



KIRGIZİSTAN TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI KONSANTRASYONLARDA UYGULANAN KADMİYUM
(Cd) ELEMENTİNİN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİNİN
MİNERAL BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

HAZIRLAYAN
Dilbara BAKTİBEKOVA

DANIŞMAN
Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİŞKEK, KIRGIZİSTAN
ARALIK 2020



KIRGIZİSTAN TÜRKiYE MANAS UNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
BİYOLOJİ ANA BİLİM DALI

**FARKLI KONSANTRASYONLARDA UYGULANAN KADMİYUM
(Cd) ELEMENTİNİN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİNİN
MİNERAL BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ**

HAZIRLAYAN
Dilbara BAKTİBEKOVA

DANIŞMAN
Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİŞKEK, KIRGIZİSTAN
ARALIK 2020









TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca farklı bakış açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve bu günlere gelmemde en büyük katkı sahibi sayın hocam Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT'e teşekkürü bir borç bilirim.

Deneysel çalışmalarım sırasında karşılaştığım zorlukları aşmamda yardımlarından dolayı Doç. Dr. Kadirbay ÇEKİROV hocama, İlker hocamızın eşi Aslı HOCAOĞLU ÖZYİĞİT'e ve aynı laboratuvarı paylaştığımız çalışma arkadaşım Ayzada ABAKIROVA'ya, teşekkür ederim.

Ayrıca; çalışmalarım süresince sabır göstererek beni daima destekleyen aileme ve arkadaşlarıma en içten teşekkürlerimi sunarım.

Dilbara BAKTİBEKOVA

BİŞKEK 2020

FARKLI KONSANTRASYONLARDA UYGULANAN KADMIYUM (CD) ELEMENTİNİN BUĞDAY (*Triticum aestivum* L.) BİTKİSİNİN MİNERAL BESLENMESİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dilbara BAKTİBEKOVA

Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Aralık 2020

Danışman: Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT

KISA ÖZET

Günümüzde artan nüfus ve trafik yoğunluğu, sanayinin gelişmesiyle birlikte çevreye ağır metal salınımının artmasına neden olmuş ve çevre kirliliği dünya çapında en yüksek seviyeye ulaşmıştır. Kimyasal ürünler, gübreler, endüstriyel boyalar, inşaat malzemeleri, gümüş diş dolguları ve aşılar, çevreye maruz kalan iyi bilinen ağır metal kaynaklarından bazılarıdır. Zehirli ağır metaller normalde canlıların vücut kısımlarında çok düşük seviyelerde bulunabilir, ancak daha yüksek konsantrasyonlarda türe ve süreye bağlı olarak toksik etkiler gösterebilirler. Ağır metaller arasında kadmiyum çevreye, insanlara, hayvanlara ve bitkilere en zararlı olanlardan biridir ve düşük konsantrasyonlarda bile toksik olabilir. Bu nedenle bu çalışmada buğday (*Triticum aestivum* L.) bitkilerine farklı konsantrasyonlarda (0 kontrol için, 50, 100, 200 ve 400 µM deney grupları için) Cd uygulanmış ve bazı büyüme, gelişme, fizyolojik ve anatomik parametreler ölçülmüştür. Sonuç olarak, buğday bitkilerinin bazı parametreler açısından daha düşük stresi yönetebildikleri halde tüm Cd konsantrasyonlarından etkilendiği görülmüştür. Ayrıca deney dönemi boyunca canlı kalmasına rağmen bitkilerin daha yüksek seviyelerde Cd stresinden olumsuz etkilendiği görülmüştür. *Triticum aestivum* L. bitkisinin kök, gövde ve yapraklarında B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn konsantrasyonları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında artan Cd konsantrasyonuyla ters orantılı olarak düşmüştür. Kökte, gövdede ve yaprakta Cu içeriği artan Cd konsantrasyonuna maruz kalma neticesinde 50µM konsantrasyonda artış görülmüştür. Bu artış ve azalmalar belli bir dereceye kadar bitkinin stresle mücadele edebilmek için çaba harcadığını ve başarılı olduğunu ancak belli bir derece stresin üstünde ise yetersiz kaldığını bize göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır metal, buğday, çevre kirliliği, kadmiyum, mineral beslenme

**АР ТҮРДҮҮ КОНЦЕНТРАЦИЯДАГЫ КАДМИЙ (CD) ЭЛЕМЕНТИНИН
БУУДАЙ (*Triticum aestivum* L.) ӨСҮМДҮГҮНҮН МИНЕРАЛДЫК
АЗЫКТАНУУСУНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ.**

Дилбара БАКТЫБЕКОВА

Кыргыз-Түрк «Манас» университети, Табигый илимдер институту

Магистрдик иш, бештин айы 2020

Илимий жетекчи: Проф. Док. ӨЗЙИГИТ И.И

МАЗМУНУ

Акыркы жылдарда калктын санынын тынымсыз өсүшүнө байланыштуу азык-түлүк муктаждыктарын канааттандыруу эң негизги көйгөйлөрдүн бири. Маселени чечүү үчүн азык-түлүк өндүрүү менен керектөөнүн ортосунда тең салмактуулукту орнотуу, айыл чарба иштерин өркүндөтүү жана жогорку түшүм алуу зарыл. Бирок учурдагы айыл чарба жерлеринин азайышы, түшүмдүүлүктү жогорулатуу, зыянкечтер менен күрөшүү, айыл чарба жерлеринин ашыкча, көзөмөлсүз, тез тез иштетүү сыяктуу иш аракеттер курчап турган чөйрөнүн булганышына, айрым учурда айыл чарба жерлеринин толугу менен жараксыз болуп калуусуна алып келүүдө. Түрдүү биотикалык, абиотикалык, антропогендик факторлор өсүмдүктүн өсүшүнө жана өнүгүшүнө терс таасирин тийгизип, түшүмдүүлүгү менен бирге сапатын да азайтат.[1] Маанилүү стресстик факторлордун бири - жаратылыштагы индустриялаштыруу жана урбанизациядан келип чыккан айлана-чөйрөнүн булганышы.[2] Акыркы жылдары индустриялаштыруу жана адамдардын иш-аракеттеринен улам топурак, суу жана абада кеңири топтоло баштаган оор металлдар бардык организмдердин жашоосуна коркунуч туудурган маанилүү чөйрө булгагычы болуп саналат. Тыгыздыгы 5 гр/см²тан жогору же атомдук салмагы 50 жана 50 дөн ашкан элементтер "оор металлдар" деп аталат. Айлана-чөйрөнүн булганышы сыяктуу эле, оор металлдар менен булгануудан жабыр тартуучу биринчи топ өсүмдүктөр болуп саналат.[3] Өнөр жай иш-аракеттери, автотранспорттун түтүктөрүнөн чыккан газдар, кен чыккан жерлер жана ишканалар, жанар тоолордун активдүүлүгү, жогорку металл калдыктарын сатоочу жайлар, коргошундуу бензинди жана боёкторду колдонуу, нефть-химиялык заттардын иштетилүүсү, шаар калдыктары оор металлдардын топуракка, сууга жана абага таралышына себепчи болгон негизги факторлор болуп саналат [4], [5], [6], [7]. Оор металлдардын ичинен Zn, Ni, Co жана Cu өсүмдүктөргө көбүрөөк, ал эми As, Cd, Pb, Cr жана Hg жаныбарларга көбүрөөк таасир этет [8]. Айыл чарба иш-аракеттеринде, агынды суулар менен сугаруу, таштандылар, пестициддер жана жер семирткичтерди көп колдонуу сыяктуу иш-чаралар металлдык булганууну жогорулатат. Өсүмдүктөр оор металлдардын зыянына чыдай алышат; Аларда аминокислота, ферритин, оор металлотианин жана фитохелатин сыяктуу молекулалар менен комплекстүү түзүлүштөрдү куруу, клетка дубалдары, вакуол сыяктуу метаболизм жолунан алыс жерлерде топтоо, антиоксидант ферменттеринин жана антиоксидант молекулаларынын көлөмүн көбөйтүү, клеткалардын мембраналарын калыбына келтирүү сыяктуу көптөгөн коргонуу

механизмдери бар [9], [10], [11], [12], [13], [14]. Бирок жогорку концентрациядагы оор металлдар өсүмдүктөрдүн вегетативдик органдарына макроскопиялык, микроскопиялык жана физиологиялык жактан таасир этет. Топурактардагы оор металлдын концентрациясы: Cd үчүн 1 мг/кг, жез үчүн 0,1 мг/кг, кобальт үчүн 10 мг/кг, селен үчүн 10 мг/кг, ванадий үчүн 0,5-1 мг/кг, никель үчүн 100 мг/кг. Изилдөөлөр өсүмдүктөрдүн жалбырактары аркылуу атмосферага оор металлдарды, аз болсо да сиңире алаарын көрсөткөнү менен [15], [16], оор металлдарды сиңирүү негизинен тамырлар аркылуу жүрөт [3]. Өсүмдүктөр тамырынан топурактан алган оор металлдар сабакка жана жалбырактарга ксилема аркылуу берилет. Тамыр аркылуу алынган оор металлдар ксилемага апопластикалык же симпластикалык жол менен жетет. Өтө оор металл концентрациясына дуушар болгон өсүмдүктөрдөгү тамырлар кадимки өсүмдүктөрдүн тамырларына караганда кыска жана каптал тамырлардын азайышы байкалат. [17], [13]. Оор металлдар көптөгөн физиологиялык кубулуштарда, мисалы, суу жоготуу, стома кыймылы, суу алуу, өнүү, энзим активдүүлүгү, фотосинтез, белоктун синтези, мембрананын туруктуулугу жана өсүмдүктөрдөгү гормоналдык баланс сыяктуу процесстерде өзгөрүүлөргө алып келиши мүмкүн [18]. Жалпысынан, өсүмдүктөрдөгү оор металлдардын уулануусунун тышкы белгилери жалбырактарда хлороз жана некроздун пайда болушу, сабактын жана тамыр бөлүктөрүнүн деформациясы сыяктуу белгилер катары байкалат [19] Cd, Hg жана Pb оор металлдардын арасында эң күчтүү уулуу таасирлерге ээ [20].

Топурактагы кадмийдин (Cd) табигый деңгээли өтө төмөн. Бирок, ар кандай антропогендик булактар аркылуу топуракка Cd кирүү жолдору бар. Өнөр жай ишканаларынан чыккан зыяндуу заттар, Cd камтыган сугат суусун пайдалануу, айыл чарба жерлериндеги саркынды суулардын калдыктарын пайдалануу жана жер семирткичтерди чачуу жер кыртышынын Cd курамынын көбөйүшүнө алып келет. Топурактагы кадмийдин 54-58% фосфор жер семирткичтеринен, 39-41% атмосферадан, 2-5% таштандылардан жана айыл чарба кыктарын чачуудан келип чыгат [21], [22], [23]. Башка изилдөөлөргө ылайык, Cd булгангандыгынын көпчүлүгү адамдардын чарбалык иш-аракеттеринен улам болот: суюк жана катуу отундарды күйгүзүү, эритүү жана куюу иштери, топуракка колдонулган химиялык заттар, анын ичинде калдыктар жана Cd көп болгон жер семирткичтер [24], [6] Айыл чарба топурактары үчүн идеалдуу Cd концентрациясы 3 мг кг⁻¹, адатта 0,1 мг кг⁻¹ түзөт [25]. Изилдөөлөрдүн натыйжасында дүйнөлүк айыл чарба топурактарынын курамында орточо Cd концентрациясы 0,53 мг кг⁻¹ [26] экендиги аныкталган. Өсүмдүктөрдүн зат алмашуу процесстери үчүн маанилүү эмес болгон Cd фитотоксикалык, цитотоксикалык, мутагендик жана канцерогендик агенттеринин бири болуп эсептелет. Cd эригичтиги жана кыймылдуулук жөндөмдүүлүгү жогору болгондуктан, ал башка уулуу элементтерге караганда бир кыйла төмөн концентрацияда дагы активдүү жана анын өсүмдүктөргө сиңимдүүлүгү да жогору [27].

Табиятта ар кандай формада кездешип, организмге ар кандай жолдор менен кабыл алынган кадмийди тирүү организмден чыгаруу мүмкүн болбогондуктан, организмге ар кандай биологиялык зыян келтирет. Cd, уулуу оор металл,

өсүмдүктүн тамыры менен оңой эле алынып, жалбырактарга жеткирилет [28], [14] айтымында, Cd уулануусунун эң олуттуу таасири жалбырактардын өсүшүн, жалбырактардын жайылышын токтотот. Өсүмдүктөрдө кадмий топтолушу биохимиялык жана физиологиялык процесстерде көйгөйлөрдү жаратат жана натыйжада өсүмдүктөрдүн өсүшү жана морфологиясы өзгөрөт [29]. Изилдөөлөрдүн натыйжасында кадмий уруктун өнүп чыгышын [30] жана өсүмдүктөрдүн өсүшүн басаңдатары аныкталды [31]. Өсүмдүктөрдө кадмий топтолушу, фотосинтездеги көйгөйлөр [32], аш болумдуу заттардын бөлүштүрүлүшү тоскоолдук [33] жана өсүмдүктө суунун таралуусуна тоскоолдук [34] жалбырак хлорозу, жалбырак жана тамырдын некрозу, ошондой эле өсүштүн жалпы кыскарышы [35], өсүштүн басаңдашы жана өлүм [36], [37] сыяктуу терс таасирлерге себеп болот. Өсүмдүктөрдөгү Cdдин нормалдуу чеги 0,2-0,8 мг кг⁻¹ ортосунда, ал эми кадмийдин уулуу концентрациясы 5-30 мг кг⁻¹ деп аныкталган [38], [39].

Буудай (*Triticum*) - ар кандай климаттык жана кыртыш шарттарында өстүрүлө турган жана бүткүл дүйнө жүзү боюнча өстүрүлгөн, буудай гүлдүүлөрклассынын буудайлар тукумуна (*Poaceae*) таандык бир жылдык чөп өсүмдүк [40]. Буудай эгилген дан эгиндеринин арасында биринчи орунда турат [41]. Дан эгиндери адамдын протеинге жана углеводго болгон муктаждыгынын жарымын камсыз кылат. Бул өзгөчөлүгү менен ал дүйнө калкына жана мал чарбачылыгына керектүү азык-түлүктү канааттандырууда маанилүү ролду ойнойт [42]. Буудай өсүмдүгүндө диплоиддик ($2n = 14$ хромосома), тетраполид ($2n = 28$ хромосома), гексапloid ($2n = 42$ хромосома) түрлөрү бар. Буудай азыктарынан алынган ун, булгур, макарон, крахмал сыяктуу тамак-аш азыктары адамдын тамактануусунда колдонулат; Буудай өсүмдүгүнүн сабагы кагаз-картон өнөр жайында жана жаныбарларды азыктандырууда колдонулат. Ар бир өлкө үчүн буудайдын жетиштүү көлөмдө өндүрүлүшү жана анын кампасында буудай продуктуларынын жетиштүү болушу стратегиялык жактан маанилүү. Буудай данынын курамында болжол менен 12% суу, 70% углевод, 12% белок, 2% май, 2,2% целлюлоза жана 1,8% күл бар. Углеводдордун булагы болгон буудай унду жана башка нан азыктарын өндүрүүдө колдонулат жана бул биздин күндөлүк тамактануубузга кенен колдонулат. Буудай жана буудай азыктары курамындагы углеводдордун көптүгүнөн энергия берет жана белок, липид, B1 жана ниацин сыяктуу маанилүү азыктарды камтыйт [43]. Бүгүнкү күндө, USDA дүйнөлүк буудайынын маалыматтары боюнча, анын айдоо аянты 222,29 га, өндүрүмдүүлүгү 770,49 млн. тонна жана түшүмдүүлүгү гектарына 3,47 тоннаны түзөт [44].

Бул изилдөөдө Кыргызстанда кенири өстүрүлгөн *Triticum aestivum* L. өсүмдүгүнө ар кандай концентрациядагы Cd стресси кандай таасир этери изилденген. Бул изилдөөдө Кыргызстанда өстүрүлгөн *Triticum aestivum* L. өсүмдүгүнүн “Интенсивная” сорту колдонулган. Үрөндөр Кыргызстан айыл чарба институтунан алынган. Өсүмдүктөрдү өстүрүү Кыргыз Түрк Манас Университетинин табигый илимдер факультетинин Биология бөлүмүнүн “өсүмдүктөрдү өстүрүү бөлмөсүндө” өстүрүлдү. Күн алыс сугарылып, 10-14 күн соң уруктар өнүп чыкты, 45 күн бою кадимки суу менен сугарылган соң, контроль, 50, 100, 200, 400 мкМ изилдөө

группаларына бөлүштүрүп, CdCl_2 эритмеси менен 45 күн сугарылды. Үлгүлөр алынгандан кийин, контролдук жана тажрыйба топторунун жогорку жана төмөнкү жалбырактары жана сабагынын узундугу сызгычтын жардамы менен өлчөнүп, орточо маанилер эсептелген. Өсүмдүктүн жалбырак, сабак, тамырынан алынган үлгүлөрүндө Cd топтолушун жана ага байланыштуу B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni жана Zn элементтеринин концентрациясын аныктоо индуктивдүү бириктирилген плазмадагы атомдук-эмиссиялык спектроскопия (Inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy) ыкмасы менен ICP-OES Optima 7000 DV аппаратында ишке ашырылды. Жалбырактын стома жана түк санын саноодо Nikon Eclipse 50i изилдөө микроскобу колдонулду.

Контролдоо жана тажрыйба топторуна кирген *Triticum aestivum* L. өсүмдүктөрүнүн тамырларында, сабактарында жана жалбырактарында Cd топтолуусу жана чирип, булганбашы үчүн B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni жана Zn элементтерин өлчөө үчүн тандалган өсүмдүк үлгүлөрү блоттер кагазынан жасалган конверттерге салынып, 80 ° C температурада иштеген термостатта 24 саат сакталды. Үлгүлөр маркаланып полиэтилен баштыктарына салынган. Мармара Университетинин Искусство жана Илимдер Факультети Биология бөлүмүнүн Изилдөө лабораторияларында оор металлдарды жана минералдык азыктарды аныктоо боюнча алдын-ала анализдик изилдөөлөр жүргүзүлдү. Тамыр, сабак жана жалбырактын үлгүлөрү так тараза менен өлчөнүп, эрүү тутумундагы тефлон клеткаларына салынган. Изилдөөдө сезгич тараза менен өлчөнгөн тамыр, сабак, жалбырак жана топурактын үлгүлөрү жабык тутумдагы микротолкундуу эритүү тутумунун жардамы менен суюлтулган. Эрүү процессинде жогорку температурага жана басымга туруктуу тефлон идиштери колдонулган. 0,2 грамм өсүмдүктөрдүн үлгүлөрү таразага тартылып, тефлон идиштерине салынган. Андан кийин аларга 8 мл. HNO_3 кошулуп, эритүү процесси акырындык менен Erghof брендинин Mws2 үлгүсүндөгү микротолкундуу меште 145 градус 5 мүнөт, 165 градус 5 мүнөт жана акыры 175 градус 20 мүнөт жүргүзүлдү. Микротолкундуу мештен кийин бөлмө температурасындагы суу мончосунда клеткаларды 20 мүнөт муздатылган. Клеткалар суу менен жууп, 50 мл жеткенге чейин филтрлөө жолу менен 50 мл түтүкчөлөрүнө куюлган. Merck фирмасынын Perkin Elmer бренди ICP-OES Optima 7000 DV аппараты менен Бахчешехир Университетинин Инженердик Факультетинин Экологиялык Инженердик Бөлүмүнүн лабораториясында элементтерди аныктоо үчүн анализден өттү.

Бул изилдөөдө ар кандай CdCl_2 концентрациясына (0, 50, 100, 200 жана 400 мкМ) кабылган буудайдын көчөттөрүндө жалбырактын узундугу жана туурасы (жогорку жана төмөнкү), жана жалпы хлорофилл көлөмү (жогорку жана төмөнкү жалбырактар) талданган. Алынган жыйынтыктарга ылайык, үстүнкү жалбырактын узундугу (см менен) контроль тобуна караганда (18.08) 50 жана 100 мкМ көбөйүп (19.57 жана 20.32) 200 жана 400 мкМ (14.43 жана 16.77) Cd колдонулган топтордо кыскаргандыгы байкалган. Жогорку жалбырактын туурасы (мм менен) 50 мкМ Cd колдонулган группа жана контролдук топ бирдей бойдон (5,17), ал 100, 200 жана 400 мкМ (4,00, 4,50 жана 4,17) төмөндөгөн. Төмөнкү жалбырактын узундугу контроль тобуна караганда (19.83) 50 жана 400 мкМ Cd колдонмолорунда (21.50

жана 21.80) көбөйүп, 100 жана 200 мкМ (18.78 жана 19.33) кыскарган. Төмөнкү жалбырактын кеңдиги (мм менен) контроль тобуна караганда (4.33) 50 мкМ Cd колдонууда жогорулап (4.83) 100, 200 жана 400 мкМ (3.83, 3.78 жана 3.67) төмөндөгөнү байкалган. Бул учурда, белгилүү бир деңгээлден жогору болгон Cd стресси буудайдын жалбырактын туурасын азайтуучу таасири бар деп айтууга болот. Кээ бир олку-солкулуктар болгонуна карабастан, колдонулган бардык Cd концентрациясында сабак узундугу (16.57, 12.20, 13.02 жана 8.52) кыскарганы байкалган, контроль тобуна караганда (18.95).

Бул изилдөөдө, жогорку жана төмөнкү жалбырактардагы хлорофиллдин жалпы курамы хлорофилл өлчөөчү шайман (ССМ-300) аркылуу өлчөнгөн. Демек, жогорку (2.09, 2.04 жана 1.99) жана төмөнкү жалбырактардагы (2.11, 2.58 жана 1.82) хлорофиллдин жалпы көрсөткүчтөрү контролдоого салыштырмалуу (жогорку жалбырактар үчүн 1.75 жана төмөнкү жалбырактар үчүн 1,70), 50, 100 жана 200 мкМ Cd эритмесинде жогорулаган, бирок бул маани контролдоого салыштырмалуу Cd концентрациясынын жогору болгондо (400 мкМ) төмөндөгөн (үстүнкү жалбырактар үчүн 1,67 жана төмөнкү жалбырактар үчүн 1,63). Изилдөөнүн дагы бир этабында жалбырактардын төмөнкү беттеринен туурасынан кесилиштер алынып, абаксиалдуу жалбырак беттеринин үт тешиктеринин жана түк саны (1мм² аянтка) эсептелген. Буудай өсүмдүктөрүнүн үт тешиктерине Cd стресси терс таасирин тийгизгендиги байкалган, контролдук группада 1мм² жердин бетиндеги стоматалардын саны 15,75 түзгөн 50, 100, 200 жана 400 мкМ Cd колдонулганда, бул маани 13.00, 12.63, 7.75 жана 3.20га чейин төмөндөгөн.

Жыйынтыктар бизге Cd таасиринин натыйжасында өсүмдүктүн структуралардагы макро жана микроэлементтеринин курамы өзгөргөнүн айкын көрсөттү. *Triticum aestivum* L. өсүмдүгүнүн тамырларындагы, сабактарындагы жана жалбырактарындагы B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn концентрациясы контролдоо тобуна салыштырмалуу Cd концентрациясы жогорулаган сайын азайган. Тамыры, сабагы жана жалбырактарындагы Cu курамы Cd концентрациясынын жогорулашынын натыйжасында 50 мкМ концентрациясында көбөйгөн, бирок Cd концентрациясынын жогорулашы менен Cu курамы төмөндөгөн. Контролдоо тобу менен салыштырганда, K концентрациясы тамырда, жалбыракта жана сабакта 50 мкМ жана 100 мкМ жогоруласа, 200 мкМ жана 400 мкМ төмөндөгөн деп аныкталды. Ошо сыяктуу эле, Na үчүн контролдук топ менен салыштыруунун натыйжасында Na, 50 мкМ жана 100 мкМ тобунда, тамырында, сабагында жана жалбырактарында жогорулаган, ал эми Cd концентрациясы 200 мкМ жана 400 мкМ топторунда төмөндөгөн. Бул жогорулоо жана төмөндөө өсүмдүктөр стресс менен күрөшүү үчүн белгилүү бир деңгээлде күч-аракет жумшап, ийгиликтүү иштеп жаткандыгын көрсөттү, бирок стресстин жогорулоосу менен бул жетишсиз экендигин көрсөтүүдө.

**АР ТҮРДҮҮ КОНЦЕНТРАЦИЯДАГЫ КАДМИЙ (CD) ЭЛЕМЕНТИНИН
БУУДАЙ (*Triticum aestivum* L.) ӨСҮМДҮГҮНҮН МИНЕРАЛДЫК
АЗЫКТАНУУСУНА ТИЙГИЗГЕН ТААСИРИ.**

Дилбара БАКТЫБЕКОВА

Кыргыз-Түрк «Манас» университети, Табигый илимдер институту

Магистрдик иш, бештин айы 2020

Илимий жетекчи: Проф. Док. ӨЗЙИГИТ И.И

КЫСКАЧА МАЗМУНУ

Бүгүнкү күндө калктын санынын өсүүсү, жол кыймылынын тыгыздыгынын жогорулоосу жана өнөр жайынын өнүгүүсү менен биргеликте айлана-чөйрөнүн оор металлдар менен булгануусу артууда жана бул көйгөй дүйнө жүзү боюнча эң жогорку деңгээлге жетти. Ар кандай химиялык заттар, жер семирткичтер, өнөр жай боёктору, курулуш материалдары жана вакциналар айлана-чөйрөгө таасир этүүчү оор металлдардын булактары болуп саналат. Адатта, оор металлдарды тирүү жандыктардын дене бөлүктөрүндө өтө төмөн деңгээлде кездештирүүгө болот, бирок, бул оор металлдар жогору концентрацияда болгон учурда түрүнө жана организмде кармалган убактысына жараша уулуу таасирлерге ээ. Оор металлдардын ичинен кадмий айлана-чөйрөгө, адамдарга, жаныбарларга жана өсүмдүктөргө эң зыяндуу заттардын бири болуп саналат жана төмөн концентрацияда да токсикалуу. Ошондуктан, бул изилдөөдө буудай (*Triticum aestivum* L.) өсүмдүгүнө ар кандай концентрациядагы кадмий эритмеси (контрол үчүн 0, эксперименталдык топтор үчүн 50, 100, 200 жана 400 мкМ) колдонулуп, бул өсүмдүктүн айрым өсүү, өнүгүү, физиологиялык жана анатомиялык параметрлери өлчөнгөн. Натыйжада, буудай өсүмдүктөрүнө кадмийдин бардык концентрациялары таасир эткендиги байкалган, бирок, алар кээ бир параметрлер боюнча стрессти төмөндөтө алышкан. Ошондой эле, өсүмдүктөрдүн эксперименталдык топтору сыноо мезгили учурунда куурабастан, өсүүсүн уланта беришкендигине карабастан, кадмий стрессинин жогорку деңгээлинин терс таасирлерине дуушар болгондугу байкалды. *Triticum aestivum* L. өсүмдүгүнүн тамыр, сабак жана жалбырактарындагы B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn элементтеринин концентрациясы контролдук топко салыштырмалуу кадмий элементинин концентрациясы жогорулаган сайын азайган. Тамырдагы, сабактагы жана жалбырактагы Cu элементинин камтылуусу кадмийдин 50 мкМ концентрациясынын таасири учурунда жогорулаган. Өсүмдүктөрдөгү элементтердин концентрацияларынын мындай өзгөрүүлөрү, өсүмдүктөрдүн стресс менен күрөшүү үчүн белгилүү бир деңгээлде күч-аракет жумшап, ийгиликтүү иштеп жаткандыгын көрсөттү, бирок бул коргонуу процесси стресс деңгээлинин улам жогорулоосу менен жетишсиз экендиги байкалды.

Ачкыч сөздөр: Оор металл, буудай, айлана-чөйрөнүн булганышы, кадмий, минералдык азыктануу

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЭЛЕМЕНТА КАДМИЯ (CD) НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ ПШЕНИЦЫ (*Triticum Aestivum* L.)

Дилбара БАКТЫБЕКОВА

Кыргызско-Турецкий университет «Манас», Институт Естественных наук

Магистерская диссертация, декабрь 2020

Научный руководитель: Проф. Док. ОЗЙИГИТ И.И

АННОТАЦИЯ

В настоящие дни, наряду с ростом населения, увеличивающимися плотностью движения на дорогах и развитием промышленности, увеличивается загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, и эта проблема достигла самого высокого уровня в мире. Различные химические вещества, удобрения, промышленные краски, строительные материалы и вакцины являются источниками тяжелых металлов. Тяжелые металлы обычно могут быть обнаружены в очень низких концентрациях в частях тела живых существ, но при более высоких концентрациях они могут оказывать токсическое действие в зависимости от их типа и времени, в течение которого они остаются в организме. Среди тяжелых металлов кадмий является одним из самых вредных для окружающей среды, людей, животных и растений и может быть токсичным даже при низких концентрациях. Поэтому в данном исследовании раствор кадмия в различных концентрациях (0 для контроля, 50, 100, 200 и 400 мкМ для экспериментальных групп) применялись к растениям пшеницы (*Triticum aestivum* L.) и измеряли некоторые физиологические и анатомические параметры роста и развития. В результате было замечено, что растения пшеницы были затронуты всеми концентрациями кадмия, но по некоторым параметрам могли справляться с меньшим стрессом. Также было замечено отрицательное влияние высокого кадмиевого стресса, при этом все экспериментальные группы не высохли и продолжали расти на протяжении всего испытательного периода.

Концентрации таких минералов как; B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn в корнях, стеблях и листьях растения *Triticum aestivum* L. снижались с увеличением концентрации кадмия по сравнению с контрольной группой. Содержание Cu в корнях, стеблях и листьях увеличивалось при концентрации 50 мкМ кадмия.

Такие изменения концентраций элементов в растениях показали, что растения в определенной степени способны справляться со стрессом, но этот защитный процесс недостаточен при повышении уровня стресса.

Ключевые слова: тяжелые металлы, пшеница, загрязнение окружающей среды, кадмий, минеральное питание.

THE EFFECTS OF CADMIUM (CD) ON MINERAL NUTRITION OF WHEAT (*Triticum Aestivum* L.) APPLIED IN DIFFERENT CONCENTRATIONS

Dilbara BAKTYBEKOVA

Kyrgyzstan-Turkish Manas University, Graduate of School and Applied Sciences

Master's thesis, December 2020

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İbrahim İlker ÖZYİĞİT

ABSTRACT

Nowadays, increasing population and traffic density has caused higher levels of heavy metal emissions into the environment, as a result of the development of industry, and environmental pollution has reached the highest level worldwide. Chemical products, fertilizers, industrial dyes, building materials, silver dental fillings and vaccines are some of the well-known sources of heavy metals that are exposed to the environment. Toxic heavy metals can normally be found in very low levels in body parts of living beings, but at higher concentrations they can exhibit toxic effects depending on the species and duration. Among the heavy metals, cadmium is one of the most harmful to the environment, humans, animals and plants, and can be toxic even at very low concentrations. Therefore, in this study, CdCl₂ (0 for control, 50, 100, 200 and 400 µM for experimental groups) were applied to wheat (*Triticum aestivum* L.) plants in different concentrations of and some growth, development, physiological and anatomical parameters were measured. As a result, it was observed that wheat plants were affected by all applied Cd concentrations. Also, it was observed that they could manage lower stress in terms of some parameters. It was also observed that the plants were adversely affected by higher levels of Cd stress, although they remained alive throughout the experimental period. Concentrations of B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn in the roots, stems and leaves of *Triticum aestivum* L. plants decreased inversely with the increasing Cd concentration compared to the control group. Cu content in root, stem and leaf increased at 50µM concentration as a result of increasing Cd exposure. These increases and decreases have shown us that the plant makes an effort to manage stress to a certain extent, but it is insufficient above a certain degree.

Key words: heavy metals, wheat, environmental pollution, cadmium, mineral nutrition.

İÇİNDEKİLER

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK	Ошибка! Закладка не определена.
ПЛАГИАТ ЖАСАЛБАГАНДЫГЫ ТУУРАЛУУ БИЛДИРҮҮ	Ошибка! Закладка не определена.
YÖNERGEYE UYGUNLUK	Ошибка! Закладка не определена.
ЭРЕЖЕЛЕРГЕ БАШ ИЙҮҮ	Ошибка! Закладка не определена.
KABUL VE ONAY	vii
КАБЫЛ АЛУУ ЖАНА ЧЕЧИМ	viii
TEŞEKKÜR.....	v
KISA ÖZET	vi
МАЗМУНУ.....	vii
КЫСКАЧА МАЗМУНУ.....	xii
АННОТАЦИЯ	xiii
ABSTRACT.....	xiv
İÇİNDEKİLER	xv
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xvii
TABLolar LİSTESİ	xviii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xix
BÖLÜM I	1
1. GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
BÖLÜM II	7
2. GENEL BİLGİLER.....	7
2.1. Buğday.....	7
2.2. Buğdayın Kimyasal Yapısı	9
2.3. Ağır Metaller	10
2.4. Bitkiler Tarafından Ağır Metallerin (İz Element, Metaller) Alınımı	12
2.5. Metallerin Bitkilere Taşınımı	12
2.6. Ağır Metallerin Bitkilerde Meydana Getirdiği Hasarlar.....	13
2.6.1. Morfolojik Özelliklere Zararları	13
2.6.2. Biyokimyasal Düzeyde Zararları	13
2.7. Kadmiyum	14
2.8. Yüksek Bitkilerde Kadmiyum Toksisitesinin Etkileri.	16
2.9. Literatür Çalışmaları	18
BÖLÜM III	21

3.	Materyal ve Yöntem.....	21
3.1.	<i>Triticum aestivum</i> L. Bitkisinin in vitro Ortamda Gelişimi.	21
3.2.	Büyüme Parametrelerinin Ölçülmesi	23
3.3.	Cd Akümülayonu ve Mineral Besin Elementlerinin Tayini	23
3.4.	Laboratuvar Çalışmaları	23
BÖLÜM IV.....		25
4.BULGULAR.....		25
4.1.	Cd Stresinin <i>Triticum aestivum</i> L. Bitkisi Büyüme Parametreleri Üzerine Etkisi	25
4.2.	Cd Stresi ve Mineral Beslenme Üzerine Etkileri	29
4.3.	Cd Stresinin <i>Triticum aestivum</i> L. Bitkisi Yapraklardaki Stoma ve Tüy Sayısı Üzerine Etkisi	48
BÖLÜM V.....		49
5.	SONUÇ VE TARTIŞMA.....	49
KAYNAKÇA.....		54
ÖZGEÇMİŞ		63

KISALTMALAR LİSTESİ

As	Arsenik
ATP	Adenozin Trifosfat
B	Bor
Ca	Kalsiyum
Cd	Kadmiyum
Co	Kobalt
Cr	Krom
Cu	Bakır
EC	Enzim Komisyonu numarası
ETS	Elektron taşıma sistemi
Fe	Demir
Hg	Cıva
HGCA	The Home-Grown Cereals Authority
ICP-OES	Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometers
K	Potasyum
MDA	Malondialdehit
Mg	Magnezyum
Mn	Mangan
Na	Sodyum
Ni	Nikel
Pb	Kurşun
PSI	Fotosistem I
PSII	Fotosistem
SA	Salisilik Asid
SSCB	ovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
Zn	Çinko

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2. 1. Buğday tanelerindeki mineral maddelerin içeriği. [43]	9
Tablo 2. 2. Buğday tanelerindeki amino asit içeriği. [43]	10
Tablo 4. 1. <i>Triticum aestivum</i> L. bitkisinin büyüme parametreleri.....	25



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3. 1. Seçilen tohumların ekilmesi	21
Şekil 3. 2. Çimlenen bitkiler	22
Şekil 3. 3. Yetiştirilmiş bitkilerin grublara ayrılması	22
Şekil 4. 1. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde gövde uzunluğu (cm) değerleri	25
Şekil 4. 2. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak uzunluk (cm) değerleri	26
Şekil 4. 3. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak uzunluk (cm) değerleri	26
Şekil 4. 4. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak genişlik (mm) değerleri	27
Şekil 4. 5. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak genişlik (mm) değerleri	27
Şekil 4. 6. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak klorofil değerleri	28
Şekil 4. 7. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak klorofil değerleri	28
Şekil 4. 8. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Cd mineralinin miktarları.....	29
Şekil 4. 9. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde B mineralinin miktarları.....	29
Şekil 4. 10. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Ca mineralinin miktarları.....	30
Şekil 4. 11. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Cu mineralinin miktarları.....	30
Şekil 4. 12. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Fe mineralinin miktarları.....	31
Şekil 4. 13. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde K mineralinin miktarları.....	31
Şekil 4. 14. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Mg mineralinin miktarları.....	32
Şekil 4. 15. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Mn mineralinin miktarları.....	32
Şekil 4. 16. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Na mineralinin miktarları.....	33
Şekil 4. 17. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Ni mineralinin miktarları.....	33
Şekil 4. 18. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Zn mineralinin miktarları.....	34
Şekil 4. 19. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Cd mineralinin miktarları.....	35
Şekil 4. 20. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında B mineralinin miktarları.....	35
Şekil 4. 21. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Ca mineralinin miktarları.....	36
Şekil 4. 22. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Cu mineralinin miktarları.....	36

Şekil 4. 23. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Fe mineralinin miktarları.....	37
Şekil 4. 24. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında K mineralinin miktarları.....	37
Şekil 4. 25. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Mg mineralinin miktarları.....	38
Şekil 4. 26. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Mn mineralinin miktarları.....	38
Şekil 4. 27. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Na mineralinin miktarları.....	39
Şekil 4. 28. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Ni mineralinin miktarları.....	39
Şekil 4. 29. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Zn mineralinin miktarları.....	40
Şekil 4. 30. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Cd mineralinin miktarları.....	41
Şekil 4. 31. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde B mineralinin miktarları.....	42
Şekil 4. 32. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Ca mineralinin miktarları.....	42
Şekil 4. 33. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Cu mineralinin miktarları.....	43
Şekil 4. 34. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Fe mineralinin miktarları.....	43
Şekil 4. 35. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde K mineralinin miktarları.....	44
Şekil 4. 36. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Mg mineralinin miktarları.....	44
Şekil 4. 37. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Mn mineralinin miktarları.....	45
Şekil 4. 38. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Na mineralinin miktarları.....	45
Şekil 4. 39. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Ni mineralinin miktarları.....	46
Şekil 4. 40. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Zn mineralinin miktarları.....	46
Şekil 4. 41. Triticum aestivum L. bitkisinin yapraktaki stoma sayısı.....	48
Şekil 4. 42. Triticum aestivum L. bitkisinin yapraktaki tüy sayısı	48

BÖLÜM I

1. GİRİŞ VE AMAÇ

Son yıllarda nüfusun sürekli artması buna karşın mevcut tarım topraklarının azalması, dolayısıyla beslenme ihtiyaçlarının karşılanması büyük sorunlardan biridir. Sorun çözülebilmesi için gıda üretimi ve tüketimi arasındaki dengenin oluşturulması, tarımsal faaliyetlerin iyileştirilmesi, yüksek verim alınması gerekmektedir. Belirtilen sonuçları elde edebilmek mümkün olduğu söylenirken, kontrolsüz, aşırı ve sık, amaçsız uygulamalar sonunda beklenen fayda yerine çevre kirlenmesi, tarım topraklarının verimliliğinin azalması, bazı durumlarda tarım alanlarının tamamen kullanılmayacak hale gelmesi gibi yeni sorunlar yer almaya başladı.

Bitkisel üretimi sınırlandıran, bitki üzerinde olumsuz etkilere sahip olan bitkilerde fizyolojik değişimler meydana getiren dış faktörler “stres” olarak tanımlanır [45]. Bitkiler üzerindeki stres; biyotik (bakteri, fungus, virüs vb. zararlılar) ve abiyotik (besin elementlerinin eksikliği veya fazlalığı, tuzluluk, ağır metaller, kuraklık, sıcaklık, hava kirliliği, radyasyon gibi) kökenli etmenlerden dolayı bitkilerde verimin azalmasına ve ürün kaybına neden olmakla bitkinin büyüme ve gelişmesinde olumsuzluklara yol açar [1]. Önemli stres faktörlerinden biri endüstrileşme ve kentleşmenin doğada meydana getirdiği çevre kirliliğidir [2]. Çevre kirlenmesi ilk bitkileri etkilemektedir. Doğrudan ve dolaylı yollardan oluşan çevre ve toprak kirliliğinden bütün organizmalar besin zinciri yoluyla etkilenebilir ve bu durum sorunun büyüklüğünü ve tehlikesini göstermektedir. Sanayileşme ve insan faaliyetlerine bağlı olarak çevre ve toprak kirliliğine neden olan faktörlerden en önemlisi ağır metallerdir [46]. Son yıllarda toprak, su ve hava gibi ortamlarda yaygın bir şekilde birikmeye başlayan ağır metaller, bütün organizmaların yaşamını tehdit eden önemli bir çevre sorunu haline gelmiştir. Yoğunluğu 5 gr/cm³’ ten büyük olan veya atom ağırlığı 50 ve 50’den büyük olan elementlere “ağır metaller” denir. Ağır metaller yer kabuğunda doğal olarak bulunurlar, bozulmazlar ve kaybolmazlar [47]. Herhangi çevre kirlenmesinde olduğu gibi ağır metal kirlenmesinde de ilk etkilenen grup bitkilerdir [3].

Ağır metaller canlılar için hayati önem taşımaktadır. Hayati önem taşıyanların canlı vücudunda eser miktarda bulunması önemli olup bitkiler, hayvanlar ve insanlar için temel mikro besin maddeleridir ve birçok kimyasal reaksiyonun gerçekleşmesini sağladıkları için günlük olarak besin yoluyla alınması şarttır. Fakat hayati öneme sahip olmayan ağır metallerin organizmada yüksek konsantrasyonlarda canlının birçok sağlık sorunlarına yol açabilmektedir [48]. Ek olarak biyolojik olarak parçalanamayan doğası nedeniyle dokularda ve canlı organizmalarda kolayca birikerek insan sağlığına zarar verebilir. [49], [50], [8]. Bir ağır metalin canlı için gerekli olup olmadığı, canlılar üzerindeki olumsuz etkilerin semptomları, ağır metallerin cinsine göre, canlı türlerine göre çeşitlidir. Ağır metallerin toprak, su ve havaya yayılmasına neden olan etkenlerin başında endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzozlarından çıkan gazlar, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, yüksek metal atıklarının bertaraf edilmesi, kurşunlu benzin ve boyalar, petrokimyasalların dökülmesi, kentsel atıklar gelmektedir [4], [5], [6], [7]. Ağır metaller arasında Zn, Ni, Co ve Cu bitkiler için nispeten daha toksiktir ve As, Cd, Pb, Cr ve Hg daha çok hayvanlar için toksiktir [8]. Tarımsal faaliyetlerinde atık suyla sulama yapılması, atık çamur, tarım ilacı, gübre kullanımı gibi faaliyetler sebep olduğu metal kirliliği göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir.

Bitkiler, ağır metallerin zararlarını tolere edebilecek; aminoasit, ferritin, ağır metalotiyenin ve fitokelatin gibi moleküllerle kompleks yapılar yaparak hücre duvarları, vakuol gibi metabolik yollardan uzak bölgelerde biriktirme, antioksidan enzim aktivitelerinin ve antioksidan moleküllerinin miktarlarının artırılması ve hücre membranlarının onarılması gibi birçok savunma mekanizmasına sahiptirler [9], [10], [11], [12], [13], [14]. Yüksek konsantrasyonlardaki ağır metaller bitkilerin vejetatif organlarını makroskobik, mikroskobik ve fizyolojik olarak etkilediği görülmektedir. Bu olumsuz durumdan yalnız bitkilerin vejetatif organları etkilenmekle kalmayıp aynı zamanda generatif organlar ve doğada aktif yaşamlarını sürdüren bütün canlılar ve insanlar da negatif yönde etkilenmektedir Normal seviyeler olarak kabul edilen miktarlar Kurşun (Pb), Krom (Cr) ve Nikel (Ni) topraklarda 10-100 mg/kg arasında, kadmiyum (Cd) ise 1 mg/kg'ın altında bulunması gerektir. Topraklarda ağır metal konsantrasyonları: Cd için 1 mg/kg, bakır için 0.1 mg/kg, kobalt için 10 mg/kg, selenyum için 10 mg/kg, vanadyum için 0.5-1 mg/kg, nikel için 100 mg/kg'ın üzerinde olduğu durumlarda toksik etkiler ortaya çıkabilmektedir [51]. Yapılan çalışmalar bitkilerin, atmosferdeki ağır

metalleri çok az miktarda da olsa yaprakları aracılığı ile alabildiklerini göstermiş olsa da [52], [15], [16] ağır metal alınımının daha ziyade kökler aracılığı ile gerçekleştiği bilinmektedir [3]. Bitkilerin topraktan kökleriyle aldıkları ağır metaller ksilem aracılığı ile gövde ve yapraklara iletilmektedirler. Kök aracılığı ile alınan ağır metaller apoplastik veya simplastik yolla ksileme ulaşırlar

Ağır metal zararlarının en belirgin etkisi köklerde görülmektedir [17], [13]. Yüksek ağır metal konsantrasyonuna maruz kalmış bitkilerde kökler, normal bitki köklerine göre daha kısadır ve saçak kök sayısında veya yan köklerde azalma görülebilmektedir. Ağır metaller toksik etkileriyle bitkilerde su kaybı, stoma hareketleri, su alımı, çimlenme, enzim aktivitesi, fotosentez, protein sentezi, membran stabilitesi, hormonal denge gibi birçok fizyolojik olayın değişmesine sebep olabilmektedirler [18]. Ağır metallerin genel olarak bitkilerdeki toksisite dış belirtileri yaprakta klorozis ve nekrozis oluşumu, gövde ve kök kısımlarının deformasyonu gibi belirtiler şeklinde görülebilmektedir [19]. Ağır metaller içerisinde en şiddetli toksik etkiye sahip olanların Cd, Hg ve Pb olduğu belirtilmektedir [20].

Topraklardaki kadmiyum (Cd) doğal şartlarda çok düşük seviyede çinko ile birlikte bulunur. Ancak, farklı antropojenik kaynaklar yoluyla toprağa Cd giriş yolları bulunmaktadır. Endüstriyel emisyonlar, Cd içeren sulama sularının kullanılması, kanalizasyon atıklarının tarım arazilerinde kullanımları ve gübre uygulamaları, toprağın Cd içeriğinde artışa sebep olmaktadır. Toprakta bulunan kadmiyumun %54-58'i fosforlu gübrelerden, %39-41'i atmosferik depolanmadan, %2-5'i ise atık çamur ve çiftlik gübresi uygulamalarından kaynaklanmaktadır [21], [22], [23]. Diğer çalışmalara göre Cd'nun kontaminasyonunun çoğu insan ekonomik faaliyetinden kaynaklanmaktadır: sıvı ve katı yakıtların yakılması, eritme ve dökümhane işleri, Cd'de yüksek olan atık çamuru ve gübreler dâhil toprağa uygulanan kimyasallardır [24], [6].

Tarım toprakları için ideal Cd konsantrasyonu 3 mg kg⁻¹ olup, normalde 0.1 mg kg⁻¹ seviyesindedir [25]. Yapılan çalışmalar sonucunda, dünya tarım topraklarının Cd konsantrasyonunun ortalaması 0.53 mg kg⁻¹ olduğu belirtilmiş [26]. Endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, kimyasal ilaçlar, atmosferik depositler ve lağım atıkları aracılığıyla kadmiyumun tarım topraklarına girişi ve yayılması sağlanmaktadır [53] Toprak bünyesinde 3 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 1 mg/kg'dan fazla kadmiyum

toksik etkilidir [54]. Trafiğin işlek olduğu yerlerde, yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda m²'ye 0.2 ile 1.0 mg kadar kadmiyum ilavesinin olduğu ölçüm sonucu ile belirlenmiştir [53]. Demek ki bitki ve topraklarda bulunan kadmiyumun büyük bir çoğunluğu kadmiyum bulunduran toz parçacıklarının havadan çökmesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Kadmiyum bitki, hayvan ve insan bünyesinde yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu toksik etkiye neden olan bir element olduğu bilinmektedir [16].

Bitki metabolik süreçleri için gerekli olmayan Cd, en potansiyel çevresel fitotoksik maddelerden biri olarak kabul edilir. Biyolojik yarı ömrünün (10-30 yıl) uzun olması nedeniyle canlı organizmalarda birikmektedir. Cd, sitotoksik, mutajenik ve kanserojendir. Cd yüksek çözünürlüğe ve hareketliliğe sahip olduğundan dolayı diğer toksik elementlerden çok daha düşük konsantrasyonlarda bile aktiftir ve bitki tarafından alınabilirliği de fazladır [27].

Doğada farklı şekillerde bulunan ve çeşitli yollarla organizmaya alınan kadmiyum canlı vücudundan atılamadığı için organizma üzerinde çeşitli biyolojik zararlar oluşturmaktadır. Toksik bir ağır metal olan Cd bitki kökleri tarafından kolayca alınabilmekte ve yapraklara taşınabilmektedir [28]. Kadmiyumun iyon hali ksilemde taşınabilmektedir [55]. Bunun yanı sıra organik asitlerin de bu taşınmada rol oynadığı rapor edilmiştir [56] Floem aracılığıyla ağır metal iletiminin olup olmadığının tespit edilmesine yönelik çalışmalarda, Cd uygulanmış yapraklarda kısmi bir taşınım söz konusu olsa da [57], Cd, Cu ve Zn ile yapılan diğer araştırmalarda [3], bu ağır metallerin yapraklardan köklere giden bir iletiminin olmadığı tespit edilmiştir. Cd toksisitesinin en belirgin etkisi, yaprak büyümesinin inhibisyonu, yapraklarda yuvarlanma ve sararmanın görülmesi şeklindedir [14]. Bitkilerde kadmiyum birikimi biyokimyasal ve fizyolojik işlemlerde sorunlara yol açmakta ve bunun sonucunda bitki büyümesi ve morfolojisi olumsuz şekilde etkilenmektedir [29]. Araştırmalar kadmiyumun, tohum çimlenmesini [30] ve bitki büyümesini engellediğini ortaya koymuştur [31]. Bitkilerde kadmiyum birikimine bağlı olarak, fotosentezde [32] besin dağılımında [33] ve bitki-su ilişkilerinde [34] problemler ortaya çıktığı ve bu durumun gözle görülebilir zararlanma belirtilerine, örneğin yaprak klorozu, yaprak ve kök nekrozu ve büyümede genel bir azalmaya [35], büyüme inhibisyonuna, ve ölümlere neden olduğu bildirilmiştir [36], [37]. Bitkilerde Cd içeriğinin normal sınırları 0.2-0.8 mg kg⁻¹ arasındadır ve kadmiyumun toksik konsantrasyonları 5-30 mg kg⁻¹ olarak tanımlanmıştır [38], [39].

Buğday (*Triticum*) tek çenekliler (Liliopsida) sınıfının Buğdaygiller (Poaceae) ailesine ait farklı iklim ve toprak koşullarında yetişebilen ve ıslahı bütün dünyada yapılabilen, en çok ekilen bazı ülkelerin ekonomik vazgeçilmezi olan tek yıllık otsu kültür bitkisidir [40]. Buğday, ekilen tahıllar içinde ilk sırada yer almaktadır [41]. Tahıllar, insanın protein ve karbonhidrat gereksiniminin yarısını karşılamaktadır. Bu özelliği ile dünya nüfusu ve hayvancılıkta gereksinim duyulan besinin karşılanmasında önemli bir rola sahiptir [42].

Buğday bitkisi, Gramineae familyasından *Triticum* cinsine ait bitkidir. Monokotil bitki olan buğday kendi kendini dölleyebilen, meyvesi karyopsis, kökleri saçaklı, tek yıllık bir bitkidir [58]. Buğday bitkisinin, diploid ($2n=14$ kromozomlu), tetraploid ($2n=28$ kromozomlu), heksaploid ($2n=42$ kromozomlu) türleri mevcuttur. 42 kromozomlu *Triticum aestivum* L. (ekmeklik buğday), 28 kromozomlu *Triticum durum* Desf. (durum buğdayı) ülkemizde tarımı yapılan en yaygın buğday türleridir [59]. Buğday ürününden elde edilen un, bulgur, makarna, nişasta gibi gıda ürünleri insan beslenmesinde; buğday bitkisinin sapları ise kâğıt-karton sanayinde ve hayvan beslenmesinde kullanılmaktadır. Bu nedenle her ülke için buğday üretimi açısı yeterli olmak ve stoklarında yeterince buğday ürünü bulundurmamak stratejik bir önem arz etmektedir.

Ekonomik olmasının yanında, kolay taşınabilmesi, uzun süre saklanabilmesi, doğaya uyumunun fazla olması çiftçileri buğday ekimine yönlendirmektedir [60]. Buğday tanesinin içeriği yaklaşık olarak %12 su, %70 karbonhidrat, %12 protein, %2 yağ, %2,2 selüloz ve %1,8 kül içermektedir. Karbonhidrat kaynağı olan buğday, un haline getirilerek ekmek ve diğer unlu gıdaların imalatında kullanıldığı gibi bulgur, makarna, irmik, bisküvi gibi çok değişik ürünler şeklinde günlük beslenmemizde yer almaktadır. Öğütme teknolojisi sonucunda ortaya çıkan kepek ve diğer yan ürünler ile düşük kaliteli buğdaylar ise hayvan yemi olarak kullanılmaktadır [61].

Tüm dünyada, buğday iyi bir besin hammaddesi oluşu, uyum sınırının genişliği, üretiminin kolay oluşu, taşıma, depolama ve işleme kolaylığı gibi nedenlerden dolayı dünya nüfusunun yaklaşık %35'inin temel besini durumundadır. Buğday ve buğdaydan elde edilen ürünler, içerdikleri yüksek düzeydeki karbonhidratlara bağlı olarak enerji sağlamak ve azımsanamayacak düzeyde protein, lipid, B1 ve niasin gibi temel besin öğelerini de içermektedir [43]. Günümüzde dünya buğday USDA verilerine göre ekim

alanı 222.29 ha, üretimi 770.49 milyon metrik ton ve verimi hektar başına 3.47 ton olarak belirlenmiştir [44].

Buğdayda kadmiyum toksisitesi, buğday büyümesini ve verimini azaltmanın yanı sıra gıda zinciri yoluyla insanlara girdiği yaygın olarak bildirilmektedir [62], [63].

Bu çalışmada Kırgızistan’da yaygın bir şekilde tarımı yapılan *Triticum aestivum* L. bitkisinin farklı konsantrasyonlarda Cd stresinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Bu amaçla standart kompost içeren saksılarda yetiştirilen *Triticum aestivum* L. bitkisi bir buçuk aylık bir süre boyunca 0 (Kontrol), 50, 100, 200 ve 400 μM CdCl_2 içeren Hoagland çözeltisi ile günaşırı olarak sulanmış ve Cd’un bazı fizyolojik, büyüme ve gelişme üzerine etkileri belirlenmiştir.

BÖLÜM II

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Buğday

Uluslararası sınıflandırmaya göre şartlı olarak tahıllar gıdaya (buğday, çavdar, pirinç vb.) ve yemlere (mısır, arpa, yulaf vb.) ayrılmak üzere insan yaşamı için büyük bir anlama sahiptir. Her bir ülkedeki tahıl tüketim gelenekleri ve özellikleri farklıdır, farklı ülkelerde farklı tahıllar gıda ve yem rolünü oynayabilir. Örneğin, mısır Latin Amerika'da geleneksel bir gıda ürünüdür, arpa Doğu halkları tarafından gıdalarda yaygın olarak kullanılır, buğday bitkileri bir dizi Afrika halkının diyetinde vazgeçilmezdir. Aynı zamanda, buğday Batı Avrupa ve eski SSCB ülkelerinde hayvancılık için yem ve gıda için yaygın olarak kullanılmaktadır. İnsanlık tarihinde birden fazla medeniyeti besleyen buğday, mısır ve pirinç, dünya tahıl üretiminde ilk sırayı almaya devam ediyor. Bu vesileyle, N. Vavilov (1987), dünyanın dört bir yanındaki bilim adamları tarafından yapılan botanik araştırmasının, bu kültürleri başka eşit değerli bir şeyle değiştirme olasılığına dair ciddi ipuçları vermediğini yazmıştır.

Bir gıda kaynağı olarak buğday eski ve en önemli kültürdür. Zamanımızda bir çok ülkelerde buğday unun, dolayısıyla ekmeğin ana kaynağı olarak kullanılmaktadır. Buğday, bir gıda ürünü olarak, diğer tahıllar gibi, birçok doğal faydaya sahiptir. Tahıl besleyici, yüksek kalorili, depolanması, taşınması ve yüksek kaliteli hammaddelerde işlenmesi kolaydır. Buğday genellikle sadece nişastalı bir gıda ürünü olarak kabul edilirken, diğer besin maddelerini de içerir: protein, mineraller ve vitaminler. Buğday ekiminin hektarı başına düşen amino asitlerin gerçek verimi, hayvansal kökenli yeri dolduramaz herhangi bir amino asit verimini önemli ölçüde aşmaktadır. Buğday proteini, etkili bir protein kaynağı olan lizin gibi belirli amino asitleri içermektedir. Mineraller ve vitaminler, özellikle tam tahıllardan ve takviye edilmiş undan yapılan ürünlerde büyük besin değerine sahiptir [64].

Buğday-buğdaygiller (*Poaceae*) familyasından gelen, çoğunlukla yıllık çimenlik bitki cinsidir. 1,5 metre yüksekliğe ulaşabilir, dik kaynaklı, yaprakları düz, 3-20 mm genişliğinde olurlar. Kökleri saçak şekle sahiptir. Buğday üst kısmı çiçek sapı olmak üzere internodlara sahiptir. Buğdayın çiçeklenmesi başak denir ve düz, oval, doğrusal veya

dikdörtgen bir görünüme sahiptir. Merkezi bir eksenden ve ondan dallanan çiçek başaklarından oluşur. Her çiçekleri koruyan alt ve üst ölçeklere sahiptir. dollenmeden sonar bu ölçekler meyveyi korurlar. Çoğunlukla buğday kendi kendine tozlaşan bir bitkidir, bununla birlikte çapraz tozlaşan istisnalar vardır [65].

Tane, tahıl yani buğdayın meyvesi dollenmeden sonar yumurtalıktan çıkar. Buğday tanesi tohumun endospemi ile ayrılmaz bir şekilde yumurtalığın duvarlarından oluşur. Buğday tohumu ya da embrio kökcükten, sapcıkta ve kalkancıkta oluşur. Çimlenmeden sonar kökcükten ilk kök sistemi oluşturur, sırayla sapcıkta ikinci kök sistemi ve hava organları gelişmeye başlar [66].

Tüm buğday çeşitleri baharlık ve kışlık olarak gruba ayrılır. Baharlık buğday ilkbaharda (mart mayıs arası) ekilir. Bahar buğdayı ortalama 100 sıcak günde olgunlaşır, bu süre içerisinde tahılın su içeriği yaklaşık %13'e kadar düşer ve bu buğday hasadı için bir snyal olarak kabullanır. Kışlık buğday ise kıştan önce sonbaharda ekilir ve ürünler yaz aylarında hasat edilir. kışlık buğday bahar buğdayına göre daha erken gelişme ve daha erken büyümeye sahiptir. Bitki nem konusunda çok talepkardır. Be nedenle, büyüme mevsimi boyunca toprak nem seviyesi %65-70 arasında olmalıdır, yetersiz toprak nemliliği koşulları altında başağın taneleri azalır: yapısı kötüleşir ve boyutu küçülür. Buğday soğuğa karşı çok dayanıklıdır, bu tahılının 1-2 derece sıcaklıkta çimlenmeye başladığı ile kanıtlanmıştır. Buğday ekimi için en iyi sıcaklık 14-16°C'dir. Ancak bahar soğukluğunda buğdaylar zarar görebilirler. Buğday toprak konusunda da çok seçicidir. Kara toprak, gri orman ve kastane toprakları buğday yetiştirmek için en uygun olanlardır [67].

Bir buğday tanesi üç ana bölümden oluşur: embrio, endosperm ve birbirine geçen üst kabuklar. Kabuklar tane kütlelerinin % 6-8'ini oluşturur. Seminal zarlarda daha az lif, pentozan vardır , mineral, azotlu maddeler, şekerler bakımından daha zengindirler. Endosperm veya etli çekirdek, tane kütlelerinin % 80-85'ini oluşturur ve un ve tahıl üretimi için en değerli parçasıdır. Esas olarak nişasta ve proteinden oluşur, az miktarda şeker, yağ, vitamin ve çok az mineral içerir. Tüm değerli tahıl işleme ürünleri endospermden elde edilir. Arkadan, endosperme - gelecekteki bitkini oluşturacak embriyo bağlanır. Embriyo, tahıl kütlelerinin ortalama % 3'ünü oluşturur. Çok fazla protein, yağ, şeker, vitamin, enzim içerir [66].

2.2. Buğdayın Kimyasal Yapısı

Kimyasal bileşimi ve enerji değeri bakımından buğday un üretimi ve ondan pişmiş ekmek, tahıl, makarna hazırlanması için mükemmel bir hammaddedir. Buğdayın kimyasal bileşimi diğer bitkiler gibi genetik yapıya, çeşitlilik, yetiştirme koşulları - toprağın doğası, gübreler, yağış, güneşli günler gibi iklim faktörlerine bağlı olarak değişir [43]. Buğday protein miktarı düşük, karbonhidrat miktarı yüksek gıdalar sınıfına girmektedir. Karbonhidratlar, buğdayın tane ağırlığının yaklaşık % 70'ini oluşturur. En önemli yedek madde nişastadır. Nişasta içeriği % 58 ila 65 arasında değişir ve protein miktarı ile ters orantılıdır. Buğdayın azot maddeleri proteinlerle temsil edilir, protein olmayan azot içeriği % 0.1-0.2'dir ve tanelerin olgunlaşma derecesini gösterir. Protein miktarı % 10 ila 18 arasında değişir [68]. Ek olarak, azotlu gübrelerin kullanımı ve toprağı azot (baklagiller) ile zenginleştiren öncüllerin kullanımı, buğdaydaki protein içeriğini artırır. Buğday, % 17 veya daha fazla protein içeriyorsa yüksek protein ve % 13 veya daha az ise düşük protein olarak kabul edilir. Buğday proteinleri bileşim ve özellikleri bakımından heterojendir Amino asit bileşimi açısından tahıl proteinleri hayvansal ürünlerden daha düşüktür. Lisin, triptofan, treonin ve metiyoninde az ya da çok eksiktirler. Proteinlerin amino asit bileşiminin bir dereceye kadar tüm esansiyel amino asitler açısından zengin olan albümin ve globulin miktarı ile ilişkili olduğuna dikkat edilmelidir. Lipidler kütlesinin % 2.5-2.9'unda az miktarda buğdayda bulunur, çoğu mikroya konsantre edilir. Mineraller buğday kütlesinin % 1.6-2.2'sini oluşturur, içerikleri büyüme koşullarına ve tahılların yerine getirilme derecesine bağlıdır [43]. Minerallerden en fazla fosfor, önemli miktarlarda potasyum ve magnezyumdur, ancak az kalsiyumdur. Fosfor fosfatlar şeklinde ve organik bileşikler formunda bulunur, inorganik fosfor toplam içeriğinin yaklaşık % 10'unu oluşturur.

Tablo 2. 1. Buğday tanelerindeki mineral maddelerin içeriği. [43]

<i>Mineraller</i>	<i>Mg/ 100 g buğday tanesinde</i>
Kalsiyum	32,2
Magnezyum	114,0
Potasyum	355,5
Mangan	3,6
Demir	3,5
Bakır	0,201
Çinko	2,7
Krom	14

Bor	0,076
Aluminyum	0,306
Sodyum	1,1

Tablo 2. 2. Buğday tanelerindeki amino asit içeriği. [43]

<i>Amino asitler</i>	<i>Mg/ 100 g buğday tanesinde</i>
Valin	250
İzolösin	165
Lösin	684,1
Lizin	218
Metiyonin	123,8
Treonin	116,7
Triptofan	105
Fenilalanin	491,8
Toplam esansiyel amino asitler	2154,6
Alanin	404,7
Arginin	470,9
Aspartik asit	598,3
Histidin	31,6
Glisin	465,2
Glutamik asit	3993,8
Prolin	1098
Serin	591,8
Tirosin	246,3
Sistin	53,1
Toplam esansiyel olmayan amino asitler	7953,7

2.3. Ağır Metaller

Ağır metal olarak adlandırdığımız terim esasında fiziksel özellik açısından yoğunluğu 5 g/cm³'ten daha yüksek olan metaller için kullanılmaktadır. Bunlar içerisinde kurşun, kadmiyum, krom, demir, kobalt, bakır, nikel, civa ve çinko olmak üzere 60'tan fazla metal yer alır. Bu elementler yer kürede çoğunlukla karbonat, silikat ve sülfür durumunda stabil bileşik olarak bulunmaktadır [69].

Dünyanın hızla gelişmesi, değişmesi ve sanayileşmesi ile birlikte ağır metal kirliliği bir çevre problemi olarak yerini almıştır. Toprak, hava ve su gibi ortamlara ağır metal kirliliğinin bulaşma nedenleri arasında; endüstriyel çalışmalar, tarım alanında gerek duyulan gübreler, maden ocakları, volkanik periyodlar, tarımsal üretimde ihtiyaç duyulan ilaçlar ve sanayi atıkları gibi etmenler sayılabilir [70].

İz elementlerden bazıları bitki gelişimi için gerekli iken bazıları çok düşük miktarlarda bile toksiktir ve bitkide gerçekleşen birçok olayı olumsuz etkiler. Ağır metallerin toksite gösterdiği bitkilerde meydana gelen fizyolojik problemler arasında; su alımı, çimlenme, fotosentez, enzim aktivitesi, bitki besin düzenleyicilerin dengesi, stoma mobilitesi sayılabilir [18].

Bitki bu ağır metalleri bitki besin elementleri yerine kullansın veya kullanmasın ağır metallerin bitki dokularında yoğun olarak birikmesi bitkilerin vejetatif ve generatif gelişimini olumsuz etkiler [71]. Ayrıca bu birikme ürün ve verim değerlerine negatif yönde etki eder [72].

Toprakta yoğun miktarda ağır metal bulunması toprak kalitesini olumsuz etkilediği [72] için bu bulaşıklığı temizleme amaçlı olan geleneksel yöntemlerin (biyolojik ve/veya kimyasal arıtma) maliyeti çok yüksek olmaktadır [73]. Bu yüzden pahalı olmayan ve bitki kullanılarak gerçekleştirilen bir ağır metal temizleme yöntemi olan fitoremediasyon tekniği üzerine araştırmalara yoğunluk verilmektedir [74].

Bazı bitkiler (hiperakümülatör) toprak üstü aksamalarında topraktaki metal konsantrasyonunun 50-500 kat daha fazlası ağır metal biriktirebilirler [75]. Ortalama 450 bitki türü hiperakümülatör olarak tanımlanmıştır [76].

Bir ağır metalin bir bitkiye ne denli zarar verebileceği; metalin türü, dozu, bitki için gerekli iz element olup olmaması, bitkide oluşturacağı zararın derecesi ve şekli, bitkinin gelişimi ve hayatta kalabilmesini belirleyen parametrelere bağlıdır [77]. Bitkilerin, hem iz element eksikliklerinden hem de fazlalıklarından kaynaklanan kimyasal streslere reaksiyonu tam olarak tanımlanamamıştır. Çünkü bitkiler kendilerine, evrimleri ve yaşam seyirleri boyunca (ontojen ve filogeni) yeni veya kimyasal olarak dengelenmiş ortamlara adaptasyon ve toleransla sonuçlanan çeşitli biyokimyasal mekanizmalar geliştirmişlerdir. Bitkiler, ağır metal alımında çeşitli eğilimler ortaya koymaktadır, bu üç genel alım özelliğini şu şekilde gösterebilir: birikim, belirti ve hariç tutma. Bu yöntemlerden bitkinin hangisi/hangilerini kullanacağı, büyük ölçüde bitkilerin spesifik yeteneklerine ve bitki türleri arasında metal alımındaki büyük farklılıklara bağlıdır. Ayrıca, birçok çalışmada metal alımında bir türün genotipleri arasında bile büyük değişkenlik gözlemlenmiştir [78].

Metallerin içinde bulunduğu çözeltilerden emilimi, üzerine birçok araştırmacı [79], [80] şunları ifade etmiştir; hız, H^+ ve diğer iyonların oluşumuna bağlıdır, yoğunluk bitki türlerine ve gelişim evresine göre değişir. Bu emilim belirli bir iyon için seçici olabilir, süreç toprak ortamının sıcaklık, havalandırma, pH ve EC gibi bazı özelliklerine duyarlıdır. Mycorrhizae, iz elementlerin dış ortam ve kökler arasında geçişinde önemli bir rol oynar. Bir bitkinin artan metal seviyelerine karşı geliştirdiği tolerans ise, exclusion (bitki dışında tutulması) ve metabolik tolerans olarak açıklanmıştır [81].

2.4.Bitkiler Tarafından Ağır Metallerin (İz Element, Metaller) Alınımı

Bitkiler metalleri farklı şekilde alabilirler; eğer metaller havada gaz halinde bulunuyorsa bitkiler bunu stomaları aracılığıyla, iyon halindeki metalleri ise yaprağın kutikulası ile alabilirler [16].

Yine de karada yaşayan bitkiler başta olmak üzere, bitkiler metalleri çoğunlukla kökleriyle alırlar ve metaller toprakta üç şekilde bulunurlar; toprak kolloidlerine tutunarak, organik maddelere bağlanarak ve toprak çözeltisinde iyon durumunda kalarak ve bitkiler yalnızca toprak çözeltisinde iyon durumunda bulunan metalleri alabilirler [3].

Metallerin alınımı, toprak çözeltisindeki metal konsantrasyonundan etkilenir ve bu konsantrasyonu pH, sıcaklık, diğer iz elementlerin varlığı gibi durumlar değiştirebilir; örneğin, düşük pH'larda ortamdaki H^+ iyonu konsantrasyonu yüksektir ve bu H^+ katyonları diğer metal katyonlarla rekabete girer ve onların kolloidlere tutunmasını engeller ve böylece kolloidlere tutunamayan metal katyonları toprak çözeltisine geçip toprak çözeltisinde metal konsantrasyonunun artmasına sebep olur [16]. Aynı zamanda bitkiler kendileri de rizosfer pH'sını değiştirebilir [82] veya rizosfer bölgesine bazı maddeler (musilaj, malat, sitrat) salgılayabilir [83] ve böylece aldığı metal oranını değiştirebilir.

2.5. Metallerin Bitkilere Taşınımı

Ağır metaller bitkinin kök kısmından bitki üst organlarına taşınırken ksilem yolunu takip ederler, floem yoluyla taşınım, yapılan çalışmalarda kısmi olarak gözlemlense de oldukça azdır, ksilem yoluyla taşınım derecesini metalin türü, bitkinin çeşidi etkilemektedir [3].

Örneğin Ni bazı bitkilerde ksilem yoluyla taşınırken Ni-peptid durumunda bu taşınımında rol alır [84], öte yandan hiperakümülatör bitkilerde ise Ni-istidin şeklinde taşınımına dahil olur [10]. Cd metale baktığımızda ise iyon durumunda ksilemde taşındığını görürüz [55]. Ayrıca organik asitlerin de ağır metallerin taşınmasında yer aldığı bildirilmiştir [56].

2.6. Ağır Metallerin Bitkilerde Meydana Getirdiği Hasarlar

2.6.1. Morfolojik Özelliklere Zararları

Ağır metallerle ilk karşılaşan bitki organı köklerdir ve hasarlar en etkili şekilde ilk olarak bitkinin kök bölgesinde görülür [17], [13]. Kökte meydana gelen zararlar arasında; yan kök oranında artma ya da azalma, saçak kök miktarında azalma ve genel kök boyunda kısaltmalar sayılabilir. Ayrıca yine kök bölgesinde lignifikasyon meydana gelebilmek ile birlikte epidermis ve hipodermis tabakalarında bazı değişimler gözlemlenmiştir. Ağır metal stresinin devam etmesi ile birlikte bu zarar kök bölgesinden bitkinin gövdesine doğru ilerlemekte ve gövde uzamasını etkilemektedir. Bunlara ek olarak kök ve gövdenin yaş ve kuru ağırlıklarında azalma meydana getirmekte ve bitki büyümesini olumsuz etkilemektedir [34].

Yapraklarda ise, elementin çeşit ve yoğunluğuna bağlı olarak şekilsel olarak değişimler, yaprak alanının küçülmesi, renk değişimleri, klorofil kaybı gözlemlenebilmektedir [14], [85].

2.6.2. Biyokimyasal Düzeyde Zararları

Ağır metaller biyokimyasal olarak lipid peroksidasyonuna (Lipid peroksidasyonu; hücre zarının lipid yapısındaki değişiklikler nedeni ile hücre zarı işlevinin bozulması, oluşan serbest radikallerin enzimler ve diğer hücre bileşenleri üzerine olumsuz etki göstermesi ve diğer yollarla hücre hasarına neden olması) sebep olarak membran yapısını ve işleyişini bozabilmektedirler [86].

Lipid peroksidasyonu sonucu ortaya çıkan MDA (malondialdehit) iyon alımını olumsuz etkilemekte ve bileşiklerin polimerizasyonuna ve çapraz bağlanmasına sebep olmaktadır. Bu olumsuz durum sonucunda membran yapısı, iyon taşınımı, enzim aktivitesi, hücre bileşenlerinin stabilitesi bozulmaktadır [87].

Ağır metaller (özellikle Cd) klorofil sentezinde yer alan enzimleri inhibe ederek enzim aktivitesine olumsuz yönde etkide bulunurlar [88].

Ağır metallerin bir etkisi de tilakoit (kloroplastların iç kısmında düz ve birbirleriyle bağlantılı keseciklerden oluşmuş stoma içine yerleşik tilakoid adı verilen bir zar sistemi vardır ve burada klorofil, elektron taşıma zincirinin enzimleri ve ATP bulunur) zarlar üzerinde meydana getirdiği yapısal ve fonksiyonel bozukluklardır (ETS'de oluşturduğu zarar gibi) [89].

Ağır metallerin yüksek konsantrasyonlarının PSII'de (fotosistem II) birçok bölgede hasar oluşturduğu belirlenmiştir [90]. Aynı şekilde belirli yoğunlukların üzerinde ağır metaller PSI'de (fotosistem I) hasar oluşturmuşlardır [91].

Ni, Cd gibi ağır metaller PS II'de gerçekleşen plastosiyanin (yapısında bakır içeren bir proteindir ve mavi renkli olup devirsiz fotofosforilasyon ETS'sinde elektron aktarma görevi yapar) ve ferrodoksin (yapısında demir-kükürt içeren bir enzimdir ve demir atomunun elektron alıp vermesi ile indirgenme, yükseltgenme meydana gelir) aşamalarını inhibe ederek fotosistemi olumsuz etkilemektedir [92].

2.7. Kadmiyum

Yer kabuğundaki ortalama Cd konsantrasyonu 0.1 mg kg⁻¹'dir. Cd ve Zn, benzer iyonik yapılara, elektronegatifliklere ve kimyasal özelliklere sahip olmakla birlikte, Cd, S için Zn'den daha güçlü bir yakınlığa sahiptir ve bu nedenle asidik bir ortamda Cd hareketliliği, Zn'ninkinden daha yüksektir [25].

Kadmiyum, insanların, hayvanların ve bitkilerin tüm biyolojik süreçleri üzerinde olumsuz etkileri olan en ekotoksik metallerden biri olarak kabul edilir. Bu durum metalin, çevreyi ve yiyecek kalitesini olumsuz etkileme konusundaki etkilerini ortaya koymaktadır. Cd'a saf olarak çok rastlanılmaz o genellikle Zn rezervlerinin madencilik faaliyetlerinde ve rafine edilmesinde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır ve bu yüzden Cd talebinden çok Zn üretiminin artmasından kaynaklanan bir Cd üretimi artışı söz konusudur. Cd'nin ana kullanımı Ni-Cd ve Ag-Cd şeklinde akü üretimi sektöründedir. Zn- Cd bataryaları gibi geri dönüştürülmüş ürünlerden de Cd eldesi sağlanabilir [78].

Dünya topraklarındaki ortalama Cd konsantrasyonunun 0,41 mg kg⁻¹ olduğu tahmin edilmektedir. Govindaraju [93], farklı ülkelerdeki referans topraklardaki Cd içeriğinin 0,06 ila 4,3 mg kg⁻¹ aralığında olduğunu bildirmiştir. Taylor ve Percival'e [94] göre, toprak çözeltisindeki Cd'nin %55 ila %90'ı serbest metal iyonu Cd⁺² olarak bulunur ve bitkiler için Cd⁺² hazır alınabilecek durumdadır.

Toprak çözeltisindeki kadmiyum konsantrasyonunun nispeten düşük olduğu ve 0,2 ila 6 mg/L arasında olduğu bildirilmiştir. Itoh ve Yumura [95] tarafından bildirilen çok daha yüksek değer (300 mg/L) kirlenmiş toprağı gösterir kirli topraklar için verdiği değere (400 mg/L) karşılık gelir.

Cd'nin çözünürlüğü, toprak çözeltisinin asitliği ile yakından ilgilidir. Mineral topraklardaki kritik asitlik derecesi pH 4,0-4,5 aralığındadır; pH'nın sadece 0,2 birimlik bir düşüş göstermesi Cd'nin alınabilirlik durumunda 3-5 kat artışa neden olur [96].

Cd içeriğı kumlu topraklarda killi topraklardan daha azdır. Cd, pH 7,5'in üzerindeki topraklarda kolay hareket edememektedir ve alkali toprakta Cd ise hareketsizdir. Cd, asidik topraklarda pH 4,5-5,5 aralığında en hareketli durumdadır [78].

Cd'nin emiliminin hızlı bir işlem olduğu bilinmektedir. Emilimin %95'inin 10 dakika içerisinde gerçekleştiğı, 1 saatte dengeye ulaştığı ve pH 6'da çok yüksek afinite gerçekleştiğı belirlenmiştir [97], [78].

Üst topraklardaki Cd konsantrasyonunun, Pb ve Zn madenlerinin ve özellikle de eritme işlemlerinin çevrelerinde çok yüksek olduğu bildirilmektedir. Arıtma çamuru ve fosfatlı gübreler, Cd'nin önemli kaynakları olarak da bilinir ve bu konuyla ilgili birçok kapsamlı inceleme bulunmaktadır [98].

Topraklardaki yüksek Cd üreaz ve fosfataz aktivitelerini azaltır [99]. Kireçlemenin genellikle toprak pH'sını yükselterek Cd emilimini azaltması beklenirken, tüm topraklar ve bitkiler için etkili olmayabilir. Toprakta izin verilen maksimum Cd oranı, büyük ölçüde toprak pH'sına bağlıdır [78]. Son yıllarda, fitoremediasyon tekniğı Cd (ve diğer metaller) ile kirlenmiş topraklara uygulanmıştır [100]. Bitkiler etilen diamin tetra asetik asit (EDTA) ile sulandığında, kirlenmiş topraklardan iz metallerin alımı arttırılabilir [101]. Birçok toprak parametresi bitkilerin Cd alımını kontrol etse de, bazı bitki türleri, adaptasyon ve bitki üst aksamlarına aktarım konusunda inanılmaz bir yetenek ortaya

koymaktadır. Toprak fitoremediasyonu için önerilen bazı bitkiler *Alyssum murale*, *Thlaspi vaerulescens*, *Nicotiana tabacum*, *Zea mays*, *Salix viminalis*, *Helianthus annuus* ve *Viola baoshanensis*’tir [78].

Cd iyonlarının en önemli biyokimyasal özelliği, birkaç bileşiğin (örneğin, metalotiyonin benzeri proteinlerle Cd kompleksleri) sülfhidril gruplarına güçlü bağlar yapmasıdır. Bitkiler için toksik bir element olarak kabul edilir ve toksisitesinin temel nedeni enzim aktivitelerini bozmasından kaynaklanmaktadır [78].

Wierzbicka ve arkadaşları [102] kadmiyumun bitki hücrelerinde, genellikle organik asitlerle detoksifiye edildiğini bildirmiştir. Genel olarak, bitkilerin yüksek Cd içeriklerinin sebep olduğu belli semptomlar vardır ve bunlar arasında, büyüme geriliği ve kök hasarı, yaprak klorozu ve yaprak kenarlarının veya damarlarının kırmızı-kahverengi renklenmesi sayılabilir. Kadmiyum fitotoksitesi, bazı mikro besinlerin işlevlerine etki etmesinin yanı sıra, fotosentez üzerinde engelleyici etkiler gösterir; terleme ve CO₂ fiksasyonunu olumsuz etkiler ve hücre zarlarının geçirgenliğini değiştirir [103]. Artan hücre duvarı elektriği nedeniyle Cd, bitkilerde su taşınımını azaltır ve bu da bitkilerin su stres toleransını azaltır [104].

Bitkilerin kadmiyumla kirlenmiş toprakta yetiştirildiğinde Cd’nin özellikle köklerde yoğunlaşması çok muhtemeldir. Bitkilerin Cd konsantrasyonu, kadmiyumun insan ve hayvanlara ulaşımı konusunda büyük önem arz etmektedir. Bazı bitki türlerinin yüksek Cd konsantrasyonlarına toleransı ve/veya adaptasyonu, çevresel açıdan önemli olmasına rağmen, sağlık riski oluşturabilir. Bundan dolayı özellikle bitkilerde, gıdalarda ve yem bitkilerinde Cd içerikleri yaygın olarak incelenmiştir [78].

2.8. Yüksek Bitkilerde Kadmiyum Toksisitesinin Etkileri.

Çevre kirleticileri arasında kadmiyum (Cd) gittikçe tehlikeli hale gelmiştir ve insanlar ve hayvanlar üzerindeki toksisitesi iyi belgelenmiştir [105]. Böbrek ve karaciğer, memelilerde Cd birikimi için ana hedef organları temsil ederken, balık ve diğer su organizmaları üzerinde çok çeşitli patolojik etkiler bildirilmiştir [106]. Kadmiyum düzeylerindeki genel artış, karasal ve sucul organizmaların sağlığını tehdit eder ve bu nedenle toksikolojik araştırmaların ana konusu haline gelmiştir. İnsanlar tarafından Cd

alımının en az % 70'i bitkisel gıdalardan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bitki dokuları çevresel kirletici konsantrasyonlarının göstergesi olarak hizmet edebilir. Enerji santralleri, ısıtma sistemleri, metal işleme endüstrileri veya şehir trafiği ile çevreye salınır. Elektrokaplama, pigmentler, plastik stabilizatörler ve nikel-kadmiyum pillerde yaygın olarak kullanılmaktadır [11]. Sudaki yüksek toksisitesi ve yüksek çözünürlüğü nedeniyle son derece önemli bir kirletici olarak kabul edilmektedir. Bitki büyümesi için gerekli olmasa da, kadmiyum iyonları kökler tarafından kolayca alınır ve birçok bitki türünde yapraklara taşınır [107] Yaprak emilimi ve doğrudan gövde alımı da potansiyel giriş modlarını temsil eder [108], [57]. Bitkiler için Cd toksisitesinin önemli bir çevresel sorun olduğu kanıtlanmış olsa da, etki mekanizması tam olarak araştırılmamıştır. Kadmiyum genellikle tohumların çimlenmesini [109], bitki büyümesini [110], besin dağılımını [111], fotosentezi [112], [113] inhibirler, bazı enzim aktivitesini artırır, örneğin glikoz-6-fosfat-dehidrojenaz [114], diğer enzim aktiviteleri farklı şekilde etkilidir [115]. Çoğu çevresel koşulda Cd köklere ilk girer ve sonuç olarak Cd hasarını ilk olarak yaşarlar. Cd ayrıca sürgünlerdeki nitrat redüktaz aktivitesini inhibe ederek nitratın emilimini ve köklerden sürgünlere taşınmasını azaltmıştır [116]. Cd iyonları yapraklarda bitkilerin diğer kısımlarına göre daha yüksek seviyelerde biriktiği için [107] Cd'nin fitotoksik etkileri üzerine yapılan çoğu araştırma fotosentezin inhibisyonuna odaklanmıştır. Deneyler, Cd'nin stoma fonksiyonu [117] elektron taşınması [112], [92] ve Calvin döngüsü [118] üzerindeki etkilerini göstermiştir. Tilakoid sisteminin yapısı ve işlevi arasındaki ilişki nedeniyle, metalin neden olduğu fizyolojik değişiklikleri anlamada önemli bir faktör olan Cd'nin kloroplast organizasyonu üzerindeki etkileri hakkında çok az bilgi bulunmaktadır [112], [109]. Bütün bitkilerin Cd'ye uzun süre maruz kalması klorofil sentezini etkileyebilir ve bu nedenle hem genç yapraklarda kloroplast gelişiminde hem de fotosentezin inhibisyonunda önemli bir role sahiptir [119], [120] .

Cd tedavisi, bezelye bitkilerinde [121] lipid peroksidasyonunu özellikle artırırken, Cd'ye maruz kalan bitkilerde ve *Daucus carota*'nın tüylü [11] boğucu oksidasyon fark edilmiştir. Cd ile indüklenen oksidatif strese karşı değişen tepkiler muhtemelen hem sağlanan Cd seviyeleri hem de Cd tedavisi ile halihazırda mevcut olan veya indüklenen tiolik grupların konsantrasyonu ile ilişkilidir. Tiyoller güçlü antioksidatif özelliklere sahiptir ve sonuç olarak oksidatif strese karşı koyabilirler [122]. Cd'nin konakçı-patojen etkileşimleri üzerindeki potansiyel etkileri çok yakın zamanda incelenmiştir: tütün

bitkilerinin Cd'ye maruz kalması, 'şalgam damar temizliğinin sistemik yayılmasını önleme kapasitesine sahip hücrel proteinlerin (varsayılan anti-viral faktörler) üretimini tetiklemiştir. 'virüsü (TVCV) [123]. Patates *Phytophthora infestans* ilişkileri üzerinde uzun süreli deneyler, Cd varlığında, hastalığın gelişiminin hem yapraklarda hem de yumrulara engellendiğini göstermiştir. *Poliaminlerin P. infestans* ve Cd sinyallemeinin transdüksiyonuna katılımı hipotansif boyuttadır [124].

2.9. Literatür Çalışmaları

Hart et al., [125] Cd'nin ekmeklik ve makarnalık buğdayda tutulması, alınması ve taşınmasını belirlemek amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada genel olarak bütün bitki göz önüne alındığında kadmiyumun ekmeklik buğdaylarda, makarnalık buğdaylara oranla daha fazla biriktiğini belirtmişlerdir. Sürgünlere Cd transferi ekmeklik buğdaylarda daha yüksek olmuştur. Makarnalık buğday tanelerinde Cd birikiminin çok fazla olmasını kök-yeşil aksam transfer oranlarıyla değil de taneye floemdeki Cd'nin taşınmasıyla ilgili olabileceğinin muhtemel olduğu belirtilmiştir.

Adams et al., [126] İngiltere'de buğday ve arpa bitkilerinin kadmiyum (Cd) ve kurşun (Pb) içerikleri ve tanede Cd ve Pb birikimini belirleyen etmenleri açıklamak amacıyla sera ve tarla denemelerini kapsayan bir çalışma yapmışlardır. HGCA (The Home-Grown Cereals Authority) tarafından Cereals Quality Survey adı altında gerçekleştirilen çalışmada 250 buğday ve 233 arpa bitkisi, lokasyonları ve varyeteleri bildirilerek toplanmıştır. Analizler sonucunda arpa bitkisinde Cd ve Pb ortalama konsantrasyonları 0,022 ve 0,038 mg kg⁻¹ olarak belirlenmiştir. Bölgesel olarak değerlendirildiğinde kadmiyum ve kurşun konsantrasyonunda istatistiksel anlamda önemli fark bulunmazken, varyeteler arasında Cd konsantrasyonları için bakıldığında istatistiksel açıdan önemli ($P<0,01$) fark çıkmıştır. Buğday bitkisinde Cd ve Pb konsantrasyonları ortalama 0,063 ve 0,025 mg kg⁻¹ olarak bulunmuştur. Kadmiyum yoğunluğu bakımından varyeteler arası fark önemli ($P<0,05$) bulunurken, sekiz buğday genotipinden Rialto yüksek seviyede (0,074 mg Cd kg⁻¹), Consort düşük seviyede (0,053 mg Cd kg⁻¹) Cd biriktiren çeşit olarak belirlenmiştir. Toprağın Cd içeriği ve pH'sının birlikte etkisi tanedeki Cd yoğunluğunu önemli ($P<0,01$) derecede etkilemiştir.

Khan vd., [127] 0, 25, 50 ve 100 mg Cd kg⁻¹ uyguladıkları 5 farklı buğday çeşidinin (PBW343, HT2329, PBW373, UP2338 ve WH542) ekimden 30, 60 ve 90 gün sonra; kardeşlenme, başaklanma ve süt olum dönemlerinde bazı parametreleri (bitki boyu, kuru ağırlık ve yaprak alanı, net fotosentez hızı, başak sayısı, bin tane ağırlığı, tane verimi) belirlemek amacıyla yaptıkları çalışmada 100 mg Cd kg⁻¹ uygulamasında tüm çeşitlerde ve örnekleme periyodlarında morfolojik özelliklerde önemli seviyede düşüşler görmüşlerdir. PBW373 çeşidi tüm parametrelerde daha az zarar görerek toleranslı bulunmuştur. WH542 çeşidinin ise en fazla zarar gördüğü ve toleranssız olduğu vurgulanmıştır.

Saidi vd., [128] Cd stresi altındaki fasulye bitkilerinde meydana gelen fizyolojik ve biyokimyasal değişiklikleri belirlemek ve Cd- kaynaklı oksidatif strese bitkilerin korunmasında salisilik asitin (SA) olası arabulucu rolünü araştırmak için yaptıkları çalışmada, Cd uygulaması SA uygulaması ile birleştirildiğinde Cd konsantrasyonu köklerde %58,6 ve yapraklarda %614 oranında azaldığını belirtmişlerdir. Fasulye fidelerindeki Cd dağılımının esas olarak köklerde ve az bir derece de yapraklarda yoğunlaştığını belirtmişlerdir. K, Ca, Mg ve Fe'nin konsantrasyonlarındaki çeşitliliği kadmiyumun önemli derecede iyon dengeleşimini bozması olarak açıklamışlardır.

Soudek et al., [129] yaptıkları çalışmada sorgum bitkisine 0, 50, 100, 200, 500, 1000, 2000 µM kadmiyum (Cd) uygulamışlardır. Araştırmacılar kadmiyumun esas olarak sorgum bitkilerinin köklerinde biriktiğini belirtmişlerdir. Düşük konsantrasyonlarda uygulanan ağır metallerin toksik etkilerinin, sürgünlerde köklere olan etkileri ile karşılaştırıldığında daha az düzeyde olduğunu ve daha yüksek konsantrasyonlarda uygulandığında ise ağır metallerin, yapraklara transferiyle büyümenin azalmasına, klorofil kaybına ve ağır metal kaynaklı kloroza neden olduğunu belirlemişlerdir.

Zhang et al., [130] tütün bitkisinde Cd stresinin neden olduğu olumsuzlukları gidermek için etilen uygulamasını araştırdıkları bir çalışmada, tütün bitkisini kadmiyum stresine tabi tutup bitkinin fizyolojik performans ve gelişimini takip etmişlerdir. Cd stresinin neden olduğunu olumsuzluklarla ilgili ise şunları kaydetmişlerdir; tütün bitkilerinde sarı yapraklara ve küçük köklere neden olduğunu, tütün bitkisinin gelişimini inhibe ettiğini, taze sürgün ağırlığını, taze kök ağırlığını ve kök uzunluğunu azalttığını belirtmişlerdir.

Roy et al., [131] yaptıkları çalışmada on gün süre ile sorgum fidelerini farklı konsantrasyonlarda (0, 100 ve 150 μM) CdCl_2 'ye maruz bırakmışlar ve bitkinin gösterdiği farklı morfo-fizyolojik tepkileri incelemişlerdir. Gözlemlenen morfolojik değişiklikler, Cd ile uygulama yapılan bitkilerde yoğun olarak değişen sürgün uzunlukları olmakla birlikte bitki yaş ağırlıkları ve su içeriğinin azalması olmuştur. Cd konsantrasyonu, Cd uygulaması ile belirgin şekilde artmış ve sürgünler tarafından alınan Cd miktarı, uygulanan Cd konsantrasyonu ile doğru orantılı olarak yükselmiştir.

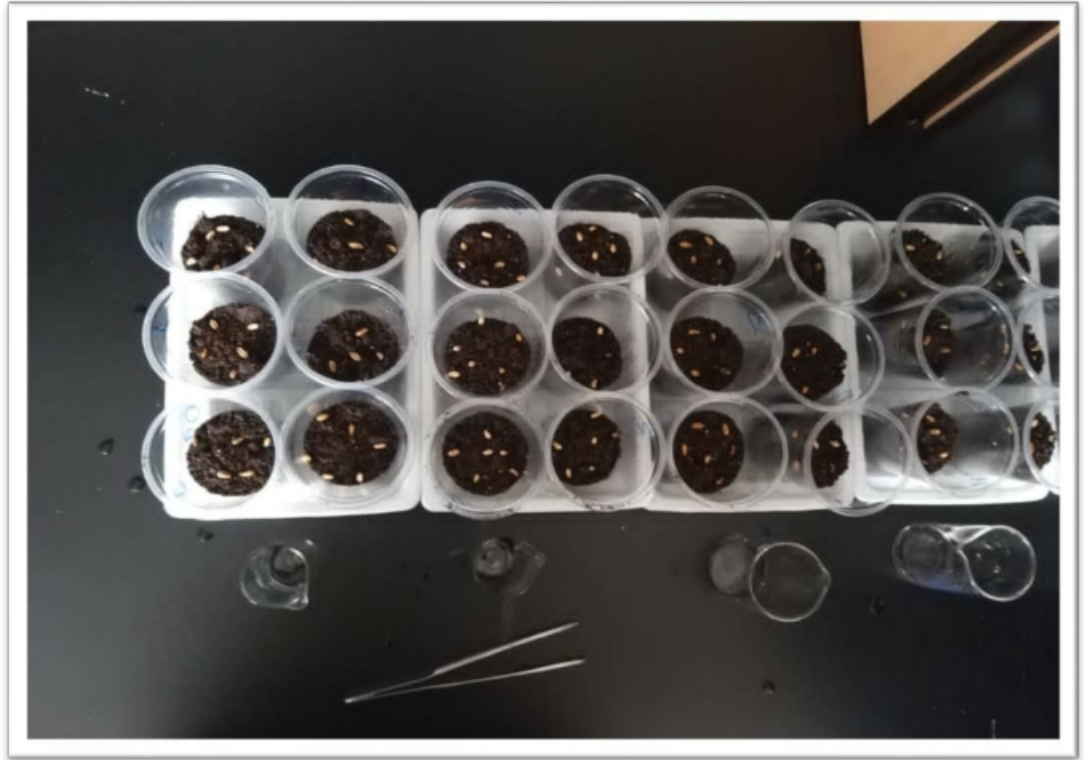
Wang et al., [132] araştırmalarında asit karakterli kumlu bir toprakta sorgum bitkisinin 100 günlük büyüme periyodunda Cd elementini alabilme kapasitesini değerlendirmişlerdir. Cd 0, 3, 15 ppm dozlarında uygulanmıştır. Yüksek Cd stresinde bitki büyümesi engellenmiş ve biyomas ağırlığı ve bitki boyu sırasıyla %38,7-51,5 ve %27,6-28,5 azalmıştır. Topraktan bitkiye olan transfer Cd'un bitkide yüksek oranda birikebileceğini göstermiş ve yüksek Cd stresi altında köklerden sürgünlere Cd'nin daha yüksek oranda transfer kabiliyeti olduğu belirtilmiştir. *S. bicolor*'un kök, gövde ve yapraklarındaki Cd içeriği sırasıyla 43.79-46.07, 63,28-70,60 ve 63,10-66,06 mg kg^{-1} 'a ulaşmıştır. *S. bicolor*'un asitli kumlu çamur topraklarda düşük veya orta derecede Cd kontaminasyonu için fitoremediasyonda kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

BÖLÜM III

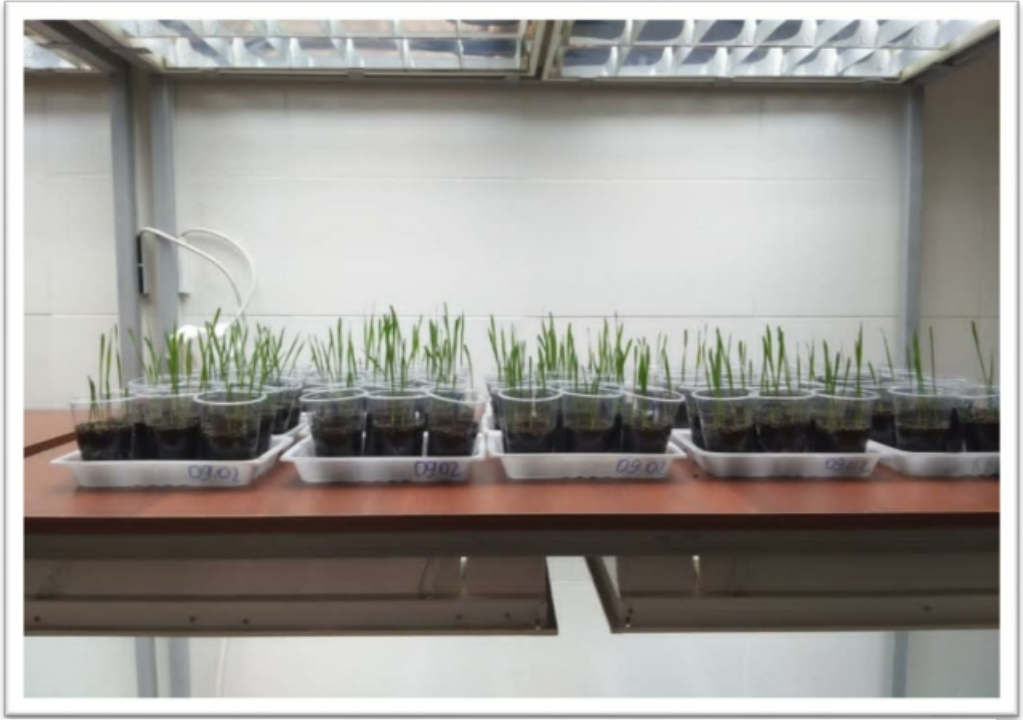
3. Materyal ve Yöntem

3.1. *Triticum aestivum* L. Bitkisinin in vitro Ortamda Gelişimi.

Çalışmada *Triticum aestivum* L. bitkisinin Kırgızistanda yayın olarak tarımı yapılan İntensivnaya varietesi kullanıldı. Tohumlar Kırgızistan Tarım Enstütüsinden elde edildi. Bitki yetiştirme Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesinin Fen fakultesinin Biyoloji bölümünün bitki yetiştirme odasında yetiştirildi. Ekildikten sonra her iki gün sulama yapıldı (Şekil. 3.1.). Sonraki 10-14 gün arası tohumlar çimlendi (Şekil. 3.2.). 45 gündür normal su ile sulanarak yetiştirildikten sonra kontrol, 50, 100, 200, 400 μ M olarak gruplara ayırdık (Şekil. 3.3) ve Cd çözeltileri ilave edilmeye başladı. Cd uygulanan bitkiler 45 gün sonra hasat yapıldı.



Şekil 3. 1. Seçilen tohumların ekilmesi



Şekil 3. 2. Çimlenen bitkiler



Şekil 3. 3. Yetiştirilmiş bitkilerin grublara ayrılması

3.2.Büyüme Parametrelerinin Ölçülmesi

Hasat işleminden sonra, kontrol ve deney gruplarının alt ve üst yapraklarının ve gövde uzunlukları cetvel yardımı ile ölçüldü ve ortalama değerler hesaplandı. Yaprak yüzeylerinin (her 1mm² alan için) stomaları ve tüy sayıları sayıldı.

3.3. Cd Akümülayonu ve Mineral Besin Elementlerinin Tayini

Bir buçuk ay boyunca kontrol ve dört farklı konsantrasyonda (50, 100, 200 ve 400 µM) CdCl₂ ile muamele edilen *Triticum aestivum* L. bitkilerinin kök, gövde ve yapraklarındaki Cd akümülayonu ve buna bağlı olarak B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn elementlerinin bitkideki miktarları ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometers) cihazı ve tekniği ile ölçüldü.

3.4. Laboratuvar Çalışmaları

Triticum aestivum L. bitkilerinin kontrol ve deney gruplarına ait kök, gövde ve yapraklarındaki Cd akümülayonu ve buna bağlı olarak B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn elementlerinin ölçülmesi için seçilen bitki kısımları çürüme ve kontaminasyonu önlemek için bitki örnekleri (kök, gövde ve yapraklar) kurutma kâğıtlarından yapılmış zarflara konularak 80°C sıcaklıkta çalışan etüvde 24 saat bekletildi. Örnekler, etiketlenerek kilitli plastik poşetlere konuldular.

Ağır metal ve mineral besin elementlerinin tayini için ön analiz çalışmaları, Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Biyoloji Bölümü'ne ait Araştırma Laboratuvarları'nda yapılmıştır. Kök, gövde ve yaprak örnekleri hassas terazide tartılarak çözme sistemindeki teflon hücrelere konulmuştur. Çalışmamızda kapalı sistem mikrodalga çözme sistemi kullanılarak, hassas terazide tartılan kök, gövde, yaprak ve toprak örnekleri sıvılaştırılmıştır. Çözme işleminde yüksek sıcaklığa ve basınca dayanıklı teflon kaplar kullanılmıştır.

Bitki örneklerinden 0.2 gr tartılarak teflon hücrelere (vessel) konuldu. Daha sonra üzerlerine 8 ml. HNO₃ ilave edilip, Erghof marka Mws2 model mikrodalga fırında kademeli olarak önce 145 derece 5 dakika, 165 derece 5 dakika ve son olarak 175 derece 20 dakika ile çözme işlemi yapıldı. Hücreler mikrodalgadan sonra oda sıcaklığında su

banyosunda 20 dakika soğumaya bırakıldı. Hücreler ultrasaf su ile yıkanarak 50 ml'lik falcon tüplere 50 ml oluncaya kadar süzülerek aktarıldı. Merck marka 1000 ppm'lik multi element kullanılarak hazırlanan standart çözeltiler ile element tayin işlemleri için Perkin Elmer marka ICP-OES Optima 7000 DV ile analizleri Bahçeşehir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü Laboratuvarı'nda yapıldı.



BÖLÜM IV

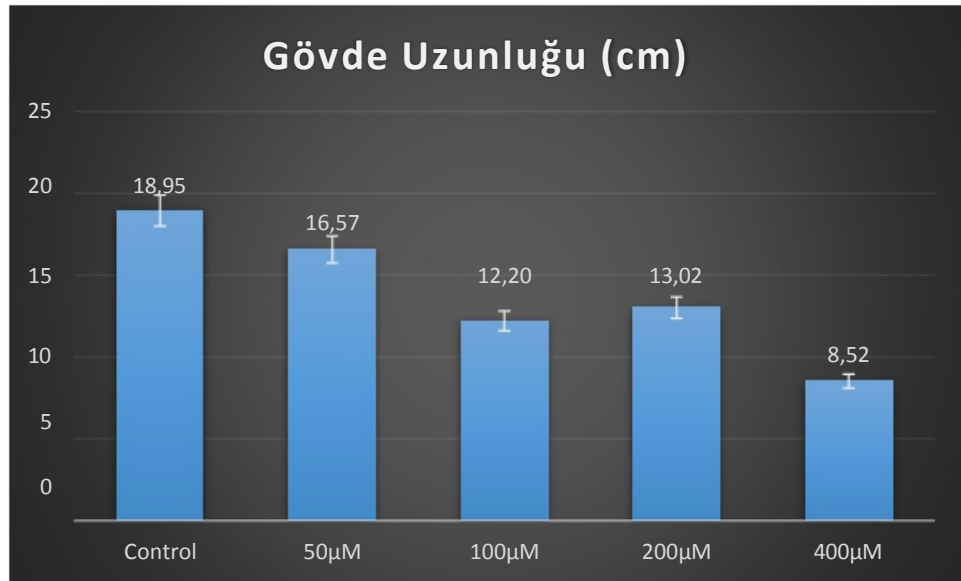
4.BULGULAR

4.1. Cd Stresinin *Triticum aestivum* L. Bitkisi Büyüme Parametreleri Üzerine Etkisi

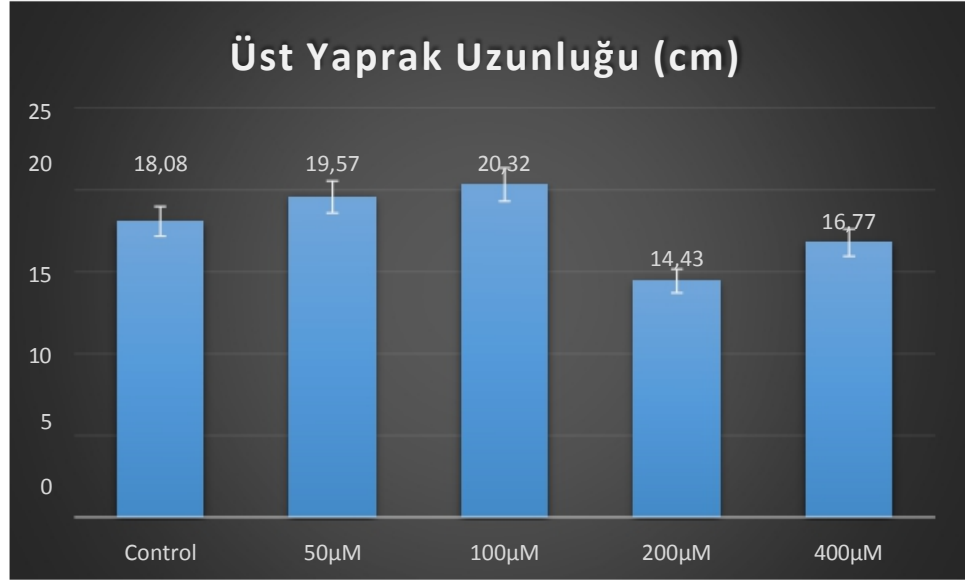
Cd stresinin *Triticum aestivum* L. bitkisinde büyüme ve gelişme parametreleri üzerinde yaptığı etkilerin belirlenmesinde gövde ve yaprak uzunluğu, yaprak genişliğine yanısıra yaprak klorofili ölçümleri alınmıştır. Bitkiye ait büyüme parametreleri **Tablo 4.1.** 'de verilmiştir.

Tablo 4. 1. *Triticum aestivum* L. bitkisinin büyüme parametreleri

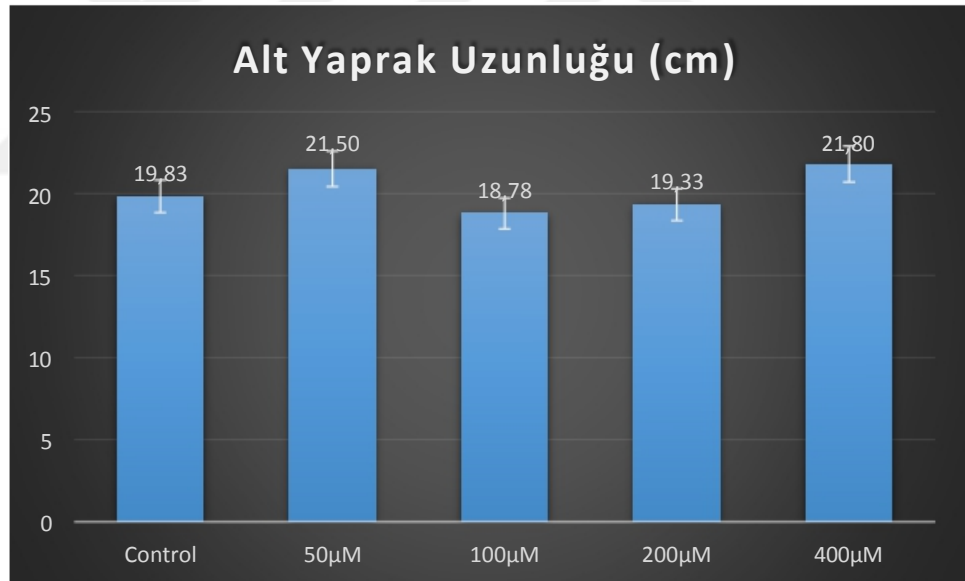
Parametreler	Kontrol	50 μ M	100 μ M	200 μ M	400 μ M
Gövde Uzunluğu (cm)	18,95	16,57	12,2	13,02	8,52
Üst Yaprak Uzunluğu (cm)	18,08	19,57	20,32	14,43	16,77
Alt Yaprak Uzunluğu (cm)	19,83	21,5	18,78	19,33	21,8
Üst Yaprak genişliği (mm)	5,17	5,17	4	4,5	4,17
Alt Yaprak genişliği (mm)	4,33	4,83	3,83	3,78	3,67
Üst Yaprak Klorofili	1,75	2,09	2,04	1,99	1,67
Alt Yaprak Klorofili	1,7	2,11	2,58	1,82	1,63



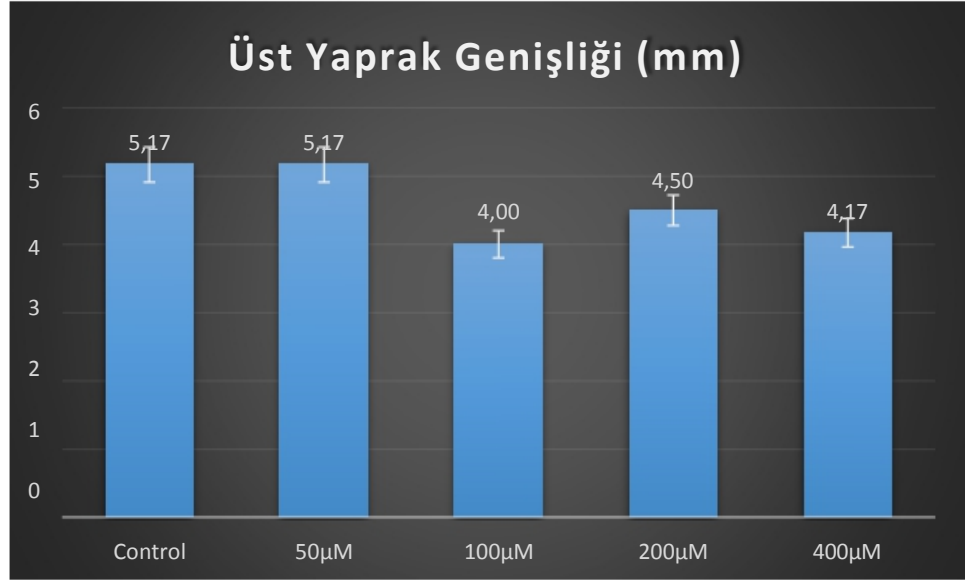
Şekil 4. 1. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde gövde uzunluğu (cm) değerleri



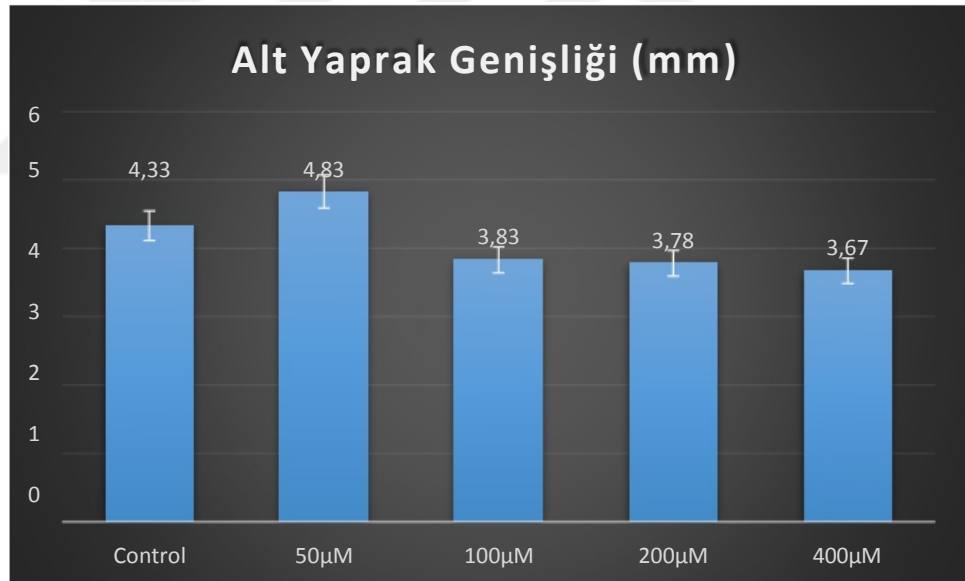
Şekil 4. 2. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak uzunluk (cm) değerleri



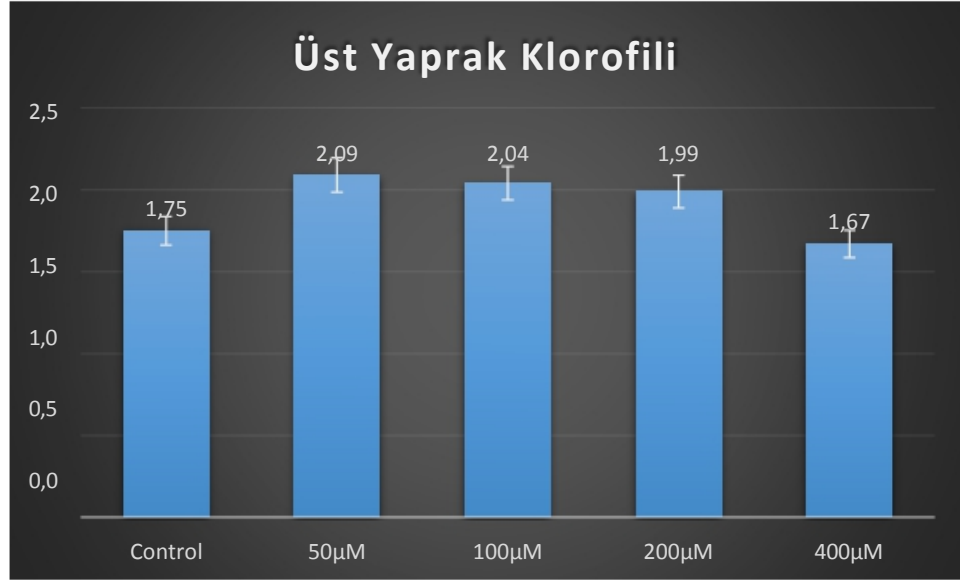
Şekil 4. 3. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak uzunluk (cm) değerleri



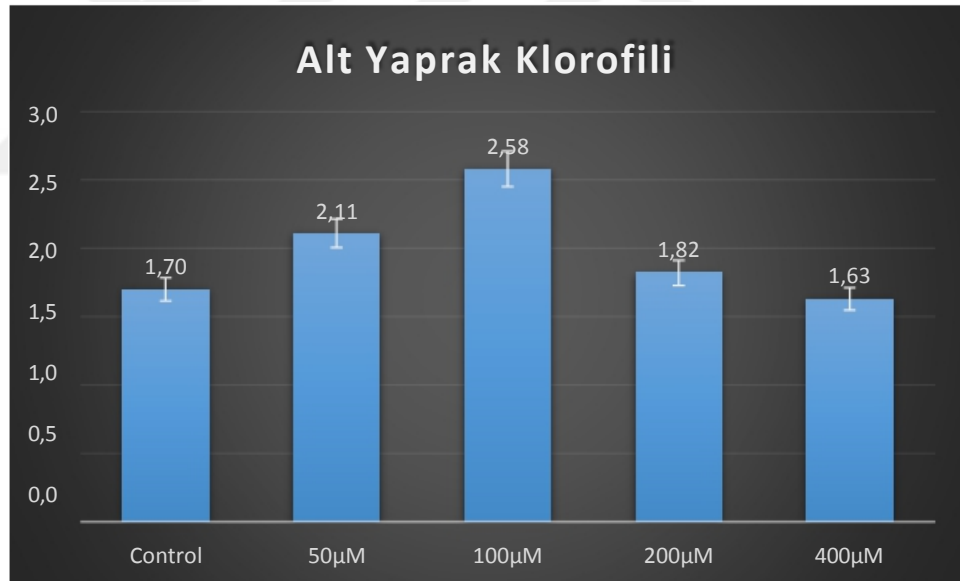
Şekil 4. 4. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak genişlik (mm) değerleri



Şekil 4. 5. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak genişlik (mm) değerleri

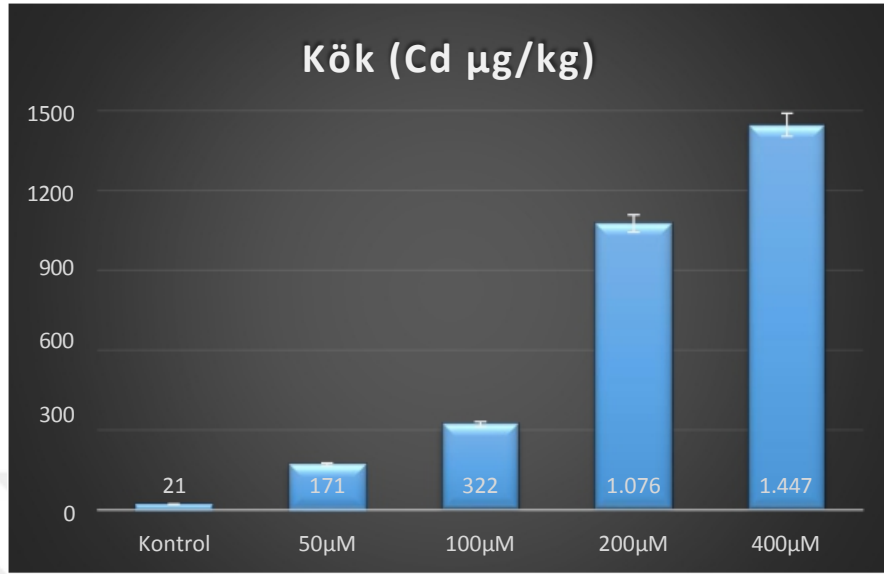


Şekil 4. 6. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde üst yaprak klorofil değerleri



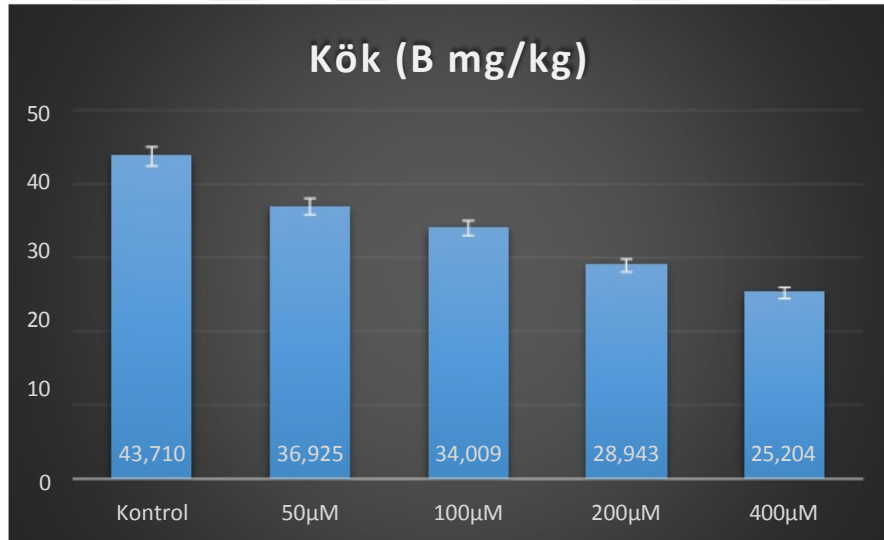
Şekil 4. 7. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerde alt yaprak klorofil değerleri

4.2. Cd Stresi ve Mineral Beslenme Üzerine Etkileri



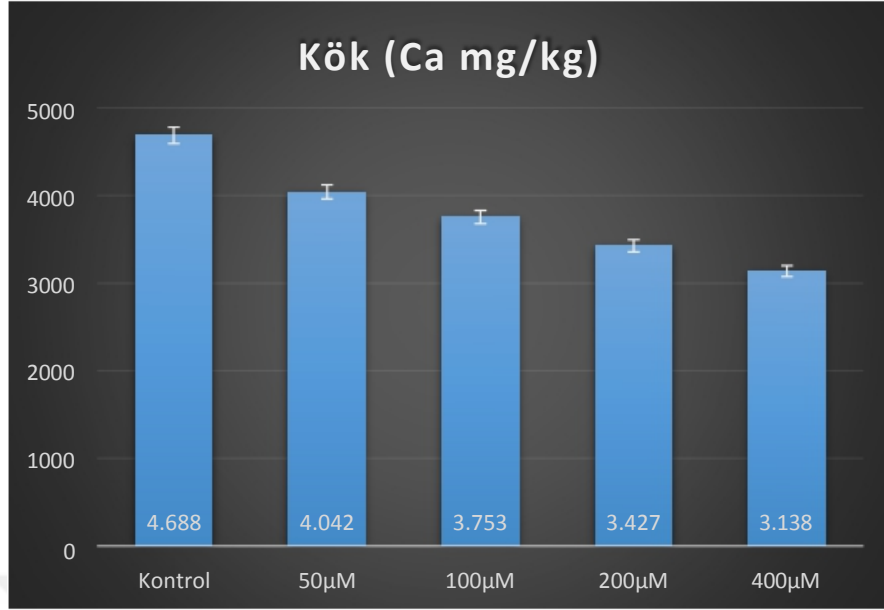
Şekil 4. 8. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Cd mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Cd değerleri sırasıyla; 21, 171, 322, 1076, 1447 mg/kg olarak ölçülmüştür.



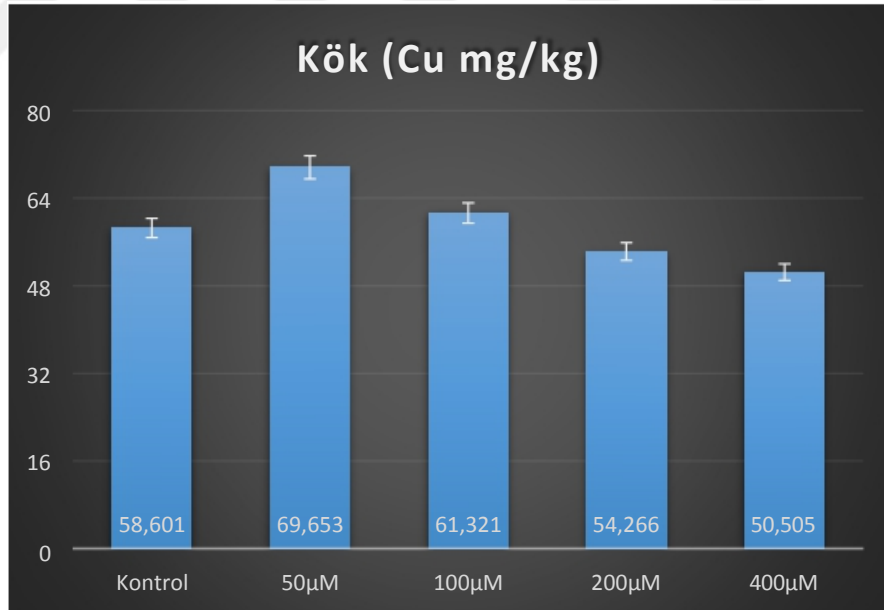
Şekil 4. 9. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde B mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen B değerleri sırasıyla; 43.710, 36.925, 34.009, 28.943, 25.204 mg/kg olarak ölçülmüştür.



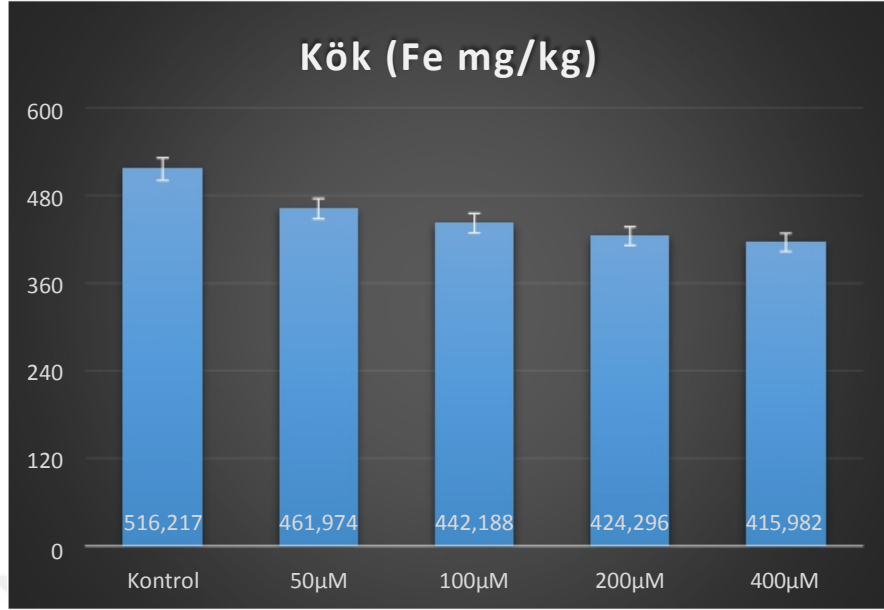
Şekil 4. 10. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Ca mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Ca değerleri sırasıyla; 4688, 4042, 3753, 3427, 3138 mg/kg olarak ölçülmüştür.



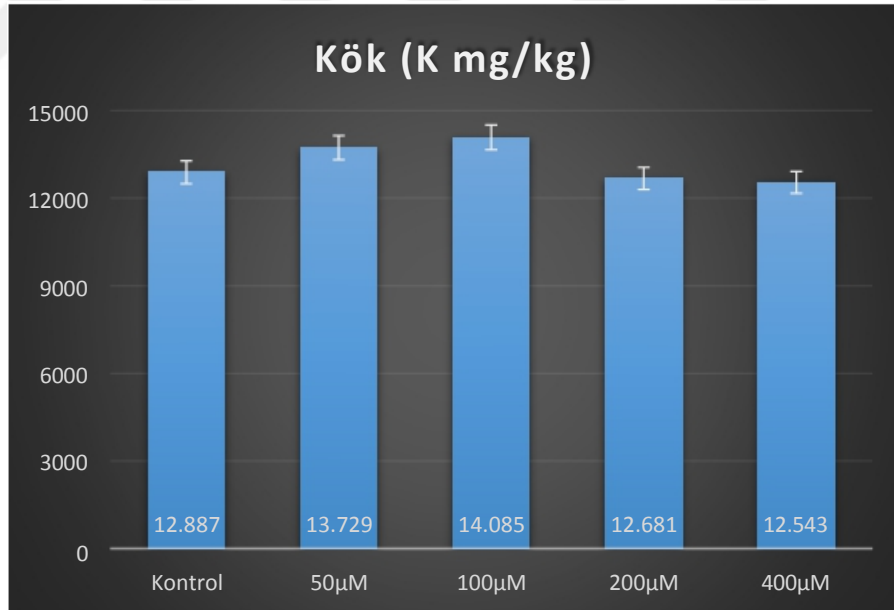
Şekil 4. 11. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Cu mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Cu değerleri sırasıyla; 58.601, 69.653, 61.321, 54.266, 50.505 mg/kg olarak ölçülmüştür.



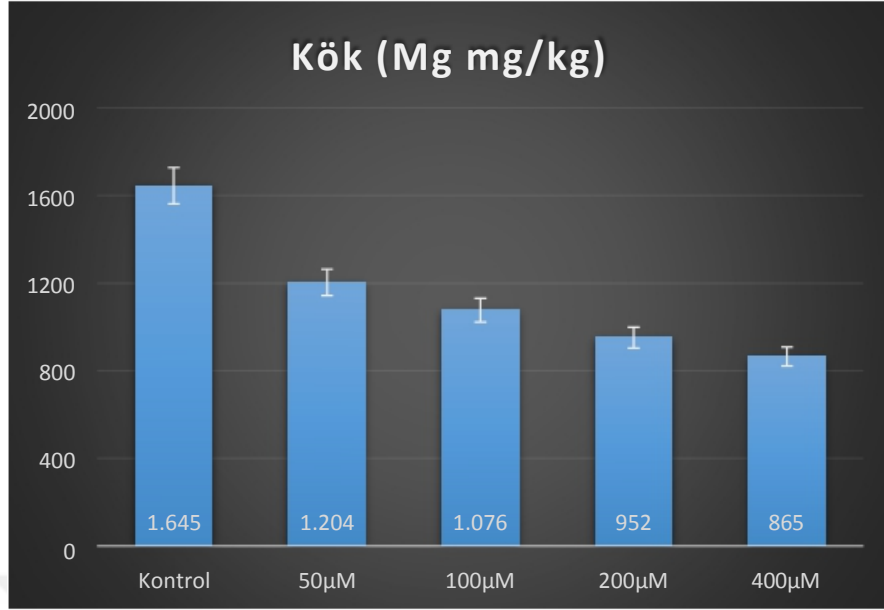
Şekil 4. 12. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Fe mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Fe değerleri sırasıyla; 516.217, 461.974, 442.188, 424.296 ve 415.982 mg/kg olarak ölçülmüştür.



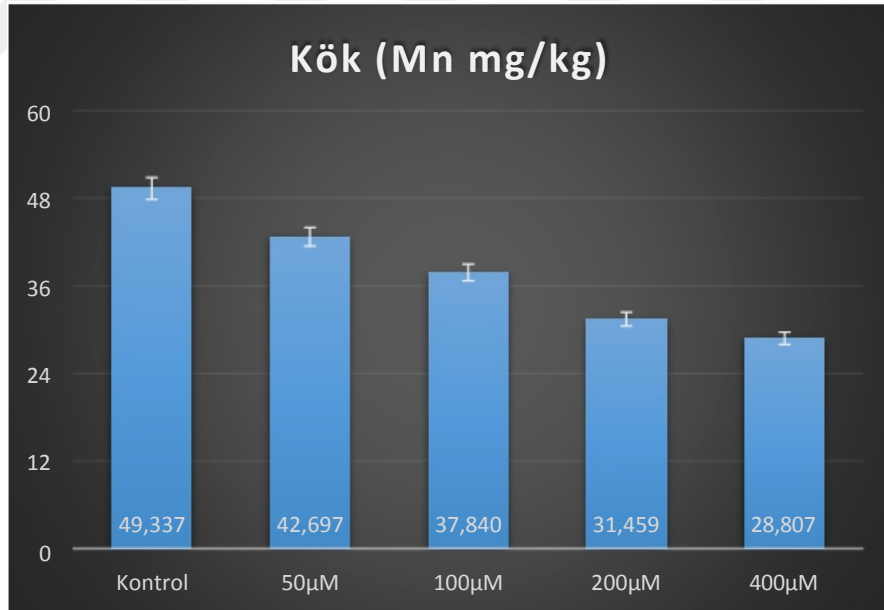
Şekil 4. 13. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde K mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen K değerleri sırasıyla; 12887, 13729, 14085, 12681, 12453 mg/kg olarak ölçülmüştür.



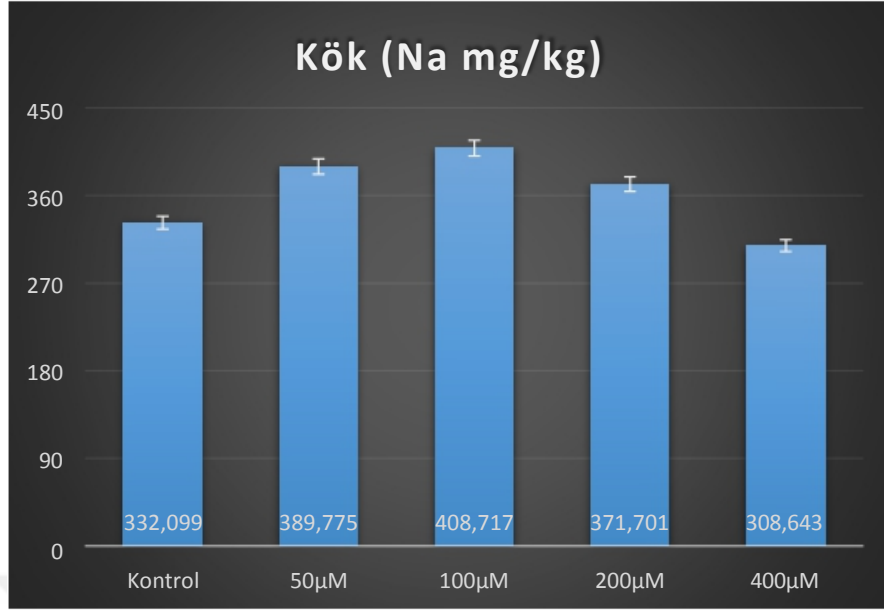
Şekil 4. 14. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Mg mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Mg değerleri sırasıyla; 1645, 1204, 1076, 952, 865 mg/kg olarak ölçülmüştür.



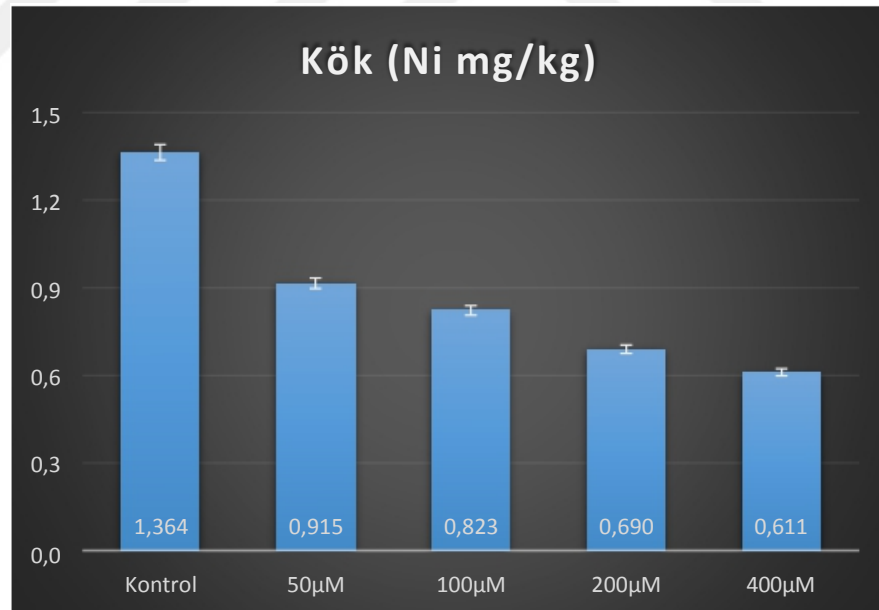
Şekil 4. 15. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Mn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Mn değerleri sırasıyla; 49.337, 42.697, 37.840, 31.459, 28.807 mg/kg olarak ölçülmüştür.



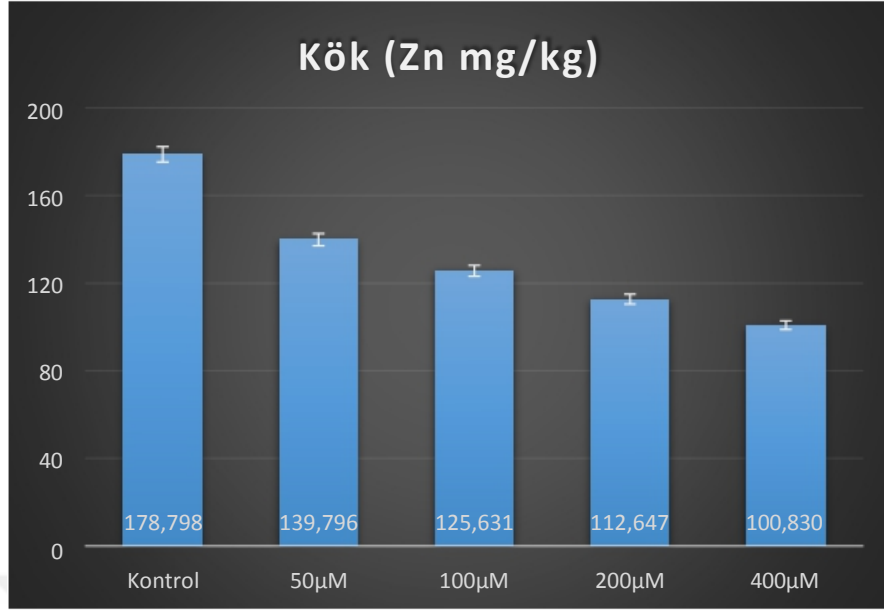
Şekil 4. 16. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Na mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Na değerleri sırasıyla; 332.099, 389.775, 408.717, 371.701 ve 308.643 mg/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 17. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Ni mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Ni değerleri sırasıyla; 1.364, 0.915, 0.823, 0.690, 0.611 mg/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 18. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Zn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin köklerinden elde edilen Zn değerleri sırasıyla; 178.798, 139.796, 125.631, 112.647, 100.830 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Kök: 0, 50, 100, 200, 400 µM konsantrasyonlarında Cd uygulanan bitkilerin köklerinde Cd, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn elementlerinin miktar analizleri yapılmıştır.

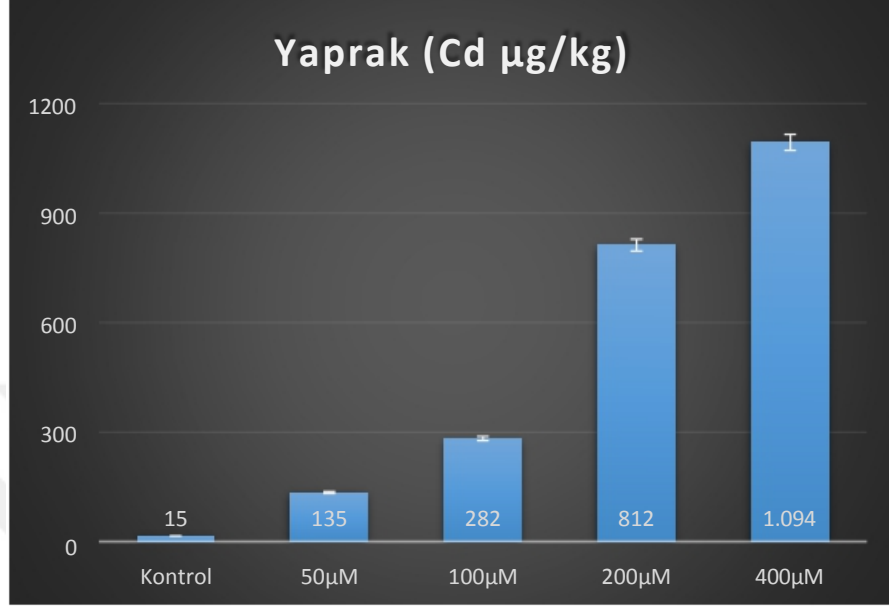
Bu analizler sonucunda kontrol grubunda mineraller sırasıyla; Cd:20.730, B: 43.710, Ca: 4688, Cu: 58.601, Fe: 516.217, K: 12887, Mg:1645, Mn:49.337, Na:332.099, Ni:1.364 ve Zn:178.798 mg/kg olarak ölçülmüştür.

50 µM Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:171, B:36.925, Ca:4042, Cu:69.653, Fe:461.974, K:13729, Mg:1204, Mn:42.697, Na:389.775, Ni:0.915 ve Zn:139.796 mg/kg olarak ölçülmüştür.

100 µM Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:322 B:34.009, Ca:3743, Cu:61.321, Fe:442.188, K:14085, Mg:1076, Mn37.840, Na:408.717, Ni:0.823 ve Zn:125.631 mg/kg olarak ölçülmüştür.

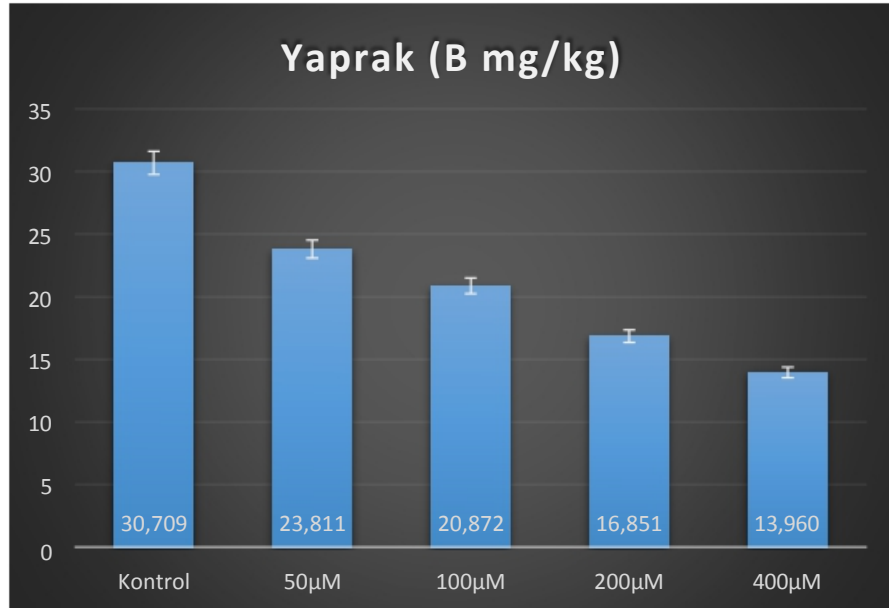
200 µM Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:1016, B28.943, Ca:3427, Cu:54.266, Fe:424.296, K:12681, Mg:952, Mn:31.459, Na:371.701, Ni:0.690 ve Zn:112.647 mg/kg olarak ölçülmüştür.

400 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:1447, B:25.204, Ca:3138, Cu:50.505, Fe:415.982, K:12543, Mg:865, Mn:28.807, Na:308.643, Ni:0.611 Zn:100.830 mg/kg olarak ölçülmüştür.



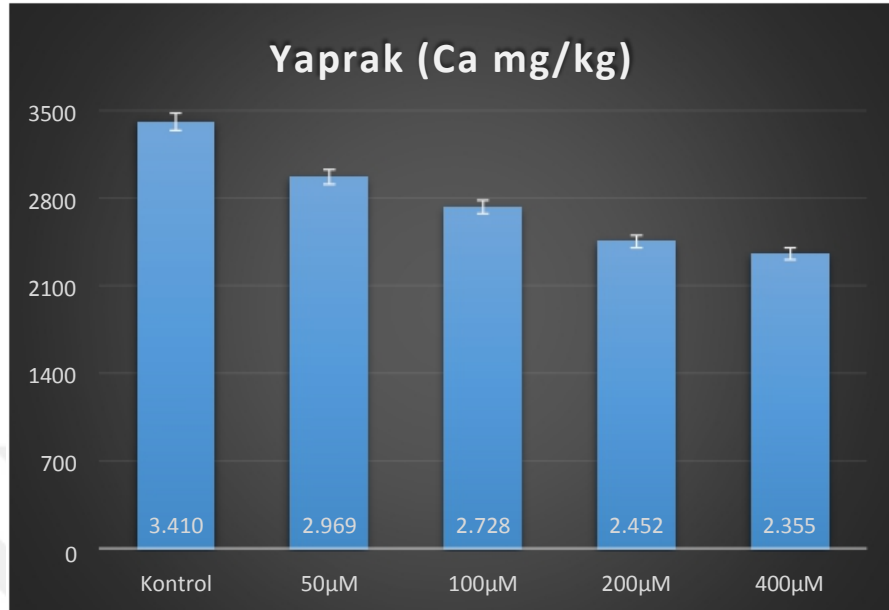
Şekil 4. 19. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Cd mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μ M Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Cd değerleri sırasıyla; 15, 135, 282, 812, 1094 mg/kg olarak ölçülmüştür.



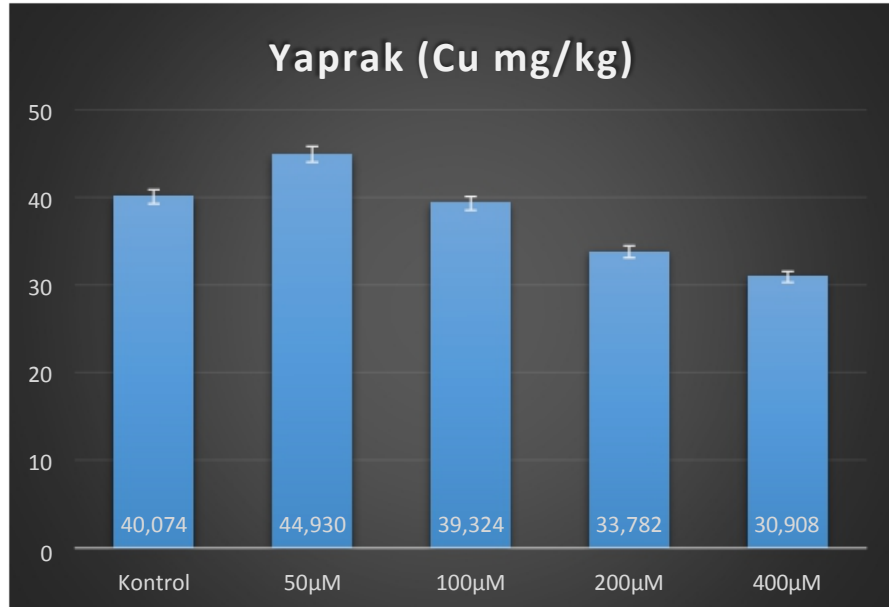
Şekil 4. 20. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında B mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Cd değerleri sırasıyla; 30.709, 23.811, 20.872, 16.851, 13.960 mg/kg olarak ölçülmüştür.



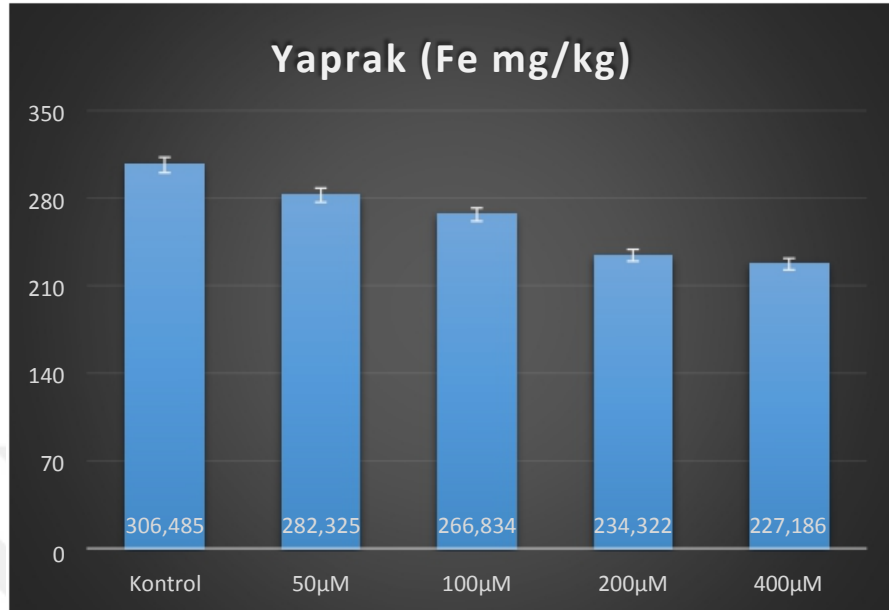
Şekil 4. 21. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Ca mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Ca değerleri sırasıyla; 3410, 2969, 2728, 2452, 2355 mg/kg olarak ölçülmüştür.



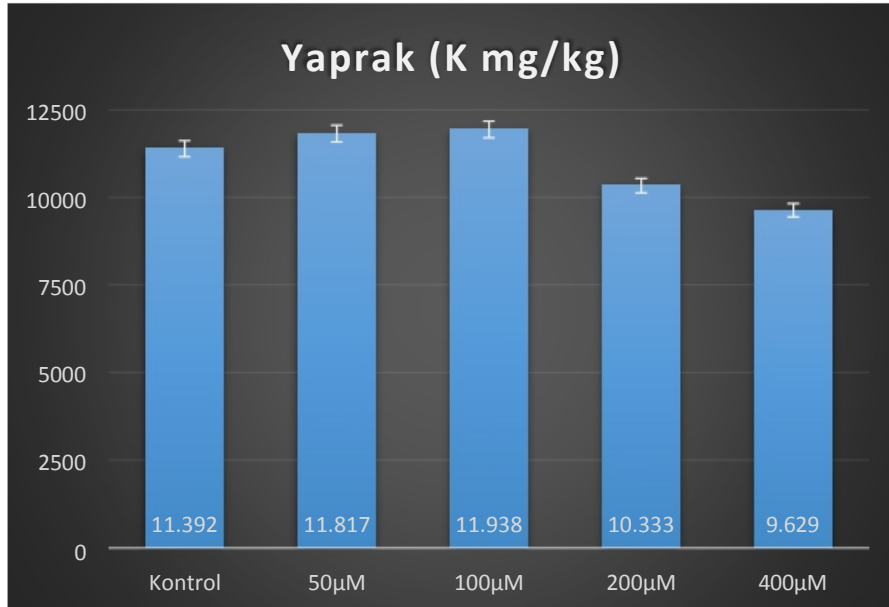
Şekil 4. 22. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Cu mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Cu değerleri sırasıyla; 40.074, 44.930, 39.324, 33.782, 30.908 mg/kg olarak ölçölmüştür.



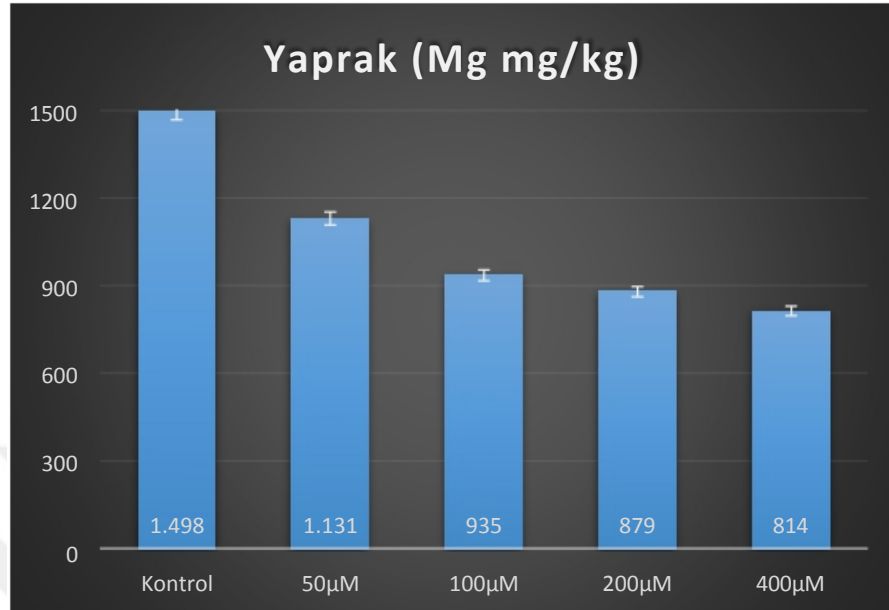
Şekil 4. 23. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Fe mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Fe değerleri sırasıyla; 306.485, 282.325, 266.834, 234.322, 227.186 mg/kg olarak ölçölmüştür.



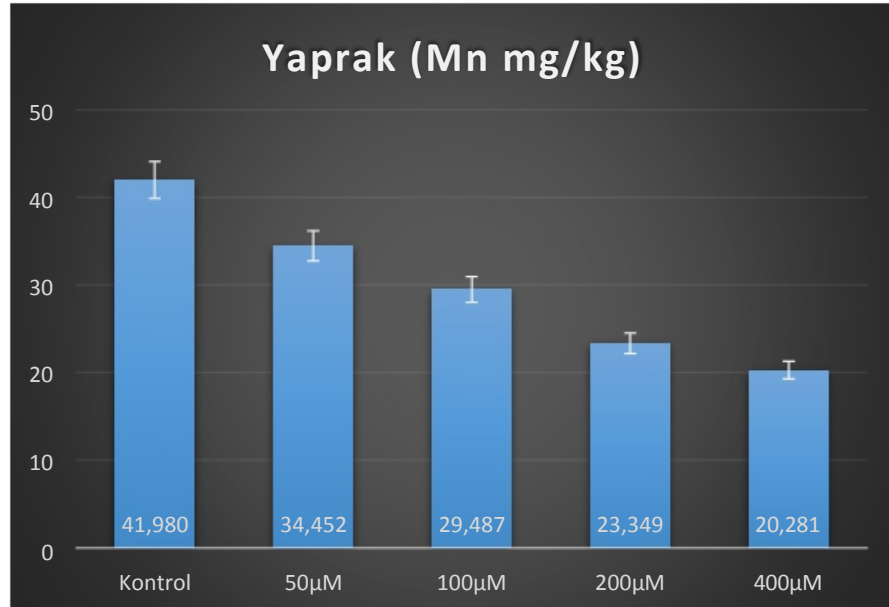
Şekil 4. 24. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında K mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen K değerleri sırasıyla; 11392, 11817, 11938, 10333, 9629 mg/kg olarak ölçülmüştür.



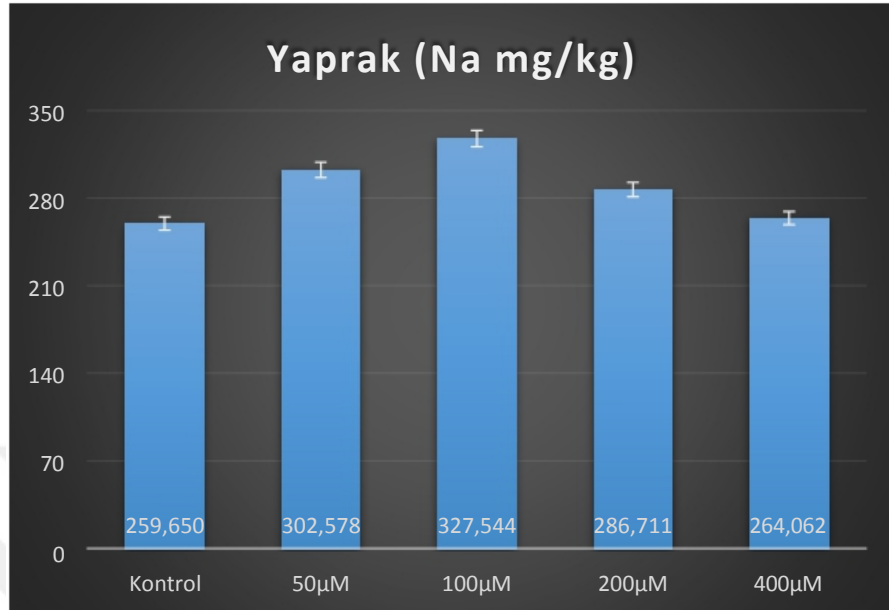
Şekil 4. 25. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Mg mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Mg değerleri sırasıyla; 1498, 1131, 935, 879, 814 mg/kg olarak ölçülmüştür.



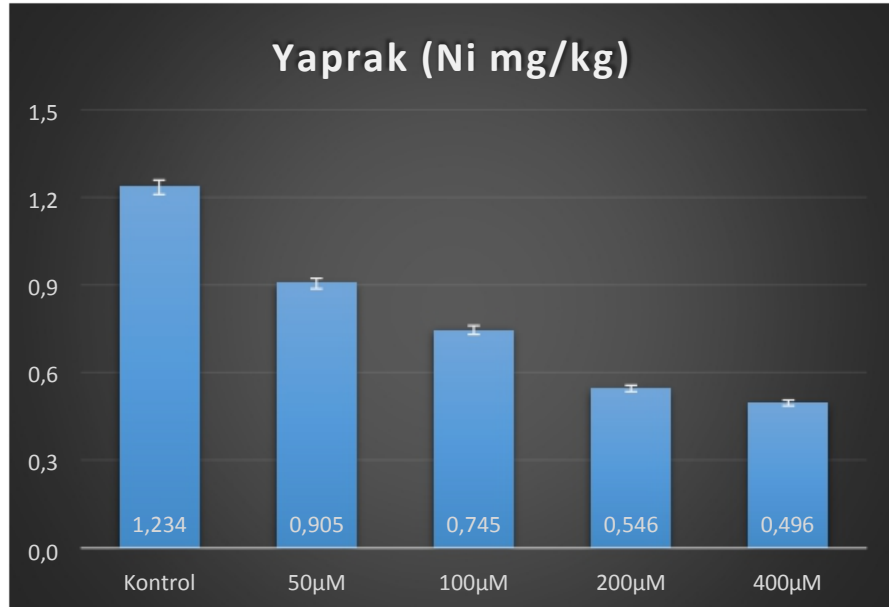
Şekil 4. 26. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Mn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Mn değerleri sırasıyla; 41.980, 34.452, 29.487, 23.349 20.281 mg/kg olarak ölçülmüştür.



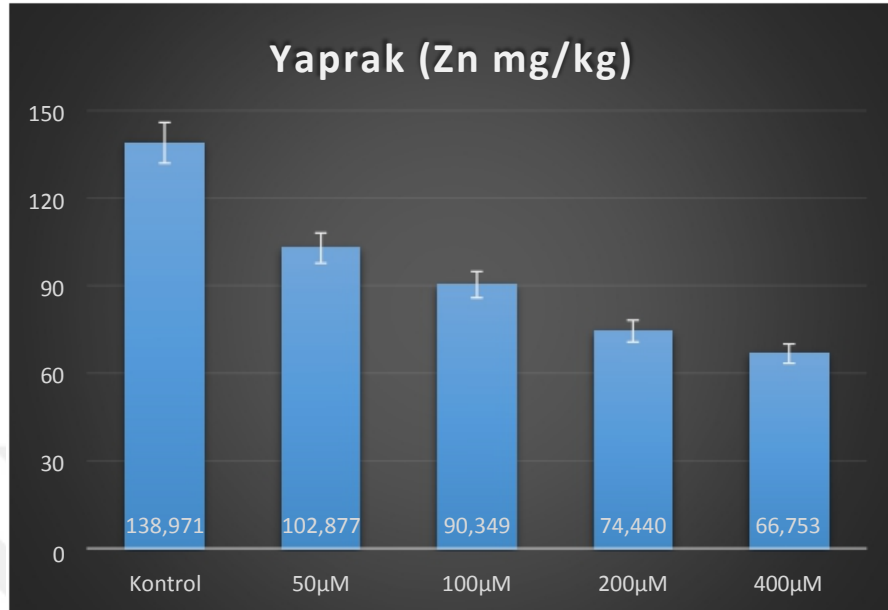
Şekil 4. 27. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Na mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Na değerleri sırasıyla; 259.650, 302.578, 327.544, 286.711, 264.062 mg/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 28. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Ni mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Ni değerleri sırasıyla; 1.234, 0.905, 0.745, 0.546, 0.496 mg/kg olarak ölçölmüştür.



Şekil 4. 29. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Zn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μM Cd uygulanan bitkilerin yapraklarından elde edilen Zn değerleri sırasıyla; 138.971, 102.877, 90.349, 74.440, 66.753 mg/kg olarak ölçölmüştür.

Yaprak: 0, 50, 100, 200, 400 μM konsantrasyonlarında Cd uygulanan bitkilerin yapraklarında Cd, B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn elementlerinin miktar analizleri yapılmıştır.

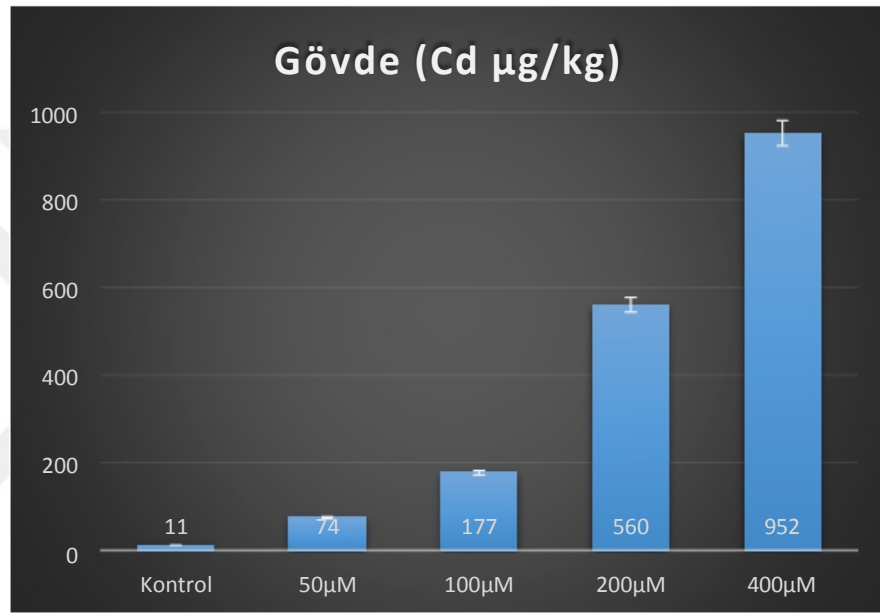
Bu analizler sonucunda kontrol grubunda mineraller sırasıyla; Cd:15, B:30.709, Ca:3410, Cu:40.074, Fe:306.485, K:11392, Mg:1498, Mn:41.980, Na:259.650, Ni:1.234 ve Zn:138.971 mg/kg olarak ölçölmüştür.

50 μM Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:135, B:23.811, Ca:2969, Cu:44.930, Fe:282.325, K:11817, Mg:1131, Mn:34.452, Na:302.578, Ni:0.905 ve Zn:102.877 mg/kg olarak ölçölmüştür.

100 μM Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:282, B:20.872, Ca:2728, Cu:39.324, Fe:266.834, K:11938, Mg:935, Mn:29.487, Na:327.544, Ni:0.745 ve Zn:90.349 mg/kg olarak ölçölmüştür.

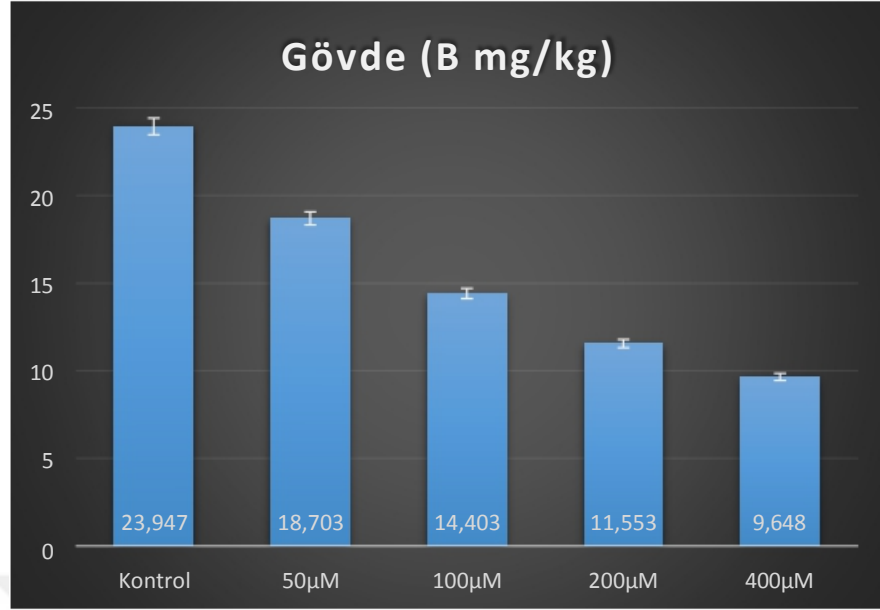
200 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:812, B:16.851, Ca:2452, Cu:33.782, Fe:234.322, K:10333, Mg:879, Mn:23.349, Na:286.711, Ni:0.546 ve Zn:74.440 mg/kg olarak ölçülmüştür.

400 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:1094, B:13.960, Ca:2355, Cu:30.908, Fe:227.186, K:9629, Mg:814, Mn:20.281, Na:264.062, Ni:0.496 ve Zn:66.753 mg/kg olarak ölçülmüştür.



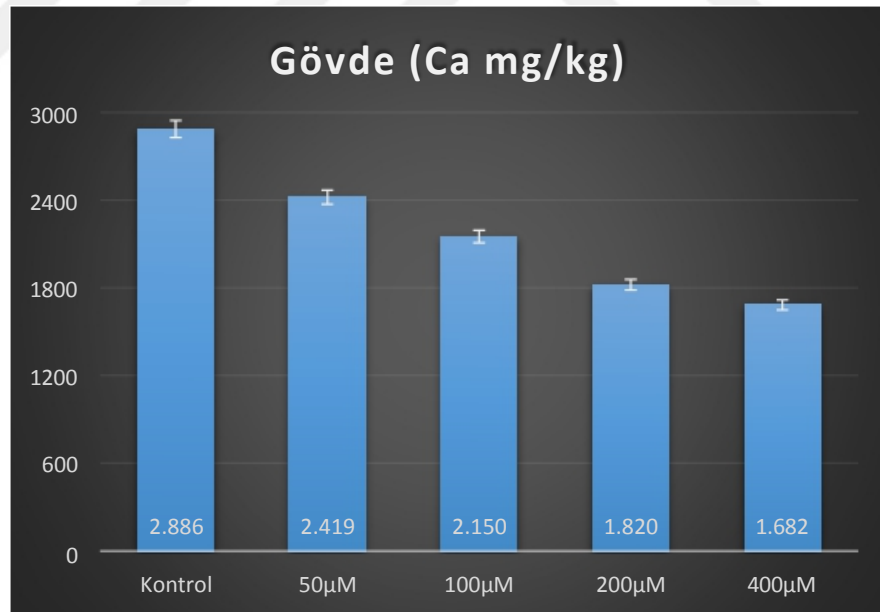
Şekil 4. 30. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Cd mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 μ M Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Cd değerleri sırasıyla; 11, 74, 177, 560, 952 mg/kg olarak ölçülmüştür.



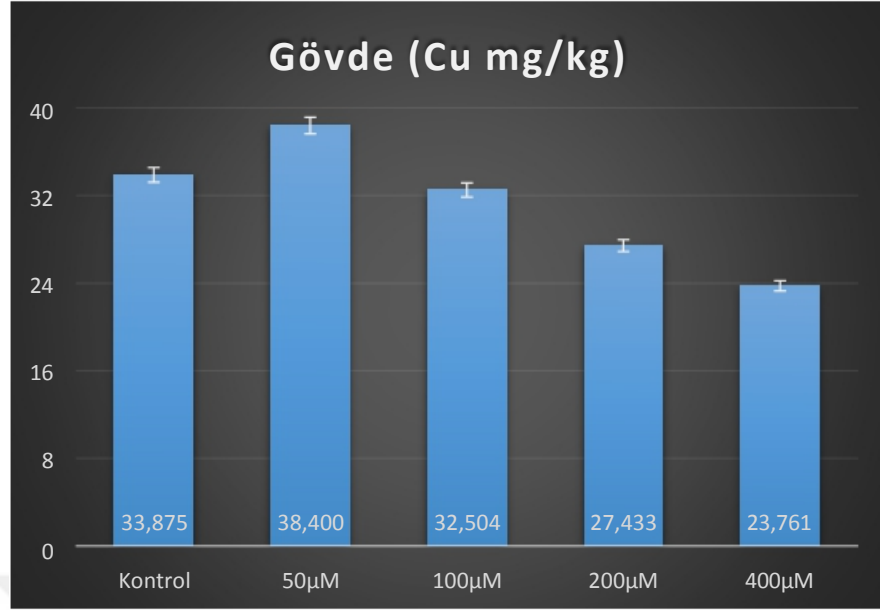
Şekil 4. 31. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde B mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen B değerleri sırasıyla; 23.947, 18.703, 14.403, 11.553, 9.648 mg/kg olarak ölçülmüştür.



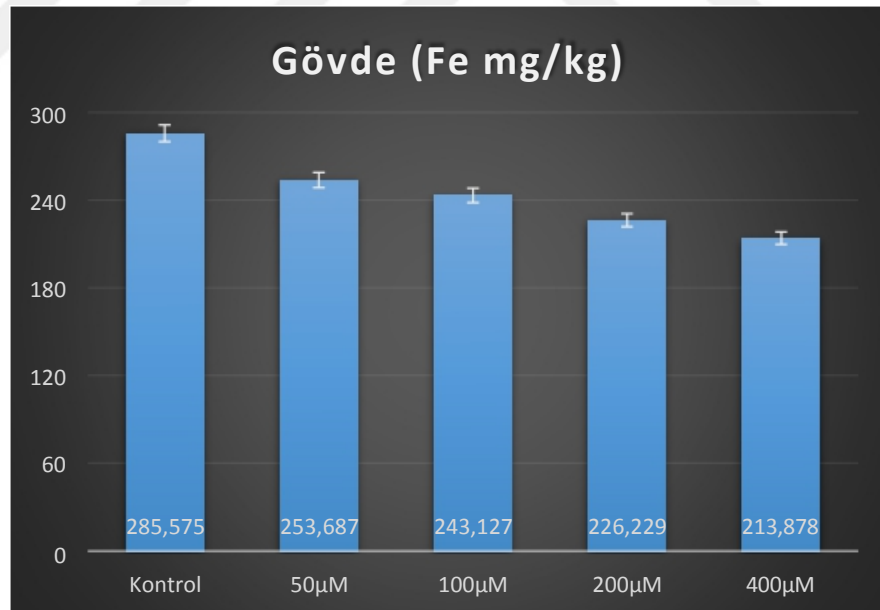
Şekil 4. 32. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Ca mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Ca değerleri sırasıyla; 2886, 2419, 2150, 1820, 1682 mg/kg olarak ölçülmüştür.



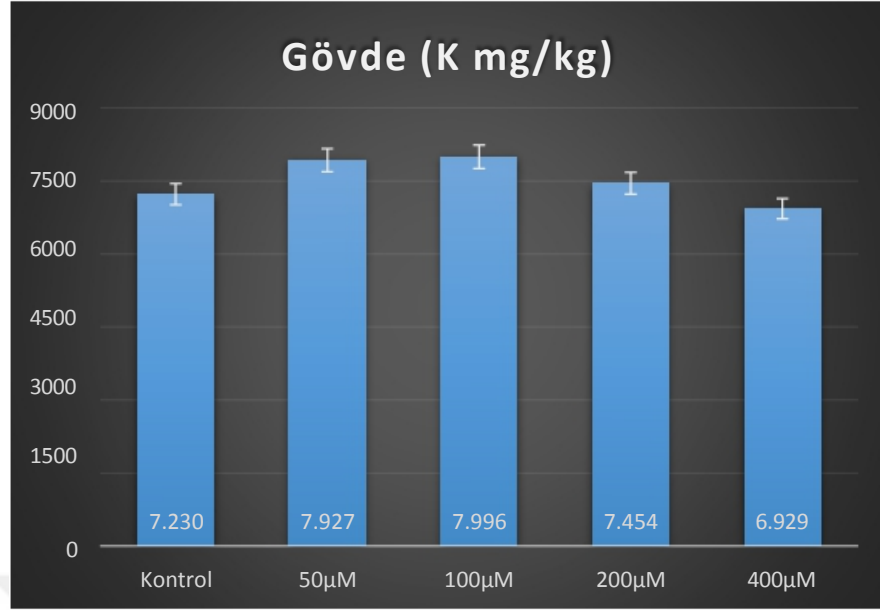
Şekil 4. 33. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Cu mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Cu değerleri sırasıyla; 33.875, 38.400, 32.504, 27.433, 23.761 mg/kg olarak ölçülmüştür.



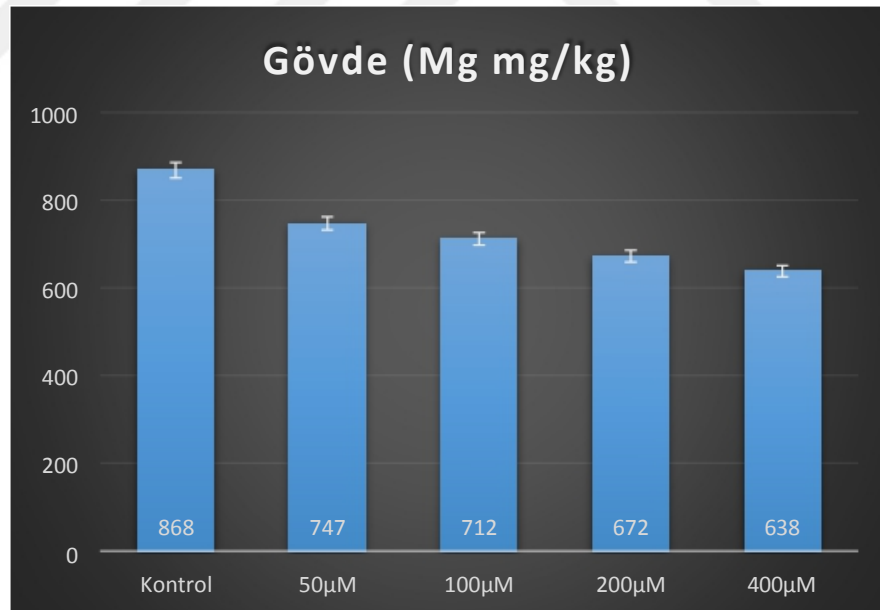
Şekil 4. 34. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Fe mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Fe değerleri sırasıyla; 285.575, 253.687, 243.127, 226.229, 213.878 mg/kg olarak ölçülmüştür.



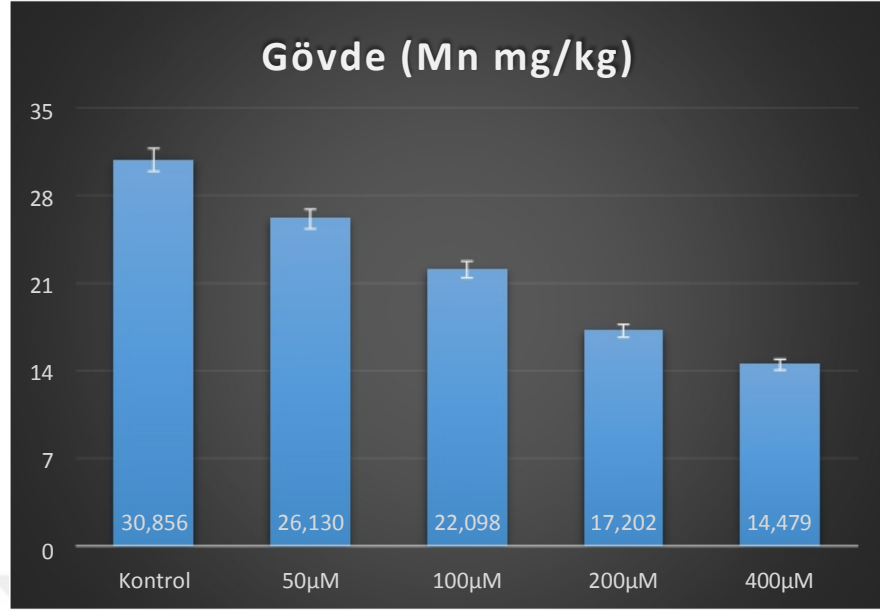
Şekil 4. 35. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde K mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen K değerleri sırasıyla; 7230, 7927, 7996, 7454, 6929 mg/kg olarak ölçülmüştür.



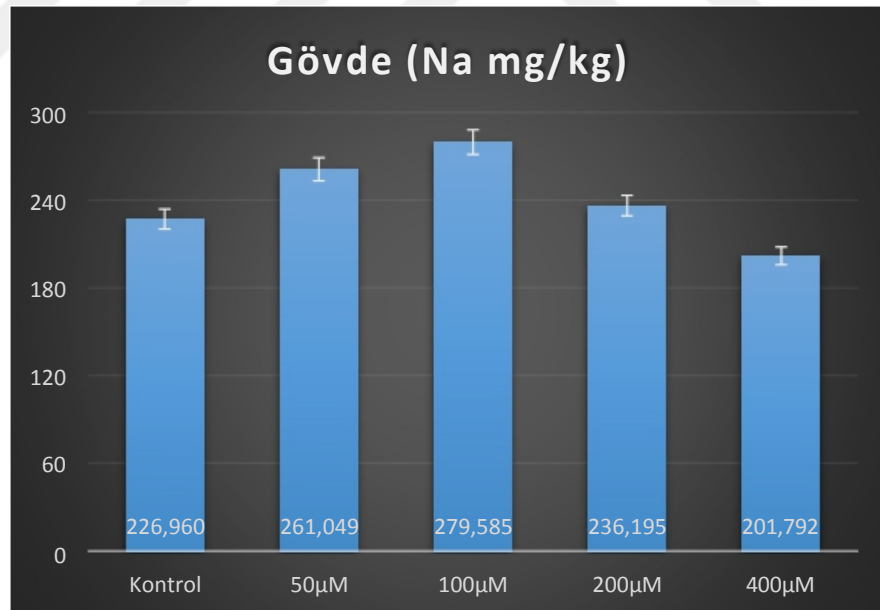
Şekil 4. 36. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Mg mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Mg değerleri sırasıyla; 868, 747, 712, 672, 638 mg/kg olarak ölçülmüştür.



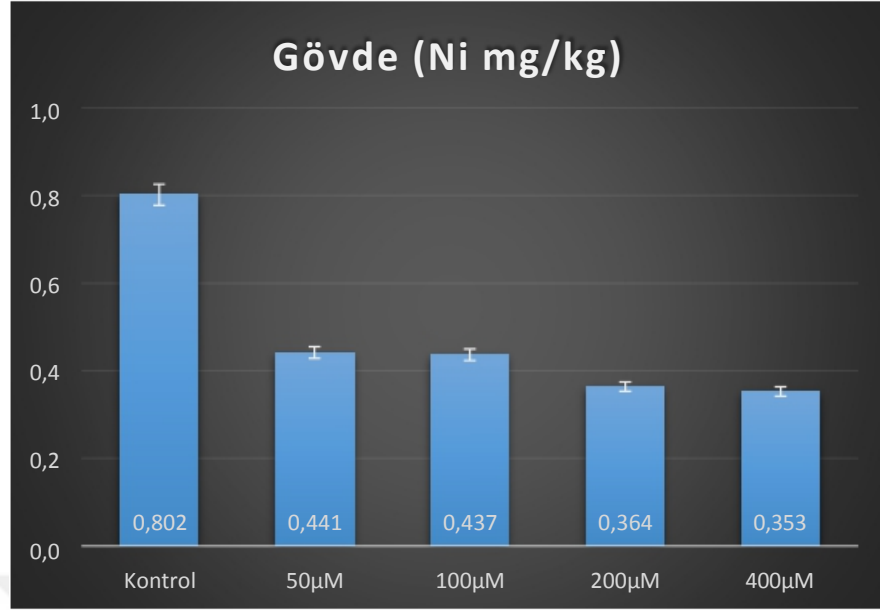
Şekil 4. 37. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Mn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Mn değerleri sırasıyla; 30.856, 26.130, 22.098, 17.202, 14.479 mg/kg olarak ölçülmüştür.



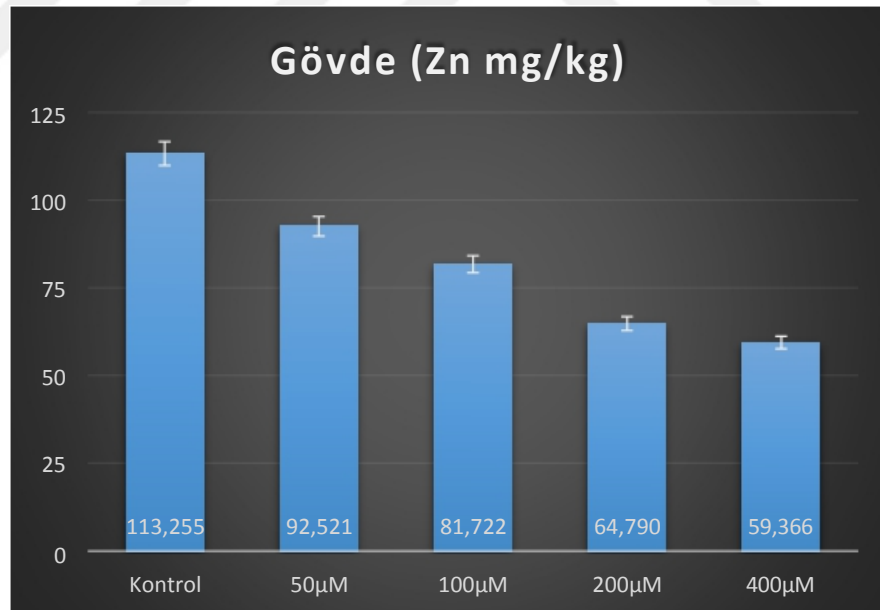
Şekil 4. 38. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Na mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Na değerleri sırasıyla; 226.960, 261.049, 279.585, 236.195, 201.792 mg/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 39. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Ni mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Ni değerleri sırasıyla; 0.802, 0.441, 0.437, 0.364, 0.353 mg/kg olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. 40. Farklı konsantrasyonlarda Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde Zn mineralinin miktarları

0, 50, 100, 200, 400 µM Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinden elde edilen Zn değerleri sırasıyla; 113.255, 92.521, 81.722, 64.790, 59.366 mg/kg olarak ölçülmüştür.

Gövde: 0, 50, 100, 200, 400 μ M konsantrasyonlarında Cd uygulanan bitkilerin gövdelerinde B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn B, Ca, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni ve Zn elementlerinin miktar analizleri yapılmıştır.

Bu analizler sonucunda kontrol grubunda mineraller sırasıyla; Cd:11, B:23,947, Ca:2886, Cu:33.875, Fe:285.575, K:7230, Mg: 868, Mn:30.856, Na:226.960, Ni:0.802 ve Zn:113.255 mg/kg olarak ölçülmüştür.

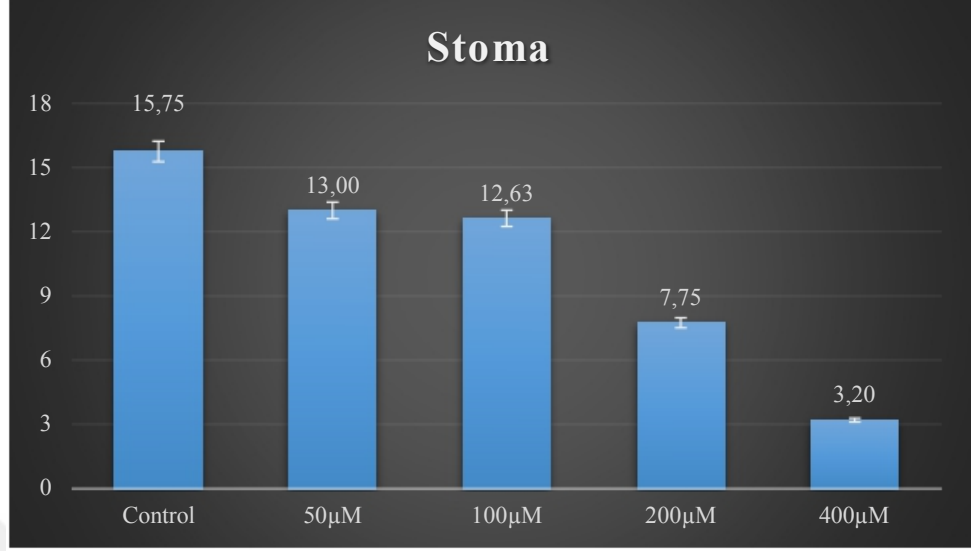
50 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:74, B:18.703, Ca:2419, Cu:38.400, Fe:253.687, K:7927, Mg:747, Mn:26.130, Na:261.049, Ni:0.441 ve Zn:92.521 mg/kg olarak ölçülmüştür.

100 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:177, B:14.403, Ca:2150, Cu:32.504, Fe:243.127, K:7996, Mg:712, Mn:22.098, Na:279.585, Ni:0.437 ve Zn:81.722 mg/kg olarak ölçülmüştür.

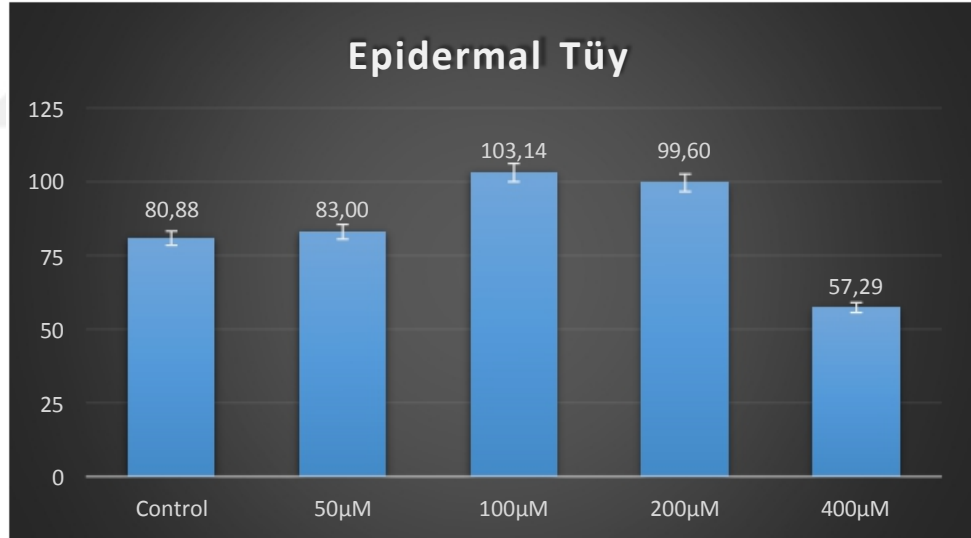
200 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:560, B:11.553, Ca:1820, Cu:28.433, Fe:226.229, K:7454, Mg:672, Mn:17.202, Na:236.295, Ni:0.364 ve Zn:64.790 mg/kg olarak ölçülmüştür.

400 μ M Cd uygulanan bitki grubunda mineraller sırasıyla; Cd:952, B:9.648, Ca:1682, Cu:23.761, Fe:213.878, K:6929, Mg:638, Mn:14.479, Na:201.792, Ni:0.353 ve Zn:59.366 mg/kg olarak ölçülmüştür.

4.3. Cd Stresinin *Triticum aestivum* L. Bitkisi Yapraklardaki Stoma ve Tüy Sayısı Üzerine Etkisi



Şekil 4. 41. *Triticum aestivum* L. bitkisinin yapraktaki stoma sayısı



Şekil 4. 42. *Triticum aestivum* L. bitkisinin yapraktaki tüy sayısı

BÖLÜM V

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, farklı CdCl_2 konsantrasyonlarına (0, 50, 100, 200 ve 400 μM) maruz bırakılan buğday fidelerinde yaprak uzunluğu ve genişliği (üst ve alt), sürgün uzunluğu ve toplam klorofil miktarları (üst ve alt yapraklar) analiz edildi. Sonuçlarımıza göre üst yaprak uzunluğunun (cm olarak) 50 ve 100 μM Cd uygulamalarında kontrole (18.08) göre arttığı (19.57 ve 20.32), 200 ve 400 μM 'da azaldığı (14.43 ve 16.77) gözlemlendi. Kontrol grubu ile 50 μM Cd uygulamasında üst yaprak genişliği (mm olarak) aynı kalırken (5,17), 100, 200 ve 400 μM 'da azaldı (4,00, 4,50 ve 4,17). Alt yaprak uzunluğu kontrole göre (19.83) 50 ve 400 μM Cd uygulamalarında arttı (21.50 ve 21.80), 100 ve 200 μM 'da azaldı (18.78 ve 19.33). Ayrıca kontrole (4.33) göre alt yaprak genişliğinin (mm olarak) 50 μM Cd uygulamasında arttığı (4.83), 100, 200 ve 400 μM 'da azaldığı (3.83, 3.78 ve 3.67) görülmüştür. Bu durumda belli bir derecenin üzerindeki Cd stresinin buğdayda yaprak genişliğini azaltıcı etkisi olduğu söylenebilir. Bazı dalgalanmalar olmakla birlikte, uygulanan tüm Cd konsantrasyonlarında kontrole (18.95) göre sürgün uzunluğunun azaldığı (16.57, 12.20, 13.02 ve 8.52) görülmüştür.

Bu çalışmada, alt ve üst yapraklardaki toplam klorofil içerikleri klorofil ölçüm cihazı (CCM-300) kullanılarak ölçülmüştür. Buna göre, toplam klorofil değerlerinin üst (2,09, 2,04 ve 1,99) ve alt yaprakta (2,11, 2,58 ve 1,82) kontrole (üst yaprakla için 1,75 ve alt yapraklar için 1,70), kıyasla 50, 100 ve 200 μM Cd uygulamalarında arttığı, ancak bu değerlerin daha yüksek Cd konsantrasyonlarında (400 μM) (üst yapraklar için 1,67 ve alt yapraklar için 1,63), kontrole göre azaldığı görüldü.

Çalışmamızın bir başka aşamasında, yaprakların alt yüzeylerinden enine kesitler alınmış, kontrol ve deney gruplarının abaksiyal yaprak yüzeylerinin (her 1mm² alan için) stomaları ve tüy sayıları sayılmıştır.

Buğday bitkilerinin stomalarının Cd stresinden olumsuz etkilendiği, kontrolde 1mm² yüzey alanındaki stoma sayılarının 15.75 olduğu ve bu değer 50, 100, 200 ve 400 μM Cd uygulamalarında sırası ile 13.00, 12.63, 7.75 ve 3.20'ye düştüğü görüldü. Bununla

birlikte, azalma 50 μM Cd uygulamasında en düşüktü. Cd stresi altındaki yaprakların 1 mm^2 yüzey alanı üzerindeki epidermal tüy sayısındaki değişikliklere bakıldığında, bitkilerin strese bir yanıt olarak, epidermal tüy sayısının artan Cd stresine paralel olarak arttığını göstermiştir; 50 μM için 83,00, 100 μM için 103,14, 200 μM için 99,60. Tersine, epidermal tüy sayısı 400 μM Cd uygulamasında kontrole (57,29) kıyasla oldukça düşmüştür.

Stoma ve epidermal tüylerle ilgili benzer çalışmalara göre (1 mm^2 yaprak yüzeyi için); *Trigonella foenum graecum* Linn.'de sonuçlarımıza benzer şekilde stoma sayıları 33.20'den (kontrol) 29.21, 27.20, 25.19, 22.17'ye düşmüş ve çalışmamızda elde ettiğimiz sonuçların aksine epidermal tüy sayıları 10.07'den (kontrol) sırasıyla 5, 15, 30, 50 $\mu\text{g/g}$ Cd uygulandıktan sonra 9.92, 8.80, 7.80, 6.20'ye düşmüştür [133]. Başka bir çalışmada 10, 20, 30 mg kg^{-1} Cd uygulamalarında limon balsamının (*Melissa officinalis*) stoma sayıları abaksiyal yapraklarda 3.5'ten 2.6, 1.6, 0.8'e ve adaksiyal yapraklarda 5.8'den 4.5, 3.3, 1.6'ya düşmektedir [134]. *Cenchrus ciliaris*'te 30 ve 60 mg kg^{-1} Cd uygulamalarında stoma sayılarında 80.25'ten 2.6, 69.12, 60.23'e azalma elde edilmiştir [135]. Ayrıca *Cajanus cajan*'da 5, 10, 15, 25, 50 $\mu\text{g g}^{-1}$ Cd uygulamalarında sırasıyla 26.40'tan 20.64, 19.04, 18.60, 18.40, 17.20'ye stoma sayısı düşürülmüştür [136]. Son zamanlarda *Biscutella auriculata*'da 0 ve 125 μM Cd uygulamalarından sonra stomaların sayısı 189.86'dan 291'e, epidermal sayılar (bizim çalışmamız gibi) 22.37'den 34.64'e yükselmiştir [137]. Bu, bitki stres altındayken bile artan stoma ve epidermal tüy sayılarıyla, uygulanan Cd konsantrasyonlarında bitkinin hayatta kalması için bir yanıt olabilir. Ayrıca türlere ve uygulanan Cd konsantrasyonlarına bağlı olarak, hem stomaların hem de epidermal tüylerin sayısı artabilir ve azalabilir.

Benzer bir çalışmada, 20 μM Cd'a maruz bırakılan ayçiçeği (*Helianthus annuus* L.) fidelerinde biyokütle üretimi inhibe edilmiş, azalmış klorofil ve karotenoid konsantrasyonları gözlenmiştir [138]. Başka bir çalışma, 7 gün strese (0, 50 veya 200 μM Cd) maruz bırakılan Hint hardalı (*Brassica juncea*) bitkisinin kök / sürgün uzunluğunda bir azalma olduğunu göstermiştir. Ayrıca aynı çalışmada azalmış klorofil ve karotenoid içerikleri de gözlemlenmiştir [139]. Suda yaşayan bir eğrelti otunda (*Ceratopteris pteridoides*) 20 ve 40 μM Cd uygulamalarında azalmış nispi büyüme ve yaprak alanında önemli azalma gözlenmiştir [140]. Pamuk (*Gossypium hirsutum*) ile gerçekleştirilen bir başka çalışmada 25, 50 ve 100 μM Cd uygulamalarında bitki boyu, biyokütle ve yaprak

alanında azalma ve klorofil içeriğinde azalma gözlemlenmiştir [141]. *Groenlandia densa*'da (0-20 mg L⁻¹ Cd uygulaması) fotosentetik pigmentasyon, klorofil a, b ve toplam klorofil oranlarında kademeli bir azalma gözlenmiştir [142]. Li vd., [143] 2 kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) çeşidine 20-120 µM Cd uygulamış ve kök ve sürgün uzunluklarında, kök ve sürgün biyokütlesinde azalma gözlemlemiştir. 10-50 µM Cd ile muamele edilmiş *Brassica napus*'ta kontrole kıyasla 20 µM uygulamasından bitkinin etkilenmediği, ancak özellikle yüksek konsantrasyonlarda bitki boyu, kök uzunluğu, yaprak alanı ve yaprak sayısı, kök çapı, kök yüzey alanı, kök ucu sayısı ve kök hacminde azalma olduğunu gözlemlemiştir [144]. 10, 25 ve 50µM Cd stresine maruz kalmış *Tagetes patula* bitkisinde kök/sürgün taze ve kuru ağırlıklarında, biyokütle, büyüme oranı ve klorofil içeriğinde azalma gözlemlenmiştir [145], 60 günlük Cd (0, 50, 100, 200 ve 400 µM) uygulamasından sonra kalanchoe (*Kalanchoe daigremontiana*) bitkilerinin büyüme parametrelerinde ve klorofil konsantrasyonlarında önemli düşüşler gözlemlendi. Azaltma oranları, klorofil a için ~% 40.57, klorofil b için ~% 37.63, klorofil a / b için ~% 20.58 ve toplam klorofil için ~% 36.27 idi.

Yukarıdaki çalışmalardan, uygulanan Cd stresinin türüne, süresine ve konsantrasyonuna bağlı olarak bitkilerde farklı tepkiler olduğu açıkça görülmektedir. Çalışmamızda da görüldüğü üzere bitkilerin daha düşük konsantrasyonlarda Cd stresi ile baş edebildiği ancak belirli bir konsantrasyon seviyesinden sonra bunu başaramadığı görülmüştür. Belli bir stres seviyesinden sonra büyüme ve gelişme parametrelerinde düşüşler başlamıştır.

Yukarıda elde edilen değişiklikleri veren ortalama Cd birikim değerleri (µg kg⁻¹) incelendiğinde köklerin kontrol gruplarında 21 olan Cd birikim değerinin 50, 100, 200 ve 400 µM Cd uygulamalarında sırası ile 171, 322, 1076 ve 1447 olduğu görülmektedir. Gövdede ise 11 olan Cd birikim değeri 50, 100, 200 ve 400 µM Cd uygulamalarında sırası ile 74, 177, 560 ve 952, kontrol gruplarının yapraklarında 15 olan Cd birikim değeri 50, 100, 200 ve 400 µM Cd uygulamalarında sırası ile 135, 282, 812 ve 1094 oldu. Buna göre birikimler kök> yaprak> sürgün olarak görülmüştür.

Benzer bir çalışmada Di Baccio et al., [146] kavak (*Populus x canadensis*) klonlarına düşük (54,3 mg kg⁻¹) ve yüksek (163 mg kg⁻¹) Cd konsantrasyonları uygulamıştır. Düşük Cd uygulamaları için akümüasyonlar (mg kg⁻¹ cinsinden) 7.6 (yapraklar), 4.6 (sürgünler), 57 (kökler) ve daha yüksek Cd uygulamaları için 12.7 (yapraklar), 15 (sürgünler), 80

(kökler) şeklinde olmuştur. *Apium graveolense* bitkisinde Cd birikimleri (mg kg⁻¹ cinsinden) 35-50 gün 40-120 Cd uygulamalarında (mg kg⁻¹ cinsinden) 220 ile 300 (kök) ve 16 ile 40 (sürgün) şeklinde olmuştur [147]. *Paspalum atratum* cv. Reyan bitkilerinde (mg kg⁻¹ cinsinden) 8 mg kg⁻¹ Cd uygulamalarında 349 (kök) ve 46 (sürgün) şeklinde olmuştur [148]. Kalanchoe bitkileri ile yapılan bir başka çalışmada ise Cd birikimleri 0 ile 400 µM Cd uygulamalarından sonra (mg ml⁻¹ cinsinden) yapraklarda 0.629'dan 3.164'e, sürgünlerde 0.460'dan 2.890'a ve köklerde 1.327'den 5.178'e yükselmiştir. Bu yükselmenin yapraklarda ~ 5.03 kat, sürgünlerde ~ 6.28 kat ve köklerde ~ 3.90 kat olduğu bulunmuştur [145].

Köklerin alım yeteneği, ksilem özsuynunun taşıma verimliliği ve bitki tohumları içindeki nihai yeniden yer değiştirme, bitkilerde Cd birikimi verimliliği için ana faktörlerdir [149], [152]. Bilindiği gibi bitki kökleri, su ve ağır metaller ile Cd'nin yanı sıra mineral besinlerin alımında ve birikmesinde kilit rol oynar. Ayrıca, NRAMP'ler (doğal dirençle ilişkili makrofaj proteinleri), hücre zarı boyunca Cd taşınmasında önemli bir rol oynar [150], [151]. Cd'nin köklerden hava kısımlarına taşınması hem pasif (terleme) hem de aktif (iyon kanalları) mekanizmalarla gerçekleşir. Aksine, Cd alımı ve biriktirme yeteneği bitki türüne, türüne ve genotipe bağlıdır [152], [153].

Bu çalışmada buğday bitkisi, organlarında artan Cd uygulamalarına paralel olarak artan bir Cd birikimi gözlenmiştir. Uygulanan tüm konsantrasyonlarda köklerde ve ardından yapraklarda en yüksek Cd birikimi olmuştur. Ayrıca bitki tüm konsantrasyonlardan etkilenmiş ve farklı tepkiler vermiştir. Ayrıca bazı parametrelerde, özellikle 50 µM uygulamasında olumlu değişiklikler olmuştur. Bu da bitkinin hayatta kalmak, büyümek ve gelişmek için savunma mekanizmalarını harekete geçirerek daha düşük Cd stresi ile baş edebileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, bu durum özellikle 400 µM'lik uygulamalarda daha yüksek Cd konsantrasyonlarında muhtemelen işe yaramadığını bize düşündürmektedir. Hemen hemen tüm parametreler 400 µM uygulamasından olumsuz etkilenmiştir.

Sonuçlar bize açık bir şekilde göstermiştir ki bitkide kökte ve topraküstü yapılarda makro ve mikro besin kompozisyonu Cd'a maruz bırakılma neticesinde değişmiştir. Cd stresi altında *Triticum aestivum* L. bitkisinde kök, gövde ve yapraklarındaki makro ve mikro besinlerin akümülyasyonunda farklılıklar ortaya çıkmıştır. *Triticum aestivum* L. bitkisinin

kök, gövde ve yapraklarında B, Ca, Fe, Mg, Mn, Ni, Zn konsantrasyonları kontrol grubu ile karşılaştırıldığında artan Cd konsantrasyonunla ters orantılı olarak düşmüştür. Kökte, gövdede ve yaprakta Cu içeriği artan Cd konsantrasyonuna maruz kalma neticesinde 50µM konsantrasyonda artış görülmüştür, fakat Cd konsantrasyonunun artmasıyla Cu içeriği düşmüştür. Kontrol ile yapılan karşılaştırmada ise K konsantrasyonun kök, yaprak ve gövdede 50µM ve 100µM’da artarken 200µM ve 400µM’da düştüğü tespit edilmiştir. Keza benzer şekilde Na için de kontrol grubu ile yapılan karşılaştırma neticesinde Na konsantrasyonunun ilk 50µM ve 100µM’da kök, gövde ve yaprakta artış gösterirken Cd konsantrasyonu artan 200µM ve 400µM grubunda düştüğü görülmüştür. Bu artış ve azalmalar belli bir dereceye kadar bitkinin stresle mücadele edebilmek için çaba harcadığını ve başarılı olduğunu ancak belli bir derece stresin üstünde ise yetersiz kaldığını bize göstermiştir.

KAYNAKÇA

- [1] Kadioğlu A., 2011. Bitki Fizyolojisi, 5. Baskı. Gündüz Ofset Matbaacılık ve Yayıncılık, 419s, Trabzon.
- [2] Bayçu, G., 1997, *Picea abies*'te kadmiyum toksisitesi ve köklerde kadmiyum birikimi, XIII. Ulusal Biyoloji Kongresi, 17-20.
- [3] Ayhan, B., 2006. Mısır (*Zea mays* L.)'ın Bazı Çeşitlerinde Ağır Metal (Cd, Pb) Stresinin Etkilerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [4] Öktüren Asri, F. ve Sönmez, S., 2006. Ağır metal toksisitesinin bitki metabolizması üzerine etkileri, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bölümü, Antalya. <http://www.batem.gov.tr/yayinlar/derim/2006/36-45>.
- [5] Bradl, H., 2005, Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation, Elsevier, p.
- [6] Sherameti, I. ve Varma, A., (2010), Soil heavy metals, Springer, p
- [7] Alloway, B. J., 2013, Sources of heavy metals and metalloids in soils, In: Heavy metals in soils, Eds: Springer, p. 11-50.
- [8] Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M. ve Pennock, D., 2018, Soil pollution: A hidden reality.
- [9] Greger, M. ve Lindberg, S., Effects of Cd+2 and EDTA on young sugar beets (*Beta vulgaris*), I. Cd+2 uptake and sugar accumulation, *Physiol. Plant*, 66(1986): 69-74.
- [10] Krämer, U., Cotter-Howells, J.M., Charnock, J.M, Baker, A.J.M. ve Smith, A.C., Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel, *Nature*, 379(1996): 635-638.
- [11] Sanità di Toppi, L. ve Gabbrielli, R., Response to cadmium in higher plants, *Environ. Exp. Bot.*, 41(1999): 105-131.
- [12] Prasad, M.N.V., Malec, P., Waloszek, A., Bojko, M. ve Strzaka, K., Physiological responses of *Lemna trisulca* L. (duckweed) to cadmium and copper bioaccumulation, *Plant Sci.*, 161(2001): 881-889.
- [13] Verma S. ve Dubey R.S., Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants, *Plant Sci.*, 164(2003): 645- 655.
- [14] Benavides MP, Gallego SM, Tomaro ML., Cadmium Toxicity in Plants. *Brazilian journal of plant physiology* 17(1)(2005):21-34
- [15] Lindberg, S., Meyers, T.P., Taylor, G.E.J., Turner, R.R. ve Schroeder, W.H., Atmosphere-surface exchange of mercury in a forest: results of modeling and gradient approaches, *J. Geophys. Res.*, 97(1992):2519-2528.
- [16] Marschner H (1995) Mineral Nutrition of Higher Plants. 2nd edition. Academic Press, London
- [17] Tester, M. ve Leigh, R.A., Partitioning of nutrient transport processes in roots, *J. Exp. Bot.*, (2001). 52, 445-457.
- [18] Kennedy CD, Gonsalves FAN., The action of divalent zinc, cadmium, mercury, copper and lead on the trans-root potential and efflux of excised roots. *Journal of Experimental Botany* 38(1987):800-817
- [19] Sümer, A., Adiloğlu, S., Çetinkaya, O., Adiloğlu, A., Sungur, A. ve Akbulak, C., Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, Karamenderes Havzası Topraklarında Bazı Ağır Metallerin (Cr, Ni, Pb) Kirliliğinin Araştırılması, (2013):10 (1).

- [20]. Çepel, N., 1997, Toprak kirliliği erozyon ve çevreye verdiği zararlar, TEMA.
- [21] Yost, K.J. ve Miles, L. J., Journal of Environmental Science and Health A., 14(1979): 285-311.
- [22] Anderesen, E. ve Küpper, H., Cadmium toxicity in plants. In: Sigel A., Sigel, H., Sigel, R. Cadmium: From toxicity to essentiality. Metal Ions in Life Sciences, 11(2013):395-413.
- [23] Cheng, K., Tian, H. Z., Zhao, D., Lu, L., Wang, Y., Chen, J. ve Huang, Z. Atmospheric emission inventory of cadmium from anthropogenic sources. International Journal of Environmental Science ve Technology, 11(3)(2014):605-616.
- [24] Seregin, I. ve Ivanov, V., Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants, Russian Journal of Plant Physiology, 48 (4) (2001), 523-544.
- [25] Alloway, B. J., 1995. Heavy metals in soils. Blackie, London. Pp. 12-152.
- [26] Kabata-Pendias, A. ve Pendias, H., Trace elements in soils and plants. 2. Ed., CRC Pres, Baton Rouge, Fa Hort Science, 32(1992):1132-1133.
- [27] Hardiman, R. T., Banin, A. ve Jacoby, B., The effect of soil type and degree of metal contamination upon uptake of Cd, Pb and Cu in bush beans (*Phaseolus vulgaris* L.), Plant and Soil, 81(1)(1984): 3-15.
- [28] Marschner H., 2008. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press, Second Edition. London, UK., 889p
- [29] Hussain, A., Ali, S., Rizwan, M., Zia-ur-Rehman, M., Yasmeen, T., Hayat, M. T., ... ve Hussain, S. M. 2019. Morphological ve Physiological Responses of Plants to Cadmium Toxicity. In Cadmium Toxicity ve Tolerance in Plants (pp. 47-72). Academic Press.
- [30] Jaouani, K., Karmous, I., Ostrowski, M., El Ferjani, E., Jakubowska, A., ve Chaoui, A., Cadmium effects on embryo growth of pea seeds during germination: Investigation of the mechanisms of interference of the heavy metal with protein mobilization-related factors. Journal of plant physiology, 226(2018): 64-76.
- [31]. Svealio, L. M., Dalurzo, H. C., Gomez, M., Romero- Puertas, M. C., ve Del Rio, L. A., Cadmium- induced changes in the growth ve oxidative metabolism of pea plants. Journal of experimental botany, 52(364) (2001): 2115-2126.
- [32]. Li, S., Yang, W., Yang, T., Chen, Y., ve Ni, W., Effects of cadmium stress on leaf chlorophyll fluorescence ve photosynthesis of *Elsholtzia argyi*—a cadmium accumulating plant. International Journal of Phytoremediation, 17(1)(2015):85-92.
- [33] Erdem, H., Kınay, A., Günal, E., Yaban, H. ve Tutuş, Y., The effects of biochar application on cadmium uptake of tobacco. Carpathian Journal of Earth ve Environmental Sciences, 12(2)(2017), p. 447 – 456.
- [34] Barceló, J. U. A. N., ve Poschenrieder, C., Plant water relations as affected by heavy metal stress: a review. Journal of plant nutrition, 13(1)(1990): 1-37.
- [35] Hernández, L. E. ve Cooke, D. T., Modification of the root plasma membrane lipid composition of cadmium treated *Pisum sativum*, Journal of Experimental Botany, 48(7)(1997):1375-1381.
- [36] Hsu, Y. T., ve Kao, C. H., Cadmium-induced oxidative damage in rice leaves is reduced by polyamines. Plant ve Soil, 291(1-2)(2007): 27-37.
- [37] Anjum, N. A., Umar, S., Ahmad, A., Iqbal, M., ve Khan, N. A. Ontogenic variation in response of *Brassica campestris* L. to cadmium toxicity. Journal of Plant Interactions, 3(3)(2008):189-198

- [38] Schulze, E., Beck, E. ve Muller-Hohenstein, K., 2005, Plant Ecology. Vol. 12, Springer, Berlin-Heidelberg.
- [39] Kabata-Pendias, A., 2010, Trace elements in soils and plants, CRC press, p.
- [40] Süzer S., 2004. 'Buğday Tarımı' hayrabolutb.org.tr Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü
- [41] Duran R E.,2007. Tuzlu Koşullar İçin Geliştirilebilecek Buğday Genotiplerinin Anter Kültür Tekniğine Uyumu. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [42] Nazar H., 2012. Ekmeklik Buğdayda (*Triticum aestivum* L.) Farklı Besin Maddesi İçerikteki Yaprak Gübrelerinin Verim, Verim Ögeleri Ve Bazı Kalite Özelliklerine Etkisinin Belirlenmesi. Adnan Menderes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi.
- [43] Зенькова, М. Л. Исследование минерального и аминокислотного состава пророщенного и консервированного зерна пшеницы / М. Л. Зенькова // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 4. – С. 513–521. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-513-521>.
- [44] U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, September 15, 2020
- [45] Büyük, İ., Soydam-Aydın, S. ve Aras, S., 2012, Bitkilerin stres koşullarına verdiği moleküler cevaplar, Turkish Bulletin of Hygiene & Experimental Biology/Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji, 69 (2).
- [46] Yang, Q., Li, Z., Lu, X., Duan, Q., Huang, L., ve Bi, J. A review of soil heavy metal pollution from industrial ve agricultural regions in China: Pollution ve risk assessment. Science of the total environment, 642(2018): 690-700.
- [47] Hamutoğlu, R., Dinçsoy, A.B., Cansaran-Duman, D. ve Aras, S., Biyosorpsiyon, adsorpsiyon ve fitoremediasyon yöntemleri ve uygulamaları, Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi, 69(4)(2012): 235- 253.
- [48] Rodrigues, A., Cunha, L., Amaral, A., Medeiros, J., Garcia, P., Bioavailability of Heavy Metals and Their Effects on The Midgut Cells of A Phytographous Insect Inhabiting Volcanic Environments. Science of The Total Environment, 406(2008):116–122
- [49] Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patlolla, A. K. ve Sutton, D. J., 2012, Heavy metal toxicity and the environment, In: Molecular, clinical and environmental toxicology, Eds: Springer, p. 133-164.
- [50] Asati, A., Pichhode, M. ve Nikhil, K., Effect of heavy metals on plants: an overview, Int. J. Appl. Innov. Eng. Manage, 5(2016):2319-4847.
- [51] Yıldız, N., Toprak kirletici bazı ağır metallerin (Zn, Cu, Cd, Pb, Co ve Ni) belirlenmesinde kullanılan yöntemler, Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 32 (2)(2001): 207-213.
- [52] Harrison, R.M. ve Chirgawi, M.B., The assessment of air and soil as contributors of some trace metals to vegetable plants I. Use of a filtered air growth cabinet, Sci. Total Environ., 83(1989):13-34.
- [53] Haktanır, K., 1987. Çevre kirliliği. A.Ü. Ziraat Fakültesi Ders Notu, Teksir No:140.
- [54] Özbek, H., Kaya, Z., Gök, M ve Kaptan, H., 1995. Toprak bilimi. Çukurova Üniversitesi Ziraat Fak. Genel Yayın No: 73 Ders Kitapları Yayın No:16, Adana.
- [55] Mench, M., Morel, J.L., Cuckert, A. ve Guillet, B., Metal binding with root exudates of low molecular weight, J. Soil Sci., 33(1988):521-527.

- [56] Greger, M., 1999. Metal availability and bioconcentration in plants. Heavy Metal Stress in Plants: from molecules to ecosystem. Prasad, M.N.V. and Hagemeyer, J., (eds.), Springer-Verlag, Berlin., pp. 1-27.
- [57] Greger M, Johansson M, Stihl A, Hamza K., Foliar uptake of Cd by pea (*Pisum sativum*) and sugar beet (*Beta vulgaris*). *Physiol Plant* 88(1993):563–570
- [58] Klepper, L.A., 1991. *Pest Biochem. Physiol.* 39: 43–48
- [59] Davis, P., 1985. *Flora of Turkey and The East Aegean Islands*, 9:198.
- [60] Şahin N., 2012. Ekmeklik Buğdayda Yaprak Gübresi Uygulamalarının Verim ve Kalite Üzerine Etkisi. Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Anabilim Dalı. Yüksek Lisans Tezi
- [61] ZMO Buğday Raporu, (2018). https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=30125&sube=0
- [62] Rehman MZU, Khalid H, Akmal F, Ali S, Rizwan M, Qayyum MF, Iqbal M, Khalid MU, Azhar M. Effect of limestone, lignite and biochar applied alone and combined on cadmium uptake in wheat and rice under rotation in an effluent irrigated field. *Environ Pollut.* (2017):227:560-568.
- [63] Rizwan M, Ali S, Adrees M, Rizvi H, Zia-Ur-Rehman M, Hannan F, Qayyum MF, Hafeez F, Ok YS. Cadmium stress in rice: toxic effects, tolerance mechanisms, and management: a critical review. *Environ Sci Pollut Res Int.* (2016):17859-79.
- [64] Anonim 1. <http://agro-portal.su/>
- [65] Anonim 2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%88%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%86%D0%B0>
- [66] Anonim 3. <https://studfile.net/preview/4114512/>
- [67] Anonim 4. <https://xn--e1aelkciia2b7d.xn--p1ai/stati/rastenievodstvo/pshenica.html>
- [68] Bradley W.B. 1962. recent research on nutritional quality of wheat products. *Proc. U. S. Dept. Agr. Conf. Role of Wheat in Worlds Food Supply.* Albany Calif.
- [69] Kahvecioğlu Ö, Kartal G, Güven A, Timur S (2007) Metallerin Çevresel Etkileri –I. (erişim adresi: https://metalurji.org.tr/dergi/dergi136/d136_4753.pdf (erişim tarihi: 29.01.2019)
- [70] Stresty TVS, Madhava Rao KV., Ultrastructural alterations in response to zinc and nickel stress in the root cell of pigeonpea. *Environmental and Experimental Botany* 41(1999): 3- 13
- [71] Gür N, Topdemir A, Munzuroğlu Ö, Çobanoğlu D., Ağır Metal İyonlarının (Cu+2, Pb +2, Hg+2 , Cd+2) Clivia sp. Bitkisi Polenlerinin Çimlenmesi ve Tüp Büyümesi Üzerine Etkileri. *F.Ü. Fen ve Matematik Bilimleri Dergisi* 16(2)(2004): 177-182
- [72] Long XX, Yang XE, Ni WZ., Current Status and Perspective on Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils. *Journal of Applied Ecology* 13(2002):757-762
- [73] Salt DE, Rauser WE., (MgATP-Dependent Transport of Phytochelatins Across the Tonoplast of Oat Roots. *Plant Physiology* 107(1995): 1293-1301
- [74] Arshad M, Silvestre J, Pinelli E, Kallerhoff J, Kaemmerer M, Tarigo A., A Field Study of Lead Phytoextraction by Various Scented Pelargonium Cultivars. *Chemosphere* 71(2008):2187-2192
- [75] Clemens S., Toxic Metal Accumulation, Responses to Exposure and Mechanisms of Tolerance in Plants. *Biochimie* 88(2006):1707-1719

- [76] Baker AJM, Brooks RR., Terrestrial Higher Plants Which Hyperaccumulate Metallic Elements—A Review of Their Distribution, Ecology and Phytochemistry. *Biorecovery* 1(1989):81-126
- [77] Paschke MW, Valdecantos A, Redente EF., Manganese toxicity thresholds for restoration grass species. *Environmental Pollution* 135(2005): 313-322
- [78] Kabata-Pendias A (2011) Trace elements in soils and plants, 4th edn. CRC Press, Boca Raton
- [79] Mengel K, Kirkby EA (1978) Principles of Plant Nutrition, International Potash Institute, Worblaufen- Bern, s. 593
- [80] Wild A, Jones LHP, Mineral nutrition of crop plants, in Russell's Soil Conditions and Plant Growth. Wild A ed. Longman Sci. Techn. Publ. Harlow, Essex, (1988) 69
- [81] Singh OV, Labana S, Pandey G, Budhiraja R, Jain RK., Phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination from Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology* 61(2003): 405-41
- [82] Muranyi A, Seeling B, Ladewig E, Jungk A., Acidification in the rhizosphere of rape seedlings and in bulk soil by nitrification and ammonium uptake. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 157(1994): 61-65
- [83] Puthotá V, Cruz-Ortega R, Johnson J, Ownby J (1991) An ultrastructural study of the inhibition of mucilage reaction in the wheat root cap by aluminium. *Plant-Soil Interactions at Low pH*, ed. RJ, Wright VC, Baligar RP, Murrmann, Kluwer, Dordrecht, s. 779-787
- [84] Cataldo DA, Garlve TR, Wildung RE., Nickel in plants; II: Distribution and chemical form in soybean plants. *Plant Physiology* 62(1978):566-570
- [85] Lombardi L, Sebastiani L., Copper Toxicity in *Prunus cerasifera*: Growth and Antioxidant Enzymes Responses of In vitro Grown Plants. *Plant Science* 168(2005): 797-802
- [86] Luna CM, Gonzalez CA, Trippi VS., Oxidative Damage Caused by Excess of Copper in Oat Leaves. *Plant Cell Physiology* 35(1994):11-15
- [87] Li M, Hu C, Zhu Q, Chen L, Kong Z, Liu Z., Copper and Zinc Induction of Lipid Peroxidation and Effects on Antioxidant Enzyme Activities in the Microalga *Pavlova viridis* (Prymnesiophyceae). *Chemosphere* 62(4) (2006):565-572
- [88] Ouzounidou G., Cu-ions mediated changes in growth, chlorophyll and other ion contents in a Cu-tolerant *Koeleria splendens*. *Biologia Plantarum* 37(1995): 71-79
- [89] Krupa Z, Bazyński T., Some aspects of heavy metal toxicity towards photosynthetic apparatus-direct and indirect effects on light and dark reactions. *Acta Physiologiae Plantarum* 17(1995):177-190
- [90] Nedunchezian N, Kulandaivelu G., Effect of Cd and UV-B radiation on polypeptide composition and photosystem activities of *Vigna unguiculata* chloroplasts. *Biologia plantarum* 37(1995):437-441
- [91] Radmer R, Kok B., Kinetic observation of the photosystem II electron acceptor pool isolated by mercuric ion. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics* 357(1974): 177-180
- [92] Siedlecka A, Baszyński T., Inhibition of electron flow around photosystem I in chloroplasts of Cd-treated maize plants is due to Cd-induced iron deficiency. *Physiologia Plantarum* 87(1993): 199-202
- [93] Govindaraju K., Compilation of working values and sample description for 383 geostandards. *Geostand. Newslett.* 18: (1994)

- [94] Taylor MD, Percival HJ., Cadmium in soil solutions from a transect of soils away from a fertilizer bin. *Environ. Pollut.* 113(2001):35–4
- [95] Itoh S, Yumura Y (1979) Studies on the contamination of vegetable crops by excessive absorption of heavy metals. *Yasai Shikenjo hokoku*.= Bulletin of the Vegetable and Ornamental Crops Research Station. Series A 6a: 123
- [96] Bens S, Pabianova J (1986) Background Contents and Classification of Trace Elements in Soils, V SZ, Praha, s. 203
- [97] Christensen TH., Cadmium soil sorption at low concentrations, *Water Air Soil Pollut.* 21(1984):105–115
- [98] Smolders E, Degryse F., Fixation of cadmium and zinc in soils: implication for risk assessment. *Natural Attenuation of Trace Element Availability in Soils* eds. R. Hamon M, McLaughlin E, Lombi, Taylor & Francis, Boca Raton, FL. (2006) s. 157–171
- [99] Wang JH, Lu YT, Ding H, Shen GQ., Effect of cadmium alone and in combination with butachlor on soil enzymes. *Environ. Geochem. Health* 29(2007):395–403
- [100] Dickinson NM, Pulford ID., Cadmium phytoextraction using short-rotation coppice *Salix*: the evidence trail. *Environment International* 31(2005):609–613
- [101] Jorgensen SE., Removal of heavy metals from compost and soil by ecotechnological methods. *Ecological Engineering* 2(1993):89–100
- [102] Wierzbicka MH, Przedpelska E, Ruzik R, Ouerdane L, Połec-Pawlak K, Jarosz M, & Szakiel A., Comparison of the toxicity and distribution of cadmium and lead in plant cells. *Protoplasma* 231(1-2) (2007): 99-111
- [103] Prasad MNV., Cadmium toxicity and tolerance in vascular plants. *Environmental and Experimental Botany* 35(2005): 525–545
- [104] Prasad MNV (2008) *Trace Elements as Contaminants and Nutrients. consequences in ecosystems and human health.* John Wiley & Sons
- [105] Adriano DC (1986) *Trace element in the terrestrial environment.* Springer-Verlag, New York
- [106] Iger Y, Lock RAC, Van der Meij JCA, Wendelaar Bonga SE., Effects of water-borne cadmium on the skin of the common carp. *Arch Environ Toxicol* 26(1994):342–350
- [107] Marschner H (1983) General introduction to the mineral nutrition of plants. In: Lauchli A, Bielecki RL (ed) *Inorganic plant nutrition.* Springer-Verlag, New York, pp 5–60
- [108] Haghiri F., Cadmium uptake by plants. *J Environ Qual* 2(1973):93–96
- [109] Rascio N, Dalla Vecchia D, Ferretti M, Merlo L, Ghisi R., Some effects of cadmium on maize plants. *Arch Environ Contam Toxicol* 25(1993):244–249
- [110] Stiborova M, Ditrichova M, Brezinova A., Effect of heavy metal ions on growth and biochemical characteristics of photosynthesis of barley and maize seedlings. *Biol Plant* 29(1987):453–467
- [111] Moral R, Gomez I, Navarro Pedreno J, Mataix J., Effects of cadmium on nutrient distribution, yield and growth of tomato grown in soilless culture. *J Plant Nutr* 17(1994):953–962
- [112] Baszynski T, Wajda L, Krol M, Wolinska D, Krupa Z, Tukendorf A., P
- [113] Clijsters H, VanAssche F., Inhibition of photosynthesis by heavy metals. *Photosynth Res* 7(1985):31–40

- [114] Van Assche F, Cardinaels C, Clijsters H., Induction of enzyme capacity in plants as a result of heavy metal toxicity: Dose-(1988)
- [115] Karataglis S, Moustakas M, Symeonidis L., Effect of heavy metals on isoperoxidases of wheat. *Biol Plant* 33(1991):3–9
- [116] Hernandez, L.E., Carpena-Ruiz, R., Garate, A., Alter- ations in the mineral nutrition of pea seedlings exposed to cadmium. *J. Plant Nutr.* 19(1996):1581–1598.
- [117] Costa, G., Morel, J.-L., Water relations, gas exchange and amino acid content in Cd-treated lettuce. *Plant Physiol. Biochem.* 32(1994):561–570.
- [118] Sheoran IS, Singal HR, Singh R., Effect of cadmium and nickel on photosynthesis and the enzymes of the photosynthetic carbon reduction cycle in pigeon pea (*Cajanus cajan* L.). *Photosynth Res* 23(1990):345–351
- [119] Stobart AK, Griffiths WT, Ameen-Bukhari I, Sherwood RP., The effect of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Physiol Plant* 63(1985):293–298
- [120] Boddi B, Oravec AR, Lehocski E., Effect of cadmium on organization and photoreduction of protochlorophyllide in dark- grown leaves and etioplast inner membrane preparations of wheat. *Photosynthetica* 31(1995):411–420
- [121] Lozano-Rodríguez, E., Hernandez, L.E., Bonay, P., Carpena-Ruiz, R.O., Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances. *J. Exp. Bot.* 306(1997): 123–128.
- [122] Pichorner, H., Korori, S.A.A., Thur, A., Ebermann, R., 1993. The two and the four electron transfer to molecular oxygen- mediated by plant peroxidase in the presence of thiols. In: Welinder, K.G., Rasmussen, S.K., Penel, C., Greppin, H. (Eds.), *Plant Peroxidases: Biochemistry and Physiology*. University of Geneva, pp. 131–136.
- [123] Ghoshroy, S., Freedman, K., Lartey, R., Citovsky, V., Inhibition of plant viral systemic infection by non-toxic concentrations of cadmium. *Plant J.* 13(1998):591–602.
- [124] Stroinski, A., Effects of cadmium on the host-pathogen system. V. Effect of exogenous dicyclohexylamine on potato tubers (*Solanum tuberosum* L.), cadmium and *Phytophthora infestans* relations. *J. Plant Physiol.* 150(1997):178–183.
- [125] Hart JJ, Welch RM, Norvell WA, Sullivan LA, Kochian LV., Characterization Of Cadmium Binding, Uptake And Translocation In Intact Seedlings Of Bread And Durum Wheat Cultivars. *Plant Physiology* 116(4)(1998): 1413–1420
- [126] Adams MN, Zhao FJ, McGrath SP, Nicholson FA, Chalmers A, Chambers BJ, Sinclair AH (2001) Cadmium and Lead in British Wheat and Barley: Survey Results and Factoring Affecting Their Concentration in Grain. Project Report HGCA. November, No: 265
- [127] Khan NA, Ahmad I, Singh S, Nazar R., Variation in Growth, Photosynthesis and Yield of Five Wheat Cultivars Exposed to Cd Stress. *Word J. of Agricultural Science* 2(2) (2006): 223–226 ISSN 1817-3047
- [128] Saidi I, Ayouni M, Dhieb A, Chtourou Y, Chaïbi W, Djebali, W., Oxidative damages induced by short-term exposure to cadmium in bean plants: Protective role of salicylic acid. *South African Journal of Botany* 85(2013): 32–38
- [129] Soudek P, Petrová S, Vančková R, Song J, Vaneček T., Accumulation of heavy metals using *Sorghum* sp. *Chemosphere* 104(2014): 15–24
- [130] Zhang B, Shang S, Jabeen Z, Zhang G Involvement of ethylene in alleviation of Cd toxicity by NaCl in tobacco plants *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 101(2014): 64–69

- [131] Roy SK, Cho SW, Kwon SJ, Kamal MHA, Kim SW, Oh MW, Lee MS, Chung KY, Xin Z, Woo SH., Morpho-Physiological and Proteome Level Responses to Cadmium Stress in Sorghum. Plos One 11(2)(2016): 0150431
- [132] Wang X, Chen C, Wang J., Cadmium phytoextraction from loam soil in tropical southern China by Sorghum bicolor. International Journal Of Phytoremediation 19(6) (2017): 572–578
- [133] Ahmad, S. H., et al., Morpho-anatomical responses of *Trigonella foenum graecum* Linn. to induced cadmium and lead stress. Journal of Plant Biology, 2005. 48(1): p. 64-84.
- [134] Kilic, S., and M. Kilic, Effects of cadmium-induced stress on essential oil production, morphology and physiology of lemon balm (*Melissa officinalis* L., Lamiaceae). Applied Ecology and Environmental Research, 2017.15(3), p. 1653-1669.
- [135] Mukhtar, N., et al., Modifications in stomatal structure and function in *Cenchrus ciliaris* L. and *Cynodon dactylon* (L.) pers. in response to cadmium stress. Pakistan Journal of Botany, 2013. 45(2): p. 351-357.
- [136] Khudsar, T. and M. Iqbal, Cadmium-induced changes in leaf epidermes, photosynthetic rate and pigment concentrations in *Cajanus cajan*. Biologia Plantarum, 2001. 44(1): p. 59-64.
- [137] Peco, J. D., et al., Characterization of mechanisms involved in tolerance and accumulation of Cd in *Biscutella auriculata* L. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2020. 201: 110784.
- [138] Saidi I, Chtourou Y, Djebali W, Selenium alleviates cadmium toxicity by preventing oxidative stress in sunflower (*Helianthus annuus*) seedlings, Journal of Plant Physiology, 171(5)(2014): 0176-1617
- [139] Mohamed AA, Castagna A, Ranieri A, Sanità di Toppi L, Cadmium tolerance in *Brassica juncea* roots and shoots is affected by antioxidant status and phytochelatin biosynthesis, Plant Physiology and Biochemistry, 57(2012):0981-9428
- [140] Deng G, Li M, Li H, Yin L, Li W, Exposure to cadmium causes declines in growth and photosynthesis in the endangered aquatic fern (*Ceratopteris pteridoides*), Aquatic Botany, 112(2014):0304-3770
- [141]. Liu, C., Guo, J., Cui, Y. et al. Effects of cadmium and salicylic acid on growth, spectral reflectance and photosynthesis of castor bean seedlings. Plant Soil 344(2011):131–141
- [142] Yılmaz DD, Parlak KU, Changes in proline accumulation and antioxidative enzyme activities in *Groenlandia densa* under cadmium stress, Ecological Indicators, 11(2)(2011):1470-160X
- [143] Li F, Qi J, et al. Effect of Cadmium Stress on the Growth, Antioxidative Enzymes and Lipid Peroxidation in Two Kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) Plant Seedlings, Journal of Integrative Agriculture, 12(4)(2013):2095-3119.
- [144] Ehsan S, Ali S, Noureen S, et al. Citric acid assisted phytoremediation of cadmium by *Brassica napus* L, Ecotoxicology and Environmental Safety, 106(2014):0147-6513.
- [145] Ozyigit, I. I., et al., Detection of physiological and genotoxic damages reflecting toxicity in *kalanchoe* clones. Global Nest Journal, 18(2016):223-232.[146] Di Baccio D, Castagna A, Tognetti R, Ranieri A, Sebastiani L, Early responses to cadmium of two poplar clones that differ in stress tolerance, Journal of Plant Physiology, 171(18)(2014):0176-1617.

- [147]. Fotiadis, E. and P.C. Lolas, Phytoremediation of Cd contaminated soil through certain weed and crop species. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 2011. 1: p. 811-817.
- [148]. Zhang X, Xia H, Li Z, Zhuang P, Gao B, Potential of four forage grasses in remediation of Cd and Zn contaminated soils, *Bioresource Technology*, 101(6)(2010):0960-8524.
- [149]. Rizwan, M., et al., Cadmium minimization in wheat: a critical review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 130(2016): p. 43-53.
- [150]. Song, Y., et al., Comparative analyses of cadmium and zinc uptake correlated with changes in natural resistance-associated macrophage protein (NRAMP) expression in *Solanum nigrum* L. and *Brassica rapa*. *Environmental Chemistry*, 11(2014): p. 653-660.
- [151] Vatansever, R., E. Filiz, and I. I. Ozyigit, In silico analysis of Mn transporters (NRAMP1) in various plant species. *Molecular Biology Reports*, 43(3)(2016): p. 151-163.
- [152] Naeem, A., et al., Cadmium-Induced Imbalance in Nutrient and Water Uptake by Plants, in *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, M. Hasanuzzaman, M. N. V. Prasad and M. Fujita, Editors. 2019, Academic Press. p. 299-326.
- [153] Hocaoglu-Ozyigit, A. and N. B. Genc, Cadmium in plants, humans and the environment. *Frontiers in Life Sciences and Related Technologies*, 2020. 1(1): p. 12-21.

