

MAYIS 2018

Yüksek Lisans-Biyoloji Bölümü

SELİN ERDİNÇ

GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALÜMİNYUM TOKSİSİTESİNİN SUSAM (*SESAMUM
INDICUM* L.) FİDELERİNDEKİ FİZYOLOJİK
ETKİLERİ

BİYOLOJİ BÖLÜMÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

SELİN ERDİNÇ

MAYIS 2018

**Alüminyum Toksisitesinin Susam (*Sesamum indicum* L.)
Fidelerindeki Fizyolojik Etkileri**

**Gaziantep Üniversitesi
Biyoloji Bölümü
Yüksek Lisans Tezi**

**Danışman
Doç. Dr. Muhittin DOĞAN**

**Selin ERDİNÇ
Mayıs 2018**



©2018 [Selin ERDİNÇ]

T.C.
GAZİANTEP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANABİLİM DALI

Tezin Adı: Alüminyum Toksisitesinin Susam (*Sesamum indicum* L.) Fidelerindeki Fiziolojik Etkileri

Öğrencinin, Adı Soyadı: Selin ERDİNÇ

Tez Savunma Tarihi: 25 Mayıs 2018

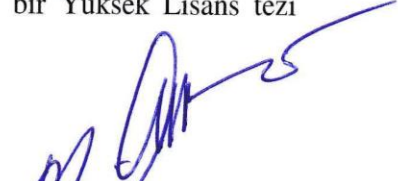
Fen Bilimleri Enstitüsü onayı


Prof. Dr. A. Necmeddin YAZICI
FBE Müdürü

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.


Prof. Dr. Filiz ÖZBAŞ GERÇEKER
Enstitü ABD Başkanı

Bu tez tarafımda okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.


Tez Danışmanı
Doç. Dr. Muhittin DOĞAN

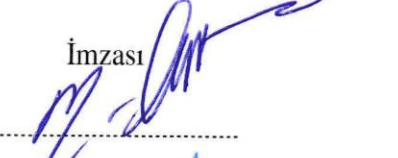
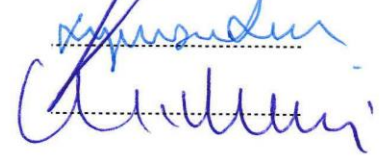
Bu tez tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Muhittin DOĞAN

Dr. Öğr. Üyesi Önder YUMRUTAŞ

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa PEHLİVAN

İmzası



İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

Selin ERDİNÇ

ABSTRACT

PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF ALUMINIUM TOXICITY ON SESAME (*SESAMUM INDICUM* L.)

ERDİNÇ, Selin

M. Sc. in Biology

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Muhittin DOĞAN

May 2018

60 pages

Aluminum is the most abundant metal and the third most abundant element in the earth's crust. Aluminium toxicity is one of the major factors that limit plant growth and development in many acid soil. *Sesamum indicum* (sesame) is a flowering plant that grows throughout the world and is cultivated for its edible seeds. Therefore, it is essential to investigate the effects of Al toxicity on some physiological and biochemical characteristics of sesame seedlings. Sesame seeds sterilized with 5% sodium hypochloride solution for 15 min, and washed with distilled water three times and then were germinated in perlite. After germination periods, sesame seedlings were then transferred to 2 L plastic vessels containing aerated nutrient solution. After seedlings were acclimatized, they were supplied with 0, 5, 25 and 50 mg/L Al. At the end of the Al application period, the seedlings were harvested and analyses were carried out. Growth and development of the seedlings were reduced by Al. The study indicated that Al toxicity on photosynthetic pigments and protein contents in the seedling parts (root, stem and leaf) were dependent upon Al concentration. In general, toxicity was also increased with increasing Al concentration. Increases in H₂O₂ and malondialdehyde contents showed that Al concentrations caused oxidative stress. It is possible that increased non-protein SH groups and total phenolic contents by Al may be due to their roles in Al stress response.

Keywords: Al toxicity, *Sesamum indicum*, physiological and biochemical effects

ÖZET

ALÜMİNYUM TOKSİSİTESİNİN SUSAM (*SESAMUM INDICUM* L.) FİDELERİNDEKİ FİZYOLOJİK ETKİLERİ

ERDİNÇ, Selin
Yüksek Lisans Tezi, Biyoloji Bölümü
Tez Yöneticisi: Doç. Dr. Muhittin DOĞAN
Mayıs 2018
60 Sayfa

Alüminyum, yer kabuğunda en çok bulunan elementler arasında, oksijen ve silisyumdan sonra üçüncü olarak gelir. Alüminyum toksisitesi, asidik topraklarda bitkilerin büyümesini sınırlayan önemli bir faktördür. Susam dünya çapında yetişen çiçekli bir bitkidir ve yenilebilir tohumları için yetiştirilir. Bu nedenle Al toksisitesinin susam fidelerinin bazı fizyolojik ve biyokimyasal özelliklerine etkisini araştırmak esastır. Susam tohumları %5'lik hipoklorit çözeltisinde 15 dakika steril edildikten sonra üç kez distile su ile yıkanmıştır. Daha sonra bu tohumlar perlit ortamına ekilmiştir. Çimlenme periyotlarından sonra susam fideleri havalandırılmış besleyici solüsyon içeren 2L hacminde plastik kaplara alınmıştır. İklimlendirildikten sonra 0, 5, 25, 50 mg/L'lik konsantrasyonlarda Al ile beslenmiştir. Al uygulama döneminin sonunda fideler hasat edilmiş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Fidelerin büyüme ve gelişmesi Al tarafından azaltılmıştır. Çalışma, fotosentetik pigmentler ve protein içerikleri üzerindeki Al toksisitesinin Al konsantrasyonuna bağlı olduğunu göstermiştir. Genel olarak toksisite artan Al konsantrasyonu ile artış göstermiştir. H₂O₂ ve malondialdehit içeriğindeki artışlar Al konsantrasyonlarının oksidatif strese neden olduğunu göstermiştir. Protein olmayan SH gruplar ve fenolik miktarındaki artışlar, bunların Al toksisitesine cevaptaki rollerinden kaynaklanabilir.

Anahtar Kelimeler: Al toksisitesi, Susam, Fizyolojik ve Biyokimyasal etkiler

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimim süresince tüm bilgilerini benimle paylaşan ve her türlü konuda destek olan danışman hocam Sayın Doç. Dr. Muhittin DOĞAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Analizlerim ve tez süresince yardım ve desteklerinden dolayı Doktorant Serap Şahin YİĞİT'e çok teşekkür ederim.

Teknik ve idari yardımlarından dolayı Gaziantep Üniversitesi Rektörlüğü'ne, Fen-Edebiyat Fakültesi Dekanlığına, Biyoloji Bölüm Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tüm eğitim öğretim hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen babam Necdet ERDİNÇ'e, annem Hatice Filiz ERDİNÇ'e ve kardeşim Burak ERDİNÇ'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ABSTRACT	v
ÖZET.....	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ	1
1.1 Alüminyum.....	4
1.2 <i>Sesamum indicum</i>	11
1.3 Çalışmanın Amacı	18
BÖLÜM 2.....	19
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	19
BÖLÜM 3.....	23
MATERYAL VE METOTLAR	23
3.1 Deney Ortamı ve Uygulama	23
3.2 Ölçümler ve Tartımlar	23
3.3 Fotosentetik Pigment Tayini	24
3.4 Protein İçeriğinin Belirlenmesi	24
3.5 Protein Olmayan SH grupların Analizi	24
3.6 Malondialdehit Analizi	24

3.7 H ₂ O ₂ Belirlenmesi	24
3.8 Toplam Fenolik Madde Analizi	25
3.9 Toplam Karbonhidrat Analizi.....	25
3.10 Alüminyum İçeriklerinin Belirlenmesi	25
3.11 Veri Analizi	25
BÖLÜM 4.....	26
BULGULAR.....	26
4.1 Alüminyumun Susam Fidelerinde Büyüme ve Gelişme Üzerine Etkisi	27
4.2 Fotosentetik Pigment Miktarları.....	28
4.3 Toplam Karbonhidrat Miktarı	29
4.4 Yaprakların Toplam Protein İçeriği	30
4.5 Toplam Fenolik Bileşik Miktarları.....	31
4.6 Protein Olmayan SH grup Miktarları	31
4.7 Hidrojen Peroksit Miktarları	32
4.8 Malondialdehit (MDA) Miktarları	33
4.9 Susam Fide Organlarının Al Derişimleri.....	33
BÖLÜM 5.....	36
TARTIŞMA VE SONUÇ.....	36
BÖLÜM 6.....	40
ÖNERİLER	40
KAYNAKLAR	41

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Susam bitkisinin çiçekli hali.....	12
Şekil 1.2 Susam kapsülü genel görüntüsü.....	13
Şekil 1.3 Susam kapsüllerinin açık hali.....	17
Şekil 4.1 Susam fidelerinin deney sonu görünüşleri.....	26
Şekil 4.2 Susam fidelerinin deney sonu kök ve gövde uzunlukları.....	27
Şekil 4.3 Susam fidelerinin deney sonu taze ağırlıkları.....	28
Şekil 4.4 Susam fidelerinin deney sonu kuru ağırlıkları.....	28
Şekil 4.5 Susam fide yapraklarının fotosentetik pigment miktarları.....	29
Şekil 4.6 Susam fide organlarının toplam karbonhidrat miktarları.....	30
Şekil 4.7 Susam fide organlarının protein içerikleri.....	30
Şekil 4.8 Susam fide organlarının fenolik madde miktarları.....	31
Şekil 4.9 Susam fide organlarının protein olmayan SH miktarları.....	32
Şekil 4.10 Susam fide organlarının hidrojen peroksit miktarları.....	32
Şekil 4.11 Susam fide organlarının MDA miktarları.....	33
Şekil 4.12 Susam fidesi köklerinin Al derişimleri.....	34
Şekil 4.13 Susam fidesi gövdelerinin Al derişimleri.....	34
Şekil 4.14 Susam fidesi yapraklarının Al derişimleri.....	35

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 1.1 Başlıca elementlerin yer kabuğundaki konsantrasyonları.....	6
Tablo 1.2 2012 Yılı İtibariyle Susam Yağı Üretiminde Öne Çıkan Ülkeler.....	14
Tablo 1.3 Türkiye’de Susam Ekim Alanı, Verim ve Üretimi.....	15
Tablo 1.4 Bölgeler İtibariyle Susam Ekim Alanı, Verim ve Üretimi.....	17

SİMGELER VE KISALTMALAR

TCA	: Trikloroasetik Asit
SH	: Tiyo1 Grupları
MDA	: Malondialdehit
H₂O₂	: Hidrojen Peroksit
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
DNA	: Deoksiribo Nükleik Asit
HCl	: Hidroklorik Asit
NaCl	: Sodyum Klorür
Al	: Alüminyum
Cr	: Krom
Mn	: Mangan
Cu	: Bakır
Ca	: Kalsiyum
Mg	: Magnezyum
Ni	: Nikel
TUİK	: Türkiye İstatistik Kurumu

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunan, periyodik cetvelin üçüncü ya da daha sonraki periyotlarında yer alan bileşiklerdir. Fiziksel özellik bakımından yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan atom ağırlığı 24 olan kromla metal olmayan arsenik ve selenyum ile kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), krom (Cr), demir (Fe), kobalt (Co), bakır (Cu), arsenik (As), kalay (Sn), alüminyum (Al), nikel (Ni), civa (Hg) ve çinko (Zn) dahil 60 tan fazla metal dâhil edilmektedir (Duffus, 2002; Roesijadi ve Robinson, 1994; Nieboer ve Richardson, 1980).

Ağır metallerin çoğu biyodegradasyona uğramadan toprakta birikerek belirli konsantrasyonun üzerinde kirliliğe yol açarlar (Roesijadi ve Robinson, 1994; Kabat ve Pendias, 1984; Nieboer ve Richardson, 1980). Bu kirlilik gıda güvenliğini tehdit ederek, toprak florasının değişmesine neden olmaktadır (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010). Başka bir deyişle, ağır metallerin toprakta birikmesi ile toprak mikroorganizmalarının sayısı azalmaktadır (Khan ve Scullion, 2002). Lacatusu vd. (1999) Romanya'da asit yağmurları ve ağır metal kirliliğinin Elatna bölgesinde kirliliğe yol açtığını, toprak canlılığı için gerekli olan solucan türlerinin kirli bölgelerde sayıca azaldığını gözlemlemiştir.

Ağır metaller toprağa madencilik, mineral gübre ve pestisit kullanımı, sanayi atıkları, havadan ise biyositler, hidrokarbon yanma ürünleri olarak ulaşır (Çağlarırnak ve Hepçimen, 2010; Çepel, 1997). Ağır metaller düşük dozlarda mikro element iken yüksek dozda metabolik bozukluklara ve bitki büyümesinin engellenmesine neden olabilir (Claire vd., 1991; Fernandes ve Henriques, 1991).

Metaller insanların çok eski zamanlardan beri kullandığı en değerli maddeler arasındadır (Gündüz, 1998). Metaller işlenmeye başlandığından beri insan faaliyetleri sonucu çevreye yayılarak, toksik etkileri canlı bünyesinde kendisini göstermeye başlamıştır (Rether, 2002). Bazı metaller insan aktiviteleri dışında doğal yollardan

canlı bünyesine geçer. Başka bir deyişle metallerden bazıları canlı ve cansız çevre arasında daima dönüşüm içerisinde. Bu dönüşüm metal iyonunun hiçbir zaman kaybolmadığını toksik olan başka formlara dönüşebildiğini gösterir. Metallerin rüzgar su gibi olaylarla çevreye yayılması hiç kirlenmemiş alanların kirlenmiş alanlara dönüşmesini sağlar. Bu taşınımınla yeryüzü suları kirlenir sonucunda ise yer altı suları ve içme suları içeriğinde çeşitli toksik metallerle karşılaşılır (Gündüz, 1998). Ağır metaller bulundukları yerle sınırlı kalmayıp kaynağından uzaklaştıkça da canlılar üzerinde toksik etkilerini göstermektedir (Çepel, 1997).

Toprak kirliliği insan etkinlikleri ile oluşan bileşiklerin toprağa bulaştırılması, toprağa eklenen kimyasal materyalin toprağın özümleme kapasitesinin üzerine çıkması sonucunda verim kapasitesinin düşmesidir (TKKY, 2005). Nüfusun hızla artması, bilinçsizce kullanılan ticari gübre ve pestisitler, kirli suların sulamada kullanılması ile toprak her geçen gün kirlenmektedir (Türkoğlu, 2006).

Kentleşme ve endüstrileşme çevre sorunlarını beraberinde getirmiştir (Bayçu, 1997). Günümüzde kullanılan kimyasallar birçok yolla sulara, tarım topraklarına, akarsulara ve yer altı sularına karışarak önemli düzeylerde çevre sorunlarına neden olmaktadır (Causape vd., 2004; Huber vd., 2000).

Hava, su ve toprakta meydana gelen ve tüm canlıları olumsuz yönde etkileyen sorunlara çevre kirliliği denir (Özbek, 2010). Günümüzde çevre kirliliğinin en önemli nedenlerinden biri toksik olan ağır metallerin etrafa yayılmasıdır (Goyer, 1991). Ağır metaller yağışlar ile toprağa, oradan bitkilere, bazı koşullarda da taban sularına karışarak çevreye yayılabilir (Çepel, 1997). Okyanus yüzeyinde düşük yoğunlukta olan ağır metaller yükselerek atmosfere taşınırlar (Rebhun ve Amotz, 1984; Wickfors ve Ukeles, 1982). Bu kirleticiler, hava hareketleri yardımıyla çok uzak mesafelere taşındığında kara ve su alanlarını etkileyerek hayvansal ve bitkisel kökenli besinlerin kirlenmesine neden olurlar (Baysal, 1989; Şanlı, 1984). Tüm bu faktörler ağır metalin toksik etkisi ile bulunduğu bölgede bitki örtüsünü seyrekletmesine dolayısıyla rüzgar ve su erozyonunun hızlanmasına sebep olabilir. Böylelikle metallerin çevreye dağılımı kolaylaşır ve canlıların yaşamını tehdit eden durum ortaya çıkar (Altınbaş vd., 2008).

Toprakta bulunan ağır metal fazlalığı ve eksikliği çevresel problemlere sebep olup toprak yapısında, bitki ve hayvan sistemlerinde ciddi değişikliklere neden olur (Türkoğlu, 2006). Toprağa fazla miktarda uygulanmış olan pestisitler ortamdaki bitki ve canlılara zarar vermek dışında içme suları ve yer altı sularına karışabilmektedir. Pakistanda 1980'li yıllarda yoğun olarak kullanılan pestisit bölge yakınlarındaki Rawal Gölü'ne karışması sonucu göldeki balıklar ölmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda ise pestisit kalıntı miktarının standart değerlerin 4 katı olduğu gözlemlenmiştir (Tariq vd., 2007).

Ağır metaller bitkilerin toprak altı ve toprak üstü kısımlarında birikerek vejetatif ve generatif organların gelişimini olumsuz etkilemektedir (Başcı, 2009; Gür vd., 2004). Yüksek yapılı bitkiler karada yaşamaya uygun olan bir adaptasyonla ağır metalleri kök kısmında biriktirirler (Fernandes ve Henriques, 1991). Bu durum tohumu korumaya yönelik ağır metalin gövde ve yaprak kısmına ulaşmasını azaltmaktadır. Ağır metalin birikimi bitkide kökten sonra sırasıyla sap kısmı, yaprak ve en az olan kısım meyve veya tohum şeklindedir (Müller vd., 2003).

Soudek, vd. (2010), ağır metal miktarındaki artış ile çimlenen tohum miktarında ve kök uzunluğunda azalmalar tespit etmişlerdir. Bitkilerde ağır metallerin kök kısmındaki negatif etki mekanizması hücre bölünmesinin ya da hücre döngüsünün uzamasından kaynaklanmaktadır. Al etkisi ile hücre bölünmesinin bir diğer azalma sebebi ise hücre duvarında bulunan pektinler ve karboksil gruplarıyla Al^{+3} iyonlarının tepkimeye girmesi ile ortaya çıktığı gözlemlenmiştir (Kaçar ve Katkat, 2008).

Ağır metaller bitkilerde bazı fizyolojik olayların bozulmasına neden olmaktadır. Bunlardan bazıları transpirasyon, su alınımı, stoma hareketleri, çimlenme, fotosentez, protein sentezi, pigment lezyonları ve nekrozis şeklindedir (Kennedy ve Gonsalves, 1987).

Ağır metallerin, lipid peroksidasyonunu ve oksidatif stresi arttırdığı ortaya konmuştur (Cargnelutti vd., 2006). Toksik olan metallerin gıda yapısında birikme oranı havada ve sudaki oranından çok daha fazladır (Gündüz, 1998). Böylece toksik olan gıdayı tüketen insan ve hayvanın zehirlenmesine neden olabilir (Baysal, 1989; Şanlı, 1984). Son yıllarda ağır metallerin bitkiler üzerindeki toksik etkisi sonucunda indikatör ve biyoakümülatör bitkilerin kullanımında artış görülmüştür (Özden, 2001).

Verimli topraklar olarak nitelendirilen alanlar, bitkinin yetişmesi için gerekli olan elementleri bulundurmakla birlikte değişen konsantrasyonlarda metal iyonları içermektedir (Basta, vd., 2005). Ağır metal kirliliği bu topraklarda yaşayan bitkiler için potansiyel olarak büyük bir tehlikedir. Bu tür topraklar üzerinde farklı ıslah işlemleri uygulanarak, verimliliğin artırılması için yoğun çalışmalar yapılmaktadır (Geiger vd., 1993).

Bu metalleri biriktirdiği bilinen 400 bitki bulunmaktadır. Bunlardan en bilineni ise *Thlaspi caerulescens* 'dir (Reeves ve Baker, 1999). Ayrıca kara parçaları üzerinde ağır metal kirliliğinin izlenmesinde her ülkede farklı bitki türleri kullanılmaktadır. Örneğin ülkemizde *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Çavuşoğlu vd., 2005), *Elaeagnus angustifolia* (Çavuşoğlu, 2002) ve *Robinia pseudo acacia* (Aksoy vd., 2000), Almanya'da *Pleurozium schreberi*, *Scleropodium purum*, *Hypnum cupessiforme* ve *Hylocomium splendens* (Markert vd., 1996), Polonya ve Amerikada *Populus nigra* (Wagner, 1987) kullanılmaktadır.

1.1 Alüminyum

Alüminyum dünya genelinde oksijen ve silisyumdan sonra en çok bulunan üçüncü elementdir (Sevinç, 2003). Alüminyum adını ilk kez bulunduğu Alplerdeki bir yerleşim alanı olan Baukslar'dan almıştır. Ayrıca yer kabuğunda fazla oranda bulunan alüminyumu elde etme yöntemleri sınırlıdır (Sevinç, 2003; Petrucci, 1985; Kaçar, 1972).

Alüminyum toprakta birkaç farklı formda bulunabilmektedir (Degenhardt, 1998). Alüminyum nötr topraklarda çözünmeyen $Al(OH)_3$ formda bulunmaktadır (Matsumoto, 2000). Toprak pH'ının 5.5 altına düşmesi yani asitliğin artması durumu alüminyumun çözünmesine neden olur. Örneğin pH değeri 4.5 iken toprakta çözünmüş olan alüminyum miktarı pH 5.5' e göre yaklaşık 1000 kat daha fazladır (Kalaycıoğlu, 2005).

Özellikle pH'ı 5'in altına düştüğü zaman alüminyum toprakta Al^{+3} olarak adlandırılan $Al(H_2O)_6^{+3}$ şeklinde bulunup, pH'ın artması ile $Al(H_2O)_6^{+3}$, $Al(OH)^{+2}$ ve $Al(OH)^{+2}$ haline dönüşmektedir (Matsumoto, 2000).

Toksik olma durumu metalden metale, canlıdan canlıya ve konsantrasyona bağlı olarak değişir. Toksik metaller günümüzde en zararlı çevre kirleticileri arasında yer

alır. Genel olarak metaller toksik olan ve toksik olmayan olarak ikiye ayrılır. Toksik olanların sayısı, toksik olmayanların sayısından daha azdır. Ayrıca toksik olanlardan bir kısmı yer kabuğunda eser oranda bulunur. Metaller toksik olma bakımından ikiye ayrıldığı gibi konsantrasyon bakımından da bol ve eser oranda bulunanlar olarak ikiye ayrılırlar (Tablo 1.1). Yer kabuğunda bulunma miktarı binde birden daha az olan metallere eser oranda bulunan metaller denir. Eser elementler veya metaller, çevre kirlenmesi bakımından bol bulunan elementlerden daha çok tehlikelidir (Gündüz, 1998).



Tablo 1.1 Başlıca elementlerin yer kabuğundaki konsantrasyonları

Element	Konsantrasyon (ppm)	Sırası
Bol bulunan		
Oksijen	466000	1
Silisyum	277200	2
Alüminyum	81300	3
Demir	50000	4
Kalsiyum	36300	5
Sodyum	28300	6
Potasyum	25900	7
Magnezyum	20900	8
Titan	4400	9
Hidrojen	1400	10
Fosfor	1180	11
Mangan	1000	12
Eser oranda bulunan		
Baryum	425	14
Vanadyum	135	19
Nikel	75	23
Çinko	70	24
Bakır	55	26
Kurşun	12,5	36
Berilyum	2,8	46
Uranyum	2,7	48
Kalay	2	51
Kadmiyum	0,2	63
Civa	0,08	67
Gümüş	0,07	68
Altın	0,004	71

Kamprath ve Foy'a (1971) göre Al^{+3} , ATPaz enzim aktivitesi ve hücrelerde metabolik enerji metabolizmasını olumsuz şekilde etkileyip, solunumu azaltır.

Yüksek pH'da, alüminyumun hidroksi çeşitleri ortamda daha fazla bulunup H^{+} 'nin aktivitesini azalmaktadır (Kochian, 1995).

Alüminyum toksisitesi, pH 5.0'ın altındaki asit topraklardaki yetişen bitkiler için büyümeyi sınırlayan önemli bir faktördür (Foy, 1992; Foy, 1988; Roy vd., 1988 Kamprath vd., 1985; Carvalho vd., 1980; Alam vd., 1979; Foy, 1974a; Foy, 1974b; Blue vd., 1977).

Toprak asitliğinin artması ile alüminyum, toprakta bulunan hidrojenlerle bağlandığında Al^{+3} formu oluşur. Al^{+3} en toksik olan alüminyum formudur ve mikromolar konsantrasyonda bulunduğu bile ürün miktarında azalmaya neden olur (Matsumoto, 2000; Foy vd., 1978a). Al^{+3} hücrelerin ölümüne ve bitkinin fungal enfeksiyonlara hazır duruma gelmesine neden olur (Kocaçalışkan, 2005; Boscolo vd., 2003).

Suyun kök tarafından alınması sırasında görev yapan apoplast alüminyumun ilk hedef gösterdiği bölgedir. Apoplastta alüminyuma duyarlı olan bölgeler alüminyumu tutar ve diğer iyonların bu bölgeye bağlanmasını engelleyerek 1-2 saat içerisinde kök uzamasının inhibisyonuna neden olur. Ayrıca metal toksisitesi Ca^{+2} , Mg^{+2} gibi iyonların ve suyun alımını etkileyerek plazma zarının sertleşmesine sebep olur (Tamás vd., 2005; Kochian, 1995). Al^{+3} , Ca^{+2} kanallarını bloke ederek mineral alımını engeller (Plieth, 2005).

Alüminyumun etkisi kök ucu olan meristem bölgesinde bulunan hücreleri daha fazla etkileyip işlevini yerine getirmesini önlerken, olgun kök dokularını daha az etkiler (Delhaize ve Ryan, 1995; Ryan ve Kochian, 1993; Turan vd., 1989).

Foy vd., (1988) hasar görmüş bitki köklerinin küt uçlu ve kısa, kolay kırılabilir yapıda, köklerin kalınlaşıp kahverengiye dönüştüğünü belirtmiştir. Kök kısmındaki kahverengileşme bitkide süberin miktarının artması ile meydana gelir (Mohanpuria vd., 2007; Steudle, 2000). Ayrıca süberinin bitkide olumsuz özelliklerinden birisi su alımını azaltmasıdır (Steudle, 2000). Kök ucu hücrelerinde Al 'nin etkisiyle hücre zarının bütünlüğü kaybolur. Kökün ölümü ile birlikte işlevini yerine getirememesi su

emiliminin yavaşlamasına neden olur. Bu durum ile bağlantılı olarak bitki besin minerallerini almada yetersiz kalır (Nagy vd., 2004; Pietraszewska-Mossor, 2001).

Eswaran vd., (1997) yaptığı çalışmada asidik toprakta yetişen bitkilerin gelişimlerini sınırlayan durumun toprakların yetersiz gübrenmesi ve minerallerin zehir etkisi oluşturması ile birlikte en önemli faktörün alüminyumun toksik etkisi olduğunu belirtmiştir.

Metal iyonları kök kısmında depolanır veya toprak üstünde sürgün bölgelerine gönderilirler (Stephan ve Scholz, 1993). Metallerin toprak üstü kısımlarına taşınmasını sağlayan ksilem borularına ulaşabilmesi için öncelikle kaspari şeridini geçmesi gerekir (Przemeck ve Haase, 1991). Bitkide gerçekleşen metabolik olayların tamamı doğrudan ya da dolaylı olarak her zaman birbiriyle ilişkilidir. Bu duruma örnek olarak fotosentezdeki değişimler, bağlantılı olarak karbonhidrat metabolizması ile ilişkilidir. Ayrıca stres durumunda bitkide genellikle karbonhidrat miktarında azalmalar tespit edilmiştir (Doğan, 2005).

Bitkinin kaçamadığı bünyesine almak zorunda olduğu ağır metalleri en yaşlı ve büyük hücreler içinde vakuollerde hapsederek, bitki içerisindeki sirkülasyonunu durdurmaya çalışır. Bu yabancı maddelerle dolu hücreleri çevreleyen genç hücreler hücre çeperini kalınlaştırıp, su alınımlı ile turgor basıncını arttırarak bu hücrelerin sıkışmasını sağlayarak hapsederler (Preetha, 2006).

Alüminyum toksisitesinin semptomları kolayca tespit edilemez. Bitkilerde, yaprak semptomları fosfor (P) eksikliğine benzetilir (Rout vd., 2001). Alüminyumun ilk toksik etkisinin köklerde görülmesinin yanında yapraklarda da küçük, bodur ve morumsu, sararan, ölen ve kıvrılan yapraklar kendini gösterir (Rout, 2001). Gövdede ve yaprak damarları arasında pembemsi benekler oluşur. Yapraklar küçük, anormal koyu yeşil renkte ve alttan başlamak üzere dökülür (Kaçar ve Katkat, 2008).

Bitki büyüme ve gelişimini sınırlayan alüminyumun toprakta bulunan miktarı kadar formu da önem taşır. Blamey vd., (1983), soya fasulyesi üzerinde yaptıkları çalışmada büyüme sınırlayan alüminyum formlarının Al^{+3} veya $Al(OH)_2$ olarak daha baskın olduklarını belirtmişlerdir. Buna karşın, Alva vd., (1986) ile Kinraide ve Parker (1990), bitki büyümesi için Al^{+3} 'ün en toksik form olmadığını, $Al(OH)^{+2}$ ve $Al(OH)_2$ 'nin daha etkili olduğunu bulmuşlardır. Ayrıca pH'ın düştüğü ortamlarda H^+

iyonunun varlığı Al^{+3} toksisitesini azaltır. Bu durumun sebebi ise H^{+} ile Al^{+3} ün hücre zarından geçmek için rekabet halinde olmasıdır (Kochian, 1995).

Asit tepkimeli topraklarda yetiştirilen baklagillerde, ortamda hidrojen iyonları ile alüminyumun fazla olması kök yumru sayısının az olmasına özellikle de kalsiyumun az bulunmasına sebep olmuştur (Alva vd., 1990).

Bitkiler alüminyuma karşı farklı tepkiler gösterirler. Bunlar dayanıklı bitkilerin alüminyumu dışarıda bırakması veya alüminyuma iç dayanıklılık olmak üzere geliştirilen mekanizmalardır (Kochian, 1995).

Örneğin arpa, fasulye, pamuk Al artışına karşı duyarlı iken mısır, açelya gibi bitkiler duyarsız grupta yer alır (Foy ve Brown, 1964). Buğdayda Al^{+3} , dona karşı dayanıklılığı arttırırken düşük pH'larda bitkide potasyum alınımına olumlu etki yapar (Konishi vd., 1985). Buğday, arpa, pirinç, bezelye ve mısır gibi toleranslı çeşitler, besin çözeltilerinin pH'ını arttırıp Al 'yi çökeltme işlemi gerçekleştirirler. Bu durum Al 'nin çözünürlüğünü ve toksisitesini azaltarak tepki göstermelerini sağlar (Foy vd., 1978b).

Al akümülatörleri olarak adlandırılan bazı bitkiler, yaralanma veya zehirlenme olmadan yeşilliklerinde 10 kata kadar Al biriktirme özelliğine sahiptir (Rout vd., 2001; Matsumoto, 1976). Alüminyumun bitkiler üzerine olan, morfolojik olarak gözlemlenebilen etkilerinden birisi de çiçeklerinde renk değişimine neden olmasıdır (Chenery, 1948). Bitki alüminyumun toksik etkisini ortadan kaldırmak için alüminyum ile sitrik asiti birleştirerek vakuollerinde biriktirir. Bu durum *Rhododendron* bitkisinde alüminyumu biriktirdiğinde çiçeklerinin mavi petalli olduğu şeklinde gözlemlenmiştir (Kalaycıoğlu, 2005; Giaveno vd., 2000; Morrey, 1995).

Asit yapıda olan toprakta fazla miktarda bulunan değişebilen yapıya sahip olan alüminyum ve mangan, bitkilerde kök gelişmesi üzerine olumsuz etki yapmak üzere bitkinin potasyum alımının azalmasına neden olur (Kaçar ve Katkat, 2008). Aynı durum toprağa gereğinden fazla uygulanan fosforda da mevcuttur. Fazla fosfor, çinko ya da demir gibi besin elementinin noksanlıklarının görülmesine neden olurken, alüminyum gibi ağır metallerin zehir etkisi yapabilecek düzeyde bitkiye alınmasını engeller (Loneragan, 1978). Benzer şekilde gereğinden fazla alüminyumun bitkide bulunması fosforun bitki tarafından alınamaz şekle dönüşmesini sağlar. Başka bir

deyişle alüminyum fosforu organik ve inorganik fosfatlar haline dönüştürerek bitki için yararlı hale getirmektedir (Kaçar ve Katkat, 2008).

Toprakta bulunan demir ve alüminyum oksitler, Ni^{+2} iyonunu adsorbe ederek bitkinin mineral alınımları üzerinde olumsuz etki gösterir (Kaçar ve Katkat, 2008).

Ayrıca toprakta bulunan alüminyum iyonu karbon, azot, fosfor mekanizmalarına etki ettiğinde enzim reaksiyonlarını etkiler. Bu nedenle mineral maddelerin eksikliği ortaya çıkar (Dong vd., 2002).

Ağır metallerin toprakta tutulması için iyon değişimleri gerçekleşir. Ayrıca toprağın kimyasal yapısı ve absorpsiyonu metal alınımları durumunda önemli bir faktördür (Anonim 1991).

Toprakta bulunan ağır metallerin, hareketli hale geçip (serbest iyon haline) bitkilerin yapısına katılması ile hücre plazmasında şişme ve büzülme durumuna, hücresel proteinlerin çökmesine, neden olmaları bitki için tehlikelidir (Okçu vd., 2009).

Tarım yapılan ve yapılmayan alanlar her geçen gün çeşitli sebeplerle Al, Pb, Cd, Zn, Hg, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni metalleri ile kirlenmekte olup bu oran özellikle bitkiler için toksik olabilecek seviyeye ulaşmıştır (Delhaize ve Ryan, 1995; Kochian, 1995).

Susam gibi yağlı tohum yapısına sahip olan yerfıstığı, ayçiçeği gibi bitkilerde fazla oranda ağır metal birikimleri görülüp, bu tohumların yağları çıkarıldığında yüksek konsantrasyonda metallerin bulunmasına sebep olur (Üstbaş vd., 2009; Alpaslan vd., 2001).

Toprağın asit seviyesi, asit yağmurları gibi çevre sorunları sonucunda artmaktadır (Matsumoto, 2000). Ağır metaller yağışlar ile toprağa geçip, oradan bitkilere, bazı koşullarda taban sularına ulaşır (Okçu vd., 2009). Bitki kalıntıları veya humik asit içeren topraklar daha az miktarda Al içeriğine sahiptirler (Mukherjee, 1997).

Topraktaki asit seviyesinin artması ile alüminyum konsantrasyonu artar ve sonucunda malat sentezlenir. Bitkinin kök kısmından salınarak alüminyumun hidroksil ve karboksil gruplarına bağlanmasını sağlar. Bu durum sayesinde alüminyumun kök içine girmesini engeller ve bitkinin toleransını artırır (Delhaize, 1993).

Bitkiye uygulanan metal sonucu yaprak gelişiminin azaldığı ve bu durum ile bağlantılı klorofil miktarının etkilendiği tespit edilmiştir (Baszynski vd., 1980; Padmaja vd., 1990).

Abdalla (2008)'de yaptığı çalışmada yüksek alüminyum uygulamasının bitkisel hormonlardan absisik asit (ABA)'in miktarını artırabildiğini gözlemlemiştir.

Alüminyum toksisitesinin etkilediği kısımlardan biri de hücre bölünmesi ve uzaması sırasında görev yapan mikofilamentler ve mikrotübüllerdir (Büyükköşkin, 2008).

Atmosferde bulunan değişik gaz ve parçacıkların fazlalığı, fabrika bacalarından çıkan kirleticiler toprak ve bitkinin veriminde olumsuz etki göstermektedir (Zheljazkov ve Nielsen, 1996). Endüstri merkezlerinin bulunduğu şehirlerde ve endüstri bölgelerinde hava kirliliği çok sık olarak görülür buna bağlı bazı modern zirai tekniklerin yayılması da toprağın kirlenmesine neden olur (Akman vd., 1996). Bu durum ekosistemlerin primer üreticileri olan bitkilerde etkilerini değişik şekillerde göstermektedir. Örneğin hücrel proteinlerle etkileştiğinde enzimatik ve yapısal fonksiyonların değişikliğine neden olabilir bu durum sonucunda intraselüler birikimlere neden olabilirler (Yoshikawa, 1982). Bir başka etkisi ise temel elementlerin yerini alarak toksik etki göstermesidir (Bremner, 1974).

Canlıların toprağa olan gereksinimleri sebebi ile toprağın niteliğini ve verimliliğini sağlamak, devamlılığını korumak tüm ülkelerde ulusal bir politika haline gelmiştir. Bu durumun gerçekleşebilmesi için, toprak kirliliğinin tüm boyutlarıyla incelenmesi gerekmekte ve kirlenmenin önlenmesi için çeşitli tedbirler alınmalıdır (Çepel, 1997).

1.2 *Sesamum indicum*

Susam; tropikal savana, kuru tropikal, nemli subtropikal, kuru subtropikal alanlarda dik büyüyen tek yıllık yetişen bir bitkidir (Frankel ve Hawkes, 1975; Langham, 1985; İlisulu, 1973).

Susam için bazı kaynaklarda Orta Afrikadan Dünya geneline yayıldığını belirten bilgiler bulunmaktadır (Oplinger vd., 1990). Bununla birlikte Hindistan menşeli olmasına atfen “indicum” isminin Hindistanın karşılığı olan *india*'dan geldiğini savunan bilgilerde mevcuttur (Er vd., 2011).

Pedaliaceae familyasından olan Dünya genelinde daha çok sıcak kuşaklara yayılmış, Türkiye’de yetiştirildiği bölge ekolojisine iyi adapte olmuş üretimlerine yerel olarak devam edilen 16 cins ve 60 tür arasında Sesamum cinsine ait yaklaşık 37 tür bulunmaktadır. Ancak susam bitkisinin bahsedilen özellikleri toleranslı olması, ikinci üründe kullanılması gibi kalite katan özellikleri yanında Dünya ekonomisinde gelişmesini engelleyen en önemli durum tohumun düşük verimli olmasıdır (Baydar, 2001c; Kobayashi, 1981).

Susam Dünya genelinde ve ülkemizde farklı şekillerde adlandırılmıştır. Uluslararası piyasalarda Benne tohumu, sesamo, simsim olarak bilinir. Farsça, Ermenice ve Uygurcada benzer şekilde ‘kunjut’ olarak adlandırılır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kullanılan küncü hem susamı hemde çörek otunu ifade etmektedir. Susam yağı Trakya bölgesinde Şırlağan yağı olarak adlandırılmakta olup şirik olarak da bilinir. Susam hasatı sırasında 8-12 demetten oluşan yapıya gümül veya tokurcun adı verilir (Şahin, 2014).



Şekil 1.1 Susam bitkisinin çiçekli hali



Şekil 1.2 Susam kapsülü genel görüntüsü

Susam, tohumlarında %50-60 oranında yağ, %25-30 oranında protein bulunduran otsu bir bitkidir (Vurarak vd., 2011; İlisulu, 1973). Bu yağ içeriğinde diğer yağlardan farklı olarak %35-45 arasında değişebilen oranda oleik ve linoleik asit bulundurmaktadır (Liu vd., 1992). Yağın en önemli özelliklerinden birisi tokoferol, sesamol ve sesaminol gibi antioksidantlar bulundurmasıdır. Susamın yapısındaki bu antioksidantlar oksitlenmeye karşı direnç sağlar (Yoshida vd., 1997). Ayrıca tokoferol, E vitamini bakımından zengin olması ve raf ömrünü uzatması gibi özellikleri ile susama önem katar (Yoshida vd., 1997; Demurin vd., 1996). Susam yağı ilaç yapımında, kozmetik sanayinde ve sabun yapımında kullanılır. Ayrıca susam günümüzde tohumu ve yağı tüketilebilen önemli yağlı tohum bitkilerinden birisidir (İlisulu 1973).

Susam sıcak bölgelerde yetişen bitki olduğundan 20°C altında çimlenme gerçekleşmemekte, 24°C de çimlenme hızı artmakta, 32-35°C de çimlenme optimum seviyeye ulaşmaktadır (Baydar ve Turgut, 1994).

Susam kökleri genel olarak 40-50 cm derinlere inebilen yapıda ve autogam döllenme gösterir (İlisulu, 1973).

Dünya genelinde susam ekim alanlarının %24'ü Sudan'da, %18'lik kısmı Hindistanda, %10'u Myanmarda bulunur. Türkiye ise dünyadaki ekim alanının sadece % 0.2'sine sahiptir (FAO, 2016). FAO, 2005 yılı verilerine göre; dünya susam ekiliş alanı

6.558.247 hektar, üretim 3.157.062 ton, verim 481. 4 kg/ha olarak kaydedilmiştir (FAO, 2005).

Dünyada yayılım gösteren farklı susam tohum renkleri siyahtan beyaza doğru değişiklik göstermektedir (Weiss, 2000; Ashri, 1989). Türkiye’ de bulunan tohumlarının yaklaşık yarısı kahverengi, %30’luk kısmı sarı %12’lik kısmı beyaz % 7’si ise koyu %1’lik kısmı siyah olduğu gözlemlenmiştir (Baydar vd., 1997).

Türkiye Dünya ekonomisinde susam üreticiliği yapan ülkeler arasında 50.000 hektar ekim alanı ile 13.sırada yer alırken, bu alandan alınan 22.000 ton verim ile 20.sırada yer aldığı ve Türkiye’deki susam ekim alanlarının yıldan yıla azalış gösterdiği tespit edilmiştir (Yılmaz vd., 2005; Baydar, 2001). Susam 1990’lı yıllarda yağlı tohum arazilerinin %11,8’lik kısmını oluştururken bu oran 2014 yılında %2’ye kadar düşmüştür. (TUIK, 2016; TUIK, 1993).

Tablo 1.2 2012 Yılı İtibariyle Susam Yağı Üretiminde Öne Çıkan Ülkeler (FAO, 2013).

Ülke	Üretim(ton)	Sıra	Ülke	Üretim(Ton)
Çin	230600	1	İran	27518
Myanmar	249030	2	Uganda	27400
Tanzanya	194671	3	S.Arabistan	17652
Hindistan	82100	4	Tayland	15633
Sudan	56900	5	Meksika	14200
Japonya	45400	6	Almanya	13050
Mozambik	37584	7	Fransa	4700
Türkiye	30116	8	Polonya	4482
Güney Kore	28742	9	Nijerya	2400

Tablo 1.3 Türkiye’de Susam Ekim Alanı, Verim ve Üretimi (TÜİK, 2016).

Yıllar	Ekim Alanı (da)	İndeks (1990=100)	Verim (kg/da)	İndeks (1990=100)	Üretim (ton)	İndeks (1990=100)
1990	848 190	100.0	46	100.0	39 000	100.0
1995	729 140	86.1	41	89.4	30 000	76.92
2000	509 000	60.0	47	101.7	23 800	61.03
2005	424 400	50.0	61	133.2	26 000	66.67
2010	318 042	37.5	74	160.4	23 460	60.15
2011	266 455	31.4	68	146.9	18 000	46.15
2012	289 491	34.4	56	120.8	16 221	41.59
2013	247 849	29.2	62	135.5	15 457	39.63
2014	263 146	31.1	67	146.2	17 716	45.43

Ülkemizde Gölarmara (beyaz susam), Muganlı57 (sarı susam), Özerk82 (sarı susam) çeşitleri bulunmaktadır. Ayrıca 1999 yılında Ege Tarımsal Enstitüsü tarafından 5 tane beyaz susam çeşidi tescil ettirilmiştir. Bunlar Osmanlı99, Kepsut99, Cumhuriyet99, Tan99, Orhangazi 99 şeklindedir (Bulama, 2008). Türkiye’de susam tarımının başlangıcı ile ilgili kesin zaman dilimi saptanmamış olsada 1850 yıllarına dayanan kayıtlarla ilk gelişmelerin Cumhuriyet döneminde olduğu bilinen kültüre alınan ilk yağ bitkisidir (Arnoğlu, 2014; 1999).

Susam Türkiye’de Ege, Akdeniz, Güneydoğu Anadolu gibi sıcak bölgelerde toprak seçiciliğinin az olması, yetiştirme süresinin kısa olması, sıcaklığa ve kuraklığa toleransı olmasından dolayı ana ürün ve ikinci ürün olarak tercih edilen önemli bir üründür (Tan, 2015; Yol, E., 2011). Ancak, susam fide evresini atlattıktan sonra kuraklığa dayanıklı bir özellik kazanır bu zamana kadarki kuraklık susamda gelişmeyi azaltır (Beech, 1985 a ve b).

Türkiye’de bulunan susam çeşitleri morfolojik ve biyolojik olarak incelendiğinde protein ve yağ oranları arasında negatif ilişki saptanmıştır. Ayrıca yağ ve protein miktarı oluşumunda bitkinin ekolojik şartları ile genetik yapısının önemli olduğu saptanmıştır (Demir, 1962).

Ülkemizde nüfus artışına paralel olarak bitkisel yağa olan gereksinim sürekli artış göstermektedir. Bu ihtiyacın %15-20’si yurtiçi üretimden sağlanabilmekte, geriye

kalan %80-85’lik büyük kısmı ise ithalat yoluyla karşılanmaktadır. 2008–2012 yıllarını kapsayan yıllık toplam ithalatımız 693 872 563 ABD \$; olup yıllık olarak ortalama 140 000 000 \$ ithalat için ödenmektedir (Tan, 2012; Tan, 2015a).

Ülkemizde yerel çeşitleri ekilen susamın genetik kaynakları yetiştirildikleri bölgeye göre çeşitlilik göstermektedir. İleri tarım tekniklerine duyarlı, verimin en yüksek, yaşanan kaybın en az olduğu bitki çeşitlerinin geliştirilmesi ve Türkiye’nin sahip olduğu genetik susam zenginliğinden yararlanılması, bahsedilen durumların önüne geçilmesi adına araştırmaların arttırılması gerekir. Bu durum üreticilerin elindeki düşük verim ve kalitedeki yerel çeşitlerle değiştirilmesi ile sağlanabilir (Kobayashi, 1981).

Yapılan bir tahmine göre çevre kirliliğinin önüne geçilmediği zaman önümüzdeki 75 yıl içinde tarım arazilerinin veriminin ancak yaklaşık % 10 artabileceği, buna karşın dünya nüfusunun iki katına çıkacağı düşünülmektedir. Giderek artan kurak ve yarı kurak bölgeler ise konunun ciddiyetini göstermektedir (Sönmez, 2003).

Ülkemizde bitkisel yağ ihtiyacını ilk sırayla % 45 oranında ayçiçeği, artan kısmını ise diğer yağlı tohumlu bitkiler (zeytin, pamuk, mısır, soya, susam, aspir, haşhaş ve yerfıstığı) sağlamaktadır. Genel olarak her yıl, hem bitkisel yağ açığını kapatmak için hemde yağ üretmek amacı ile ayçiçeği tohumu ithalatına başvurulmaktadır (Tan, 2011).

Tablo 1.4 Bölgeler İtibariyle Susam Ekim Alanı, Verim ve Üretimi (2014).

Bölgeler	Ekim Alanı (da)	Oran (%)	Verim (kg/da)	Üretim (ton)	Oran (%)
Ege	128 187	48.6	60	7 653	43.2
Akdeniz	103 675	39.3	79	8 191	46.2
Batı Marmara	19 467	7.4	64	1 254	7.1
Güneydoğu Anadolu	8 273	3.1	54	429	2.4
Batı Anadolu	2 600	1.0	33	87	0.5
Ortadoğu Anadolu	1 158	0.4	79	92	0.5
Doğu Marmara	136	0.1	74	10	0.1
Toplam	263 496	51.4	67	17 716	100.0

Susam ekimi genellikle elle, seyrek olarak makine veya serpme usulü ile yapılmasının nedeni ülkemizde yetiştirilen kapsülde ara zarların uç kısımları açıktır. Bu tür susam yapısına çatlayan tip susam denir (Şahin, 2014; Tan, 2010).

Susam, olgunlaşması sırasında aşağıdan yukarıya doğru bir gelişim gösterir. Ayrıca dallanan dallanmayan, kapsülü çatlatan ve çatlatmayan olarak farklı özelliklere sahip olan önemli bir yağ bitkisidir. Dünya genelinde kapsülü çatlatmayan tip susamın veriminin düşük olması nedeni ile kapsülü çatlatan çeşitin kültürü daha çok yapılmaktadır (Ashri, 1989).



Şekil 1.3 Susam kapsüllerinin açık hali

Susam yağı içeriğinin çok kaliteli olmasına rağmen birim fiyatının pahalı olması nedeni ile ülkemiz ekonomisine katkı sağlayamamaktadır (İlisulu, 1973).

Türkiye’de çok geniş ekim alanına sahip olan susamda ortalama verim değeri 71,1kg/da’dır (Tan, 2011).

Yağlı tohum yapısına sahip bitkilerin ülkemizdeki üretim miktarları incelendiğinde ihtiyacın % 50-60’ını karşılayabildiğini, tüketilen yağın % 90’ının bitkisel içerikli olduğu gözlemlenmiştir (Tuğlular, 1999).

Türkiye’nin 28 farklı ilinden toplanan ve Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü (ETAİ) bünyesinde Ulusal Gen Bankası’nda muhafazaya alınan 90 susam (*Sesamum indicum* L.) örneğinde, morfolojik benzerlik ve farklılıklar analiz edildiğinde susamda tüm türler arasında tüylülük bakımından geniş bir varyasyon olduğu saptanmıştır (Tan, 1996).

Tarımda verim miktarını arttırmak, ürünlerin istenilen özellikleri taşıması gibi durumlar için tohumların ıslah edilmesi yerel çeşitlerin ekiminin azalması ile genetik çeşitliliğinin azalmasına neden olmaktadır. Ekonomik önemi olan susam türünün yabani türlerinin çeşitli nedenlerle yok olması büyük önem arz etmektedir (Zukovsky, 1950; Zeven vd., 1982).

Susam Türkiye’de oldukça geniş yayılış alanına sahip olan, tüm bölgelerde üretimi yapılan bir bitki türüdür (Demir, 1962; İlisulu, 1973; Tan ve Tan, 1996; Tan, 2012).

Susamda yapılan ıslah çalışmaları şu an için sınırlı sayıdadır ve yeterli düzeyde değildir. Islah çalışmaları hastalıkların ortadan kaldırılması, zararlılarla mücadele yöntemleri ve hasat için kullanılan yöntemleri içermektedir. Bu durumda kısa vadede susam üretim miktarının artırılması gibi anlık çözümler yerine, uzun vadede yüksek verimli ve kalıcı ürünlerin oluşmasına yönelik çalışmalar amaçlanmalıdır (Toprak, 2017).

1.3 Çalışmanın Amacı

Bu çalışma, kontrollü şartlarda su kültürü ortamında yetiştirilen *S. indicum* fidelerine toksik metallerden olan Al’nin fizyolojik ve morfolojik etkilerini belirlemek amacıyla yapılmıştır.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Aydın (2014) yaptığı çalışmada, farklı konsantrasyonlarda Al 'nin 64 ekmeklik buğday üzerine çimlenme, mineral madde alınımı, kök ve sürgün oluşumu etkisini incelemiştir. Al konsantrasyonundaki artış bitkide yaş ve kuru ağırlığı azalttığını gözlemişlerdir. Kök ve gövde uzunlukları Al artışından olumsuz etkilenip, Ca, P, Na, K, Mg gibi minerallerin topraktan alınımını arttırmıştır. Ayrıca çalışma sonucunda alüminyumun bitkinin toprak üstü kısımlarında elastikiyeti azalttığını ve bitkide kurumalara neden olduğunu gözlemlemiştir.

Yeni (2013) yaptığı çalışmada, Cd ve Al'nin *Zea mays* L. (mısır) ve *Lens culinaris* Medik cv. "Kafkas" (mercimek) tohumlarının çimlenmesi ve çimlenme sonrası oluşan büyüme parametreleri ile yaprak anatomilerine olan etkilerini incelemiştir. Özellikle kadmiyum her iki türde de konsantrasyon artışıyla tohumların çimlenmesini geciktirmiş ve engellemiştir. *L. culinaris* Medik tohumları metallerle karşı *Z. mays* L.'dan daha duyarlı bulunmuştur. *Z. mays* L.'da koleoptil çıkışı radikula çıkışına göre Al ve Cd'a daha duyarlı iken *L. culinaris* Medik'de hipokotil ile radikula aynı oranda etkilenmiştir. Her iki metal de türlerin çimlenme sonrası oluşan fideciklerinde taze ağırlıkta azalmalara neden olduğu görülmüştür. Fideciklerin büyüme odasına transferinden 20 gün sonra, metaller *Z. mays* L. fidelerinin taze ağırlıklarını kontrole göre artırırken; *L. culinaris* Medik'de, yüksek konsantrasyonlarda taze ağırlık azalmasına yol açmıştır. Fidelerin kuru ağırlığı üzerinde *Z. mays* L.'da metaller kontrole göre önemli bir değişikliğe yol açmaz iken, *L. culinaris* Medik'de yüksek konsantrasyonlarda azalmaya sebebiyet vermiştir. Ayrıca Al ve Cd artışları her iki türde de yaprak alanında küçülmelere yol açtığını belirtmişlerdir.

Türkay (2011) yaptığı çalışmada, arpaya (*Hordeum vulgare* L. cv. Meta2) alüminyum uygulayıp çimlenme ve çimlenme sonrası yapraklarındaki özelliklerini incelemiştir. Arpa tohumlarına uygulanan alüminyumun konsantrasyon artışıyla çimlenmede gecikme ve engellenme gözlemlenmiştir. Radikula ve koleoptil uzamasının

alüminyum konsantrasyonu arttıkça daha fazla engellendiği gözlemlenmiştir. Çimlenme sonrasında alüminyum etkisiyle fide ve yaprakların taze ve kuru ağırlıklarında su içeriklerinde azalmalar gözlenmiştir. Kök ve gövde alüminyum artışından olumsuz bir şekilde etkilenirken yapraklarda alüminyumun konsantrasyonartışına paralel olmayan epidermis hücre sayılarında artışlar gözlemlenmiştir. Yaprak kalınlığı ve iletim demetleri arasındaki mesafenin alüminyum etkisi ile daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Çolak vd. (2002), 15 gün boyunca besi ortamında yetiştirilen *Lycopersicon esculentum* Mill. cv. H2274 (domates) fidelerinde bazı makro ve mikro besin elementlerinin alım düzeylerine alüminyumun etkilerini incelemişlerdir. Alüminyum uygulaması fidelerin kök bölgesinde birikim göstermiştir. Ayrıca Al bitkide düşük dozlarda ancak artan konsantrasyonlarda uygulandığında kalsiyum, fosfor, magnezyum, sodyum gibi minerallerin alınımında azalmaya neden olurken azot alınımını etkilemediğini tespit etmişlerdir. 100ppm Al uygulamasında kobalt, potasyum, demir oranlarında azalma görülürken Al alındığı kök bölgesinde molibden elementine rastlanmamıştır. Böylelikle Al 'nin makro ve mikro besinlerin alınımında etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Alkuş (2007) yaptığı çalışmada, Türkiye'de kültürü yapılan 4 ayrı arpa (*Hordeum vulgare*) genotipinin Al'ye olan duyarlılıkları ve toleransını belirlemek amacıyla yapılmıştır. Al konsantrasyonundaki her farklılık gövde uzunluk ortalamalarında değişikliklere sebep olmuştur. Al'nin en temel etki mekanizması kök büyümesini engellemesidir. Alüminyum konsantrasyonundaki artış ile paralel olarak kök gelişimlerinin azaldığı izlenmiştir.

Šimonovicova vd. (2004) arpa tohumlarıyla yaptıkları çalışmalarda, Al'nin orantılı bir şekilde artışı ile kök büyüme hızında yavaşlama ve zamanla büyümenin durması buna bağlı olarak plazma zarı bütünlüğünün bozulduğunu ortaya koymuştur.

Nagy vd., (2004) çam ve ladin (*Picea abies*) tohumlarında yaptığı çalışmada, 5 μ M Al uygulaması sonucunda bitkilerin kontrol bitkileri ile karşılaştırıldığında nişastanın neredeyse tamamının yok olduğunu gözlemlemiştir. Aynı konsantrasyonda diğer bir çalışmada Al toksisitesi için karakteristik olan kök apikal meristem bölgesinde fenolik madde içeriğine sahip, renk değişikliği olan lezyon bölgeleri tespit edilmiştir.

Kochian (1997) yaptıkları çalışmada, alüminyumun hücre zarına fazla oranda zarar verdiğini gözlemlemiştir. Bu durum hücre zarında bulunan lipidlerin sentezini engellemek ve fosfolipit grubunun baş kısmına negatif bölgeden bağlanarak çalışma mekanizmasını engellemek şeklindedir. Hücre zarında meydana gelen bu değişiklikler çalışma mekanizmasını ve hücre zarının akışkanlığının değişmesine neden olur (Ros vd., 1992; 1990,). Ayrıca Al, Cu, Ni gibi ağır metallerin belirli derişimlerde uygulanması hücredeki ATPaz enziminin aktivitesinin bozulmasına neden olduğu saptanmıştır (Lindberg ve Griffiths, 1993; Ros vd., 1992; 1990; De Vos vd., 1991; Lindberg vd.,1991; Kennedy ve Gonsalves, 1987).

Erduran (1994) su kültürü ve iklim odasında mısır (*Zea mays*) yetiştirerek alüminyumun toksik etkisini incelemek üzere değişik konsantrasyonlarda ve 2 grup halinde bitkileri gruplandırıp Al uygulandığında bitki organlarında meydana gelen birikimi incelemiştir. İlk grup 6, 18, 24, 30, 45, 60, 70, 80, 85, 95 ppm Al'ye 9 gün maruz bırakıldığında Al'nin alındığı kök bölgesinde ve epikotil kısmında toksik etkilerini göstermenin yanında konsantrasyon artışına paralel olarak çimlenme oranında azalma ve çimlenme süresinde artış gözlemlemiştir. İkinci grup ise 6, 12, 24 ppm Al'ye pH 4.5 da maruz bırakıldığında Al %96 sının köklerde diğer kısmının yaprak ve gövdede biriktiğini gözlemlemiştir. Al'nin ilk toksik kök boyunda kısılma, yan hacminde artma ve daha kırılğan hale gelmesi şeklindedir. Gövdedeki toksik etki internodyumlarda kısılma ve gövde boyunda indirgenme şeklindedir. Yapraklarda yumuşama ve sayısında azalma, yaprak yüzeyinde küçülme, yaşlı yapraklarda sararma ve yaprak uçlarından başlayıp yüzeye yayılan kuruma olarak etki göstermiştir.

Ryan vd. (1993) yaptığı çalışmada, mısır bitkisinin alüminyuma olan toleransını ve toksisitesiye bağlı olarak kök ucunun hangi bölümlerinin etkilendiği incelemiştir. Bu durumda bitkiyi koruduğu düşünülen kök ucu bölgesinin aslında metallerin alınması haricinde bir görevini olmadığı gözlenmiştir. Kök büyümesinin engellenme mekanizmasının ise metalin kök ucu bölgesindeki uzama bölgesine etki ederek gerçekleştiği görülmüştür.

Chenery (1955), alüminyuma en fazla dayanıklı bitkilerin başında gelen çay ile çalışma yapmıştır. Yaptığı çalışmada Doğu Karadeniz bölgesinden 30 değişik çay bahçesinden aldığı 3 değişik sürgün döneminde bitkinin Al içeriklerini incelemiştir.

İkinci sürgün döneminde Al içeriğinin en yüksek olduğunu tespit etmiştir. Bunun nedeni olarak ise ikinci sürgün döneminde çay bitkisinin gelişme evresinde olmasıdır. Yani alüminyum çay bitkisinin gelişimi için olumlu ve önemli etki yapmıştır.



BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOTLAR

3.1 Deney Ortamı ve Uygulama

Susam (*S. indicum*) tohumları perlit ortamına ekimden önce %5'lik sodyum hipoklorit ile 15 dakika boyunca steril edildi. Bu tohumlar sonra, üç kez distile sudan geçirilerek yüzeylerindeki sodyum hipoklorit arındırıldı. Daha sonra, susam tohumları kalsiyum nitrat ile ıslatılmış perlit ortamına ekimi yapıldı. Ortam ihtiyaç durumunda distile su ile sulandı. Çimlendirme aşaması kontrollü iklimlendirme dolabında ve 23 ± 1 °C'de gerçekleştirildi. Çimlenen susam fideleri yine kontrollü şartlarda ($\sim 120 \mu\text{E}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-2}$ ışık ve 23 ± 1 °C sıcaklık) gelişimlerinde devam ettirildi. Fidelerin besin çözeltisi 0,88 mM K_2SO_4 , 2 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,25 mM KH_2PO_4 , 1 mM MgSO_4 , 0,11 mM KCl, 100 μM Fe-EDTA, 10 μM H_3BO_3 , 5 μM MnSO_4 , 10 μM ZnSO_4 , 2 μM CuSO_4 ve 0,2 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ içermektedir. Bu besin çözeltisi %10'luk derişimde kullanıldı. Daha sonra, her kapta sekiz bitki olacak şekilde, susam fideleri iki litrelik %10'luk besin çözeltisi ihtiva eden su kültürü kaplarında aktarıldı. Yeni deney ortamına alışma periyodu sonunda susam fidelerine Al'nin $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3]$ 0, 5, 25 ve 50 mg/L'lik derişimleri uygulanmıştır. Uygulama çözeltileri iki günde bir değiştirilerek yenilendi. Yedi günlük Al uygulamasının ardından, fideler hasat edildi. Fidelerin kökleri üç kez distile su ile yıkandı. Fizyolojik analizlerde kullanılacak susam organları derin dondurucuda muhafaza edildi.

3.2 Ölçümler ve Tartımlar

Hasat edilen fidelerin kök ve gövde uzunlukları cetvel yardımıyla ölçüldü. Fide organlarının taze ağırlıkları hasat anında, kuru ağırlıkları ise 80°C'de sabit tartıma kadar etüvde kurutulduktan sonra hassas terazi ile tartılarak belirlendi.

3.3 Fotosentetik Pigment Tayini

Taze fide yapraklarından 0,1 g tartılmış ve yaklaşık 1-2 ml % 80'lik aseton ile havanda homojenize edildi. Santrifüj edilen örneklerin süpernatantları klorofil-a (Kl-a) için 662 nm, Kl-b için 645 nm ve karotenoid için 470 nm'de UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) asetona karşı okundu. Fotosentetik pigment hesaplamaları Lichtentaler ve Wellburn (1985)'e göre yapıldı.

3.4 Protein İçeriğinin Belirlenmesi

Protein analizi için taze fide organları 0,1 M fosfor tamponunda (pH 7.4) homojenize edildi. Örneklerin protein içerikleri Lowry vd.(1951) önerdikleri yöntemle yapıldı. Protein miktarını belirlemek için standart olarak bovin serum albumin kullanıldı.

3.5 Protein Olmayan SH grupların Analizi

Homojenize edilen taze fide organları santrifüj edildi. Süpernatanttan 0,5 ml alındı ve üzerine 5 mM etilen diamintetra asetik asit (EDTA) içeren 150 mM'lık fosfor tamponu (pH 7.4) eklendi. Sonra bu örnek üzerine 0,5 ml 6 mM'lık dithio nitro benzoik asit (DNTB) eklendi ve çalkalandı. 20 dakikalık bekleme periyodu sonunda örnekler UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) 412 nm'de okundu. (Ellman, 1959). Standart olarak sistein kullanıldı.

3.6 Malondialdehit Analizi

Susam fidelerinin MDA analizi Zhou (2001)'e göre yapıldı. Taze fide organları %10'luk TCA'da homojenize edildi. Bu örnekler 10000 rpm'de 20 dakika santrifüj edildi. Sonra 2 ml süpernatanttan alındı ve üzerine 2 ml tiyobarbutirik asit (TBA) eklenerek 95°C'de 30 dakika su banyosunda bekletildi. Bu süre bitiminde örnekler buzlu su ortamında şok soğutmaya tabi tutuldu. MDA miktarının belirlenmesi için örnekler UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) 532, 600 ve 450 nm'de okundu.

3.7 H₂O₂ Belirlenmesi

Susam fide organlarının H₂O₂ içerikleri Sergiev vd. (1997)'ne göre belirlendi. Tartılan taze fide organları % 0,1'lik trikloroasetik asitte homojenize edildi. Santrifüj edilen

örneklerden 0,5 ml alındı. Üzerine 0,5 ml fosfor tamponu ve 1 M'lık KI'dan 1 ml eklendi. Bu karışım 390 nm'de UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) okundu.

3.8 Toplam Fenolik Madde Analizi

Fenolik bileşiklerin belirlenmesi Ratkevicius vd. (2003)'na göre yapıldı. Homojeniz edilen taze fide materyalinin süpernatantından 50 µl alınarak son hacim 1 ml olacak şekilde % 3'lük sodyum karbonat ve 0.3 N Folin-Ciocalteau eklenerek oda sıcaklığında 20 dakika bekletildi. Daha sonra bu örnekler 765 nm'de UV/VIS spektrofotometrede (Cintra 202) okundu. Sonuçlar galik asit standart derişimleri ile absorbansları arasındaki doğrusal ilişki kullanılarak hesaplandı.

3.9 Toplam Karbonhidrat Analizi

Toplam karbonhidrat tayini Dubois vd. (1956)'nin saptadıkları yöntemle göre belirlenmiştir. Santrifüj edilen 1 ml'lik etanol ekstraktından alındı ve üzerine 4 ml soğuk antron çözeltisi eklendi. 10 dakika kaynar su banyosundan bekletilmesini takiben şok soğutma yapılarak 620 nm de UV/VIS spektrofotometrede okundu. Karbonhidrat miktarının belirlenmesi için standart olarak glukoz kullanıldı.

3.10 Alüminyum İçeriklerinin Belirlenmesi

Susam fidelerinin Al içerikleri yaş yakma işlemini (HNO₃- HCl) takiben Perkin Elmer (ELAN DRC-e ICP MS) cihazı kullanılarak belirlenmiştir.

3.11 Veri Analizi

Araştırma bulgularının veri analizi SPSS (SPSS 11.0 for Windows) paket programı ile yapıldı. Hangi grubun ya da grupların farklı olduğunu belirlemek amacıyla One-Way ANOVA LSD test uygulandı

BÖLÜM 4

BULGULAR

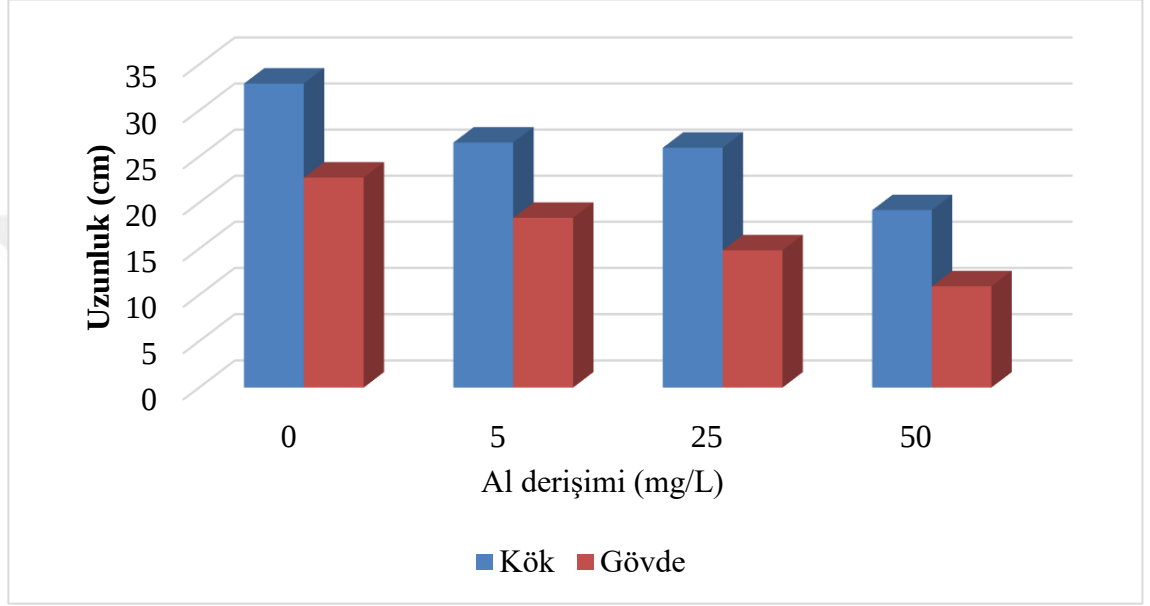
Yapılan çalışmada, 0, 5, 25, 50 mg/L'lik Al derişimlerinde su kültüründe yetiştirilen susam (*Sesamum indicum*) fidelerinde meydana gelen fizyolojik değişimler araştırılmıştır. Al'nin fidelerin büyüme ve gelişme üzerine olan etkisi deney sonunda açıkça görölmektedir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fidelerinin deney sonu görünüşleri

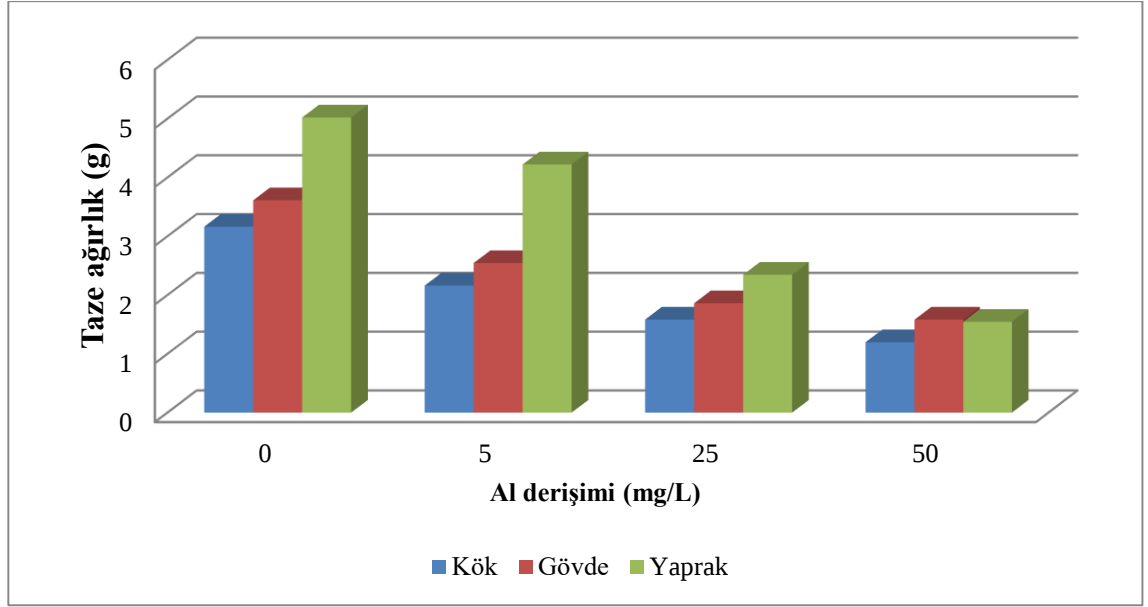
4.1 Alüminyumun Susam Fidelerinde Büyüme ve Gelişme Üzerine Etkisi

Farklı Al uygulamaları sonrasında susamın kontrole göre bitki gelişimleri olumsuz olarak etkilenmiştir. Kök uzunluğundaki bu azalmalar 5, 25 ve 50 mg/L'lik derişimlerde sırasıyla %19.44, %21.14 ve %41.69 düzeylerinde belirlenmiştir. Gövde uzunlukları ise kontrole göre sırasıyla %19.18, %34.76 ve %51.91 şeklinde azalmıştır (Şekil 4.2).

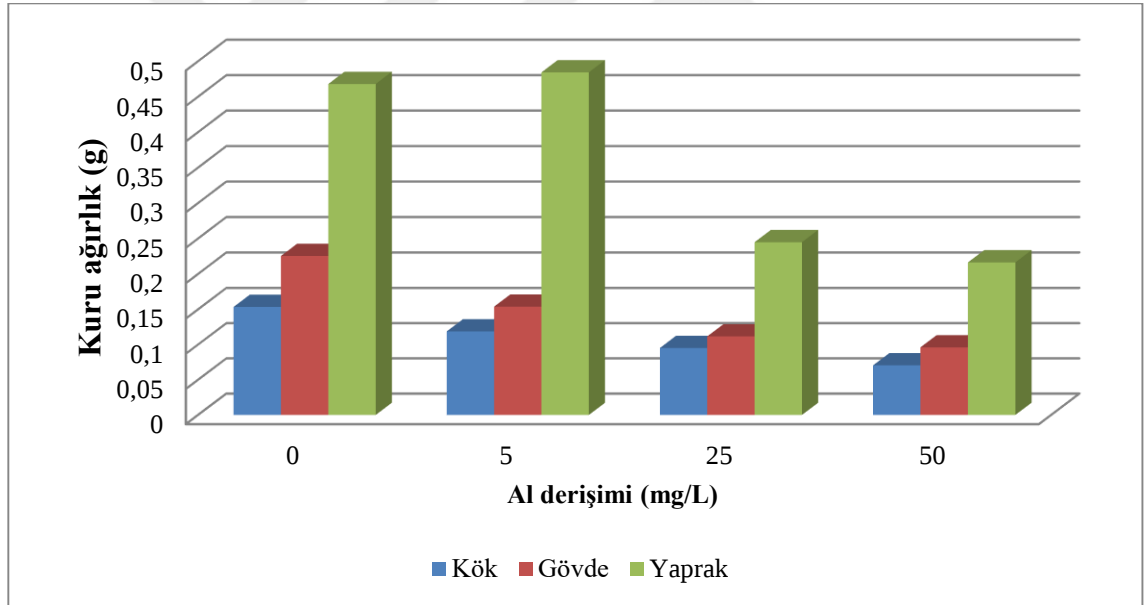


Şekil 4.2 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fidelerinin deney sonu kök ve gövde uzunlukları

Susam fidelerinin taze ağırlıklarında kök, gövde ve yaprak kısımlarında Al toksisitesine bağlı olarak azalmalar belirlenmiştir. Bu azalmalar kökte kontrole göre sırasıyla %31.65, %50 ve %62.03 şeklinde belirlenmiştir. Gövde ve yaprakta da benzer şekilde taze ağırlıklarda azalmalar belirlenmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fidelerinin deney sonu taze ağırlıkları



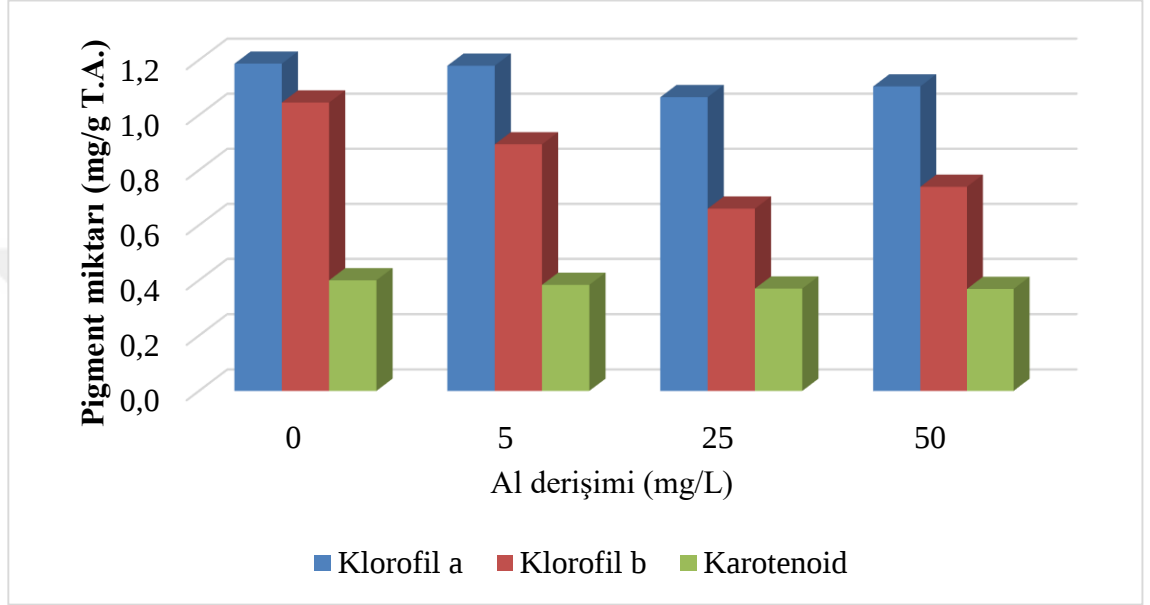
Şekil 4.4 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fidelerinin deney sonu kuru ağırlıkları

Susam fidelerinin kuru ağırlıkları alüminyum toksisitesi sonucunda kök, gövde ve yaprak kısımlarında taze ağırlığa benzer şekilde azalmalar belirlenmiştir.

4.2 Fotosentetik Pigment Miktarları

Alüminyum etkisi ile yetiştirilmiş olan susamların fotosentetik pigment içerikleri azalmıştır (Şekil 4.4). Buna göre klorofil-a'nın kontrole göre sırasıyla 5, 25 ve 50 mg/L

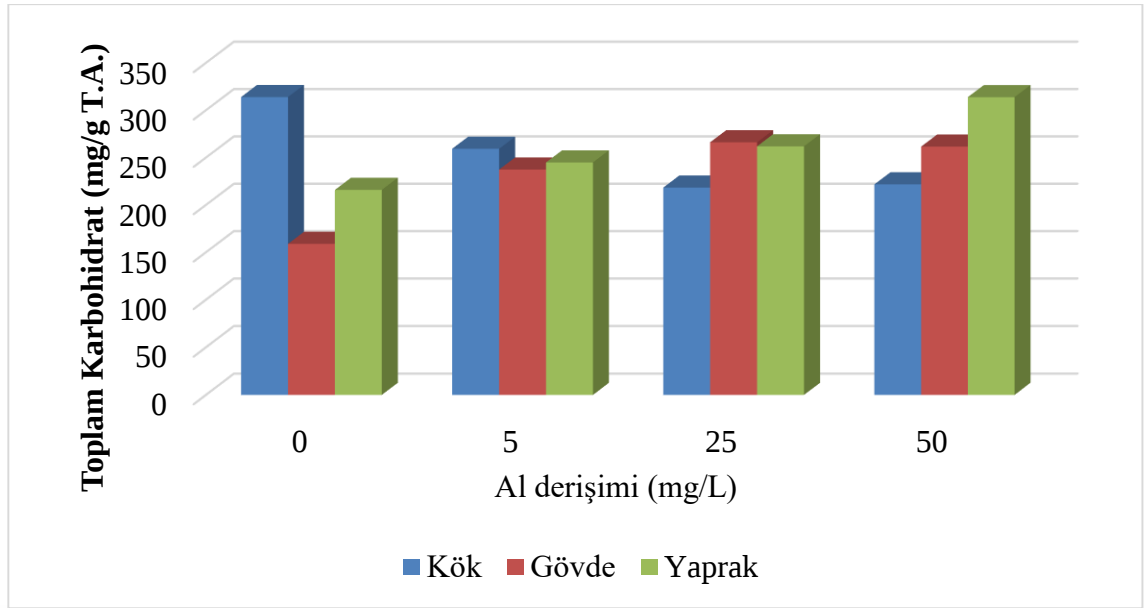
'lık derişimlerdeki bu azalma %0.67 , %10.28 ve %6.99 düzeylerinde belirlenmiştir. Susam yapraklarının fotosentetik pigmentlerinden bir diğeri olan klorofil-b 5, 25 ve 50 mg/L'lık Al derişimlerdeki azalmalar klorofil-a'ya göre daha fazla miktardadır. Bu azalmalar kontrole göre kıyaslandığında %14.45 , %36.84 ve %29.28 düzeylerinde belirlenmiştir. Karotenoid miktarları da klorofil-a ve klorofil-b gibi azalmalar göstermiştir. Bu değerler sırasıyla %4.25, %7.5 ve %8 olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.5 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide yapraklarının fotosentetik pigment miktarları

4.3 Toplam Karbonhidrat Miktarı

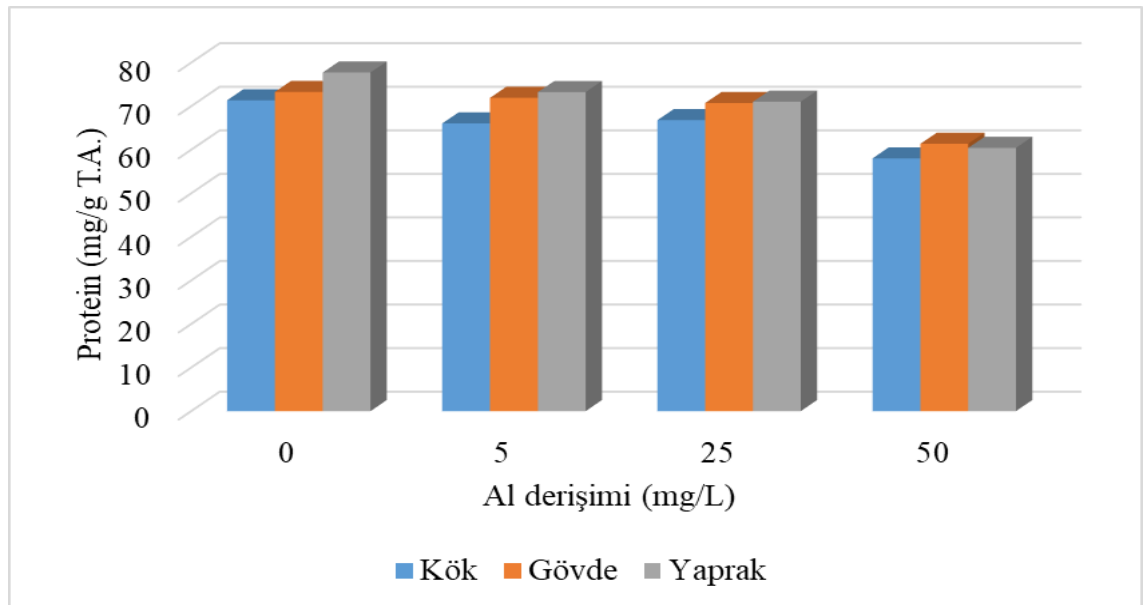
Al'nin farklı derişimlerinde yetiştirilmiş olan susam fide organlarında bulunan karbonhidrat miktarı sürgün kısmında artış göstermiştir. Bu durum **Şekil 4.5**'de gösterilmiştir. Kök kısmı kontrolle karşılaştırıldığında ise karbonhidrat içeriklerinde azalmalar belirlenmiştir. Sırasıyla bu azalmalar 5, 25 ve 50 mg/L 'de %17.41, %30.43, %29.38 düzeylerinde belirlenmiştir. Gövdedeki karbonhidrat miktarları sırasıyla %49.40, %67.48 ve %64.65 düzeyinde artışlar belirlenmiştir. Yapraktaki karbonhidrat miktarı ise sırasıyla %13.43 , %21.31 ve %45.35 düzeyinde arttığı bulunmuştur.



Şekil 4.6 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının toplam karbonhidrat miktarları

4.4 Yaprakların Toplam Protein İçeriği

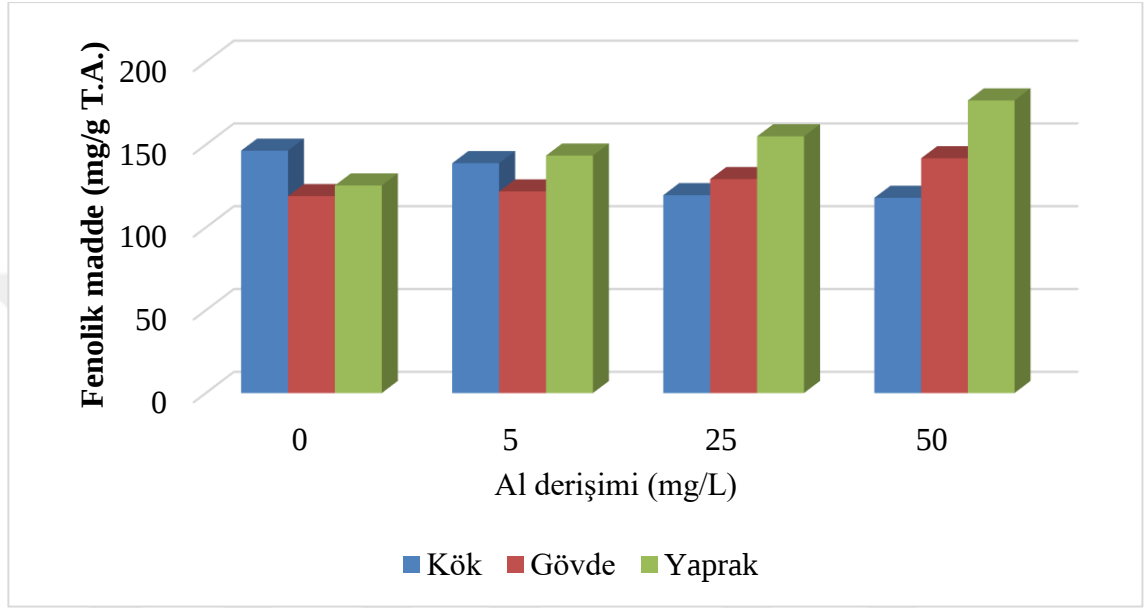
Susam fidelerinin alüminyumun farklı derişimlerinde protein içerikleri azalmıştır. Bu azalmalar **Şekil 4.6**'da verilmiştir. Bu değerler 5, 25 ve 50 mg/L alüminyum derişimlerinde yapraklardaki protein miktarları sırasıyla %5.80,%8.63 ve %22.27 azaldığı belirlenmiştir.



Şekil 4.7 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının protein içerikleri

4.5 Toplam Fenolik Bileşik Miktarları

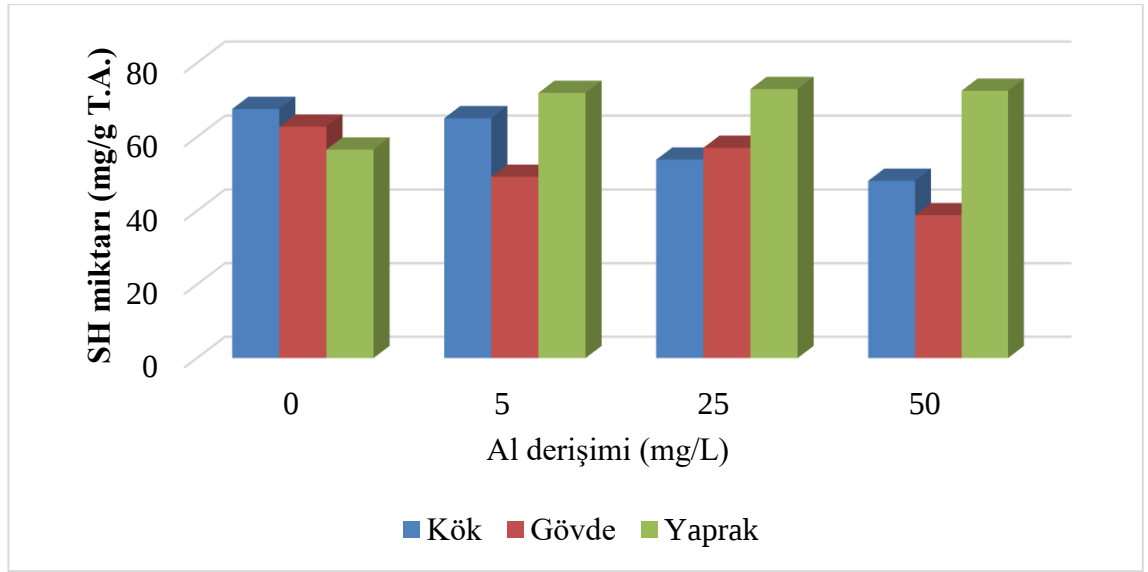
Susam fideleri farklı Al derişimleri etkisinde yetiştirildiğinde bitkinin toplam fenolik bileşik miktarları **Şekil 4.7**'de verilmiştir. Bu hesaplamalara göre kök dokularında bulunan fenolik miktarı sırasıyla %5.17, %18.36 ve %19.47 azalırken, gövde ve yaprak dokularında bulunan fenolik madde miktarları artmıştır.



Şekil 4.8 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının fenolik madde miktarları

4.6 Protein Olmayan SH grup Miktarları

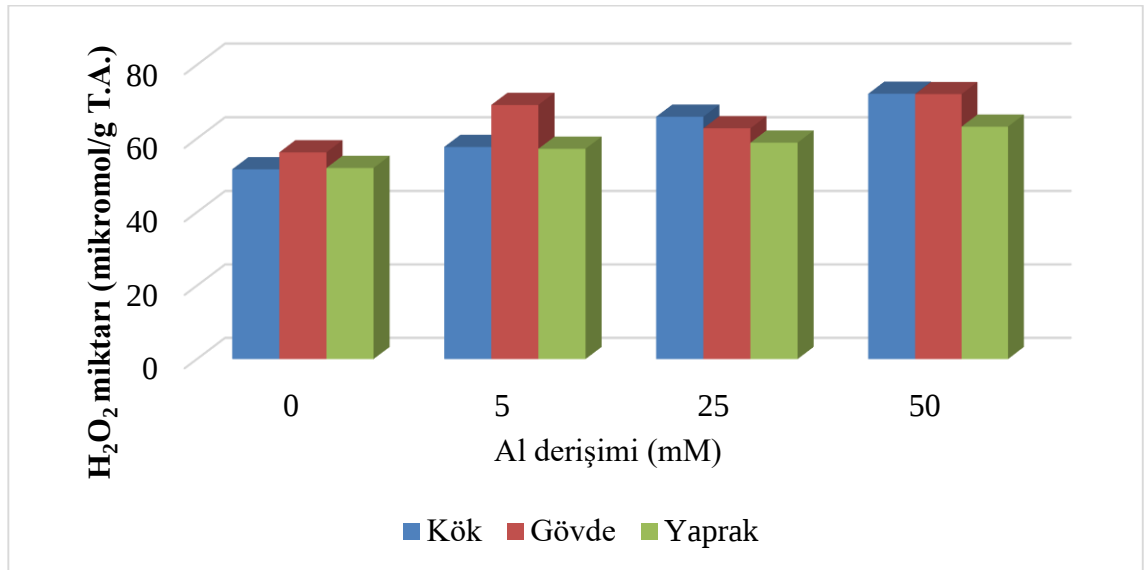
Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fidelerinin protein olmayan SH miktarları **Şekil 4.9**'da gösterilmiştir. Köklerin SH miktarları kontrole göre azaldığı bulunmuştur. Bu azalmalar 5, 25 ve 50mg/L'lik derişimde kontrole göre sırasıyla %3.71, %20.29 ve %28.74 düzeylerinde olmuştur. Benzer olarak gövdelerin SH miktarlarında Al etkisinde azalmıştır. Bunların aksine yaprakların SH miktarları Al etkisinde artmıştır.



Şekil 4.9 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının protein olmayan SH miktarları

4.7 Hidrojen Peroksit Miktarları

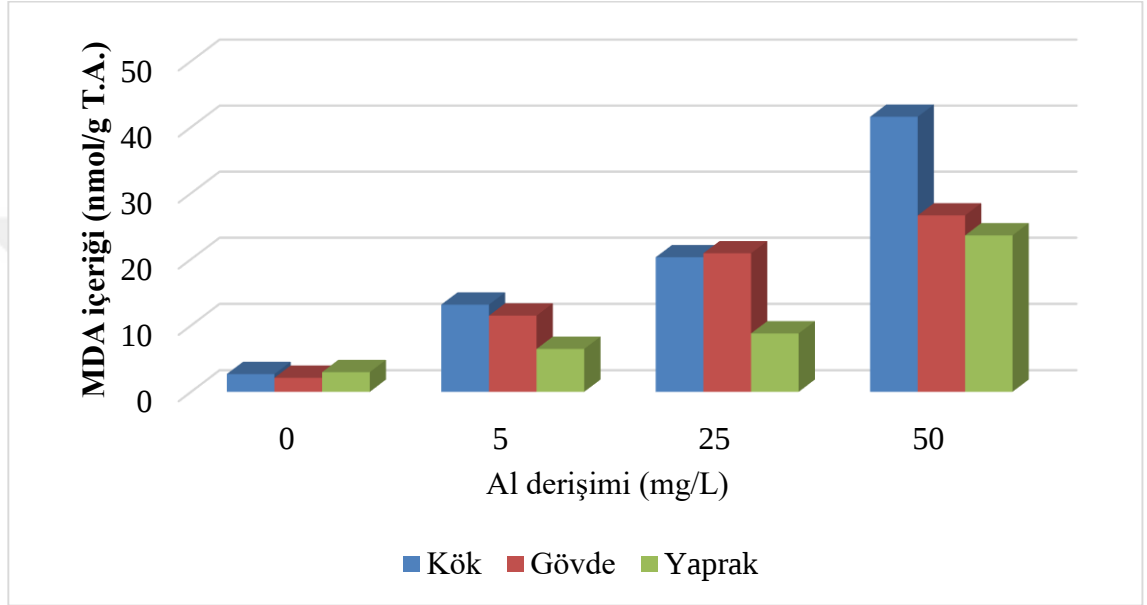
Susam fideleri alüminyum uygulaması ile yetiştirildiğinde H_2O_2 miktarlarında artış belirlenmiştir (Şekil 4.10). Kontrolle karşılaştırıldığında 5, 25, 50 mg/L'lik Al uygulamaları sonucunda sırasıyla bu artışlar kök bölgesinde %11.73 , %27.60 ve % 39.67 olarak belirlenmiştir. Gövdedeki derişimler kontrol ile karşılaştırıldığında % 22.85 ,% 11.60 ve %28.08 düzeylerinde artmıştır. Yaprak kısmındaki H_2O_2 artışları ise Şekil 4.10' da gösterildiği gibi sırasıyla % 9.99, % 13.20 ve % 21.53 şeklindedir.



Şekil 4.10 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının hidrojen peroksit miktarları

4.8 Malondialdehit (MDA) Miktarları

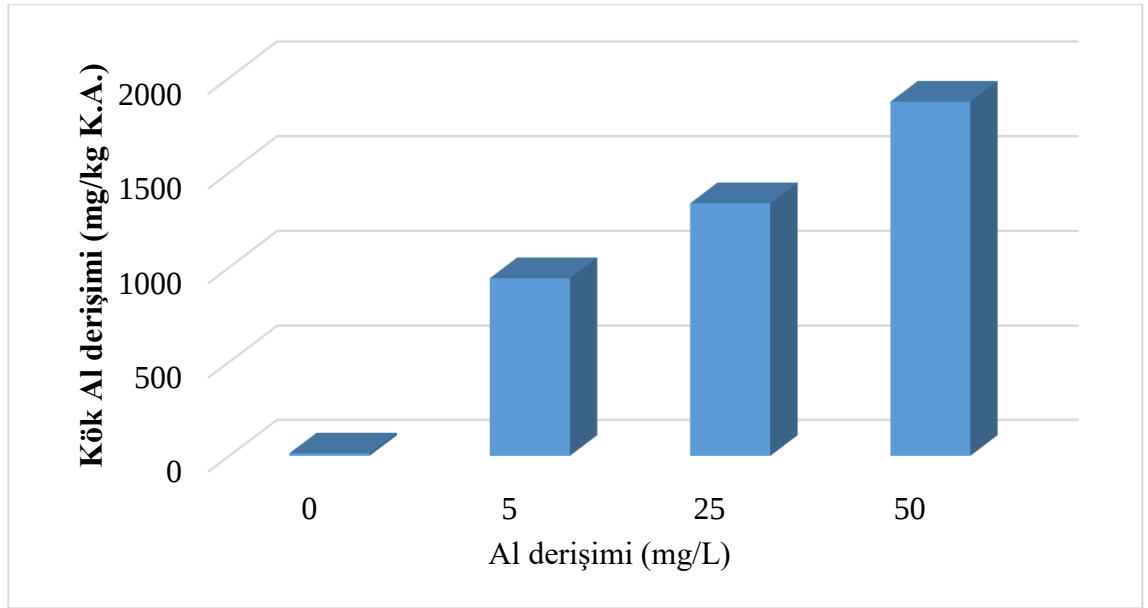
Alüminyumun 5, 25 ve 50 mg/L'lik derişimlerinde susamda MDA miktarlarında artış belirlenmiştir (**Şekil 4.11**). Köklerin MDA miktarları kontrole göre sırasıyla 4.90, 7.57 ve 15.51 kat düzeylerinde artma belirlenmiştir. Benzer olarak gövdelerin MDA miktarları sırasıyla 5.42, 9.86 ve 12.56 kat arttığı belirlenmiştir. Yaprakta ise bu artış 2.17, 9.85 ve 12.56 kat şeklinde belirlenmiştir.



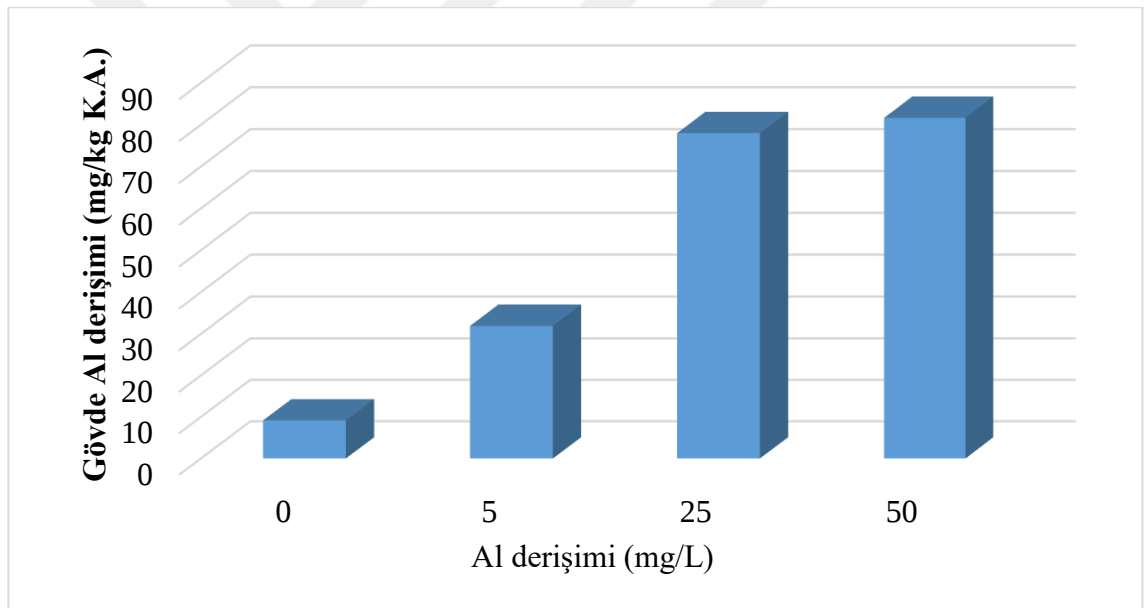
Şekil 4.11 Alüminyum etkisinde yetiştirilen susam fide organlarının MDA miktarları

4.9 Susam Fide Organlarının Al Derişimleri

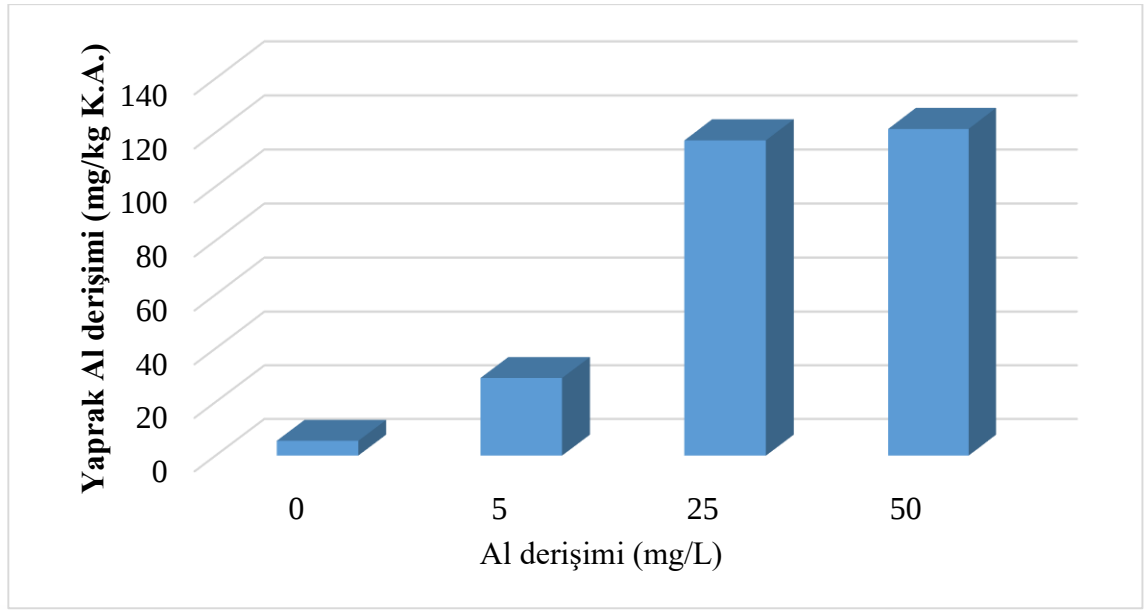
Susam köklerindeki alüminyum içerikleri **Şekil 4.12.**'de verilmiştir. Bulgularımıza göre, 5, 25 ve 50 mg/L'lik derişimlerdeki köklerin Al içerikleri kontrole göre sırasıyla 72.0, 102.2 ve 143.2 kat artış gösterdiği belirlenmiştir. Susam fide gövde ve yapraklarının Al içerikleri de uygulanan Al derişimindeki artmaya bağlı olarak arttığı bulunmuştur (**Şekil 4.13-14**). Fide organları karşılaştırıldığında en fazla Al köklerde, en az Al ise yapraklarda olduğu görülmüştür.



şekil 4.12 Susam fidesi köklerinin Al derişimleri



şekil 4.13 Susam fidesi gövdelerinin Al derişimleri



Şekil 4.14 Susam fidesi yapraklarının Al derişimleri

BÖLÜM 5

TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünyanın en önemli sorunlarından biri de toprak, hava ve suların biyolojik, kimyasal ve fiziksel olarak artan bir şekilde kirletiliyor olmasıdır. Artan dünya nüfusunun, ihtiyaçlarının başında beslenme gelmektedir. Ziraî alanlardan elde edilen tarımsal ürün miktarının ve kalitesinin arttırılmasının yanı sıra insan sağlığını etkileyebilecek olumsuz uygulamalardan da kaçınılması gerekmektedir. Bu çalışmada, özellikle toprak ve sularda kirlilik etmeni olan metallerden Al'nin susam bitkilerindeki fizyolojik etkileri araştırılmıştır.

Alüminyum kimyası oldukça karmaşıktır. Yüksek iyonik bir yüke ve küçük bir kristalin yarıçapına sahiptir, bu da ona diğer çözünebilir metaller tarafından eşsiz bir reaktivite seviyesi verir. Oksitler ve kompleks alüminosilikatlar olarak bağlanan alüminyum, yerkabuğundaki elementler arasında bolluk bakımından üçüncü sıradadır. Yaklaşık 90 yıl önce Hartwell ve Pember'in ilk kez yayınlamasından bu yana çok fazla araştırma olmasına rağmen, çözünebilir alüminyumun asit topraklarda bitki büyümesinin başlıca bir inhibitörü olduğu, alüminyumun fitotoksisite mekanizması henüz tam olarak anlaşılamamıştır. Alüminyum, organ, doku ve hücresele seviyelerde mikromolar konsantrasyonlarda kök büyümesini engelleyebilmektedir (Ciamporova, 2002).

Yerkabuğunun % 8'lik kısmını oluşturan Al toprağın önemli yapı maddelerinden birisidir (Kaçar ve Katkat, 2008). Yaptığımız çalışmada farklı konsantrasyonlarda (5, 25, 50 mg/L) Al etkisinde yetiştirilen *Sesamum indicum* L. (Susam) fidelerinin kök, gövde ve yapraklarında biriken Al miktarları incelenmiştir. Bitkinin maruz bırakıldığı Al'nin en fazla kök bölgesinde birikim gösterdiği gözlemlenmiştir. Buna göre bitki organlarının Al derişimi kök>gövde>yaprak şeklinde olduğu belirlenmiştir. Bulgularımız Wagatsuma vd. (1987) tarafından yapılan çalışma sonuçlarıyla benzerlik göstermiştir. Bu durum Al iyonlarının bitkinin üst kısımlarına doğru çok yavaş

taşınmasını ve bitkinin toprak üstü organlarını koruması durumunu gösterebilir (Ma vd. 1997a).

Bitki topraktan metal alınımına devam ettiği sürece kök, gövde kısmında yaş ve kuru ağırlıklarında azalmalar meydana gelir dolaylı olarak bitki büyümesi yavaşlar (Chaoui ve Ferjani, 2005; Lombardi ve Sebastiani, 2005; Köleli vd., 2004; Sharma vd., 2004; Stolt vd., 2003; Munzuroğlu ve Geçkil, 2002; Peralta vd., 2000; Hagemeyer ve Breckle, 1996; Punz ve Sieghardt, 1993; Barceló ve Poschenrieder, 1990). Al toksisitesinin belirgin özelliklerinden biri kök büyümesini azaltmasıdır. Buğdaygillerde ve çimlerde kök büyümesini engellediği bildirilmiştir (Poozesh vd., 2010; Poozesh vd., 2007). Soya fasulyesi üzerine yapılan çalışmalar, alüminyumun kök ve sürgünün boy uzunluğunu azalttığını göstermiştir (Haider vd., 2007). Türkay (2011) arpa fideleri ile yaptığı çalışmada çimlenme aşamasındaki bitkinin alüminyumdan etkilenmesi ile taze ağırlığının azalmasına neden olduğunu belirtmiştir. Taze ağırlık gibi kuru ağırlık, su miktarı, kök ve sürgün kısımlarının uzunlukları da benzer şekilde olumsuz etkilenmiş ve azalmıştır. Fleming (1974) yaptığı çalışmada, bitkide Al toksisite belirtilerini genç yapraklarda kıvrılma, yaprak ucunun ölümü, kloroz, kök büyümesinin engellenmesi kalsiyum ve fosfor eksikliği olarak gözlemlemiştir. Morfolojik olarak Al toksisitesi lateral köklerde kalınlaşma ve kahverengileşme olarak belirti gösterir (Kinraide, 1988; Roy vd., 1988). Gözlemlerimize göre, Al derişimindeki artışla birlikte susam fidelerinin büyüme ve gelişmelerinin olumsuz yönde etkilenmiştir. Bu durum özellikle yaprak sayısında azalma, kloroz ve lokal kurumalar şeklindeki semptomlarla açıkça görülmüştür. Ayrıca Al derişimindeki artışla köklerde kahverengileşmeler ve yeni kök oluşumunun engellendiği gözlenmiştir. Bu durumuna Al'nin birçok fizyolojik proses üzerindeki olumsuz etkileri (fotosentez, protein sentezi, besin alınımı ve taşınımı gibi) neden olmuş olabilir. Bennet vd. (1985) *Zea mays*'taki (mısır) alüminyum toksisitesi çalışmasında P, K, Ca ve Mg alınımı ve taşınımı mekanizmasında aksaklıklar gözlemlemiştir. Alüminyum, alınımı ve taşınması ile bağlantılı olarak bitkilerde Ca ve Mg konsantrasyonlarını değiştirdiği gözlemlenmiştir (Ohki, 1987).

Jiang vd. (2008) tarafından ıspanak ile yapılan çalışmada toplam klorofilin (klorofil a + klorofil b) Al stresi altında önemli ölçüde azaldığını bulmuşlardır.

Çay bitkisinde yapılan çalışmada pigment ve fotosentezin Al'nin toksik etkisi ile azaldığı gözlemlenmiştir (Karimaei vd., 2016). Soya fasulyesi ve su mercimeği üzerinde yapılan çalışmada Al toksisitesinin toplam klorofil içeriğini azalttığı gözlemlenmiştir (Karimaei ve Poozesh 2016). Yaptığımız çalışmada Al toksisitesi fotosentetik pigment miktarlarında azalmaya neden olmuştur. Daha önceki yapılan çalışmalar da bulgularımızı desteklemektedir. Al'nin fotosentezi etkilemesinin sebebi kloroplast enzimlerini etkisiz kılmasından kaynaklanabilir. Klorofilin yapısında bulunan minerallerden Mg^{+2} ise, alüminyum ile rekabet eder ve Al'nin enzim bağlamasını engellemeye çalışır (Pereira vd., 2006 ; Zheng vd., 2005). Sonuç olarak da klorofil miktarlarında azalmaya neden olur.

Tamás vd (2004), arpa tohumları üzerinde yaptığı çalışmada alüminyum etkisi ile stres faktörü olan H_2O_2 nin yaklaşık olarak 3 katına çıktığı sonucuna varmıştır. Çakmak (1991) yaptığı çalışmada, uzun süreli Al stresinin, lipid peroksidasyonunu arttırdığını ve yüksek derecede oksijen içermeyen radikallerin oluşumuna neden olduğunu gözlemlemiştir (Severi, 1997; Çakmak, 1991). Yaptığımız çalışma sonuçlarına göre Al toksisitesi susam fidelerinde oksidatif strese neden olmuştur. Hidrojen peroksit ve MDA miktarındaki artışlar bu durumu açıkça gösterebilir.

Koca (2007), susam ile yaptığı çalışmada NaCl uygulaması sonucunda bitki dokularında önemli miktarda MDA artışı saptamıştır. 4 Farklı susam türü ile yapılan çalışmada protein miktarı bir türde belirgin olarak (Osmanlı), artış göstermiş olup, kalan iki türde (Cumhuriyet, Orhangazi) protein miktarı artan tuz konsantrasyonuna bağlı olarak azalma göstermiştir. Son türde ise (Tan) protein miktarı azda olsa artış göstermiştir. Yaptığımız çalışmada, Al etkisinde susam bitki organlarının protein miktarında genel bir azalma belirlenmiştir. Bu azalmaların Al'nin derişimine bağlı olması, metalin toksik etkisinden kaynakladığını gösterir. Sonuç olarak, susam dokularında Al oksidatif strese neden olarak ya da protein biyosentezini etkileyerek protein miktarını azaltmış olabilir.

Al ile muamele edilmiş olan bitkilerin kontrol grubuna göre tüm kısımlarında, toplam fenolik içeriği artış göstermiştir. Fenolik içerikleri karşılaştırıldığında toplamda en yüksek olan kısım yaprak, sonrasında kök ve hipokotilde artış gözlemlenmiştir (Smirnov vd., 2015). Benzer olarak, susam fide organlarının fenolik madde içeriği de Al toksisitesinde artmıştır. Birçok stres etmeni bitkilerde fenolik madde artışına neden

olabilir. Bulgularımız, susam fidelerinde fenolik bileşiklerin Al toksisitesine karşı göstermiş oldukları rolle ilişkilendirilebilir. Ayrıca, susam kök ve gövdelerinin SH grup miktarları Al etkisinde genelde azalmıştır. Bunun aksine yaprakların SH grup miktarları ise Al etkisinde artmıştır. Yapraklarda bu artışların özellikle protein olmayan SH içeren monotiyoller ve peptitlerin Al toksisitesine karşı koruyucu rolleri ile ilgili olabilir.



BÖLÜM 6

ÖNERİLER

Bu çalışma ile su kültürü ortamında yetiştirilen *S. indicum* fidelerinin toksik metallere olan Al'ye karşı gösterdikleri fizyolojik ve morfolojik değişimler belirlenmiştir. Alüminyumun toksisitesinin susam dokularında oksidatif strese neden olduğu yapılan analizlerle ortaya çıkarılmıştır. Büyüme ve gelişme olaylarının da Al tarafından olumsuz şekilde etkilendiği görülmüştür. Bitki organları Al toksisitesine karşı farklı şekilde yanıt vermiştir. Örneğin karbonhidrat miktarları kökte azalmış iken gövde ve yaprakta artmıştır. Yaptığımız araştırma Al toksisitesi ile ilgili benzer fizyolojik çalışmalarına kaynak olabilir.

KAYNAKLAR

- Abdalla, M. M. (2008). Physiological aspects of aluminium toxicity on some metabolic and hormonal contents of *Hordeum vulgare* seedlings. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **2**(3), 549-560.
- Alam, S.M., Adams, W. A. (1979). Effects of aluminum on nutrient composition and yield of roots. *Journal of Plant Nutrition*, **1**, 365-375.
- Akman, Y., Düzenli, A., Geven F. (1996). Çevre Kirliliği ve Ekolojik Etkileri. Ankara.
- Aksoy, A., Şahin, U., Duman, F. (2000). *Robinia pseudo-acacia* L. as a possible biomonitor of heavy metal pollution in Kayseri. *Turkish Journal Of Biology*, **24**(5), 279-284.
- Alkuş, A. (2007). Bazı Türk Arpa Çeşitlerinin Alüminyuma Karşı Olan Toleranslarının Belirlenmesi. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş.
- Alva, A. K., Edwards, D. G., Asher, C. J. (1990). Effect of solution pH, external calcium concentration and aluminium activity on nodulation and early growth of cowpea. *Australian Journal of Agricultural Research*, **41**, 359-365.
- Alva, A. K., Edwards, D. G., Asher, C. J., Blamey, F. P. (1986). Relationships between Root Length of Soybean and Calculated Activities of Aluminum Monomers in Nutrient Solution, *Soil Science Society of America Journal*, **47**, 959-962.
- Alpaslan, M., Irmak, Ş., Kurultay, Ş. (2001). Effect of physical and chemical refining methods of sunflower oil on the amounts of some metals. *Energy, education Science and Technology*, **7**(2), 45–51.
- Altınbaş, Ü., Çengel, M., Uysal, H., Okur, B., Okur, N., Kurucu, Y., Delibacak, S. (2008). Toprak Bilimi, Üçüncü Baskı, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları No.557, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.

- Anonim, (1991). Türkiye'nin Çevre Sorunları. Türkiye Çevre Sorunları Vakfı Yayını. 86- 88.
- Arıoğlu, H. H. (2014). Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. Genel Yayın No: 220, Yayın No: A-70. Adana.
- Arıoğlu, H. H. (1999). Yağ Bitkileri Yetiştirme ve Islahı. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları Genel Yayın No: 220, Ders Kitapları Yayın No: A-70, 122, Adana.
- Ashri, A., Robbelen, G., Downey, R. (1989). Sesame. In Oil Crops Of The World. K. And A. Ashri (Eds.): Mcgraw- Hill Pub.Comp., 522 p., New York.
- Aydın, A. (2014). Bazı Ekmeklik Buğday Genotiplerinin Alüminyum Stresine Toleranslarının Belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Tarla Bitkileri. Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Barceló, J., Poschenrieder, C. (1990). Plant water relations as affected by heavy metal stress: A review. *Journal of Plant Nutrition*, **13**, 1-37.
- Baszynski, T., Wajda, L., Wohiska, D., Krupa, S., Tukendorf, A. (1980). A Photosynthetic activities of cadmium treated tomato plants. *Physiologia Plantarum*, **48**, 365-370.
- Başcı, N. (2009). Cr (VI) İyonunun Süs Bitkileri Kullanılarak Topraktan Gideriminin Araştırılması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- Basta, N. T., Ryan, J. A., Chaney, R. L. (2005). Trace Element Chemistry in Residual-Treated Soil. *Journal of Environmental Quality*, **34**(1),49-63.
- Bayçu, G. (1997). *Picea abies*'te Kadmiyum Toksisitesi ve Köklerde Kadmiyum Birikimi. XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi 17-20 Eylül 1996, İstanbul. Kongre Özet Kitabı, Cilt:3, s:433-442.
- Baydar, H. (2001). Ekin Dergisi, Türkiye Tarım Kredi Kooperatifleri Merkez Birliği, Hakemli Dergi.

- Baydar, H. (2001c). Susam (*Sesamum indicum* L.) çeşitlerinin agronomik, fizyolojik ve teknolojik özellikleri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **5**, 39-48.
- Baydar, H. (1997). Türkiye Susam (*Sesamum indicum* L.) Populasyonlarında Bazı Özelliklerin Varyasyonu ve Verim İle Kalite Tipi Hat Geliştirme Olanakları. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Antalya.
- Baydar, H., Turgut, İ. (1994). Farklı Ekim Zamanlarının Susam'da (*Sesamum indicum* L.) Yağ Oranı, Yağ Asitleri Kompozisyonu ve Yağ Stabilite Kriterleri Üzerine Etkisi. *Turk Journal Agriculture Forestry*, **18**, 387-391.
- Baysal, A. (1989). Genel Beslenme Bilgisi. 5. Baskı, Hatipoğlu Yayınevi, Ankara, 189s.
- Beech, D. F. (1985a). Sesame research possibilities for yield improvement. p. 96-106. In A. Ashri (Ed) Sesame and Safflower: Status and Potentials. Proc. of Expert Consultation. FAO Plant Production and Protection Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Beech, D. F. (1985b). Sesame production and potentials in Australia. p. 17-22. In A. Ashri (Ed) Sesame and Safflower: Status and Potentials. Proc. of Expert Consultation. FAO Plant Production and Protection Paper No. 66. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Bennet, R. J., Breen, C. M., Fey, M. V. (1985). Aluminum uptake sites in the primary root of *Zea mays* L. *South African Journal Plant and Soil*, **2**, 1-7.
- Blamey, F. P. C., Edwards, D. G., Asher, C. J. (1983). Effects of Aluminum, OH: Al and P:Al Molar Ratios, and Ionic Strength on Soybean Root Elongation in Solution Culture. *Soil Science*, **136**(4), 197-207.
- Blue, W. G., Dantzman, C. L. (1977). Soil chemistry and root development in acid soils, *The Soil and Crop Science. Society of Florida Proceedings*, **36**, 9-15.
- Boscolo, P. R. S., Menossi, M., Jorge, R. A. (2003). Aluminum-induced oxidative stress in maize. *Phytochemistry*, **62**, 181-189.

- Bremner, I. (1974). Heavy metal toxicities quart. *Biophysical Journal*, 7, 74-124.
- Bulama, Ş. (2008). Farklı Tuz Konsantrasyonlarının *Sesamum indicum* L.(Susam) Bitkisi Üzerinde Verime Etkisi. Muğla Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Muğla.
- Büyükköşkin, T. (2008). Hüyük Asitin *Vicia faba* L. (Bakla) da Fide Gelişimine ve Alüminyum Toksisitesine Etkisinin Belirlenmesi. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Cargnelutti, D., Tabaldi, L.A., Spanevello, R.M., Jucoski, G.D., Battisti, V., Redin, M., Linares, C.E.B., Dressler, V.L., Flores, E.M.M., Nicoloso, F.T., Morsch, V.M., Schetinger, M.R.C. (2006). Mercury toxicity induces oxidative stress in growing cucumber seedlings. *Chemosphere*, 65, 999-1006.
- Carvalho, M. M., Andrew C. S., Edwards D. G., Asher, C. J. (1980). Comparative performances of six *Stylosanthes* species in three acid soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, 31, 61–76.
- Causape, J., Quilez, D., Aragues, R. (2004). Assessment of irrigation and environmental quality at the hydrological basin level I.Irrigation quality. *Agricultural Water Management*, 70, 195-209.
- Chaoui, A., Ferjani, E. (2005). Effects of cadmium and copper on antioxidant capacities, lignification and auxin degradation in leaves of pea. (*Pisum sativum* L.) seedlings. *Comptes Rendus Biologies*, 328, 23-31.
- Chenery, E. M. (1955). A preliminary study of aluminium and the tea bush. *Plant and Soil*, 6(2), 174-200.
- Chenery, E. M. (1948). Aluminium in Plants and its Relation to Plant Pigments. *Annals of Botany*, 12, 121-136.
- Ciamporova, M. (2002). Morphological and structural responses of plant roots to aluminium at organ. *Biologia. Plantarum*, 45, 161-171.

- Claire, L. C., Adriano, D. C., Sajwan, K. S., Abel, S. L., Thoma, D. P., Driver, J. T. (1991). Effects of selected trace metals on germinating seeds of six plant species. *Water, Air, and Soil Pollution*, **59**, 231-240.
- Çağlarırnak, N., Hepçimen, A. Z. (2010). Ağır metal toprak kirliliğinin gıda zinciri ve insan sağlığına etkisi. *Akademik Gıda*, **8**(2), 31-35.
- Çakmak, I., Horst, W. J. (1991). Effect of aluminum on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase, and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max.*), *Journal of Plant Physiology*, **83**, 463–468.
- Çavuşoğlu, K., Kalyoncu, H., Çavuşoğlu, K. (2005). Çam (*Pinus nigra* Arn. subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmboe) yapraklarında egsoz gazlarından kaynaklanan kurşun (Pb) birikiminin tespiti. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **9**(2), 6-1.
- Çavuşoğlu, K. (2002). İğde (*Elaeagnus angustifolia* L.) yapraklarında kurşun (Pb) yoğunluğunun araştırılması *Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **6**(3), 191-196.
- Çepel, N. (1997), Toprak Kirliliği Erozyon ve Çevreye Verdiği Zararlar, Tema Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Çolak, G., Baykul, M. C., Gürler, R., Caner, N., Tokur, S., Çatak, E. (2002). *Lycopersicon Esculentum* MILL. Fideciklerinin Bazı Makro ve Mikro Besin Elementleri Alım Düzeylerine Alüminyum Etkisinin Analitik ve Mikro Analitik Yöntemler İle İncelenmesi. *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, **4**(1), 4-26.
- Degenhardt, J., Larsen, P. B., I-Howell, S. H., Kochian, L. V. (1998). Aluminum resistance in the Arabidopsis Mutant alr-1 04 is caused by an aluminum induced increase in rhizosphere pH. *Plant Physiology*, **117**, 19-27.
- Delhaize, E., Ryan, P. R. (1995). Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. *Plant Physiology*, **107**(2), 315-321.

- Delhaize, E., Ryan, P. R., Randall, P. J. (1993). Aluminum tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.) II. Aluminum-stimulated excretion of malic acid from root apices. *Plant Physiology*, **103**, 695-702.
- Demir, İ. (1962). Türkiye’de Yetiştirilen Önemli Susam Çeşitlerinin Başlıca Morfolojik, Biyolojik Vasıfları Üzerinde Araştırmalar. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları. No:53,160. Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir.
- Demurin, Y., Skoric, D., Karlovic, D. (1996). Genetic Variability of Tocopherol Composition in Sunflower Seeds as Basis of Breeding for Improved Oil Quality. *Plant Breeding*, **115**, 33-36.
- De Vos, C. H. R., Schat, H., De Wall, M. A. M., Vooijs, R., Ernst, W. H. O. (1991). Increased resistance to copper – induced damage of the root cell plasmalemma in copper tolerant *Silene cucubalus*. *Journal of Plant Physiology*, **82**, 523-528.
- Doğan, M. (2005). *Ceratophyllum demersum* L.’de Kadmiyum Klorür, Sodyum Klorür Ve Bunların Kombinasyonlarının Fizyolojik Ve Morfolojik Etkileri. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Doktora Tezi, Adana.
- Dong, B., Sang, W. L., Jiang, X., Zhou, J. M., Kong, F. X., Hu, W., Wang, L. S. (2002). Effects of aluminum on physiological metabolism and antioxidant system of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Chemosphere*, **47**, 87–92.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Reber, P. A., Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances, *Analytical Chemistry*, **28**, 350-356.
- Duffus, J. H. (2002). Heavy metals a meaningless term IUPAC Technical Report. *Pure and Applied Chemistry*, **74**, 793-807.
- Ellman, G. L. (1959). Tissue sulphydryl groups. *Archives Biochemistry and Biophysics*, **82**, 70-77.
- Er, C., Başalma, D., Ekiz, H., Sancak, C. (2011) *Tarla Bitkileri –II.*, Anadolu Üniversitesi Yayını No: 2254,: Birinci. Baskı, Eskişehir.

- Erduran, Z. (1994). Alüminyum *Zea mays*'ın Gelişmesine Etkisi ve Bitki Organlarında Birikimi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Eswaran, H., Reich, P. (1997). Impacts of lan degradation in the Mediterranean Region. *Land Degradation*, **2**, 23-24.
- FAO, 2016. www.faostat.org. (Erişim tarihi:02.06.2018).
- FAO, 2005.
<http://faostat.fao.org/faostat/form?collection=Production.Crops.Primary&Domain=Productionservlet=1&hasbulk=&version=ext&language=ENG>
- Fernandes, J. C., Henriques, F. S. (1991). Biocehmical, physiological and structural effects of excess copper in plants. *The Botanical Rewiew*, **57**, 246-273.
- Foy, C. D. (1992). Soil chemical factors limiting plant root growth, in: Hatfield J.L., Stewart B.A. (Eds.), *Advances in Soil Sciences: Limitations to Plant Root Growth*, Springer, Verlag, New York, **19**, 97–149.
- Foy, C. D. (1988). Plant adaptation to acid, aluminium toxic soils, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **19**, 959–987.
- Foy, C. D., Chaney, R. L., White, M. C. (1978a). The physiology of metal toxicity in plants. *Ann. Rev. Journal of Plant Physiology*, **29**, 511-66.
- Foy, C. D., Fleming, .A. L. (1978b). The physiology of plant tolerance of excess availablealuminum and manganese in acid soils. Pages 301-328 in G. A. Jung (ed.), *Crop tolerance to suboptimal land conditions*. ASA Spec. Pub. No. 32. *American Society of Agronomy*, Madison, Wisconsin.
- Foy, C. D. (1974a). Effect of aluminium on plant growth, in: Carson E.W. (Ed.), *The Plant Root and its Environment*, Charlottesville, Univ. Press, Virginia, pp. 601–642.
- Foy, C. D. (1974b). Effect of soil calcium on plant growth. in: Carson E.W (Ed.), *The plant Root and its Environment*, Charlottesville, University. Press, Virginia, pp. 565–600.

- Foy, C. D., Brown, J. C. (1964). Toxic factors in acid soils. II. Differential aluminium tolerance of plant species. *Proc. Soil Science Society of America Journal*, **28**, 27-32.
- Fleming, A. L., Schwartz, J. W., Foy, C. D. (1974). Soil: Aluminium toxicity in plants, *Agronomy Journal*, **66**, 715–719.
- Frankel, O. H., Hawkes, J. G. (1975). Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow. International Biological Programme 2. Cambridge University Press.
- Giaveno, C. D., Filho, M. J. (2000). Rapid Screening for Aluminium Tolerance in Maize (*Zea mays* L.). *Genetics and Molecular Biology*, **23**(4), 847-850.
- Geiger, G., Federer, P., Sticher, H. (1993). Reclamation of Heavy Metal Contaminated Soils: Field Studies and Germination Experiments. *Journal of Enviromental Quality*, **22**(1), 201-207
- Goyer, R. A. (1991). Toxic effects of metals. In: Caserett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons (Eds. Amdur M. O., Doull, J., Klaassen, C. D.) Pergamon Press, New York, 1032.
- Gür, N., Topdemir, A., Munzuroğlu, Ö., Çobanoğlu, D. (2004). Ağır Metal İyonlarının (Cu^{+2} , Pb^{+2} , Hg^{+2} , Cd^{+2}) *Clivia* sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *Fırat Üniversitesi Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi*, **16**(2), 177-182.
- Gündüz, T. (1998). Çevre Sorunları, 2.Baskı Gazi Kitabevi. Ankara.
- Haider, S. I., Kang, W., Ghulam, J., Guo-Ping, Z. (2007). Interactions of cadmium and aluminum toxicity in their effect on growth and physiological parameters in soybean. *Journal of Zhejiang University Science B*, **8**(3), 181-188.
- Hagemeyer, J., Breckle, S. W. (1996). Growth under trace element stress. Plant Roots; the hidden half. 2nd edition. 415- 433, Dekker, New York.
- Huber, A., Bach, M., Frede, H. G. (2000). Pollution of surface waters with pesticides in Germany: modeling non-point source inputs. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **80**, 191-204.

<http://www.ziraattelevizyonu.com/susam-tarimi-sesamum-indicum-l/>

<http://www.learn2grow.com/plants/sesamum-indicum/>

İlisulu, K. (1973). Yağ Bitkileri ve Islahı. Çağlayan Kitabevi, İstanbul.

Jiang, H. X., Chen, L. S., Zheng, J. G., Han, S., Tang, N., Smith, B. R. (2008). Aluminium induced effect on photosystem II photochemistry in citrus leave assessed by the chlorophyll a fluorescence transient. *Tree Physiology*, **28**, 1868-1871.

Kabar, K. (1997). Comparison of reversal of abscisic acid-induced inhibition of seedgermination and seedling growth of some Gramineae and Liliaceae membersby kinetin and gibberellic acid. *Turkish Journal of Botany*, **21**, 203-210.

Kabat, P.A., Pendias, H. (1984). Changing metal cycles and human health Nnagu, J O (ed), *Springer*. Verling Berlin.

Kaçar, B., Katkat, V. (2008). Bitki Besleme, Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Ziraat Fakültesi Yayınları: **849**, Ankara

Kaçar, B. (1972). Bitki ve Toprağın Kimyasal Analizleri: III.Bitki Analizleri, Ankara Üniversitesi, Bizim Büro Basimevi, 543-581, Ankara.

Kalaycıoğlu, S. (2005). Isırgan (*Urtica dioica* L.) Bitkisinde Bazı Ağır Metallerin Büyüme Parametreleri Üzerine Etkilerinin Araştırılması. Marmara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Kamprath, E. J., Foy, C. D. (1985). Lime-fertilizer-plant interactions in acid soils, in: Engelstad O. P. (Ed.), *Fertilizer Technology and Use*, 3rd ed. pp. 91–151. USA.

Kamprath, E. J., Foy, C. D. (1971). Lime-fertilizer-plants interactions in acid soils. *Fertilizer Technology and Use*. 2ndEd. p. 105-151. USA.

Karimaei, M., Poozesh, V. (2016). Effects of aluminum toxicity on plant height, total chlorophyll (Chl a+ b), potassium and calcium. *International Journal of Farming and Allied Sciences*, **5**(2), 76-82.

- Kennedy, C. D., Gonsalves, F. A. N. (1987). The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and H⁺ efflux of excised roots, *Journal of Experimental Botany*, **38**, 800-817.
- Khan, M., Scullion, J. (2002). Effects Of Metal (Cd, Cu, Ni, Pb or Zn) Enrichment Of Sewage-Sludge On Soil Micro-Organisms And Their Activities, *Applied Soil Ecology*, **20**, 145-155.
- Kinraide, T. B., Parker, D. R. (1990). Apparent Phytotoxicity of Mononuclear Hydroxy-Aluminum to Four Dicotyledonous Species. *Physiologia Plantarum*, **79**, 283-288.
- Kinraide, T. B. (1988). Proton extrusion by wheat roots exhibiting severe aluminium toxicity symptoms. *Plant Physiology*. **88**, 418–423.
- Kobayashi, T. (1981). The type classification of cultivated sesame based on genetic characters. FAO. *Plant Production and Protection* **29**, 86-89.
- Koca, H. (2007). Tuz Stresinin Farklı Susam Çeşitlerinin Fizyolojik ve Biyokimyasal Özellikleri Üzerine Etkisi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi, İzmir.
- Kocaçalışkan, F. (2005). Bitki Fizyolojisi, 5. Baskı, Bizim Büro Basım Evi, Ankara 356.
- Kochian, L. V., Jones, D. L. (1997). Aluminum interaction with plasma membrane lipids and enzyme metal binding sites and its potential role in Al cytotoxicity. *FEBS Letters* **400**, 51-57.
- Kochian, L. V. (1995). Cellular Mechanisms of Aluminium Toxicity and Resistance in Plants. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, **46**(1), 237-260.
- Konishi, S., Ferguson, I. B., Putterill, J. (1988). Effect of acidic polypeptides on aluminium toxicity in tube growth of pollen from tea (*Camellia sinensis* L.). *Plant Science*, **56**(1), 55-59.

- Konishi, S., Miyamoto, S., Taki, T. (1985). Stimulatory effects of aluminium on tea plants grown under low and high phosphorus supply *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, (Tokyo). **31**, 361-368.
- Köleli, N., Eker, S., Cakmak, I. (2004). Effect of zinc fertilization on cadmium toxicity in durum and bread wheat grown in zinc-deficient soil. *Environmental Pollution*, **131**, 453-459.
- Lacatusu, R., Dumitru, M., Risvoneanu, I., Ciobanu, C., Lungu, M., Corstea, S., Kovacsovics, B., Baci, C. (1999). Soil pollution by acid rains and heavy metals in Zlatna region, Romania. Pages 817-820. In D.E.Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). Sustain the Global Farm. *Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting* held May 24-29, 1999. Purdue Univ., USA.
- Langham, R. (1985). Growing sesame in the desert South West USA In A. Ashri (Ed.) Sesame and Safflower: Status and Potentials. Fao Plant Production and Protection paper 66. FAO, Rome.
- Lombardi, L., Sebastiani, L. (2005). Copper toxicity in *Prunus cerasifera*: growth and antioxidant enzymes responses of in vitro grown plants. *Plant Science*, **168**, 797-802.
- Loneragan, J. F. (1978). Anomalies in the relationship of nutrient concentrations to plant yields. Proc. 9th Intern. Coll. Plant Anal. and Fertil. Problems, Auckland, New Zealand, 283-298.
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., Randall, R. J. (1951). Protein measurement with the folin phenol reagent. *The Journal Of Biological Chemistry*, **193**, 165-175.
- Lichtenthaler, H. K., Wellburn, A. R. (1985). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochemical. Society. Transactions* **11**, 591-592.

- Lindberg, S., Griffiths, G. (1993). Aluminum effects on ATPase activity and lipid composition of plasma membranes in sugar beet roots. *Journal of Experimental Botany*, **44**, 1543-1550.
- Lindberg, S., Szynekier, K., Greger, M. (1991). Aluminum effects on transmembrane potential in cells of fibrous roots of sugarbeet. *Journal of Plant Physiology*, **83**, 54-62.
- Liu, J. R., Zheng, Y. Z., Xu, R. Q. (1992). Analysis of nutrient Quality of Seed And Screening For prominent Germplasms in Sesame. *Oil Crops Of China*, **1**, 24-26.
- Ma, J. F., Zheng, S. J., Matsumoto, H., Hiradate, S. (1997a). Detoxifying aluminum with buck- wheat. *Nature*, **390**, 569-570.
- Markert, B., Herpin, U., Siewers, U., Berlekamp, J., Lieth, H. (1996). The German heavy metal survey by means of mosses. *Science of The Total Environment*, **182**, 159-168.
- Matsumoto, H. (2000). Cell Biology of Aluminum Toxicity and Tolerance in Higher Plants, *International Review of Cytology*, **200**, 1-46.
- Matsumoto, H., Hiraseva, E., Morimura, S. Takahashi, E. (1976). Localization of aluminum in tea leaves. *Plant and Cell Physiology*, **17**, 627-631.
- Mohanpuria, P., Rana, N. K., Yadav, S. K. (2007). Cadmium induced oxidative stress influence on glutathione metabolic genes of *Camellia sinensis* (L.), *Environmental Toxicology*, **22**, 368-374.
- Morrey, D. R. (1995). Using Metal- Tolerant Plants to Reclaim Mining Wastes. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, **47**, 247-249.
- Mukherjee, K. (1997). Response of Near Isogenic Wheat Lines For An Aluminum Tolerance Gene To Variable Levels of Aluminum Stress In A Soil System, University Of Alberta, Yüksek Lisans Tezi, Kanada.
- Munzuroğlu, O., Geckil, H. (2002). Effects of metals on seed germination, root elongation, and coleoptile and hypocotyl growth in *Triticum aestivum* and

Cucumis sativus. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, **43**, 203-213.

Müller, H. W., Harazim, B., Krone, F., Utermann, J., Teschner, M., Abdelgawad, G., Arslan, A., Ghaibeh, A., Abdullah, A., Katlan, B., Darwich, T., Khawlie, M. (2003). Management, Protection And Sustainable Use Of Groundwater And Soil Resources In The Arab Region, Volume 9, Guideline For Soil Protection- Concepts For The Assessment Of The Soil Pollution, Technical Cooperation Project No: 1996.2189.7, December

Nagy, N. E., Dalen, L. S., Jones, D. L., Swensen, B., Fossdal, C.G., Eldhuset, T.D. (2004). Cytological and enzymatic responses to aluminium stress in root tips of Norwayspruce seedlings. *New Phytologist*, **163**, 595–607.

Nieboer, E., Richardson, D. H. S. (1980). The Replacement of the Nondescript Term“Heavy Metals” by a Biologically and Chemically Significant Classification of Metals Ions. *Environment Pollution*, **1**(1), 3-26.

Ohki, K. (1987). Aluminium stress on sorghum growth and nutrient relationships, *Plant and Soil*, **98**, 195–202.

Okçu, M., Tozlu, E., Kumlay, A. M., Pehlivan, M. (2009). Ağır Metallerin Bitkiler Üzerine Etkileri. *Alinteri*, **17**(B), 14-26.

Oplinger, E. S., Putnam, D. H., Kaminski, A. R., Hanson, C. V., Oelke, E. A., Schulte, E. E., Doll, J. D. (1990). Sesame. Alternative Field Crops Manuel.

Özbek, Z. (2010). Topraktaki Ağır Metaller İçin Sınır Değerlerin Uygulanabilirliğinin Araştırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Özden, H. (2001). Ağır Metal Kirlenmesinin Yüksek Bitkilere Etkisi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.

Padmaja, K., Prasad, D. D. K., Prasad, A. R. K. (1990). Inhibition of chlorophyll synthesis in *Phaseolus vulgaris* L. seedlings by cadmium acetate. *Photosynthetica*, **24**, 239-405.

- Peralta, J. R., Gardea-Torresdey, J. L., Tiemann, K. L., Gomez, E., Arteaga, S., Rascon, E., Parsons, J. G. (2000). Study on the effects of heavy metals on seed germination and plant growth on alfalfa plant (*Medicago sativa*) grown in solid media. *Proceedings of 2000 Conference on Hazardous Waste Research*, ss. 135-140.
- Pereira, L. B., Tabaldi, L. A., Goncalves, J. F., Jucoski, G. O., Pauletto, M. M., Weis, S. N., Nicoloso, F. T., Borher, D., Rocha, J. B. T., Schetinger, M. R. C. (2006). Effect of aluminium on amino levulinic acid dehydrotase (ALA- D) and the development of cucumber (*Cuccumis sativus*). *Environmental and Experimental Botany*, **57**, 106-115.
- Petrucci, R. H. (1985). General Chemistry, Macmillian Publishing Company, New York, USA 685-689.
- Pietraszewska-Mossor, T. (2001). Effect of aluminium on plant growth and metabolism. *Acta Biochimica Polonica*, **48**(3), 673-686.
- Plieth, C. (2005). Calcium: Just another regulator in the machinery of life? *Annals of Botany*, **96**, 1-8.
- Poozesh, V., Cruz, P., Bertoni, G. (2010). Evaluation of resistance to Al toxicity in wild gramineae of acid meadows. *Journal of Agroecology and Natural Resource Management*, **1**(2), 47-52.
- Poozesh, V., Cruz, P., Choler, P., Bertoni, G. (2007). Relationship between the Al Resistance of Grasses and their Adaptation to an Infertile Habitat. *Annals of Botany*, **99**, 947-954.
- Preetha, B., Viruthagari, H. (2006). Bioaccumulation of Cr(VI), copper(II), Nickel(II) ions growing *Rhizopus arrhizus*. *Biochemical Engeneering Journal*, **703**, 361-365.
- Przemeck, E., Haase, N. U. (1991). On the Bonding of Manganese, Copper and Cadmium to Peptides of the Xilem Sap of Plant Roots, *Water, Air and Soil Pollution*, **57**(68), 569-577.

- Punz, W. F., Sieghardt, H. (1993). The response of roots of herbaceous plant species to heavy metals. *Environmental and Experimental Botany*, **33**, 85-93.
- Ratkevicius, N., Correa, J. A., Moenne, A. (2003). Copper accumulation, synthesis of ascorbate and activation of ascorbate peroxidase in *Enteromorpha compressa* (L.) Grev. (Chlorophyta) from heavy metal-enriched environments in northern Chile. *Plant Cell and Environment*, **26**, 159-1608.
- Rebhun, S., Amotz, A. B. (1984). The distribution of cadmium between the marine alga *Chlorella stigmatophora* and sea water medium. *Water Research*. **18**, 173-8.
- Reeves, R. D., Baker, A. J. M., Raskin, I. (1999). Metal-accumulating plants. In *Phytoremediation of toxic Metals: Environmental Cleanup Using Plants*, 193-229, Inc, New York.
- Rether, A. (2002). Entwicklung und Charakterisierung wasserlöslicher Benzoylthioharnstofffunktionalisierter Polymere zur selektiven Abtrennung von Schwermetallionen aus Abwässern und Prozesslösungen. Technische Universität München, Dissertation, 194 sayfa.
- Roesijadi, G., Robinson, W. E. (1994). Metal Regulation in Aquatic Animals: Mechanisms of Uptake, Accumulation, and Release. *Aquatic Toxicology*, **102**, 125-133.
- Ros, R., Morales, A., Segura, J., Picazo, I. (1992). In vivo and in vitro effects of nickel and cadmium on the plasmalemma ATPase from rice (*Oryza sativa* L.) shoots and roots. *Plant Science*, **83**, 1-6.
- Ros, R., Cooke, D. T., Burden, R. S., James C. S. (1990). Effect of herbicide MCPA, and the heavy metals, cadmium and nickel, on the lipid composition, Mg-ATPase activity and fluidity of plasma membranes from rice, *Oryza sativa* cv. Bahia shoots. *Journal of Experimental Botany*, **41**, 457-467.
- Rout, G.R.; Samantaray, S.; Das, P. (2001). Aluminum Toxicity in Plants: a Review, *Agronomie*, **21**(1), 3-21.

- Roy, A. K., Sharma, A., Talukder, G. (1988) Some aspects of aluminium toxicity in plants, *The Botanical Review*, **54**, 145–177.
- Ryan, P. R., Kochian, L. V. (1993). Interaction Between Aluminum Toxicity and Calcium Uptake at the Root Apex in Near-Isogenic Lines of Wheat (*Triticum aestivum* L.) Differing in Aluminum Tolerance. *Plant Physiology*, **102**(1), 975-982.
- Sergieva, L., Alexieva, E., Karanov, E. (1997). Effect of spermine, atrazine and combination between them on some endogenous protective systems and markers in plants. *Comptes Rendus De L Academie Bulgare Des Sciences*, **51**, 121-124.
- Severi, A. (1997). Aluminium toxicity in *Lemna minor* L. Effects of citrate and kinetin. *Environmental and Experimental Botany*, **37**, 53–61.
- Sevinç, M. (2003). Kimyasal Analiz Yöntemleri, Beril Yayinlari, İstanbul, Türkiye 54-60.
- Sharma, S. S., Kaul, S., Metwally, A., Goyal, K. C., Finkemeier, I., Dietz, K. J. (2004). Cadmium toxicity to barley (*Hordeum vulgare*) as affected by varying Fe nutritional status. *Plant Science*, **166**, 1287-1295.
- Šimonovičová, M., Tamás, L., Huttová, J., Mistrík, I., (2004). Effect of Aluminium on Oxidative Stress Related Enzymes Activities in Barley Roots. *Biologia Plantarum*, **48**(2), 261-266.
- Smirnov, O. E., Kosyan, A. M., Kosyk, O. I., Taran, N. Y. (2015). Response of phenolic metabolism induced by aluminium toxicity in *Fagopyrum esculentum* Moench. plants. *The Ukrainian Biochemical Journal*, **87**(6), 129-135.
- Soudek, P., Katrusakova, A., Sedlacek, L., Petrova, S., Koci, V., Marsik, P., Griga, M., Vanek, T. (2010). Effect of heavy metals on inhibition of root elongation in 23 cultivars of flax (*Linum usitatissimum* L.), *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, **59**, 194–203.
- Sönmez, B. (2003). Türkiye Çoraklık Kontrol Rehberi. Toprak ve Gübre Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü Teknik Yayın No: 33, Ankara.

- Steudle, E. (2000). Water uptake by roots: effects of water deficit, *Journal of Experimental Botany*, **51**(350),1531-1542.
- Stephan, U., Scholz, G. (1993). Nicotianamine: Mediator of Transport of Iron and Heavy Metals in the Phloem. *Plant Physiology*, **88**, 522-529.
- Stolt, J. P., Sneller, F. E. C., Bryngelsson, T., Lundborg, T., Schat, H. (2003). Phytochelatins and cadmium accumulation in wheat. *Environmental and Experimental Botany*, **49**, 21-28.
- Şahin, G. (2014). Türkiye’de üretimi azalan önemli bir yağ bitkisi susam. *İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi-Journal of the Human and Social Science Researches*, **3**(2), 404-433.
- Şanlı, Y. (1984). Çevre Sorunları ve Besin Kirlenmesi. *Selçuk Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, **2**, 17–37.
- Tamás, M. J., Labarre, J., Toledano, M. B., Wysocki, R. (2005). Mechanisms of Toxic Metal Tolerance in Yeast. In *Molecular Biology of Metal Homeostasis and Detoxification: From Microbes to Man* (ed. M. J. Tamás and E. Martinoia), 395-454. Heidelberg: Springer-Verlag.
- Tamás, L., Šimonovičová, M., Huttová, J., Mistrík, I. (2004). Aluminium stimulated hydrogen peroxide production of germinating barley seeds. *Environmental and Experimental Botany*, **51**, 281-288.
- Tan, A. Ş., (2015). Susam Tarımı. T.C Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü. Yayın No: 135. Menemen, İZMİR.
- Tan, A. S. (2015a). Ülkesel Susam Araştırmaları Koordinatör Raporu. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü. İzmir.
- Tan, A. S. (2012). Susam Tarımı. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü Yayınları No:146.
- Tan, A. Ş. (2011). Bazı Susam Çesitlerinin Menemen Koşullarında Performansları. *Anadolu Dergisi*. **21**(2), 11–28.

- Tan, A. Ş. (2010). Ege Bölgesi Susam Araştırmaları Projesi. 2010 Yılı Gelişme Raporu. Ege Tarımsal Araştırma Enstitüsü. Menemen. İzmir.
- Tan, A.Ş. ve Tan, A. (1996). Morphometric variation analysis on Turkish Sesame (*Sesamum indicum* L.) *Anadolu University Journal Of Science And Technology*, **6**(2), 1-23.
- Tariq, M. I., Afzal, S., Hussain, I., Sultana, N. (2007). Pesticides Exposure In Pakistan: A Review, *Environment International*, **33**, 1107–1122.
- Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (TKKY), (2005). Çevre ve Orman Bakanlığı, 31.05.2005 Tarih ve 25831 Sayılı Resmi Gazete.
- Toprak, T. (2017). Türkiye’ nin Farklı Bölgelerinden Toplanan Susam (*Sesamum indicum* L.) Genotiplerinin Verim ve Verim Özelliklerinin Belirlenmesi. Dicle Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Tuğlular, T. (1999). Bitkisel Ham Yağ İthalatı Büyüyor. *Forum Dergisi*. **6**(8), 46- 47.
- Turan, C., Taban, S., Korkmaz A. (1989). Artan miktarlardaki kirecin asit toprakta yetiştirilen mısır bitkisinin ve kökünün gelişmesi ile Al, P, Cu, Mn kapsamaları üzerine etkisi DOĞA, *Türk Tarım ve Ormancılık Dergisi*, **13**(2), 427-436.
- Türkoğlu, B. (2006). Toprak Kirlenmesi ve Kirlenmiş Toprakların Islahı. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Adana.
- TÜİK. 1993 Tarımsal Yapı. ve Üretim-1990 T C Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü Matbaası. Ankara
- TÜİK. 2016. www.tuik.gov.tr (Erişim tarihi:02.06.2018).
- Türkay, A. (2011). Alüminyum Stresi Altında Yetiştirilen Arpa (*Hordeum vulgare* L. cv. Meta 2) Fidelerinde Bazı Morfolojik ve Anatomik Gözlemler. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Üstbaş, Y., Taşan, M., Geçgel, Ü. (2009). Trakya Bölgesinde Üretilen Ayçiçeği Tohumu (*Helianthus annuus* L.) Yağlarında Bakır, Demir, Kadmiyum ve Kurşun İçeriklerinin Belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, **6**(1), 55-63.

- Vurarak, Y., Çıkman, A. Angın, N. (2011). Çukurova Bölgesinde Susam Üretimi, Maliyeti ve Problemleri, *GAP VI. Tarım Kongresi, 09- 12 Mayıs*, 691 – 695, Şanlıurfa.
- Wagatsuma, T., Kyuuda, T., Sakuraba, A. (1987). Aluminium accumulation characteristics of aluminium tolerant plants, *Bulletin of Yamagata University. Journal of Agricultural Science*, **10**, 355–359.
- Wagner, G. (1987). Entwicklung einer methode zur grossraemigen ueberwachung der umwelthontamination mittels stanartisierter palpelblattproben van pyramidenpalpeln (*Populus nigra italica*) am beispiel van blei, cadmium und zink. In: Stoeppler, Bm., Duerbeck, H., editors,(Beitraege zur Umweltprobenbank), (Forsc Hungszentrum Julich), 224 sayfa.
- Weiss, E. A. (2000). Oilseed Crops, Blackwell Sci. Ltd., Oxford, 364 sayfa.
- Wickfors, G. H., Ukeles, R. (1982). Growth and Adaption of Estuarine Unicellular Algae in Media With Excess Copper, Cadmium or Zinc. *Marine Ecology. Progress Series*, **7**, 191-206.
- Yeni, E. (2013). Alüminyum ve Kadmiyum Metallerinin *Zea Mays* L.(Mısır) ve *Lens culinaris* MEDİK cv.''Kafkas''(Mercimek) Tohumlarının Çimlenmesine ve Fide Aşamasındaki Yaprakların Bazı Anatomik, Morfolojik ve Fizyolojik Özelliklerine Etkileri. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta.
- Yol, E. (2011). Dünya Susam Koleksiyonunun Agro-Morfolojik ve Kalite Özellikleri Bakımından Karakterizasyonu ve Genetik Çeşitliliğin Belirlenmesi. Akdeniz Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarla Bitkileri Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi, Antalya.
- Yılmaz, A., Boydak, E., Cevheri, İ., Beyyavaş, V. (2005). Şanlıurfa'da İkinci Ürün Susam (*Sesamum indicum* L) Tarımında Farklı Sıra Üzeri Ekim Mesafelerinin Verim Ve Verim Unsurlarına Etkisi. Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Gap IV. Tarım Kongresi, Şanlıurfa

- Yoshida, H., Takagi, S. (1997). Effects of Seed Roasting Temperature and Time on Quality Characteristics of Sesame (*Sesamum indicum*) Oil *Journal of The Science of Food and Agriculture*, **75**(1), 19-26.
- Yoshikawa, H. S. (1982). Interaction of metals and metallothionein. *Developments in Toxicology And Environmental Science*, **9**, 11-23.
- Zeven, A. C. and De Wet, J. M. J. (1982). Dictionary of cultivated plants and their regions of diversity: excluding most ornamentals, forest trees and lower plants. Pudoc, Wageningen, the Netherlands. pp. 200.
- Zheljazkov, V. D., Nielsen, N. E. (1996). Effect of Heavy Metals on Peppermint and Commint. *Plant and Soil*, **178**(1), 59-66.
- Zheng, S. J., Yang, J. L. (2005). Target sites of aluminum phytotoxicity, *Biologia Plantarum*, **49**, 321–331.
- Zhou, Q. (2001). The measurement of malondialdehyde in plants. In: *Methods in Plant Physiology* (Ed. Zhou Q.), China Agricultural Press, Beijing 173-174.
- Zukovsij, P. M. (1950). Cultivated plants and their wild relatives (Abstr. Transl. By. P.S. Hudson. 1962). Commonw. Agric. Bur. Fornham Royal, England.