



**Uşak Üniversitesi Fen ve Doğa
Bilimleri Dergisi**
Usak University Journal of Science and Natural Sciences

<http://dergipark.gov.tr/usufedbid>
<https://doi.org/10.47137/usufedbid.854811>



Derleme makalesi

Selenyumun Bitki Metabolizması ve Tarımsal Kullanımı

*Ayşe Topuz, Nurdoğan Topal**

Tarla Bitkileri Bölümü, Ziraat Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye

Geliş: 5 Ocak 2021

Kabul: 26 Mart 2021 / Received: 5 January 2021

Accepted: 26 March 2021

Abstract

Selenium (se), whose main source is soil, has attracted the attention of researchers since its discovery in 1817. Selenium, which is found in different charge and forms, is found in inorganic form in soil clays and water, while it is found in organic form in plants, animals fed with plants, some seafood and humans. The main source of selenium, which is an essential micronutrient element for humans and animals and causes toxicity when consumed in excess, is plants. Various studies have shown the importance of selenium in preventing cancer, cardiovascular diseases and viral infections, as well as thyroid and immune system functions, fertility and aging. Plants play a unique role in recycling and transporting Selenium from the soil to the food chain. The Se concentration in agricultural products depends on the Se content and bioavailability in the soil. Food security problem will increase even more in changing environment and climate conditions. In these conditions, the effect of micro element applications, which is an application that is not applied much in practice, will be seen more clearly. Agricultural selenium use, and knowing the positive and negative returns are important for studies on selenium. This review was conducted to reveal the metabolic behavior of selenium, which is important for human health, in plants and its importance in stress physiology, although it is not an essential element to be taken.

Keywords: *Selenium, Selenate, Plant Selenium intake, Selenium use in agriculture*

Özet

Ana kaynağı toprak olan selenyum (Se) 1817 yılında keşfinden bu yana araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Farklı yük ve formlarda bulunan selenyum toprak killerinde ve suyunda inorganik formda bulunurken bitkiler, bitkiler ile beslenen hayvanlar, bazı deniz ürünleri ve insanlarda organik formda bulunmaktadır. İnsanlar ve hayvanlar için temel bir mikro besin elementi olan ve aşırı miktarda alındığında toksiditeye neden olan selenyumun ana selenyum kaynağı bitkilerdir. Selenyumun kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve viral enfeksiyonların yanı sıra tiroid ve bağışıklık sistemi fonksiyonları, doğurganlık ve yaşlanmanın önlenmesindeki önemini çeşitli araştırmalar göstermiştir. Bitkiler, Selenyumun topraktan besin zincirine geri dönüştürülmesinde ve taşınmasında benzersiz bir rol oynar. Tarımsal ürünlerde Se konsantrasyonu, topraktaki Se içeriğine ve biyoyararlanımına bağlıdır. Değişen çevre ve iklim şartlarında gıda güvenliği sorunu daha da artış gösterecektir. Söz konusu bu koşullarda pratikte çok kullanılan mayan bir uygulama olan mikro element uygulamalarının etkisi daha da bariz bir şekilde görülecektir. Tarımsal açıdan selenyum kullanımı, artı ve eksi getirililerin bilinmesi selenyum ile ilgili yapılacak çalışmalar için önemlidir. Bu derleme, insan sağlığı açısından önemli olan selenyumun

*Corresponding author: Nurdoğan Topal

E-mail: nurdogan.topal@usak.edu.tr

ORCID ID: 0000-0002-3466-1005

©2021 Usak University all rights reserved.

bitkilerdeki metabolik davranışlarını ve özellikle mutlak alınması gerekli bir element olmamasına rağmen stres fizyolojisindeki önemini ortaya koymak amacıyla yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Selenyum, Selenat, Bitki Selenyum alımı, Tarımda selenyum kullanımı,

©2021 Usak University all rights reserved.

1. Giriş

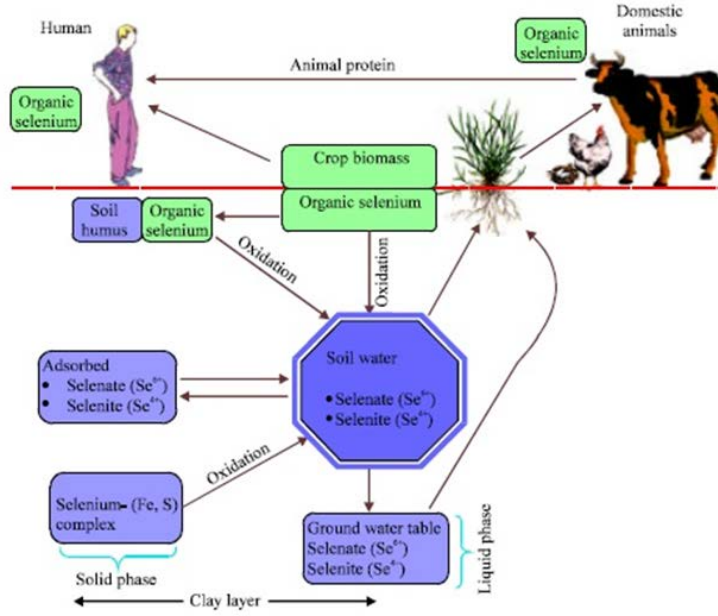
Selenyum (Se) İsvetli bir kimyacı ve fizikçi olan Jöns Jacob Berzelius tarafından 1817 yılında keşfedilen bir elementtir [1] Atom ağırlığı 78.96 olan grup VIA metaloidi olan Selenyum, birçok benzer kimyasal özelliğini kükürt (S) ile paylaşır. Selenyumun ana kaynağı topraktır. Tortul kayaçlar, ortalamaları 0,08 ila 1,0 mg Se/kg arasında değişen çoğu tarımsal toprakta ana malzeme olarak kabul edilir. Topraktaki selenyum, kaya çıkıntılarının aşınmasından, toprak mantosunun altında yatan kaya oluşumlardan, ana kayaların rüzgar ve su ile ayrışması ve ardından yer altı veya yüzey suyu ile taşınmasından meydana gelmektedir. Ayrıca meteorlarda da selenyuma rastlanmıştır [2].

Selenyum, selenid (-2), elementel Se (0), tiyoselenat (+2), selenit (+4) ve selenat (+6) şeklinde beş değerlik durumunda olabilir [3]. Toprakların redoksu (pe + pH) çözeltide Se türleşmesini kontrol eder. Selenat (SeO_4^{2-}), yüksek redoksta (pe + pH <15.0) çözelti içindeki başlıca türdür. Orta redoks aralığında (pe + pH 7.5–15.0), pH'a bağlı olarak SeO_3^{2-} veya $HSeO_3^-$ türleri baskındır. Redoks potansiyeli ve pH, ekili topraklarda Se'nin çözünürlüğünü ve kimyasal türleşmesini kontrol eden en önemli parametrelerdir [4]. Düşük redoksta (pe + pH > 7.5), HSe^- , toprak çözeltisindeki başlıca türdür. Sadece kuvvetli asitli topraklarda H_2SeO türleri solüsyondaki Se'ye önemli ölçüde katkıda bulunur [5].

İnsanlar ve hayvanlar için temel bir besin maddesi olan Selenyum (Se), aynı zamanda çevre için toksik etkide bulunabilir. Bu iki çizgi arasındaki farkı kimyasal formu, yoğunluğu ve diğer değişkenler belirler. Se, siyanobakterilerin ve bazı bitkilerin metabolizmasında önemlidir ve antioksidatif süreçlerinde yer alır. Bununla birlikte, Selenyumun yüksek bitkiler için önemi hala tartışılmaktadır. Yüksek konsantrasyonlarda bitkiler için zararlı olmasına rağmen düşük konsantrasyonlarda faydalı etkiler gösterebilir. Bitkilerin UV kaynaklı oksidatif strese toleransını artırabilir, yaşlanmayı geciktirebilir ve yaşlanan fidelerin büyümesini teşvik edebilir. Son zamanlarda Selenyumun kuraklık koşulları altında bitkilerin su durumunu düzenleyebildiği gösterilmiştir [6].

İnsanlar ve hayvanlar için temel bir mikro besin elementi olan ve aşırı miktarda alındığında toksiteye neden olan selenyumun ana kaynağı bitkilerdir. Selenyumun bitkilere etkileri hakkında tartışmalar sürmektedir. Bununla birlikte düşük dozlarda selenyumun bitkileri, düşük sıcaklık, kuraklık ve metal stresi gibi çeşitli abiyotik streslerden koruduğu da çeşitli araştırmacılar tarafından bildirilmektedir [7].

Bitkiler, Se'nin topraktan besin zincirine geri dönüştürülmesinde (Şekil 1) ve taşınmasında benzersiz bir rol oynar. Tarımsal ürünlerde Se konsantrasyonu, topraktaki Se içeriğine ve biyoyararlanımına bağlıdır. Toprakta Se mevcudiyeti sınırlıdır ve azalan ayrışma durumu ve asitliğin bir sonucu olarak içeriği nispeten düşüktür. Bitki kökleri Selenyumunu toprak suyundan selenat veya selenit iyonik formlarda alır. Daha yüksek bitkilerde Se metabolizması, kimyasal benzerliklerinden dolayı sülfür ile yakından ilgilidir. Toprak çözeltisindeki miktarlar, adsorbe edilmiş formların çözünürlüğü ve organik formların biyolojik dönüşümü ile belirlenir [8].



Şekil 1. Selenyumun Toprak Bitki ve Su Döngüsü [8]

Li ve ark., (2008) çalışmalarında Selenat ve selenit alımının metabolik olarak birbirine bağımlı olduğunu bildirmişlerdir. Aynı çalışmada Selenit varlığının selenat alımını ve ksilem taşınımını azalttığı ileri sürülmüştür [9].

Bileşeni olarak selenoproteinler, selenyum yapısal ve enzimatik rollere sahiptir, ikinci bağlamda en iyi antioksidan olarak bilinir ve aktif tiroid hormonu üretimi için katalizör olarak görev yapar. Bağışıklığın düzgün çalışması için gerekli olan selenyumvirülans gelişimine karşı koymada ve AIDS'e yol açan HIV'in ilerlemesini engellemede önemli bir besin olarak görünmektedir. Ayrıca sperm hareketliliği için gereklidir ve düşük yapma riskini azaltabilir. Yine Se eksikliğinin ruhsal bozukluklara ilişkili olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Oksidatif stres ve iltihaplanma içeren koşullar, daha yüksek selenyum durumunun faydalarını göstermiştir. Yüksek selenyum alımı, kanser riskinin azalmasıyla ilişkilendirilebilir [10].

Selenyumun kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve viral enfeksiyonların yanı sıra tiroid ve bağışıklık sistemi fonksiyonları, doğurganlık ve yaşlanmanın önlenmesindeki önemini çeşitli araştırmalar göstermiştir [11].

Bu çalışmanın amacı, insan sağlığı açısından önemli olan selenyumun bitkilerdeki metabolik davranışlarını ve özellikle mutlak alınması gerekli bir element olmamasına rağmen stres fizyolojisindeki önemini ortaya koymaktır. Bu bağlamda değişen iklim ve çevre şartlarında tarımsal ürünlerin strese maruziyetini azaltma amaçlı uygulamalardan biri olabileceği kanısındayız.

2. Bitkide Selenyum Alımı, Taşınımı Ve Dağılımı

Esasen selenat olarak toprak çözeltisinden bitki köklerine alınan selenyum, selenit ve organik Se bileşikleri şeklinde de alınabilmektedir. Bitkilerde toprak çözeltisinden

selenat ve organik Se bileşiğinin emilimi aktif süreçle gerçekleşmesine rağmen selenit pasif difüzyon yoluyla biriktirilir ve de fosfat tarafından inhibe edilebilir bir yapıdadır [12]. Selenyumun alımı, aktarılması ve dağıtılması bitki türleri, gelişim evreleri, selenyumun şekli ve konsantrasyonu, fizyolojik koşullar (tuzluluk ve toprak pH'sı vb.) ve diğer maddelerin varlığı, membran taşıyıcıların aktivitesi, bitkinin translokasyon mekanizmaları gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir [7].

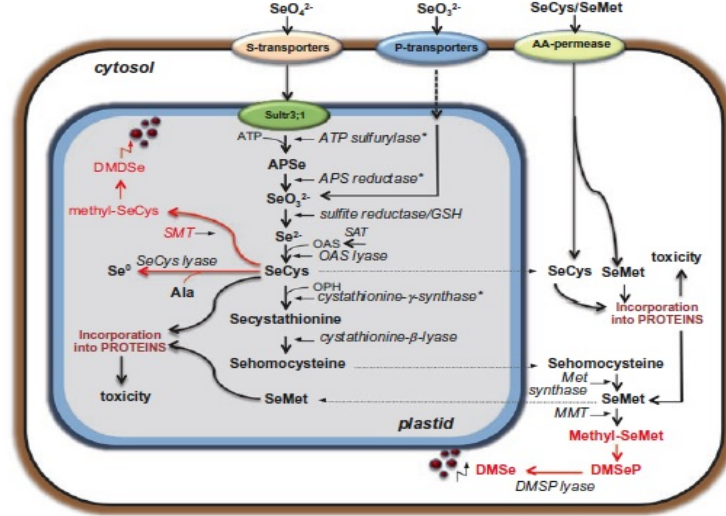
Selenyum (Se), birçok organizma için temel bir besindir, ancak aynı zamanda daha yüksek seviyelerde toksiktir. Bazı algler Selenyum selenoprotein yapımı için kullansa da daha yüksek bitkiler için böyle bir gereklilik söz konusu değildir. Yine de bitkiler, kükürt (S) taşıyıcıları ve biyokimyasal yollar kullanarak Selenyum kolaylıkla alır ve asimile eder ve ayrıca metillenmiş Se'yi uçucu hale getirebilir. Hatta bazı bitkiler, muhtemelen bir savunma mekanizması olarak, metil-selenosistein formunda selenyum bitki kuru ağırlığının yaklaşık %1'i kadar seviyelerde biriktirebilir [13].

Selenyum ve sülfür aynı temel metabolizmayı paylaşır. Aynı ortamda yetiştirildiğinde, çoğu bitki türü Se/S açısından benzer oranlara sahiptir. Bununla birlikte Selenyum (Se) hiper-biriktiriciler gibi bazı bitkiler, kuru ağırlıklarının %0.1-1,5'ini Se olarak içerebilir ve diğer organizmaların çoğu için toksik düzeydedir. Selenyum hiperakümüasyonu, Se'nin dokulardaki etkili metabolik detoksifikasyonundan kaynaklanır [14].

Yüksek bitkilerin genelde selenyuma ihtiyaç duymadığı dikkate alındığından, Se gübrelemesinin avantajı ile gıdaların doğrudan selenyumla takviye edilmesi ve selenyumla beslenme karşılaştırılarak tartışılmaktadır. Bitkilerin, selenyumun topraktan hayvanlara ve insanlara olan döngüsünde anahtar rol oynadıkları, bazı bitkilerin topraktan Se alabilmek için dikkate değer bir yetenek geliştirmiş oldukları, bu elementi işleme tabi tutmak ve biriktirmek için gerekli metabolik sistemlere sahip oldukları bildirilmiştir [3].

Köklere alındıktan sonra, selenatın bitkiye asimilasyon için biyolojik olarak aktif bir forma dönüştürülmesi gerekir. Bu, selenatı (veya sülfatı) ATP'ye bağlayan, adenosin 5'-fosfoselenat (APSe) veya adenosin 5'-fosfosülfat (APS) oluşturan ATP sülfürilaz enzimi tarafından gerçekleştirilir. Se asimilasyonunda hız sınırlayıcı olduğu bulunan bu adım hem sitozol hem de plastidlerde meydana gelir (Şekil 2) [15].

Wang ve ark., (1999), bitkiler tarafından esas olarak selenat formunda alınan Se'nin, kloroplastlara taşındığını ve S (Kükürt) asimilasyonunu takip ettiğini, burada ATP sülfürilaz ile aktive edilerek adenosin-5'-fosfoselenata dönüştüğünü, Se'un enzimatik olarak ya da enzimatik olmayan yoldan selenite indirgenmediğini ve selenit ile serinin reaksiyona girerek SeCys (selenosistein) oluştuğunu, SeCys'nin, SeMet (selenometionin)'e metabolize edilebildiğini ve metillenerek Se-metil Met gibi ürünleri oluşturabildiğini, alternatif olarak SeCys-metil transferaz SeMSC (Se-metil selenosistein) oluşturabildiğini ve bitkilerin büyük miktarda Se biriktirebildiklerini bildirmişlerdir [16].



Şekil 2. Bitki mezofil hücrelerinde Se asimilasyonunun ve metabolizmasının şematik modeli [15].

3. Selenyumun Tarımsal Kullanımı

Selenyumun genel olarak, 1 mg kg⁻¹'den düşük seviyelerin bitkiler için faydalı olduğu, yüksek seviyelerin ise tarımsal mahsullerin çoğunda toksisiteye neden olduğu bulunmuştur. Düşük yoğunluklarda Se, bitkilerdeki patojenlere karşı bitki büyüme düzenleyicisi, antioksidan, yaşlanma önleyici, abiyotik strese karşı savunma molekülü olarak görev yaparken daha yüksek konsantrasyonlarda bitkiler, büyümede bodurlaşma, kloroz, yaprakların solması ve kuruması, azalan protein sentezi erken ve hatta bitkinin ölümü gibi çeşitli toksik semptomlar gösterir [17].

Bazı yüksek bitkiler ve mantarların Seleniyumu 100 mg/kg'a kadar biriktirdiği bilinmektedir, Çin'de selenli toprakta yetiştirilen sarımsakta kuru madde üzerinden 205 mg/kg Se belirlenmiştir. Bitkilerin Se toleransı için biriktirme mekanizmalarından biri proteinlere dahil edilemeyen organoselenium bileşiklerinin oluşumudur, böylece bitkiler toksisiteden kaçınır. Bir başka bitki olan *Brassica juncea* (Hint hardalı), hidroponik olarak yetiştirildiğinde Se biriktirdiği görülmüştür. Selenifer topraklardaki birikimin yanı sıra, yeşil bitkilerde yüksek Se seviyeleri gözlemlenmiştir. Gübre olarak uygulanan kükürt, rekabet nedeniyle yonca ve yulafta Se alımını azaltmış fakat diğer mahsullerde hiçbir etkisi olmadığı görülmüştür [18].

Bitkilerin topraktaki Se miktarı ile direkt ilişkili olarak Se biriktirdikleri, Amerika'da yetişen buğday normal olarak 0,2-0,4 µg g⁻¹ Se içerirken, selenyumca zengin topraklarda yetişen buğdayın 5-15 µg g⁻¹ Se içerebildiği bildirilmiştir [19]. Selenatın köklerden alımının ve bitkide dağılımının selenite göre çok daha hızlı olduğu belirlenmiştir [20, 21]. De Souza vd. (1998), bitkide selenat birikiminin selenitten 10 kat daha fazla olduğunu bildirmişlerdir [22]. Bunun nedeninin kimyasal yönden sülfat iyonlarına benzeyen selenatın sülfat taşıyıcıları aracılığıyla aktif olarak köklere ve sonra da hızlıca sürgünlere taşınmasına dayandığı bulunmuştur [3]. Selenitin alım mekanizması tam olarak bilinmemekle birlikte pasif olarak alındığı [23], ayrıca bitkilerin selenometiyonin gibi organik formdaki seleniyumu da aktif olarak alabildiği [3] ve selenyumun köklerden

sürgünlere ksilem aracılığıyla taşındığı [24] şeklinde görüş bildirilmiştir. Bitkilerin selenyumu farklı biriktirme ve tolere etme yeteneği gösterdikleri ve akümülatör olmayanlar, indikatörler ve akümülatörler şeklinde sınıflandırıldıkları bildirilmiştir [2, 23].

Bazı özel bitki türlerinin hiperakümülatör olarak tanımlanmakta olduğu ve bunların büyük kısmının *Astragalus* ve *Stanleya* cinsine ait olduğu, hiperakümülatör bitkilerin primer ve sekonder olmak üzere iki gruba ayrılmakta olup; primer akümülatörlerin binlerce mg kg⁻¹ (> 4000 mg kg⁻¹) düzeyinde ve sekonder akümülatörlerin yüzlerce mg kg⁻¹ düzeyinde Se biriktirebildikleri, Hint hardalı (*Brassica juncea* L.), brokoli (*Brassica oleracea* L.) ve kanolanın da (*Brassica napus* spp. oleifera L.) içinde bulunduğu *Brassica* türlerinin primer akümülatörler olarak sınıflandırıldıkları bildirilmiştir [3].

Rani vd. (2005) tarımsal ürünlerin pek çoğunun yüksek Se düzeylerine toleransının düşük olduğunu, genelde 25 µg g⁻¹ (kuru madde)'dan düşük düzeyde Se içerdiklerini ve akümülatör olmayan bitkiler şeklinde sınıflandırıldıklarını, akümülatör olmayan bitkilerin yüksek Se düzeylerine hassas olmalarına rağmen, selenyumca zengin topraklarda yetiştirildiklerinde gelişmede gerileme olmaksızın biriktirebildiği kadar yüksek düzeyde selenyumu tolere edebildiklerini, bitki dokusunda verimi azaltan kritik Se düzeylerinin hint hardalında 105 µg g⁻¹, mısırda (*Zea mays* L.) 77 µg g⁻¹, çeltikte (*Oryza sativa* L.) 42 µg g⁻¹ ve buğdayda 19 µg g⁻¹ olduğunu ve bu değerlerin selenyumun selenit formunda hint hardalı ve mısır için toprağa 5 µg g⁻¹, buğday için 4 µg g⁻¹ ve pirinç için 10 µg g⁻¹ düzeylerindeki uygulama ile elde edilmiş olduğunu bildirmişlerdir [25].

Skarpa ve ark., (2015) yaptığı çalışmada, tarla koşullarında 2008 ve 2009 yıllarında haşhaş yapraklarına selenyum uygulanması ile haşhaş bitkisinin tohum verimi ve kalitesi üzerine etkisini araştırmışlardır. Büyüme sonunda selenyum uygulamasının tohum verimini %11,5 azalttığı gözlenirken haşhaş tohumunda selenyum içeriğinde artış gözlenmiştir. Ayrıca çiçeklenme sonrası selenyum uygulamasının verimi düşürdüğü belirtilmiştir [26].

Hıyar yetiştiriciliğinde Selenyum (Se) ve Silisyum (Si) yaprak gübrelere etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada söz konusu elementlerin hıyar yetiştiriciliğinde yapraklardan uygulama şeklinde yapılması, bitki büyümesinde fark edilir bir artış sağladığı ve meyve verimi artırıcı etkide bulunduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar meyve eti sertliğinin artması ve meyve içeriğinde Se ve Si konsantrasyonlarının artması kaliteyi olumlu etkilediğini de belirtmişlerdir [27].

Bir başka çalışmada sarımsak bitkisine topraktan sodyum selenat formunda uygulanan selenyumun sarımsak bitkisinin dış ağırlığı üzerine etkileri incelenmiş ve tarla denemesi sonucunda topraktan uygulanan selenyumun kontrol uygulamasına göre sarımsak bitkisinin büyük dış ağırlığını %6.36 ve küçük dış ağırlığını %6.79 oranında artırdığı belirlenmiştir [28].

Hartikainen (2000), yaptığı çalışmada (*Lolium perene*) İngiliz çimi sürgünlerine 0,1-1,0-10 ve 30 mg Se kg⁻¹ dozlarında selenyum uygulaması yaparak, iki defa hasat edilerek iki defa verim değerlendirmesi yapılarak antioksidatif sistem ve büyüme parametreleri analiz edilmiştir. 10 mg Se kg⁻¹ selenyum dozu oksidatif strese bağlı verim kayıplarına yol açmıştır. Selenyum yüksek konsantrasyonlarda bir pro-oksidan iken düşük konsantrasyonlarda antioksidan görevi yaparak lipid peroksidasyonunu ürün miktarını artırdığı ve α-tokoferol miktarının her iki verimde de arttığını bildirmişlerdir [29].

Xue ve ark., (2001), yaşlanmaya bağlı oksidatif strese karşı koyma yeteneğini test etmek için, artan miktarlarda H_2SeO_4 ile yetiştirilen marulla (*Lactuca sativa*) bir saksı deneyi gerçekleştirdi. Ekimden 7 ve 14 hafta sonra hasat edilen marullarda, düşük Se dozajının (0.1 mg kg^{-1} toprak), azalmış bir klorofil konsantrasyonuna rağmen yaşanan fidelerin büyümesini (%14 kuru ağırlık verimi) uyardığını ortaya çıkarmıştır. Büyümeyi teşvik edici fonksiyon, azalan lipid peroksidasyonu ile ilişkilendirilmiştir. Yine genç ve yaşlanan bitkilerde, Se'nin antioksidatif etkisi, glutasyon peroksidazın (GSH-Px) artan aktivitesi ile ilişkilendirilmiştir. Yaşlandırıcı bitkilerde eklenen Se, aynı zamanda tokoferol konsantrasyonunun azalmasını önleyerek ve süperoksit dismutaz (SOD) aktivitesini artırarak antioksidan kapasiteyi güçlendirdiği gözlemlenmiştir. Se eklenmediğinde, tokoferoller ve SOD aktivitesi bitki yaşlanması sırasında azalım göstermiştir. Daha yüksek Se dozajı (1.0 mg kg^{-1} toprak) toksik etki göstererek genç bitkilerin verimini düşürmüştür. Yaşlanan bitkilerde, kuru ağırlık verimini düşürmüş ancak taze ağırlık verimini düşürmemiştir [30].

Khattab (2004), Roka (*Eruca sativa*) bitkisini farklı sodyum selenat (0, 5, 10, 100, 1000, 2000, 3000 μM) dozlarına maruz bırakarak bitkilerle ilişkili metabolik ve oksidatif cevaplar araştırmıştır. Kök ve sürgün uzunluğu, yaş ağırlık, kuru ağırlık düşük selenyum konsantrasyonlarında (5 ve 10 μM) artmıştır. Ancak yüksek selenyum uygulaması (100 μM) toksik etki göstermiştir bundan dolayı sürgün ve köklerdeki uzunluk, taze ve kuru ağırlık miktarı azalmıştır. Düşük dozda (5 ve 10 μM) klorofil-a, klorofil-b ve toplam pigment içeriğinde artışa neden olurken, karotenoid içeriğinde önemli bir azalma gözlenmiştir. Yüksek konsantrasyonda (100 μM) klorofil-a, klorofil-b ve toplam pigment içeriği azalmış karotenoid miktarı artmıştır. Selenyum alınımıyla P, K, Ca, Mg ve Fe alınımı azalmaktadır. Prolin seviyesini artırmıştır. Enzimatik olmayan antioksidanların (glutasyon, askorbik asit ve karotenoidler) düzeyleri artmıştır. SOD ve APX gibi antioksidan enzim aktiviteleri 5 ve 100 μM da artarken CAT ve GPX aktiviteleri azalmıştır [31].

Djanaguiraman (2005), yaptığı çalışmada soya bitkisine ekimden 78 gün sonra yapraklardan 50 ppm sodyum selenat püskürtülmüş ve soya fasulyesi yaprakları antioksidan enzim aktivitesi için 80 ve 90 gün sonra hasat edilmiştir. 80 gün sonraki hasat sonunda klorofil a, klorofil b, ve klorofil a+b miktarı kontrole göre artarken 90 gün sonraki hasatta fotosentetik pigmentlerin miktarı azalmıştır. Soyada yapraktaki selenyum miktarı kontrole göre artmış, hasattan sonrada tohumda selenyum birikimi kontrole göre artış göstermiştir. Prolin miktarı 80 gün sonra artarken 90 gün sonra azalmaya başladığı gözlenmiştir. Uzun süre selenyum uygulanan bitkilerin MDA üretimi, kısa sürede selenyum uygulanan bitkilerin MDA (malondialdehide) üretiminden daha fazla olduğu gözlenmiştir. Sonuç olarak uzun sürelerde selenyum uygulamasının dokuda daha fazla selenyum birikimine neden olduğu bildirilmiştir [32].

Ramos ve ark. (2010), Marul (*Lactuca sativa* L. cv. Vera) bitkisinde (0, 2, 4, 8, 16, 32 ve 64 $\mu\text{mol/L}$) selenyum uygulanmış, düşük selenyum dozlarında katalaz ve SOD aktivitesi artarken, artan dozlarda azalma gözlenmiştir. Bunun sebebinin oksidatif stres sırasında aşırı ROS üretimi sonucu olarak hücre ölümüne ve membran hasarına neden olmasına dayandırılmaktadır [33].

Yılmaz (2006), selenyum uygulamalarının arpada (*Hordeum vulgare* L.) selenyum, kükürt ve azot alınımına ve aminoasit profiline etkisi araştırmıştır. Yapılan çalışmada üç arpa çeşidine (Çetin 2000, Bülbül 89ve Tarım 92) bitkilerin ekimi ile 1, 2, 3 ve 4 mg selenit, başaklanma döneminde 0,25-0,50-0,75 ve 1,00 mg olarak selenat uygulanmıştır. Üç aylık gelişme sonunda hasat edilerek kök, gövde ve tanede selenyum, kükürt, azot ve

aminoasit analizi yapılmıştır. Uygulanan bütün çeşitlerde selenyum miktarının kökte, tane ve gövdeye oranla daha fazla biriktiği görülmüştür. Artan dozlarda uygulanan selenyumun bitkilerin kök, gövde ve tanesinde selenyum, tanede azot ve kükürt alımını etkilediği ve buna bağlı olarak aminoasit profilinde değişikliklere neden olduğu ve proteinogenik aminoasit, serbest aminoasit, esansiyel aminoasit, esansiyel olmayan aminoasit ve prolin amino asiti miktarı en yüksek olan çeşit Tarm 92 olduğu belirtilmiştir [34].

Çakır (2007), selenyum toksisitesinin iki arpa (*Hordeum vulgare* L.) çeşidinde (Tarm 92, Bülbül 89) antioksidan enzim aktivitesine etkisi, biyokimyasal ve fiziksel özelliklerin araştırıldığı çalışmada Hoagland solüsyonuyla birlikte sodyum selenat çözeltisi 2, 4, 8 ve 16 ppm dozlarında uygulamışlardır. Selenyum toksitesinin on günlük arpa fidelerinde doz artışına bağlı boy uzunluğunda ve klorofil miktarında düşüşler olmuştur. Yaprak dokularında selenyum stresi altındaki her iki arpa çeşidinde de MDA ve prolin miktarı artmıştır. Artan selenyum dozlarının antioksidan enzim sisteminde değişikliklere neden olduğu CAT, APX, SOD, GR, GST ve GPX enzim aktivitelerinin kontrol grubu ile karşılaştırıldığında artış gösterdiği bildirilmiştir [35].

Özdemir (2008), yaptığı çalışmada çeşitli buğday genotiplerinde selenyum birikimi ve bitkilerde abiyotik stres koşullarına karşı selenyumun koruyucu etkisini araştırmıştır. Ekmeklik buğday tohumları (*Triticum aestivum* L.) 0, 1, 10, 50, 100, 500, 1000 ve 5000 μM dozlarında yaklaşık 30 dakika selenyum içeren çözelti içinde ıslatılıp daha sonra tohumlar oda sıcaklığında 25°C kurutulmuştur. Yapılan çalışmada tanede yüksek selenyum birikimi gözlenmiştir. Tane selenyum konsantrasyonu $44 \mu\text{g kg}^{-1}$ den $216 \mu\text{g kg}^{-1}$ a yükselmiştir. 5000 μM selenyum uygulaması tohum çimlenmesi ve büyüme üzerine herhangi bir toksisite etkisine yol açmamıştır. Ayrıca toprağa 0,05 ve 0,5 mg Se kg^{-1} dozlarında sodyum selenat uygulanarak 21 yabancı tetraploid ve 9 kültür buğday genotipi araştırılmıştır. Kuru madde üretimi ve sürgünlerdeki selenyum konsantrasyonlarını belirlemek için 33 gün sonra bitkiler hasat edilmiştir. Seçilen *Triticum dicoccoides* genotiplerinin selenyum alımı ve biriktirmesinde büyük farklılık gözlenmemiş, kültür buğday çeşitleri ve *Triticum spelta* genotiplerinin selenyum alımını incelemiştir. *Triticum spelta* genotiplerinin selenyum alım kapasitesi kültür buğdaylara göre üstün olduğu gözlemlenmiş ve denemede yüksek selenyum alım kapasitesi gösteren bazı genotipler ön plana çıkmıştır. Kuru madde miktarının stres durumunda azaldığı bildirilmiştir [36].

Molnárová ve ark., (2009), Monokotiledon (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) ve dikotiledon (*Sinapis alba* L., *Brassica napus* L.) bitkileri için kök ve sürgünlere artan dozlarda selenyum uygulanarak kök ve sürgünlerdeki selenyum fitotoksitesi, taze ve kuru ağırlık, fotosentetik pigmentlere (klorofil-a, klorofil-b, klorofil a+b ve karotenoid), selenyum birikimine etkisi ve monokotiledon ve dikotiledon bitkilerin duyarlılıkları karşılaştırılmıştır. *Hordeum vulgare* dışında selenyum sürgün büyümesi ve kök gelişimini inhibe ettiği belirtilmiştir. Tüm bitkilerin selenyum birikiminin köklerde sürgünlere göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sürgün ve köklerde artan selenyum dozlarında taze ve kuru ağırlık miktarı düşmüştür. *Triticum aestivum* L. ve *Hordeum vulgare* L. bitkilerinde artan dozlardaki selenyum uygulamalarının klorofil a, b, a+b ve karotenoid miktarlarında azalma meydana getirdiği *Sinapis alba* L. ve *Brassica napus* L. bitkilerinde ise artan dozlarla dalgalanmalar gözlemlendiği rapor edilmiştir [37].

Harmankaya (2009), yaptığı çalışmada Orta Anadolu Bölgesi iklim koşullarında yetiştirilen 20 ekmeklik ve 15 makarnalık buğday çeşidinin selenyuma (0-0,2-1 ve 5 mg kg^{-1}) verdiği tepkileri araştırmıştır. Artan selenyum dozları yeşil aksam, tane ve gövde

selenyum konsantrasyonunu ve miktarını önemli derecede artırmıştır. Ortalama yeşil aksam selenyum birikimi ekmeklik genotiplerde sırasıyla 0,0315-3,3-179 ve 2129 mg kg⁻¹, makarnalık genotiplerde ise 0,0308- 2,9-174 ve 1795 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Ortalama tane selenyum birikimi ekmeklik genotiplerde sırasıyla 0,0229-3,2- 29 ve 287 mg kg⁻¹, makarnalık genotiplerde ise 0,0201-3,1- 26 ve 330 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Ortalama gövde selenyum birikimi ekmeklik genotiplerde sırasıyla 0,0351- 1,02- 33 ve 305 mg kg⁻¹, makarnalık genotiplerde ise 0,0308- 0,78-32 ve 414 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Ekmeklik ve makarnalık buğday genotiplerinde kuru madde ve tane verimleri 0,2 mg kg⁻¹ selenyum dozunda artarken, artan dozlarda azaldığı bildirilmiştir [38].

Yao ve ark., (2009), kuraklık stresi altındaki buğday fidelerinde selenyumun etkisinin araştırıldığı çalışmada 0- 0,5-1,0- 2,0 ve 3,0 mg kg⁻¹ dozlarında selenyum uygulanmış klorofil-a, klorofil-b, klorofil (a+b) ve karotenoid miktarlarında 1, 2 ve 3 mg kg⁻¹ konsantrasyonunda önemli artışlar tespit edilmiştir. Katalaz ve peroksidaz enzim aktivitelerinde kontrole göre artışlar gözlenmiştir. MDA miktarında ise artan dozlara bağlı azalmalar bildirilmiştir [39].

Hawrylak-Novak ve ark., (2010), kısa süreli düşük sıcaklık stresi altında yetiştirilen (*Cucumis sativus* L.) cv. Polan F1 hiyarda farklı (0- 2,5- 5-10 ve 20 µM) dozlarda selenyum uygulaması yapılmıştır. İki haftalık bitkilere kısa vadeli alt optimum sıcaklık olarak 24 saat süresince 10/5°C (Gündüz/Gece) soğuğa maruz bırakıldıktan sonra 7 gün boyunca 25/20°C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Selenyum 2,5-10 µM konsantrasyonlarında bitkilerin taze ağırlığına etki etmezken, 20 µM selenyum varlığında sürgünlerin biyokütlesi önemli ölçüde azalmıştır. Selenyum uygulamasıyla klorofil ve karotenoid içeriğinde farklılıklar olmuştur. 2,5-10 µM selenyum uygulanmış bitkilerin kök MDA (malondialdehide) içeriği azalmıştır. 20 µM selenyum dozunda bitki kök ve yapraklarında selenyum birikimi artmıştır. Düşük sıcaklık stresine maruz kaldıktan hemen sonra prolin miktarı önemli ölçüde artarken, 7 gün ısıtma sonrası yaklaşık prolin miktarı 4-9 kat düşmüştür. Selenyum uygulamalarında klorofil-a, klorofil-b ve karotenoid miktarı kontrole göre %3-8 düşerken bu fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır [40].

Gökbulut (2010), hidroponik ortamda yetiştirilen 2 farklı buğday çeşidinde (Gökgöl 79 ve İkizce 96) 1, 10 ve 20 ppm selenyum uygulanarak on günlük buğday fidelerindeki fizyolojik ve biyokimyasal özellikler ile antioksidan enzim aktivitelerine, oksidatif stres belirtisi olan MDA miktarına ve prolin birikimine etkisini araştırmıştır. 10 ppm üstünün boy uzunluğu, taze ve kuru ağırlıkta azalmaya neden olduğu belirtilmiştir. Dokuda biriken MDA (malondialdehide) miktarının ve strese bağlı artan dozlarda prolin miktarının arttığı bildirilmiştir. CAT, APX, SOD, GR, GST ve GPX enzim aktivitelerinin 1, 10 ve 20 ppm selenyum dozlarında arttığı bildirilmiştir. Selenyum birikiminde ise, artan dozlarda selenyum uygulanmış bitkilerin selenyumu biriktirmesi de artmıştır. Gökgöl 79 çeşidinde selenyum birikimi sırasıyla 9,59- 255,15- 223,74 ve 140,16 ppm bulunurken, İkizce 96 çeşidinde ise 0,09-16,86-162,04 ve 34,09 ppm olarak bulunmuştur. Gökgöl 79 buğday çeşidinin İkizce 96 çeşidine göre daha fazla selenyum biriktirdiği bildirilmiştir [41].

Saffar ve ark., (2012), ıspanak (*Spinach oleracea* L.) fidelerine 0, 1, 2, 4, 6 ve 10 mg L⁻¹ dozlarında sodyum selenat uygulanarak hoagland besin solüsyonu içinde 28 gün yetiştirilmiş, selenyumun büyüme ve selenyum birikimine etkisi araştırılmıştır. Kök ve sürgün uzunluğu, kuru ve yaş ağırlık miktarı 1 mgL⁻¹ selenyum konsantrasyonunda kontrole göre artarken artan selenyum dozlarında azalma gözlenmiştir. Yaprak sayısı en

fazla 4 mgL⁻¹ selenyum dozunda gözlenmiştir. Klorofil a, b ve total klorofil miktarı 1 ve 2 mgL⁻¹ selenyum dozunda artarken, artan dozlarda azalma bildirilmiştir. Toplam fenolik bileşikler sürgünde artan dozlarda artarken, köklerde kontrole göre yüksekken artan dozlarda azalma gözlenmiştir. Na⁺ miktarı kök ve sürgünde artan selenyum konsantrasyonlarında azalmış, Ca²⁺ kökte artan selenyum dozlarında artarken sürgünde kontrole göre yüksekken dalgalanmalar olmuştur. K⁺ kökte artan selenyum konsantrasyonunda azalmış, sürgünde ise 2 mgL⁻¹ kadar artarken artan dozlarda azalmıştır [42].

Irmak ve Semercioğlu (2012), yaptıkları çalışmada Çukurova Bölgesi'nde yetiştirilen bazı buğday (*Triticum* Spp.) çeşitlerinde toprak-bitki selenyum içeriği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Selenyum içeriğini analiz etmek için otuz farklı yerden toprak, tane ve yaprak örnekleri toplamışlardır. Yaprak örnekleri sapa kalkma döneminde, tane ve toprak örnekleri ise hasat döneminde alınmıştır. Toprakların selenyum içerikleri 2,84 µg kg⁻¹ ile 19,31 µg kg⁻¹ arasında, yaprak örneklerinin selenyum içerikleri 46 µg kg⁻¹ ile 231 µg kg⁻¹ arasında iken tane örneklerinin selenyum içerikleri 11,3 µg kg⁻¹ ile 626,6 µg kg⁻¹ arasında değiştiği bildirilmiştir. Böylece toprak örneklerinin selenyum içerikleri ile tane ve yaprak örneklerinin selenyum içeriği arasında pozitif bir ilişki bulunmakta, toprakların selenyum içeriği arttıkça tane ve yaprakların da selenyum içeriği arttığı bildirilmiştir [43].

Abbas (2013), yaptığı çalışmada *Sorghum bicolor* L. bitkisi soğuk stresi altındaki genç fidanlarda selenat seviyesinin etkisini araştırmıştır. Sorgum tohumları ekim öncesi 6 saat boyunca 0, 3, 6 ve 12 mg L⁻¹ dozlarında sodyum selenatta ıslatılmıştır. Çimlenme döneminde 7 gün süre ile 4 °C ve 8 °C'de sıcaklığa maruz bırakıldıktan sonra 3 gün boyunca 25 °C bırakılmıştır. Düşük selenyum konsantrasyonları (3 ve 6 mg L⁻¹) selenat uygulaması şeker, prolin, askorbik asit, enzimatik aktivite, klorofil miktarı ve büyümeyi geliştirirken, yüksek konsantrasyonlarda (12 mg L⁻¹) selenat uygulaması toksik etki gösterdiği bildirilmiştir. Karotenoid seviyeleri azalırken enzimatik olmayan antioksidanlar (askorbik asit gibi) artmış göstermiştir. Düşük selenat uygulamasında (3 ve 6 mg L⁻¹) lipid perosidasyonu ürünü olan MDA (malondialdehide) miktarının azaldığı bildirilmiştir (44).

Bazı Mısır (*Zea mays* L.), Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) ve Sudan otu (*Sorghum sudanense*) çeşitlerinde tohum canlılığı üzerine Selenyumun etkisinin araştırıldığı bir çalışmada 5 mısır, 6 sorgum ve 1 adet sudan otu çeşidinde farklı dozlarda (30, 60, 90 mg/L) selenyum uygulaması yapılmıştır. 30 ve 90 mg/L Se uygulaması ortalama çimlenme zamanı (gün) bakımından öne çıkmış, ikinci gün çimlenme parametresinde ise hidropriming ile birlikte Se30 uygulaması diğerlerinden istatistiki olarak farklı grupta yer almıştır (p<0,01) [45].

Ekimden önce iki buğday çeşidi (Kohistan-97ve Pasban-90) tohumlarına 25- 50- 75 ve 100 µM oranlarında Sodyum selenat dozları 30 ve 60 dk boyunca 25 °C'de priming uygulaması yapılarak kurak şartlarda gelişim ve biyokimyasal değişimlerine bakılmış. Çalışma sonucunda 100 µM (1 saat) Se uygulamasının Kohistan-97 çeşidinde %43 oranında biyo kütle artışına sebep olduğu belirlenmiştir. Kurak koşullarda serbest aminoasit birikimi artışına Se da katkı vermiş ve oranı daha da arttırmıştır (75 µM) [46].

İki çeltik çeşidinde (Super ve Shaheen Basmati) 15-30-45-60-75-90 ve 105 µmol L⁻¹ selenyum (Se) solüsyonlarında priming uygulaması yapılmış ve çimlenme ve fide gelişim dönemlerinin hızlandırılmasına etkisi araştırılmış. Se içermeyen kuru ve hidropriming uygulamaları kontrol olarak değerlendirilmiştir. Se 15 ve 60 µmol L⁻¹ dozları priming

uygulaması çimlenmenin erken başlamasına neden olmuştur. 90 ve 105 µmol L⁻¹ dozları ise toksik etkide bulunmuştur [47].

4. Sonuç ve Öneriler

Ana kaynağı toprak olan selenyum elementi insan sağlığı açısından olduğu gibi bitkiler açısından da öneme sahiptir. Özellikle değişen iklim şartlarında biyotik ve abiyotik stres koşulları tarımsal ürünlerde ekonomik anlamda verim düşüşlerine neden olmaktadır. Bu nedenle değişen şartlara uyum sağlamada bitkilere yardımcı olabilecek gübreleme faaliyetleri kapsamında selenyum da dikkate alınmalıdır. Selenyum bitki gelişimine yardımcı olurken bitkilerde belli oranlarda birikerek hayvanlara ve insanlara geçiş yapmaktadır. Selenyum eksikliği görülen topraklarda selenyum gübrelemesi çeşitli araştırmacılar tarafından önerilmekte ve bununla birlikte eksiklik olmayan topraklarda da strese karşı ilave uygulamalar da tavsiye edilmektedir.

Kaynaklar

1. Duntas LH, Benvenega S. Selenium: an element for life. *Endocrine*, 2015;48(3): 756-775.
2. Rosenfeld I, Beath OA. Selenium: geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition. Academic Press. Library of congress catalog card number, 2013;64-21674.
3. Terry N, Zayed AM, De Souza MP, Tarun AS. Selenium in higher plants. *Annual review of plant biology*, 2000;51(1):401-432.
4. Elrashidi MA, Adriano DC, Lindsay WL. Solubility, speciation, and transformations of selenium in soils. *Selenium in Agriculture and the Environment*, 1989;23:51-63.
5. Elrashidi MA, Adriano DC, Workman SM, Lindsay WL. Chemical equilibria of selenium in soils: a theoretical development1. *Soil Science*, 1987;144(2):141-152.
6. Germ M, Stibilj V, Kreft I. Metabolic importance of selenium for plants. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 2007;1(1): 91-97.
7. Gupta M, Gupta S. An overview of selenium uptake, metabolism, and toxicity in plants. *Frontiers in Plant Science*, 2017;7:2074.
8. Mirza H, Hossain MA, Fujita M. Selenium in higher plants: physiological role, antioxidant metabolism and abiotic stress tolerance. *Journal of Plant Sciences*, 2010;5(4):354-375.
9. Li HF, McGrath SP, Zhao FJ. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. *New Phytologist*, 2008;178(1):92-102.
10. Rayman MP. The importance of selenium to human health. *The Lancet*, 2000;356(9225):233-241.
11. Läuchli A. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. *Botanica Acta*, 1993;106(6):455-468.
12. Sors TG, Ellis DR, Salt DE. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis research*, 2005;86(3):373-389.
13. Pilon-Smits EA, Quinn CF. Selenium metabolism in plants. In *Cell biology of metals and nutrients*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010;225-241.
14. White P J. Selenium metabolism in plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects*, 2018;1862(11):2333-2342.

15. Guignardi Z, Schiavon M. Biochemistry of plant selenium uptake and metabolism. In Selenium in plants. Springer, Cham.,2017;21-34.
16. Wang Y, Böck A, Neuhierl B. Acquisition of selenium tolerance by a selenium non-accumulating Astragalus species via selection. Biofactors,1999;9(1):3-10.
17. Kaur N, Sharma S, Kaur S, Nayyar H. Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops. Archives of Agronomy and Soil Science,2014;60(12): 1593-1624.
18. Sager M. Selenium in agriculture, food, and nutrition. Pure and applied chemistry, 2006;78(1):111-133.
19. Olson OE, Novacek EJ, Whitehead EI, Palmer IS. Investigations on selenium in wheat. Phytochemistry, 1970;9(6):1181-1188.
20. Shrift A, Ulrich JM. Transport of selenate and selenite into Astragalus roots. Plant physiology, 1969;44(6):893-896.
21. Cartes P, Gianfreda L, Mora ML. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. Plant and Soil, 2005;276(1-2):359-367.
22. de Souza MP, Lytle CM, Mulholland MM, Otte ML, Terry N. Selenium assimilation and volatilization from dimethylselenoniopropionate by Indian mustard. Plant physiology, 2000;122(4):1281-1288.
23. White PJ, Bowen HC, Parmaguru P, Fritz M, Spracklen WP, Spiby RE, Smith BM. Interactions between selenium and sulphur nutrition in Arabidopsis thaliana. Journal of Experimental Botany, 2004;55(404):1927-1937.
24. Arvy MP. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). Journal of Experimental Botany, 1993;44(6):1083-1087.
25. Rani N, Dhillon KS, Dhillon SK. Critical levels of selenium in different crops grown in an alkaline silty loam soil treated with selenite-Se. Plant and soil, 2005;277(1-2):367-374.
26. Škarpa P, Hajátková I. Účinek aplikace vybraných forem selenu na výnos a kvalitu máku (*Papaver somniferum* L). PhD Thesis. Mendelova Univerzita V Brně Agronomická Fakulta. Brno, Czech Republic, 2011.
27. Çetinsoy MF, Daşgan HY. Hıyar Yetiştiriciliğinde Selenyum ve Silisyum Yaprak Gübrelereinin Etkileri. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2016;5:243-252.
28. Turan MA, Taban S, Sezer SM, Türkmen N. Selenyumca zenginleştirilmiş sarımsak üretimi. Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 2013;27(1):19-26.
29. Hartikainen H, Xue T, Piironen V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. Plant and soil, 2000;225(1-2):193-200.
30. Xue T, Hartikainen H, Piironen V. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce, Plant and Soil, 2001;237:55–61.
31. Khattab H. Metabolic and oxidative responses associated with exposure of *Eruca sativa* (Rocket) plants to different levels of selenium. Int J Agric Biol, 2004;6:1101-1106.
32. Djanaguiraman M, Devi DD, Shanker AK, Sheeba A, Bangarusamy U. Selenium-an antioxidative protectant in soybean during senescence. Plant Soil, 2005;272:77–86.
33. Ramos SJ, Faquin V, Guilherme LRG, Castro EM, Ávila FW, Carvalho GS, Oliveira C. Selenium biofortification and antioxidant activity in lettuce plants fed with selenate and selenite. Plant, Soil and Environment, 2010;56(12):584-588.

34. Yılmaz S. Selenyum uygulamalarının arpada (*Hordeum vulgare* L.) selenyum, kükürt ve azot alımına ve aminoasit içeriğine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.
35. Çakır S. Selenyum Toksisitesinin İki Arpa (*Hordeum vulgare* L.) Çeşitinde (TARM 92, BÜLBÜL 89) Antioksidan Enzim Aktivitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2007.
36. Özdemir Ö. Accumulation of selenium in different wheat genotypes and its protective role against various abiotic stress factors, MSc Thesis, Biological Sciences and Bioengineering, Sabancı University, İstanbul, 2008.
37. Molnárová M, Fargašová A. Se (IV) phytotoxicity for monocotyledonae cereals (*Hordeum vulgare* L., *Triticum aestivum* L.) and dicotyledonae crops (*Sinapis alba* L., *Brassica napus* L.). *Journal of hazardous materials*, 2009;172(2-3):854-861.
38. Harmankaya M. Orta Anadolu bölgesinde toprakların ve buğdayın selenyum düzeyinin belirlenmesi ve selenyum gübrelemesine farklı buğday genotiplerinin tepkisinin araştırılması, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, 2000.
39. Yao X, Chu J, Wang G. Effects of selenium on wheat seedlings under drought stress. *Biological Trace Element Research*, 2009;130(3):283-290.
40. Hawrylak-Nowak B, Matraszek R, Szymańska M. Selenium modifies the effect of short-term chilling stress on cucumber plants. *Biological trace element research*, 2010;138(1-3):307-315.
41. Gökbulut T. Bazı buğday çeşitlerinde selenyum birikimi ve selenyum toksisitesinin antioksidan enzim aktivitesine etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2010.
42. Saffar Y A, Lahouti M, Ganjeali A. The effects of different selenium concentrations on some morpho-physiological characteristics of spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Journal Of Horticultural Science*, 2012;26(3).
43. Irmak S, Semercioğlu T. Çukurova Bölgesi'nde yetiştirilen bazı buğday (*Triticum Spp.*) çeşitlerinde toprak-bitki selenyum içeriği arasındaki ilişki. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2012;5(2):19-23.
44. Abbas SM. Low levels of selenium application attenuate low temperature stress in sorghum [*Sorghum bicolor* L. Moench] seedlings. *Pakistan Journal of Botany*, 2013;45(5):1597-1604.
45. Topal N ve Kenanoğlu BB. Bazı Mısır (*Zea mays* L.), Sorgum (*Sorghum bicolor* L. Moench) ve Sudan otu (*Sorghum sudanense*) Çeşitlerinde Tohum Canlılığı Üzerine Selenyumun Etkisi. Edt; Kaya M, Şener A, Bıçakçı E, Bıyıklı M, Karaman R. Türkiye 13. Ulusal, 1. Uluslararası Tarla Bitkileri Kongresi; 01-04 Kasım 2019; Antalya, Türkiye, 2019: 321-329.
46. Nawaz F, Ashraf MY, Ahmad R, Waraich EA. Selenium (Se) seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. *Biological Trace Element Research*, 2013;151(2):284-293.
47. Khaliq A, Aslam F, Matloob A, Hussain S, Geng M, Wahid A, Rehman H. Seed priming with selenium: consequences for emergence, seedling growth, and biochemical attributes of rice. *Biological trace element research*, 2015;166(2): 236-244.