesini ve baklagillerin protein konsantrasyonunu etkilediğini ortaya koymuştur. S uygulamasının yoncada simbiyotik olarak fikse edilen N miktarının yüzdesinde artışa sebep olmuştur (Shock ve ark., 1984). Baklagillerde S gübrelemesi ile nodül sayısındaki artışın sebebi birim

kök uzunluğu başına nodül oluşturmaının artmasında değil daha iyi bir kök gelişiminden dolayı olmuştur (*Gilbert ve Robson, 1984 Scherer ve Lange , 1996*).

Fatalah ve Schwab (1990) tarafında soya fasulyesi (Williams) kullanılarak W. Kansas'dan alınan kireçli, siltli tınlı toprakta, S ilavesinin mikro element yarıyışlılığı üzerine etkisini incelemiştir. Deneme de 0-200-400 mg kg⁻¹ elementel S; 0-2,5-5 mg kg⁻¹ Zn (ZnO olarak); 0,5 ve 10 mg kg⁻¹ (Fe (FeCl₃ olarak) bütün kombinasyonlarda uygulanmıştır. Toprak inkübasyona bırakılmış ve periyodik şekilde pH ve DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn ve Fe belirlemek için örnek alınmıştır. S ilave edildiğinde toprak pH'sı değişmemiş fakat kuru madde verimi, bitkinin Zn alımı ve DTPA'da ekstrakte edilebilir Zn artmıştır fakat Fe konsantrasyonu S ilavesinden etkilenmemiştir. Zn ilavesi bitkinin Zn konsantrasyonunu artırmıştır fakat Fe'de böyle bir etki görülmemiştir. S, Zn ve Fe kombinasyonlarında DTPA'da ekstrakte edilebilir Fe ve Zn konsantrasyonu, kuru madde verimliliği ve bitkinin alımı artmamıştır. Son olarak kireçli, siltli ve tınlı topraklarda Zn ve S uygulamalarının Zn için olumlu sonuçlar verebildiğini fakat toprakta Fe eksikliğinin giderilmesi için uygun olmadığı sonucuna varılmıştır.

Grendy ve ark. (1995) Mısır'da Broad fasulyesi üzerine farklı sulama oranları ve S uygulamalarının etkisini araştırmak amacıyla kurdukları tarla denemesinde bitki kuru ağırlığı, bitki boyu ve dalların sayısı gibi vegetatif karakterler ve nodül ağırlığı, nodül sayısı ve tohum kabuklarının sayısı gibi vegetatif olmayan özellikler ile tohum ve saman verimi protein içeriği, N; P alımı ve topraktaki yararlanılabilir P₂O₅ ve toplam N incelemiştir. Artan sulama ve S uygulamaları ile bitkinin P ve N alımı, tohum verimi ve protein içeriği topraktaki yararlanılabilir P₂O₅ ve toplam N düzeyinin arttığını bildirmişlerdir.

Chouliars ve Tsadilas (1996), kireçli bir toprakta kivi yetiştirerek, S'ün toprak pH'sı, K, P Fe, Zn, Mn ve Cu yarıyışlılığı üzerine etkisini araştırmışlardır. Toprak pH'sının 1,8 birim azaldığını bildirmişlerdir. Organik P önemli ölçüde azalırken inorganik P artmıştır ve bu durumu mikrobiyal aktivitenin neden olduğu toprak pH'sındaki azalmaya atfetmişleridir. Fe konsantrasyonunda önemli bir artış olmamasına rağmen Cu ve Mn önemli düzeyde arttığını rapor etmişlerdir.

Erdal ve ark. (2000), S gübrelemenin kireçli bir toprakta mısır bitkisi (*Zea Mays L.*) gelişimi ve bitkinin fosfor alımı etkisi, üzerine yaptıkları çalışmada, toprağa değişik şekillerde uygulana S'ün tek başına ve P ile birlikte uygulanması durumunda toprak pH'sı, toprakta yarayışlı P miktarı, mısır bitkisi gelişimi ve bitkinin P alımı üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Araştırma sonunda S uygulamalarına bağlı olarak toprak pH'sı 0,11-0,37 birim arasında azalmış, buna karşılık bitki kuru ağırlığı, bitkinin P alımı ve topraktaki yarayışlı P miktarını arttığını bildirmişlerdir.

Elwan M. W. M. ve ark. (2011) brokolinin C vitamini ve nitrat içeriğine ve gelişmesi üzerine N ve S gübrelemenin etkisini araştırmışlardır. N ve S içerikli gübreleme de brokolinin C vitamini içeriği üzerine etkisi bulunmazken, amonyum sülfat ve üre ile yapılan gübreleme de brokoli dokuları, amonyum nitratlı gübrelemeye kıyasla özellikle sonbahar-kış sezonunda daha az nitrat içermiştir. Brokoli yetiştiriciliğinde N gübrelemesinin daima S gübrelemesi ile birlikte düşünülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Brokoli üretiminde, yüksek mahsul, özellikle nitrat içeriği düşük kaliteli ürün yetiştirilmek isteniyorsa S ile kombineli amonyum sülfat gibi N içerikli gübrelerin kullanılması yönetim açısından büyük önem taşıdığını belirtmişlerdir.

Jian- Ling Fan ve ark. (2010) Çin'in kuzeyinde çeltik tarlalarında insan faaliyetleri sonucu kadmiyum ve kükürt birikiminin görüldüğünü bildirerek aşırı S uygulamasının, pirinç bitkisindeki Fe plakları formasyonuna ve Cd birikimine etkisini araştırmışlardır. Çalışmalar göstermiştir ki aşırı S uygulaması, Cd yarayışlılığını azaltmasından dolayı, kahverengi pirinçte Cd birikimi önemli ölçüde azalmıştır ve pirinç yapraklarındaki glutation içeriği artmıştır. Fakat aşırı S uygulaması, pirinç kök yüzeyindeki Fe plak formasyonunun azalmasında dolayı kökteki Cd birikimi açıkça artmıştır. Bu sebeple aşırı S uygulamalarında pirinç üretim kayıpları olabilir fakat Cd'la kirlenmiş topraklarda yetiştirilen kahverengi pirinçte Cd birikimi etkili şekilde azaltılabilir. Cd toleransı ile ilişkili PCs sentezi için S-teşvikli GSH içeriği artışından dolayı, S pirinç üretiminde Cd-stresini hafifletebilir. Cd'un S ile birlikte CdS olarak çökmesinden dolayı pirinçteki S stresinide azaltabilir.

Toprak pH'sı, S uygulaması ile düşer ve Zn ve Cd çözünürlüğü bütün S uygulamaları ile önemli düzeyde artmıştır. Bununla birlikte Pb'nin çözünmesi S'lü uygulama ile çok az artmıştır. Elementel S ve Zn uygulaması mısırın Zn alımını artırırken, Pb ve Cd alımı üzerine önemli bir etkisi görülmemiştir, çünkü mısır Pb/Cd toksidesine hassas bir bitkidir ki böyle bir durumda ciddi biomas üretimi kayıpları ile karşılaşılır. S uygulamasının topraktaki element hareketliliğini artırmasından dolayı ağır metallerin (Pb, Cd gibi) yer altı suyuna karışma potansiyel riskleri artmaktadır. S-gübreleme uygulamalarında, bitkinin ihtiyacı, topraktaki alınabilir S miktarı ve çevresel risk faktörleri de göz önüne alınarak çok dikkatli şekilde hesaplanmalıdır (*Yanshan Cui ve ark., 2004*).

Çevresel atıklar Fe ve S içeriklerinden dolayı, Yüksek CaCO_3 ve killi topraklarda yararlı sonuç verebilirler. Bu çalışmada atık uygulamaları $20\text{-}40\text{-}60 \text{ t ha}^{-1}$ düzeyinde olmuştur ve ciddi bir ağır metal kirliliği veya toksitesi yaratmamıştır. Önemli bir şekilde belirtmek gerekir ki, kök sebzesi yetiştiriliciliğinde (patates, havuç gibi) ilk gelişme sezonunu takip eden atık uygulamalarından kaçınılmalıdır (*Kaplan M., ve ark., 2005*).

Fismes ve ark., (2000) yağlık kolza tohumu için kullanılan kireçli Lorraine topraklarında yaptıkları çalışmalarda, saksı ve tarla denemelerinde, farklı düzeylerdeki sulfur uygulamasının net N-kullanım etkinliğine, ürüne, tohumdaki glukosinolat (GLS) ve yağ içeriği üzerine etkisini araştırılmışlardır. Yağlık kolza tohumu net N-kullanım etkinliği tarla denemelerinde kontrol parsellerindeki % 25 ve 65 kıyasla % 36 ve 53 arasında değişen oranlarda düşük seviyede ortaya çıkmış N-yetersiz bir üründür. Her iki durum da S eklemesi N-kullanım etkinliğini sadece 75 kg S ha^{-1} geliştirmiş, 35 kg S ha^{-1} (10 % v/v) ile amonyomtiosülfat uygulamasında gelişme elde edilememiştir. S gübrelemesi GLS içeriğini artırmıştır Bitkinin N/S alım oranı ile GLS içeriği arasında negatif bir korelasyon gözlemlenmiştir. Saksı denemelerinde GLS içeriği % 52 gibi en yüksek düzeyde artış göstermiştir. Fakat Bütün GLS düzeyleri Avrupa normlarının $18 \text{ mmol g tohum}^{-1}$ altında kalmıştır. Bununla birlikte tohum yağ içeriği S'süz veya S'süz N gübreleme yapıldığı zaman azalmıştır (fakat toplam üretim artmıştır). Sonuçlar göstermiştir ki gelişim esnasındaki S ve N beslemesi sıkı bir şekilde ilişkilendirilmiştir. N ve S her ikisinin

veya birinin aşırı düzeydeki antogonistik ve optimum oranlardaki sinergistik etkileşimleri bitki alımı tarafından yansıtılmaktadır. Sonuçlar S gübrelemesinin N-kullanım etkinliği ve bunun yanı sıra yeterli yağ düzeyi ve yağ asidi kalitesinin gelişimi için gereklidir.

3. MATERYAL VE METOD

Bu Tez Kapsamında Literatür Bilgileri Derlenip İrdelenecektir

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Kükürtün bitkiler için gerekli bir besin elementi olması ve bitkilerin ihtiyacı bakımından fosfor ile benzerlik göstermesine rağmen bu element uzun yıllar boyunca çok az ilgi görmüştür. Gübrelerden ve atmosferden toprağa S sağlanması yeterli miktarda idi. Günümüzde ise S yetersizliği görülen alanlar dünyanın pek çok bölgesinde yaygınlaşmaktadır. Bunun sebeplerinden bazıları, düşük S içerikli gübrelerin kullanım topraktaki organik maddenin azalması yüksek ürün çeşidi ve yoğun tarım, sıkı emisyon kurallarından dolayı atmosferden toprağa S sağlanamamasıdır. Protein ve enzim sentezinde ayrıca amino asit sistein ve methionin inşasında gerekli olan S'ün sağlanamaması direk ürün miktarı ve ürün kalitesine etki etmektedir (Scherer., 2001). Kükürt gerek bitkideki fonksiyonları gerekse topraktaki mikrobiyal faaliyetlerde önemli yeri olan bir besin elementidir. Toprak organik maddesinin ayrılmaz bir parçası olarak organik-S, organik-C ve toplam N düzeyi ile yakından ilişkilidir. Bitki metabolizmasında ise anahtar bir rol oynayan S proteinin temel yapı taşlarında birisidir. Bunun yanı sıra yapılan çalışmalar göstermiştir ki bitkilerde tuzluluk stresi ve ağır metal toksitesi durumlarında, salgılanan Met ve GSH gibi önemli bileşiklerin yapısında da bulunmaktadır. Ayrıca Fe-S bileşikleri olarak ta fotosentez ve terleme gibi hayati fonksiyonlarda yer almaktadır.

Bitki çeşit ve türleri S ihtiyacı göz önünde bulundurularak, atmosferden ve topraktan yetersiz S sağlanması durumlarında S'lü gübrelemenin yapılması gerekmektedir. Bu uygulama ile S noksanlığından kaynaklanan verimde düşüşlerin önüne geçebiliriz. Tarla koşullarında, bitki türlerine uygun S-gübreleme dozunun, zamanının ve uygulama formunun belirlenmesi ile de tarımsal üretimde zaman, para ve emek kaybı da azaltılabilir.

Toprakta bitkiye yararışlı S'ü hesaplamak için farklı analiz metotları bulunmaktadır. Fakat bu metotlar bize topraktaki net S mineralizasyonu ve S döngü mekanizmasını anlamada yeterli bilgi vermemektedir. Bundan dolayı topraktaki S döngüsü ve S'ün bitki gelişiminde ki fonksiyonları hakkında daha fazla araştırma yapılması gerekmektedir.

Toprakta bulunan C-bağılı S'ün ve inorganik S'ün içinde bulunduğu ortamdaki biyolojik yaşam, pH ve N, P gibi besin elementleri ile ilişkileri gibi diğer dinamiklerle nasıl bir etkileşim içinde bulunduğunu anlayabilmemiz için daha fazla çalışma yapmamız gerekmektedir. Bu çalışmaları sonucunda elde edeceğimiz bilgiler bitkilerin yaşam ortamı olan toprağı, topraktaki kaliteli yaşam standardını ve çevreyi koruyarak daha fazla ve daha kaliteli ürün almamızı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- ANDERSON JW, FITZGERAL MA.2001 : Physiological and metabolic origin of sulfur for the synthesis of seed storage proteins. *J.Plant Physiol* 158: 447-456.
- AULAKH, M. S., JAGGI, R. C., SHARMA, R. 2002: Mineralization-immobilization of soil organic S and oxidation of elemental S in subtropical soils under flooded and nonflooded conditions. *Biol. Fertil. Soils* 35, 197–203.
- BABIUK, L. A., PAUL, E. A. (1970): The use of fluorescein isothiocyanate in the determination of the bacterial biomass of grassland soils. *Can. J. Microbiol.* 16, 57–62.
- BALDOCCHI, D.D., 1993. Deposition of gaseous sulfur compounds to vegetation. In: De Kok, L.J., Stulen, I., Renneberg, H., Brunold, C. and Rauser, W.E., Editors, 1993. *Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants*, SPB Academic Publishing Company, The Hague, pp. 271–293.
- BANDICK, A. K., DICK, R. P. (1999): Field management effects on soil enzyme activities. *Soil Biol. Biochem.* 31, 1471–1479.
- BANERJEE, M.R., CHAPMAN, S.J. AND KILLHAM, K., 1993. Factors influencing the determination of microbial biomass sulphur in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 24, pp. 939–950.
- BARBER, S. A. 1995: *Soil Nutrient Availability. A Mechanistic Approach*. 2nd edn., John Wiley & Sons, Inc., New York.
- BARROSA, C.,ROMERO,L.C.,CEJUDO,F.J.,VEGA,J.M.,GOTOR,C.,1999: Salt-specific regulation of the cytosolic O-acetylserine(thiol)yase gene from *Arabidopsis thaliana* is dependent on abscisic acid. *Plant Mol. Biol.*40:729-736
- BARROW, N. J. 1975: Reactions of fertiliser sulphate in soil, in McLachlan, K. D. (ed.): *Sulphur in Australian Agriculture*. Sydney University Press, Sydney, pp. 50–57.
- BASWELL C.C.1987. Elemental Sulphur Fertilizers in New Zealand *Proc. Of the Int. Symp. On Elemental Sulphur in Agric., Nice. France, 25/03/1987* p:493-507

- BERGMAN, L. AND RENNENBERG, H.1993. Glutathione Metabolism in Plants. In L.J. De Kok, ed., Sulphur Nutrition and Assimilation in Higher Plants. SBS Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp.109-123
- BLAIR, G.J., 2002: Sulphur fertilizers: a global perspective, Proceedings No 498. International Fertiliser Society, New York, UK, p.36.
- BLAKE-KALFF, M.M., HAWKESFORD, M.J., ZHAO, F.J. AND MCGRATH, S.P.1998. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulphur deficiency during vegetative growth. *Plant Physiol.* 118: 1337-1344.
- BLOEM, E.M., 1998. Schwefel-Bilanz von Agrarökosystemen unter besonderer Berücksichtigung hydrologischer und bodenphysikalischer Standorteigenschaften, vol. 192, 156 pp.
- BOHN, H.L., BARROW, N.J., RAJAN, S.S.S. AND PARFITT, R.L., 1986. Reactions of inorganic sulfur in soils. In: Tabatabai, M.A., Editor, , 1986. Sulfur in Agriculture, Agron. Monogr. 27, ASA, CSSA, and ISSA, Madison, WI, pp. 233–249.
- BOLTON, J., NOWAKOWSKI, T. AND LAZARUS, T.Z., 1976. Sulphur-nitrogen interaction effects on the yield and composition of protein-N, non-protein-N, and soluble carbohydrates in perennial ryegrass. *J. Sci. Food Agric.* 27, pp. 553–560.
- BOWEN, G.D., AND ROVIRA, A. D. 1971. Relationship between root morphology and nutrient uptake. *Recent Adv. Plant Nutr.* 1. 250-260.
- BRUNOLD, C., 1993. Regulatory interactions between sulphate and nitrate assimilation. In sulfur nutrition and assimilation in higher plants regulatory, Agricultural and Environmental aspects. Eds. H.J. De Kok, I. Stulen, Rennenberg, C. Brunold and W. Rauser. Pp. 61-75. SPB Academic Publishing, The Netherlands.
- BYERS, M., FRANKLIN, J. AND SMITH, S.J., 1987. The nitrogen and sulphur nutrition of wheat and its effect on the composition and baking quality of the grain. *Aspects Appl. Biol.* 15, pp. 337–344.

- CACCO, G., FERRARÌ, G. AND SACCOMANÌ, M., 1980. Pattern of sulfate uptake during root elongation in maize: its correlation to productivity. *Physiol. Plant* 48, pp. 375–378. Full Text via CrossRef
- CASTELLANO, S.D. AND DICK, R.P.1990. Cropping and Sulfur Fertilization Influence on Sulfur Transformation in Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:114-121
- CHANDLER, P.M., SPENCER, D., RANDALL, P.J., AND HIGGINS, T.J.V.1984. Influence of Sulfur Nutrition on Development of Some Major Pea Seed Proteins and Their mRNAs. *Plant Physiol.* 75:651-657
- CHAO, T. T., HARWARD, M. E., FANG, S. C. 1962, Adsorption and desorption phenomena of sulfate ions in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 26, 234–237.
- CHAPMAN, S. J. 1987. Microbial sulphur in some Scottish soils. *Soil Biol. Biochem.* 19, 301–305.
- CHAPMAN, S. J. 2001, Sulfur forms in open and afforested areas of two Scottish peatlands. *Water Air Soil Pollut.* 128, 23–39.
- CHIEN, S.H., FRIESEN, D.K. AND HAMILTON, B.W., 1988, Effect of Selenium by Sequential Partial Dissolution. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 53:385-392
- CHOULIARAS, N. AND TSADILAS, C.1996, The Influence of Acidulation of a Calcerous Soil by Elemental Sulphur Application on Soil Properties. *Geoderma*. 68:9-14
- CHOURCHESNE, F., LANDRY, R. 1994, Sulfate retention by spodosols in the presence of organic ligands. *Soil Sci.* 158, 329–336.
- CHOWDHURY, M. A. H., KUONO, K., ANDO, T. 1999, Correlation among microbial biomass S, soil properties, and other biomass nutrients. *Soil Sci. Plant Nutr.* 45, 175–186.
- CHRISTA HOFFMAN, NICOL STOCKFISCH, HEINZ- JOSEF KOCH; 2004, Influence of sulphur on yield and quality of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) determination of a threshold value. *Europ. J. Agronomy* 21:69-80.

- CHRISTIAN ZÖRB, DOROTHEE STEINFURTH, SIMONE SELING, GEORG LANGENKÄMBER, PETER KOEHLER, HERBERT WIESER, MEINOLF G. LINDHAUER AND KARL H. MÜHLING; 2009: Quantitativ Protein Composition and Baking Quality of Winter Wheat as Affected by Late Sulfur Fertilization. *J. Agric. Food Chem.* 57: 3877-3885
- CLARKSON, D.T., HAWKESFORD, M.J. AND DAVIDIAN, J.C., 1993, Membrane and long-distance transport of sulfate. In: De Kok, L.J., Stulen, L., Rennenberg, H., Brunold, C. and Rauser, W.E., Editors, 1993. *Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants, Regulatory, Agricultural and Environmental Aspects*, SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands, pp. 3–19.
- CLARKSON, D.T., SMITH, F.W. AND VANDERBERG, P.J. 1983, Regulation of sulfate transport in a tropical legume, *Macroptilium atropurpureum* cv. Siratro. *J. Exp. Bot.* 34: 1463-1483
- COOPER, P.J.M., 1972, Arylsulfatase activity in northern Nigerian soils. *Soil Biol. Biochem.* 4, pp. 333–337. Abstract | View Record in Scopus | Cited By in Scopus (16)
- COWLING, D.W. AND LOCKYER, D.R., 1976, Growth of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.) exposed to a low concentration of sulphur dioxide. *J. Exp. Bot.* 27, pp. 411–417.
- CURTIN, D., SYERS, J. K. 1990, Extractability and adsorption of sulphate in soils. *J. Soil Sci.* 41, 295–304.
- ÇAKMAK, I., AND MARSCHENER, H., 1992, Magnesium deficiency and high light intensity enhance activities of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase and glutathione reductase in bean plants. *Plant Physiol.* 98:1222-1227.
- DE KOK, L.J. AND SLUTEN, I. 1993, Function of Glutathione in Plants Under Oxidative Stress. In *Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants; Regulatory, Agriculturel and Enviromental Aspect* (eds L.J. De Kok, I. Stulen, H. Rennenberg, C. Brunold and W.E. Rauser), pp:125-138. SPB Academic Publishing, The Hague, The Netherlands.

- DEDOURGE, O., VONG, P.-C., LASSERRE-JOULIN, F., BENİZRİ, E., GUCKERT, A. 2003, Immobilization of sulphur-35, microbial biomass and arylsulphatase activity in soils from field-grown rape, barley and fallow. *Biol. Fertil. Soils* 38, 181–185.
- DOUGH VAN, HOEWYK, MARUNUS PİLON, ELİZABETH, 2008, The functions of NifS-like proteins in plant sulfur and selenium metabolism. *Plant Science* 174:117-123.
- DROUX, M., RUFFET, M.L., DOUCE, R., JOB, D., 1998, Interactions between serine acetyltransferase and O-acetylserine(thiol) lyase in higher plants-structure and kinetic properties of the free and bound enzymes. *Eur. J. Biochem.* 255:235-245.
- DUKE, S.H., AND REISENAUER, H.M. 1986, Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: Tabatabai, M.A. (Ed), *sulfur in Agriculture*, Argon, Monogr, vol. 27. ASA, CSSA and SSSA, Madison, W. I., pp. 123-168.
- EDWARDS, P. J. 1998, Sulfur cycling, retention, and mobility in soils: A review. USDA, General Technical Report NE-250.
- ELWAN M.W.M., K.E. ABD EL HAMED; 2011, Influence of Nitrogen Form, Growing Season and Sulfur Fertilization on Yield and the Content of Nitrate and Vitamin C of Broccoli. *Scientia Horticulturae* 127:181-187
- EPPENDORFER, W.H., BİLLE, S.W., 1992, Development of S-deficiency of faba bean plants as reflected in total-S, SO_4^{2-} -S and aspartic acid concentrations at various stages of growth. *Proc. 2nd ESA Congress*, Warwick, England, 242–243.
- ERDAL, İ., BOZKURT, M.A., ÇİMRİN, K.M: 2000, Kireçli bir Toprakta Yetiştirilen Mısır Bitkisinin Gelişimi ve Fosfor Alımı üzerine Humik Asit ve Fosfor Uygulamalarının Etkisi. *Turk. J. Agric. For.*, 24(6): 663-668
- ERGLE, D.R. AND F.M. EATON. 1951, Sulphur nutrition of cotton. *Plant Physiol.* 26 (4): 639-654.
- ERIKSEN, J. AND MORTENSEN, J.V., 1999, Soil sulphur status following long-term annual application of animal manure and mineral fertilizers. *Biol. Fertil. Soils* 28, pp. 412–416.

- ERIKSEN, J., 1996, Incorporation of S into soil organic matter in the field as determined by the natural abundance of stable S isotopes. *Biol. Fertil. Soils* 22, pp. 149–155.
- ERIKSEN, J., 1997, B Animal manure as S fertilizer. *Sulphur Agric.* 20, pp. 27–30.
- ERIKSEN, J., 1997, A Sulphur cycling in Danish agricultural soils: inorganic sulphate dynamics and plant uptake. *Soil Biol. Biochem.* 29, pp. 1379–1385.
- ERIKSEN, J., MORTENSEN, J. V., DISSING NIELSEN, J., NIELSEN, E. N. 1995, Sulphur mineralization in five Danish soils as measured by plant uptake in a pot experiment. *Agric., Ecosyst. Environ.* 56, 43–51.
- ERIKSEN, J., MURPHY, M.D. AND SCHNUG, E., 1998, The soil sulphur cycle. In: Schnug, E., Editor, , 1998. *Sulphur in Agroecosystems*, Kluwer Academic Press, The Netherlands, pp. 39–73.
- FALLER, N., 1972, Schwefeldioxid, Schwefelwasserstoff, nitrose Gase und Ammoniak als ausschließliche S-bzw. N-Quellen der höheren Pflanzen. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 131, pp. 120–130.
- FARAGO, S., BRUNOLD, C., KREUZ, K., 1994, Herbicide safeners and glutathione metabolism. *Physiol. Plant* 91: 537-542.
- FATALLAH, A. AND SCHWAB, A. P. 1990, Plant-Available Iron and Zinc Calcerous Soil as Affected by Additions of Sulfur and Micronutrient Ferilizer. *Journal of Fertilizer*, 7 (2): 35-40
- FEI, G., YIJUN, Z., LINGYUN, H., DACHENG, H.E., GENFA, Z., 2008: Proteomic analysis of long-term salinity stress responsive proteins in *Thellungiella halophilla* leaves. *Chinese Sci., Bull.* 53: 3530-3537.
- FIELDSSEND, J. AND MILFORD, G.F.J., 199, Changes in glucosinolates during crop development in single- and double-low genotypes of winter oilseed rape (*Brassica napus*): I: production and distribution in vegetative tissues and developing pods during development and potential role in the recycling of sulfur within the crop. *Ann. Appl. Bot.* 124, pp. 531–542.

- FÍSMES, J., VONG, P.C., GUCKERT, A. AND FROSSARD, E., 2000, Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. *Eur. J. Agron.* 12, pp. 127–141.
- FÍTZGERALD, J. W. 1976, Sulfate ester formation and hydrolysis: a potentially important and often ignored aspect on the sulfur cycle of aerobic soils. *Bacteriol. Rev.* 40, 698–721.
- FÍTZGERALD, J. W., ASH, J. T., STRÍCKLAND, T. C., SWANK, W. T. 1983, Formation of organic sulphur in forest soils: A biologically mediated process. *Can. J. For. Res.* 13, 1077–1082
- FÍTZGERALD, J. W., STRÍCKLAND, T. C. 1987, Mineralization of inorganic sulphur in the O2 horizon of a hardwood forest: Involvement of sulphatase enzyme. *Soil Biol. Biochem.* 19, 779–781.
- FÍTZGERALD, J. W., STRÍCKLAND, T. C., SWANK, W. T. 1982, Metabolic fate of inorganic sulphate in soil samples from undisturbed and managed forest ecosystems. *Soil Biol. Biochem.* 14, 529–536.
- FRANKHAUSER, H., AND BRUNOLD, C. 1978, Localization of Adenosine 5-phosphosulfate Sulfotransferase in Spinach Leaves. *Planta* 143:285-289
- FREEMAN, C., LÍSKA, G., OSTLE, N. J., LOCK, M. A., REYNOLDS, B., HUDSON, J. 1996, Microbial activity and enzymatic decomposition ^a 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 332 Scherer J. *Plant Nutr. Soil Sci.* 2009, 172, 326–335 processes following peatland water table drawdown. *Plant Soil* 180, 121–127.
- FRENEY, J. R., MELVÍLLE, G. E., WÍLLÍAMS, C. H. , 1970, The determination of carbon bonded sulfur in soil. *Soil Sci.* 109, 310–318
- FRENEY, J.R., 1986., Forms and reactions of organic S compounds in soils. In: Tabatabai, M.A., Editor, , 1986. Sulfur in agriculture. *Agron. Monogr.* 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison.
- GANESMURTHY, A. N., NÍELSEN, N. E. 1990, Arylsulphatase and the biochemical mineralization of soil organic matter. *Soil Biol. Biochem.* 22, 1163–1165.

- GARWOOD, E.A. AND TYSON, K.C., 1973, Losses of nitrogen and other plant nutrients to drainage from soil under grass. *J. Agric. Sci. Camb.* 80, pp. 303–312.
- GHANÍ, A., MCLAREN, R. G., SWIFT, R. S. 1992, Sulphur mineralization and transformations in soils as influenced by additions of carbon, nitrogen and sulphur. *Soil Biol. Biochem.* 24, 331–341.
- GHANÍ, A., MCLAREN, R. G., SWIFT, R. S. 1993, The incorporation and transformation of ³⁵S in soil: Effects of soil conditioning and glucose or sulphate addition. *Soil Biol. Biochem.* 25, 327–335.
- GHANÍ, A., MCLAREN, R.G. AND SWIFT, R.S., 1990, Seasonal fluctuations of sulphate and soil microbial biomass-S in the surface of a Wakanui soil. *New Zealand J. Agric. Res.* 33, pp. 467–472.
- GHANÍ, A., MCLAREN, R.G. AND SWIFT, R.S., 1991, Sulphur mineralisation in some New Zealand soils. *Biol. Fert. Soils* 11, pp. 68–71.
- GILBERT, M.A. AND ROBSON, A. D. 1984, The Effect of Sulfur Supply on the root Characteristics of Subterranean Clover and Annual Ryegrass. *Plant Soil* 77:377-380
- GOH, K.M. AND GREGG, P.E.H., 1982, Field studies on the fate of radioactive sulphur fertilizer applied to pastures. *Fert. Res.* 3, pp. 337–351.
- GRAYSTON, S. J., WANG, S. Q., CAMPBELL, C. D., EDWARDS, A. C. 1998, Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biol. Biochem.* 30, 369–378.
- GREGG, P. E. H., GOH, K. M. 1978, Field studies with radioactive sulfur-labelled gypsum fertilizer. I. Soil factors affecting the movement of fertilizer sulfur. *N. Z. J. Agric. Res.* 21, 593–601.
- GRENDY, E.N., EL-RAIES, S.A.A. AND RHEEM, M.A.A. 1995, Effect of Number of Irrigations and Sulphur Application on Broad Bean Growth and Yield. *Egyptian Journal of Soil Science*, 35:3,379-393
- GRILL, E. WINNACKER, C.L. AND ZENK, M. H. 1987, Phytochelatins, a Class of Heavy-metal-binding Peptides from Plants, are Functionally Analogous to Metallothionins. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 84:439-443

- GRUNDON, N.J. AND ASHER, C.J., 1986. Volatile losses of sulfur by intact alfalfa plants. *J. Plant Nutr.* 9, pp. 1519–1532.
- GUNNAM NA, DAVID E. SALT, 2010, The Role of sulfur assimilation and sulfur-containing compounds in trace element homeostasis in plant. *Environ. Exp. Bot.* 2010.
- GUPTA, V. V. S. R., GERMİDA, J. J. (1989): Microbial biomass and extractable sulfate sulfur levels in native and cultivated soils as influenced by air-drying and rewetting. *Can. J. Soil Sci.* 69,889–894.
- GUPTA, V. V. S. R., LAWRENCE, J. R., GERMİDA, J. J. 1988, Impact of elemental sulfur fertilization on agricultural soils. I. Effects on microbial biomass and enzyme activities. *Can. J. Soil Sci.* 68, 463–473.
- GÜLSER, F., ERDOGAN, E. 2008, The effects of heavy metal pollution on enzyme activities and basal soil respiration of roadside soils. *Environm. Monit. Assess.* 145, 127–133.
- GÜNEŞ, A., M. ALPASLAN VE A. İNAL. 2000. Bitki Besleme ve Gübreleme. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Yayın No: 1514, Ankara, s.579.
- H.W. SCHERER, 2001, Sulphur in crop production- invited paper. *European Journal of Agronomy* 14:81-111.
- HANEKLAUS, S., EVANS, E. AND SCHNUG, E., 1992, Baking quality and sulphur content of wheat: I: Influence of sulphur and protein concentration on loaf volume. *Sulphur Agric.* 16, pp. 31–34
- HAQUE, I., WALMSLEY, D. 1973, Adsorption and desorption reversibility in a variety of forest soils. *J. Environ. Qual.* 18, 419–426.
- HAWKESFORD, M.J., SCHNEİDER, A., BLCHER, A.R. AND CLARKSON, D.T.1995, Regulation of enzymes in the sulfur- assimilatory pathway. *Z. Pflanzenernahr. Bodenk.* 158. 55-57.
- HEİNRİCH WİLHELM SCHERER, 2009, Sulfur in soil. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 172. 326-335.
- HELL, R., AND BERGMANN, L. 1988, Glutathione Synthetase in Tobacco Suspension Cultures: Catalytic Properties and Local,zation. *Physiol Plant* 72:70-76

- HELL, R., AND RENNENBERG H. 1998, The Plant Sulphur Cycle. Sulphur Agroecosystems 2: 135-173
- HILAL M: H., ABDEL- FATTAH A. AND KORKOR S.A. 1992, Effect of Fine and Granular Sulphur Application on Root Depth. And Yield of Lupinus in Sandy Soils. Proocceeding Middle East Sulphur Symposium 12-16 Feb. Cairo, Egypt, (Editted by Hilal, M.S.), TSI, Washington, USA 207-216Hocking, T., 1995: The role of sulphur in sugar beet. Br. Sugar Beet Rev. 63 (1), 10-13.
- HOPKINS, D. W., SPARROW, A. D., SHILLAM, L. L., ENGLISH, L. C., DENNIS, P. G., NOVIS, P., ELBERLING, B., GREGORICH, E. G., GREENFIELD, L. G. 2008, Enzymatic activities and microbial communities in an Antarctic dry valley: Responses to C and N supplement. Soil Biol.Biochem. 40, 2130–2136.
- HÖFGEN, R., KREFT, O., WILLMITZER, L., HESE, H.,2001, Manipulation of thiol contents in plants. Amino Acids 20:291-299.
- HU, Z. Y., ZHAO, F. J., MCGRATH, S. P. 2005, Sulphur fractionation in calcareous soils and bioavailability to plants. Plant Soil 268, 103–109.
- JAGGI, A.C., AULAKH, M.S. AND SHARMA, R., 1999, Temperature effects on soil organic sulphur mineralization in subtropical soils of varying pH. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 54, pp. 175–182.
- JANNEKE BALK AND STEPHANE LOBREAUX; 2005: Biogenesis of iron-sulfur proteins in plants. Plant Scien. Vol.10 No.7 July 2005.
- JANZEN H.H. AND BETTANY J.R.1987. The Effect of Temperature and Water Potential on Sulphur Oxidation in Soils Sci., 144:81-89
- JANZEN, H. H., KUCEY, R. M. N. 1988, C, N, and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. Plant Soil 106, 35–41.
- JIAN LING FAN, ZHENG-YI HU, NOURA ZAIDI, XU XIA, CONG-YANG-HUI WU; 2010: Excessive Sulfur Supply Reduces Cadmium Accumulation in Brown Rice (*Oryza Sativa L.*). Enviromental pollution 158:409-415.
- JOHNSON, C. M., NISHITA, H. 1952, Microestimation of sulfur (in plant materials, soils, and irrigation waters). Anal. Chem. 24, 736–742.

- JOHNSON, D.W. AND TODD, D.E., 1983, Relationships among iron, aluminum, carbon, and sulfate in a variety of forest soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47, pp. 792–800.
- KACAR B. VE KATKAT V. 1998, Bitki Besleme. Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Yayın No; 198 Vipaş Yayınları:3 Bursa, 595 ss.
- KACAR B. VE KATKAT V. VE ÖZTÜRK S. 2002, Uludağ Üniversitesi Güçlendirme Vakfı, Yayın No; 127, Vipaş A.Ş. Yayın No:74.
- KAİSER, K., ZECH, W. 1996, Nitrate, sulfate, and biphosphate retention in acid forest soils affected by natural dissolved organic matter. *J. Environ. Qual.* 25, 1325–1331.
- KANDELER, E., KAMPİCHLER, C., HORAK, O. 1996, Influence of heavy metals on the functional diversity of soil microbial communities. *Biol. Fertil. Soils* 23, 299–306.
- KAPLAN M., ORMAN Ş., KADAR I., KONCZ J.; 2005, Heavy Metal Accumulation in Calcareous Soil and Sorghum Plants After Addition of Sulphur-Containing Waste as a Soil Amendment in Turkey. *Agricul., Ecosys. And Environ.* 111:41-46.
- KAPRİVOVA, A., NORTH, K.A., KOPRİVA, S., 2008, Complex signaling network in regulation of adenosine5’phosphosulfate reductase by salt stres in Arabidopsis roots. *Plant Physiol.* 146:1408-1420.
- KAPRİVOVA, A., KOPRİVA, S., 2008, Lessons from investigation of regulation of APS reductase by salt stres. *Plant signal. Behav.* 8:567-569.
- KASTORI, R., PLESCNİCAR, M., ARSENİJEVIĆ-MAKSİMOVIĆ, I., PETROVIĆ, N., PANKOVIĆ, D., SAKAC, Z., 2000, Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations of young sugar beet plants as affected by sulfur supply. *J. Plant Nutr.* 23(3) 1049-1073.
- KEFYALEW GİRMA, J. MOSALİ, K.W. FREEMAN, W.R. RAUN, K.L. MARTİN AND W.E. THOMASON; 2005, Forage and grain yield response to applied sulfur in winter wheat as influenced by source and rate. *Journ. of plant nutri.* 28:1541-1553.

- KELLER, T., 1981, Auswirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen. HLH Heiz Lüft. Klimatech. Haustech. 48, pp. 22–24.
- KERTESZ, M. A. 1999, Riding the sulfur cycle – metabolism of sulfonates and sulfate esters in gram negative bacteria. FEMS Microbiol. Rev. 24, 135–175.
- KERTESZ, M. A., MİRLEAU, P. 2004, The role of soil microbes in plant sulphur nutrition. J. Exp. Bot. 55, 1939–1945.
- KIRCHMANN, H., PİCHLMAYER, F., GERZABEK, M. H. 1996, Sulfur balance and sulfur-34 abundance in a long-term fertilizer experiment. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 24, 337–340.
- KLOSE, S., MOORE, J. M., TABATABAI, M. A. 1999, Arylsulfatase activity of microbial biomass in soils as affected by cropping systems. Biol. Fertil. Soils 29, 46–54.
- KNAUFF, U., SCHERER, H. W. 1998, Arylsulfatase-Aktivität im Kontaktraum Boden/Wurzeln bei verschiedenen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, in Merbach, W. (ed.): Pflanzenernährung, Wurzeleistung und Exsudation. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, pp. 196–204.
- KNAUFF, U., SCHERER, H.W., 1999. Beziehungen zwischen pH-Wert, Sulfat- und Nitratkonzentrationen und der Arylsulfatase-Aktivität in der Rhizosphäre. In: Merbach, W., Wittenmeyer, L., Augustin, J. (Eds.) Stoffumsatz im wurzelnahen Raum. Teubner Verlagsgesellschaft Stuttgart, Leipzig, pp. 83–90.
- KNAUFF, U., SCHULZ, M., SCHERER, H. W. 2003, Arylsulfatase activity in the rhizosphere and roots of different crop species. Eur. J. Agron. 19, 215–223.
- KOCSY, G., SZALAI, G., GALIBA, G., 2004, Effect of osmotic stress on glutathione and hydroxymethylglutathione accumulation in wheat. J. Plant Physiol. 161:785-794.
- KORENTAJER, L., BYRNES, B. H., HELLUMS, D. T. 1983, The effect of liming and leaching on the sulfur-supplying capacity of soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 47, 525–530.
- KOWALENKO, C. G., LOWE, L. E. (1975): Mineralization of sulfur from four soils and its relationship to soil carbon. Can. J. Soil Sci. 58, 9–14.

- KPARMWANG, T., ESU, I. E., CHUDE, V. O. ,1997, Sulphate adsorption desorption characteristics of three ultisols and an alfisol developed on basalts in the Nigerian savanna. *Disc. Innov.* 9, 197–204.
- LANDERS, D. H., DAVID, M. B., MITCHELL, M. J. 1983, Analysis of organic and inorganic sulfur constituents in sediments, soils, and water. *Intern. J. Environm. Anal. Chem.* 14, 245–256.
- LANGE, A., 1998. Einfluß Der Schwefel- Versorgung Auf Die Biologische Stickstoff-Fixierung Von Leguminosen. Ph.D.Thesis, University of Bonn, Germany.
- LANGE, A., AND SCHERER, H.W. 1996, Effect of Sulphur Nutrition on the Activity of Nitrogenase and Enzymes of the C and N metabolism of *Vicia Faba Minor* and *Pisum Sativum*. *Proc. 4th ESA Congress, Veldhoven-Wageningen, The Netherlands*, pp:568-659
- LEGGETT, J.E. AND EPSTEIN, E., 1956, Kinetics of sulfate adsorption by barley roots. *Plant Physiol.* 31, pp. 222–226. Leustek, T. And Saito, K. 1999, Sulphate transport and the assimilation in plants. *Plant Physiol.* 120. 637-643.
- LINDA TABE, NICHOLAS HAGAN AND TJV HIGGINS 2002, Plasticity of seed protein composition in response to nitrogen and sulfur availability. *Current opinion in Plant Biolo.* 5: 212-217.
- LOPEZ-BERENGUERA, C., CARVAJALA, M., GARCEA-VIGUERAB, C., ALCARAZ, C.F., 2007, Nitrogen, phosphorus and sulfur nutrition in Broccoli plants grown under salinity. *J. Plant Nutr.* 30:1855-1870.
- LOU, G., WARMAN, P. R. 1992, Labile ester sulphate in soil organic matter extracted from podsol soils. *Biol. Fertil. Soils* 14, 267–271.
- LYNCH, J. A., CORBETT, E. S. 1989, Hydrologic control of sulfate mobility in a forest watershed. *Water Resour. Res.* 25, 1695–1703. Marschener, H., 1995, *Mineral Nutrition of Higher Plants*, 2nd edn. Academic Press, London.
- MARTÍN, J.A. AND MUTTERS, R.G. 1984, Effect of Liming and Fertilization on Sulfur Availability, Mobility and Uptake in Cultivated Soils of South Carolina. *Soil Sci.* 138: pp. 403-410

- MARTÍNEZ, C. E., KLEINSCHMIDT, A. W., TABATABAI, M. A. 1998, Sulfate adsorption by variable charge soils: Effect of low-molecular weight organic acids. *Biol. Fertil. Soils* 26, 157–162.
- MAYNARD, D. G., STEWART, J. W. B., BETTANY, J. R. 1985, The effects of plants on soil sulphur transformations. *Soil Biol. Biochem.* 17, 127–134.
- MAYNARD, D.G., 1982, Transformation and dynamics of available sulfur in soils. Ph.D. thesis, Univ. Saskatchewan, Saskatoon.
- MCGILL, W. B., COLE, C. V. 1981, Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma* 26, 267–286.
- MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J. 1996, Sulphur uptake, yield responses and the interactions between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napu*). *J. Agri. Sci.* 126: pp.53-62
- MCGRATH, S. P., ZHAO, F. J., BLAKE-KALFF, M. M. 2002, History and outlook for sulphur fertilisers in Europe. Proc. No. 497, International Fertiliser Society, York, U.K.
- MCLAREN, R. G., CAMERON, K. C. 2004, *Soil Science*. 2nd edn., Oxford University Press, Victoria, Australia.
- MCLAREN, R. G., KEER, J. I., SWIFT, R. S. 1985, Sulphur transformations in soils using sulphur-35 labelling. *Soil Biol. Biochem.* 17, 73–79.
- MCLAREN, R. G., SWIFT, R. S. 1977, Changes in soil organic sulphur fractions due to the long term cultivation of soils. *J. Soil Sci.* 28, 445–453.
- MELERO, S., VANDERLINDEN, K., RUÍZ, J. C., MADEJON, E. 2008, Longterm effect on soil biochemical status of a Vertisol under conservation tillage system in semi-arid Mediterranean conditions. *Eur. J. Soil Biol.* 44, 437–442.
- MENDOZA-COZATL, D., LOZA-TAVERA, H.,HERNANDEZ-NAVARRO, A.,MORENO-SANCHEZ, R., 2005, Sulfur assimilation and glutathione metabolism under cadmium stres in yeast, protisits and plants. *FEMS Microbiol, Rev.*29:653-671.
- MENGEL, K. AND KIRKBY, E.A.2001, *Principles of plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. P.849

- NANNIPERÌ, P., GREGO, S., CECCANTÌ, B. 1990, Ecological significance of biological activity in soil, in Bollag, J.-M., Stotzky, G. (eds.): Soil Biochemistry. Vol. 6, Dekker, New York, pp. 293–355.
- NAZAR R. IQBAL N., MASOOD A., SYEED S., NAFEES A. KHAN; 2011:Understanding the significance of sulfur in improving salinity tolerance in plants. Environ. And Experimen. Botany 70:80-87.
- NEPTUNE, A. M. L., TABATABAÏ, M. A., HANWAY, J. J. 1975, Sulfur fractions and carbon-nitrogen-phosphorus-sulfur relationships in some Brazilian and Iowa soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 39, 51–55.
- NESHEİM, L., GAUTNEB, H. AND MYHR, K., 1997 Plant uptake of sulphur and trace elements from pyrite applied on grassland. Acta Agri. Scand. Section B, Soil Plant Sci. 47, pp. 135–141.
- NGUYEN, M. L., GOH, K. M. 1994, Sulphur cycling and its implications on sulphur fertilizer requirements of grazed grassland ecosystems. Agric., Ecosyst. Environ. 49, 173–206.
- NGUYEN, M.L. AND GOH, K.M., 1992, Status and distribution of soil sulphur fractions, total nitrogen and organic carbon in camp and non-camp soils of grazed pastures supplied with long-term superphosphate. Biol. Fertil. Soils 14, pp. 181–190
- NÌETO-SOTELO, J. AND HO, T.H.D. 1986, Effect of Heat Shock on the Metabolism of Glutathione in Maize Roots. Plant Physiol. 82:1031-1035
- NÌKÌFOROVA, V., FREİTAG, J., KEMPA, S., ADAMÌK, M., HESSEH., HOEFGEN, R., 2003: Transcriptome analysis of sulfur depletion in Arabidopsis thaliana: interlacing of biosynthetic pathways provides response specificity. Plant J. 33:633-650.
- NOCÌTO, F.F., LANCILLÌ, C., CREMA, B., FOURCROY, P., DAVIDÌAN, J.C., SACCHÌ, G.A., 2006, Heavy metal stress and sulfate uptake in maize roots. Plant Physiol. 141:1138-1148

- NOCTOR, G., ARİSİS, A-C.M., JOUANİN, L., KUNERT, K. J.,
RENNENBERG,H., FOYER C.H., 1998, Glutathione: biosynthesis,
metabolism and relationship to stress tolerance explored in transformed plants.
J.Exp.Bot. 49:623-647.
- NOCTOR, G., FOYER, C.H., 1998, Ascorbate and glutathione: keeping active
oxygen under control. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49:249-279.
- OLSZYK, D.M. AND TİNGEY, D.T., 1985. Interspecific variation in SO₂ flux: leaf
surface versus internal flux, and components of leaf conductance. Plant
Physiol. 79, pp. 949–956.
- PERUCCI, P. (1990): Effect of the addition of municipal solid-waste compost on
microbial biomass and enzyme-activities in soil. Biol. Fertil. Soils 10, 221–
226.
- PHUY-CHHOY VONG, C.NGUYEN, A. GUCKERT, 2007, Fertilizer sulphur
uptake and transformations in soil type. Europ.J.Agronomy 27:35-43.
- PİRELA, H. J., TABATABAI, M. A. 1988, Sulphur mineralisation rates and
potentials of soils. Biol. Fertil. Soils 6, 26–32.
- PREUSCHOFF, M., 1995, Untersuchungen zur Schwefelversorgung von Weißkohl
an zwei Lössstandorten. Ph.D. thesis, University of Hannover, Germany.
- PRIETZEL, J., THİEME, J., NEUH_USLER, U., SUSİNI, J., K_GEL-KNABNER,
I. 2003, Speciation of sulphur in soils and soil particles by X-ray
spectromicroscopy. Eur. J. Soil Sci. 54, 423–433.
- PRIETZEL, J., WEİCK, C., KORİNTENBERG, J., SEYBOLD, G., THUMERER,
T., TREML, B. 2001, Effects of repeated (NH₄)₂SO₄ application on sulfur
pool in soil, soil microbial biomass, and ground vegetation of two watersheds
in the Black Forest/Germany. Plant Soil 230, 287–305.
- PROBERT, M. E. 1976, Studies of 'available' and isotopically exchangeable sulfur
in some north Queensland soils. Plant Soil 45, 461–475.
- RAHAT NAZAR, NOUSHİNA,I., ASİM,M., SHABİNA,S., NAFEEES,A.K. 2011,
Understanding the significance of sulfur in improving salinity tolerance in
plants. Enviro. And Exp. Botany 70: 80-87.

- RANDALL, P.J. AND WRIGLEY, C. W., 1986, Effects of sulfur supply on the yield, composition, and quality of grain from cereals, oilseeds, and legumes. *Adv. Cereal Sci. Technol.* 8, pp. 171–206.
- RASMUSSEN, P.E. AND KRESGE, P.O.1986, Plant response to sulfur in Western United States pp. 357-374. In sulfur in agriculture. (M.A. Tabatabai, Ed.). ASA Monograph, No. 27, Soc.Agron., Madison, WI. (Monograph chapter).
- RAUSCH,T.,WACHTER,A.,2005: Sulfur metabolism; a versatile platform for launching defence operations. *Trends Plant Sci.* 10: 503-509.
- RAUSER, W.E., 1990, Phytochelatins. *Annu.Rev.Biochem.* 59:61-86
- RENDIG, V. V., 1986, Sulfur and crop quality. In: Tabatabai, M.A. (Ed.) Sulfur in agriculture. *Agron. Monogr.* 27, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI, pp. 635–652.
- RENDIG, V.V., OPUTA, C.AND MCCOMB, E.A.1976, Effects of sulphur deficiency on non-protein nitrogen, soluble sugars and N/S ratios in young corn plants. *Plant and Soil* 44. 423-437
- RENNENBERG, H. AND LAMOUREUX, G.L.1990, Physiological Process that Modulate the Concentration of Glutathione in Plant Cell. In: Rennenberg H., Brunold C., De Kok L.J., Stulen I., Editors. *Sulphur Nutrition and Sulphur Assimilation in Higher Plants*. The Hague, The Netherlands: SPB Academic Publishing, pp:53-65
- RENNENBERG, H., 1983, Role of O-acetylserine in hydrogen sulfide emission from pumpkin leaves in response to sulfate. *Plant Physiol.* 73, pp. 560–565.
- ROBERTS, T. L., BETTANY, J. R. 1985, The influence of topography on the nature and distribution of soil sulphur across a narrow environmental gradient. *Can. J. Soil Sci.* 65, 419–434. 2009 WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 334 Scherer J. *Plant Nutr. Soil Sci.* 2009, 172, 326–335
- ROLAND LILL, DUTKIEWICZ R., ELSÄSSER H.P., HAUSMANN A., DAILI J.A:NETZ, ANTONIO J. PIERIK, STEHLING O., URZICA E., MÜHLENHOFF U.; 2006, Mechanisms of iron-sulfur protein maturation in mitochondria, cytosol and nucleus of eukaryotes. 1763:652-667.

- RUÍZ, J.M., BLUMWALD, E., 2002, Salinity-induced glutathione synthesis in *Brassica napus*. *Planta* 214:965-969.
- SAALBACH, E., 1984, Die Bedeutung atmosphärischer Schwefelverbindungen für landwirtschaftliche Kulturpflanzen. *Angew. Bot.* 58, pp. 147–156.
- SAGGAR, S., BETTANY, J. R., STEWART, J. W. B. 1981, Sulfur transformations in relation to carbon and nitrogen in incubated soils. *Soil Biol. Biochem.* 13, 499–511.
- SAGGAR, S., BETTANY, J.R. AND STEWART, J.W.B., 1981, B.Sulfur transformations in relation to carbon and nitrogen in incubated soils. *Soil. Biol. Biochem.* 13, pp. 499–511.
- SAVIOZZI, A., CARDELLI, R., CIPOLLI, S., LEVI-MINZI, R., RIFFALDI, R. 2006, Arylsulphatase activity during the S mineralization in soils amended with cattle manure and green waste. *Agrochimica* 50, 231–2 37.
- SCHERER, H.W. AND LANGE, A., 1996, N₂ fixation and growth of legumes as affected by sulphur fertilization. *Biol. Fertil. Soils* 23, pp. 449–453.
- SCHERER, H.W., 2001, Sulphur in Crop Production. *European Journal of Agronomy* 14:81-111
- SCHERER, H.W.AND LANGE, A. 1996, N₂ fixation and growth of Legumes as Affected by Sulphur Fertilization. *Biol.Fertil.Soils* 23:449-453
- SCHIFF, J. A., STERN, A.I., SAIDHA, T. AND LI, J. 1993, Some Molecular Aspects of Sulfate Metabolism in Photosynthetic Organism. In: *Sulfur Nutrition and Assimilation in Higher Plants*, Edited by De Kok, L.J., Stulen, I., Rennenberg, H., Brunold, C. and Rauser, W.E. the Hague: SPB Academic Publishing by., p:21-35
- SCHINDLER, S. C., MITCHELL, M. J. 1987, Dynamics of ³⁵S in horizons and leachates from a hardwood forest. *Soil Biol. Biochem.* 19, 531–538.
- SCHMIDT, A., AND JAGER, K. 1992, Open Questions About Metabolism in Plants. *Annu.Rev. Plant Physiol.* 43:325-349.
- SCHMUTZ, D., AND BRUNOLD, C.:1984, Intercellular Localization of Assimilatory Sulfate Reduction in Leaves of *Zea Mays* and *Triticum Aestivum*. *Plant Physiol.* 74:866-870

- SCHNUG, E., HANEKLAUS, S., 1994, Sulphur deficiency in *Brassica napus* — biochemistry, symptomatology, morphogenesis. *Landbauforschung Völkenrode, Sonderheft* 144.
- SCHROEDER, H. E., 1984, Major Albumins of *Pisum Cotyledons*. *J.Sci.Food Agric.*35:191-198
- SCHUTZ, B., DE KOK, L.J. AND RENNENBERG, H. 1991, Thiol Accumulation and Cysteine Desulfurylase Activity. In *H₂S-Fumigated Leaves and Leaf Homogenates of Cucurbit Plant Cell Phsiol.* 32:733-736
- SCOTT, N., DYSON, P. W., ROSS, J., SHARP, G. S., 1984, The effect of sulphur on the yield and chemical composition of barley. *J.Agric.*17: 3-12.
- SCOTT, N. M., 1976, Sulphate contents and sorption in Scottish soils. *J. Sci. Food Agric.* 27, pp. 358–366.
- SCOTT, N. M., ANDERSON, G. 1976, Organic sulphur fractions in Scottish soils. *J. Sci. Food Agric.* 27, 358–366.
- SHAN, X., CHEN, B. 1995, Determination of carbon-bonded sulfur in soils by hydriodic acid reduction and hydrogen-peroxide oxidation. *Fresenius J. Anal. Chem.* 351, 762–767.
- SHOCK, C.C., WILLIAMS, W:A., JONES, M.B., CENTER, D:M: AND PHILLIPS, D. A. 1984, Nitrogen Fixation by Subclover Associations Fertilized with Sulfur. *Plant Soil*81:323-332
- SIMÁN, G. AND JANSSON, S. L., 1976, Sulphur exchange between soil and atmosphere with special attention to sulphur release directly to the atmosphere: 2: The role of vegetation in sulphur exchange between soil and atmosphere. *Swed. J. Agric. Res.* 6, pp. 135–144.
- SIMITH, I .K., 1976, Characterization of sulfate transport in cultured tobacco cells. *Plant Physiol.* 58. 358-362
- SIMITH, I.K., 1980, Regulation of sulfate assimilation in tobacco cells. Effect of nitrogen and sulfur nutrition on sulfate permease and O-acetylserine sulfhydrylase. *Plant Physiol.* 66: 877-883.

- SÍMON –SYLVESTRA, G. 1969, First Result of a Survey on the Total Sulphur. (1986): Sulfate content and adsorption in soils of two forest watersheds in southern Norway. *Water Air Soil Pollut.* 31, 847–856.
- SMÍTH, S.J., SCHEPERS, J.S. AND PORTER, L.K. 1990b: Assessing and managing nitrogen losses to the environment. *Adv. Soil Sci.*14:1-43.
- SOLOMON, D., LEHMANN, J., TEKALÍGN, M., FRÍTZSCHE, F., ZECH, W. 2001. Sulfur fractions in particle size separates of the sub-humid Ethiopian highlands as influenced by land use changes. *Geoderma* 102, 41–59.
- STEVENSON F. J. 1986, *Cycles of Soil* John Wiley & Sons, New York, U.S.A. p:380
- STEVENSON, F.J., 1986, *Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, micronutrients*, John Wiley & Sons, New York.
- STRÍCK, J. E., NAKAS, J. P. 1984, Calibration of a microbial sulfur technique for use in forest soils. *Soil Biol. Biochem.* 16, 289–292.
- STRÍCKLAND, T. C., FÍTZGERALD, J. W., ASH, J. T., SWANK, W. T. 1987, Organic sulphur transformations and sulphur pool sizes in soil and litter from southern appalachian hardwood forest. *Soil Sci.* 143, 453–458.
- STRÍCKLAND, T. C., FÍTZGERALD, J. W., SWANK, W. T. 1984, Mobilization of recently formed forest soil organic sulfur. *Can. J. Forest Res.* 14, 63–67.
- SUN, X., LU, B.,HUANG, S., MEHTA, S., XU, L.,MÍN,Z., YANG, M., 2007, Coordinated expression of sulfate transporters and its relation with sulfur metabolites in *Brassica napus* exposed to cadmium. *Bot.Stud.*48:43-54
- TABATABAÍ, M. A., BREMNER, J. M. 1970, Factors affecting soil arylsulfatase activity. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 427–429.
- TABATABAÍ, M. A., BREMNER, J. M. 1970, Arylsulfatase activity in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34, 225–229.
- TABATABAÍ, M. A., BREMNER, J. M. 1972, Forms of sulfur, carbon, nitrogen and sulfur relationships in Iowa soils. *Soil Sci.* 114, 380–386.
- TABATABAÍ, M.A. AND AL-KHAFÁJÍ, A. A., 1980, Comparison of nitrogen and sulfur mineralization in soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44, pp. 1000–1006.

- TANDON, H. L. S. 1991, Sulphur research and agricultural production in india. The Sulphur Institute, Washington. 88 p.
- TAYLOR, G. E. AND TINGLEY, D.T. 1983, Sulfur dioxide flux into leaves of *Geranium carolinianum* L. *Plant Physiol.* 72. pp. 176-187.
- THOMAS S.G., HOCKING T.J., BILSBORROW P. E., 2003, Effect of Sulphur Fertilization on Growth and Metabolism of Sugar Beet Grown on Soil of Different Sulphur Status. *Field Crop Search* 83:223-235.
- TİSDALE, S.L: AND NELSON, W. L., 1972, *Soil Fertility and Ferilizers* Macmillan Co., New York, 694s USA (Çev. Güzel, N. 1982), *Toprak Verimliliği ve Gübreler*, Ç.Ü.Ziraat Fak., Yayın no:1968. Adana 372-384ss.
- TİSDALE, S.L: AND NELSON, W.L., AND BEATON J. D. 1985, *Soil Fertility and Fertilizers*, 4th Ed. P.1-754. Macmillan Publishing Company, New Yor.
- TİSDALE, S.L: AND NELSON, W.L., AND BEATON J.D: AND HAVLİN, U. 1993, *Soil Fertility and Fertilizers*, Prentice Hall, New Jersey.
- TİSDALE, U.C. AND RAJ, H., 1972, Zinc Response in Corn as Influenced by Genetic Variability. *Agr. J.*, 68:20-22
- TSCHERKO, D., KANDELER, E. 1997, Ecotoxicological effects of fluorine deposits on microbial biomass and enzyme activity in grassland. *Eur. J. Soil Sci.* 48, 329–335.
- VAN HOEWYK, D., TAKAHASHİ, H., INOUE, E., HESS, A., TAMAOKİ, M., PİLON-SMİTS, E. A., 2008, Transcriptome analyses give insights into selenium-stress responses and selenium tolerance mechanisms in *Arabidopsis*. *Physiol.Plant* 132:236-253
- VANCE, G. F., DAVID, M. B. 1992, Dissolved organic carbon and sulphate sorption by Spodosol mineral horizons. *Soil Sci.* 154, 136–144.
- VONG, P.-C., PIUTTI, S., BENİZRİ, E., SLEZACK-DESCHAUMES, S., ROBİN, C., GUCKERT, A. 2007, Water-soluble carbon in roots of rape and barley: Impacts on labile soil organic carbon, arylsulphatase activity and sulphur mineralization. *Plant Soil* 294, 19–29.

- WANG, J., SOLOMON, D., LEHMANN, J., ZHANG, X., AMELUNG, W. 2006, Soil organic sulfur forms and dynamics in the Great Plains of North America as influenced by long-term cultivation and climate. *Geoderma* 133, 160–172.
- WEI ZHOU, PING HE, SHUTIAN LI, BAO LIN; 2005, Mineralization of organic sulfur in paddy soil under flooded conditions and its availability to plants. *Geoderma* 125:85-93
- WIESER H., GUTSER R., S. VON TUCHER; 2004, Influence of Sulphur Fertilisation on Quantities and Proportions of Gluten Protein Types in Wheat Flour. *Journal of Cereal Science* 40:239-244.
- WILLIAMS, C. H. 1967, Some factors affecting the mineralization of organic sulfur in soils. *Plant Soil* 26, 205–233.
- WILLIAMS, C. H., STEINBERGS, A. 1962, The evaluation of plantavailable sulphur in soils. I. The chemical nature of sulphate in some Australian soils. *Plant Soil* 17, 279–294.
- WITHERS, P.J.A. AND O'DONNELL, F.M., 1994, The response of double-low winter oilseed rape to fertiliser sulphur. *J. Sci. Food Agric.* 63, pp. 29–37.
- WITHERS, P.J.A., TYTHERLEIGH, A. R. J. AND O'DONNELL, F. M., 1995, Effect of sulphur fertilisers on the grain yield and sulphur content of cereals. *J. Agric. Sci.* 125, pp. 317–324.
- WOLT, J. D. 1980, Sulfate retention by acid sulfate-polluted soils in the Copper Basin Area of Tennessee. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 283–287.
- WRIGLEY, C. V., DU GROS, D.L., ARCHER, M.J., DOWNIE, P.G. AND ROXBURGH, C. M., 1980, The sulfur content of wheat endosperm proteins and its relevance to grain quality. *Austr. J. Plant Physiol.* 7, pp. 755–766.
- WU, J., O'DONNELL, G., SYERS, J. K. 1993, Microbial growth and sulfur immobilization following the incorporation of plant residues into soil. *Soil Biol. Biochem.* 25, 1567–1573.
- XIAO-QUAN SHAN, BIN CHEN, TIAN-HONG ZHANG, FU-LIANG LI, BEI WEN, JIN QIAN; 1997, Relationship between sulfur speciation in soils and plant availability. *The Science of the Total Environment*. 199:237-246

- YANG, Z., SINGH, B. R., HANSEN, S., HU, Z., RILEY, H. 2007, Aggregate associated sulfur fractions in long-term (>80 years) fertilized soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 71, 163–170.
- YANSHAN CUI, YITING DONG, HAIFENG LI, QINGREN WANG; 2004, Effect of elemental sulphur on solubility of soil heavy metals and their uptake by maize. *Environ. Interna.* 30:323-328.
- ZHANG, W. J., FENG, J. X., WU, J., PARKER, K. 2004, Differences in soil microbial biomass and activity for six agroecosystems with a management disturbance gradient. *Pedosphere* 14, 441–447.
- ZHAO, F.J., ALMON, S.E., WITHERS, P.T.A., MONAGHAN, J.M., EVANS, E.J., SHEWRY, P.R. AND MCGRATH, S.P., 1999, Variation in the breadmaking quality and rheological properties of wheat in relation to sulphur nutrition under field conditions. *J. Cereal Sci.* 30, pp. 19–31.
- ZHAO, F.J., HAWKESFORD, M.T. AND MCGRATH, S.P., 1999, Sulphur assimilation and effects on yield and quality of wheat. *J. Cereal Sci.* 30, pp. 1–17.
- ZHAO, F.J., WITHERS, P.T.A., EVANS, E.T., MONAGHAN, J., SALMON, S.E., SHEWRY, P.R. AND MCGRATH, S.P., 1997, Sulphur nutrition: an important factor for the quality of wheat and rapeseed. *Soil Sci. Plant Nutr.* 43, pp. 1137–1142.
- ZHAO, F.J., MCGRATH, S. P., BLAKE-KLIF, M.M.A., LINK, A., TUCKER, M., 2002, Crop responses to sulphur fertilisation in Europe, *Proceedings No 504. International Fertiliser Society, New York, UK*, p.27.

ÖZGEÇMİŞ

1976 yılında Diyarbakır/Dicle ilçesi Kocaalan köyün de doğdu. İlkokulu köyde bitirdikten sonra ortaokul ve lise öğrenimini Diyarbakır'Ziya Gökalp Lisesinde tamamladı. 1993 yılında Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak bölümünde başladığı üniversite eğitimini 1997 yılında tamamladı. 2008 yılında Çukurova Üniversitede Ziraat Fakültesi Toprak anabilim dalında master programına başladı. 1997 Yılında üniversite eğitimİ bitirdikten sonra, Aktif ticaret hayatına başladı ve aile şirketinde ticaret hayatına devam etmekte. Ticaret hayatında bir çok sosyal projelerde bulundu, sivil toplu örgütlerinde bir çoğunda yönetim kurul üyeliği ve Başkanlık yaptı, halen TOBB Diyarbakır Genç Girişimciler kurulu yönetim kurulu üyeleği ve Başkan Yardımcılığı , DİĞİAD (Diyarbakır Girişimci iş Adamları Derneği Üyeliği) , TMMOB Ziraat Mühendisleri Odası ve TABGİS (Türkiye Petrol ve Gaz İşverenler Sendikası) üyesi.