

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BAZI BİTKİLERİN HİDROPONİK ORTAMDA FİTOREMEDİASYON
KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS
Seda KOCA**

Anabilim Dalı : Biyoloji Anabilim Dalı

Programı : Biyoloji

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Yeşim KARA

**TEMMUZ, 2012
DENİZLİ**

YÜKSEK LİSANS ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091461013 nolu öğrencisi Seda Koca tarafından hazırlanan “Bazı Bitkilerin Hidroponik Ortamda Fitoremediasyon Kapasitelerinin Araştırılması” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

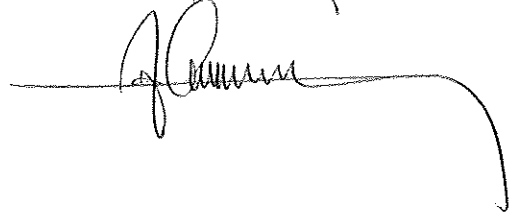
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Yeşim KARA
(Jüri Başkanı)



Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ümit DİVRİKLİ



Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ali ÇELİK



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
..... tarih ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Seda KOCA

ÖNSÖZ

Bu çalışmada daha çok, hidroponik ortamda yetişen bitkilerin fitoremediasyon kapasiteleri üzerinde durulmuştur. Bu amaçla, Hidroponik sistemin NFT (Nutrient Film Tekniği) düzeneği kurulmuş, bu sistemde çimlendirilip yetiştirilen bitkilerin fitoremediasyon kapasiteleri ölçülmüştür. Bu çalışmanın gerçekleşmesinde desteğini benden esirgemeyen, bilgisi ve deneyimleriyle her aşamasında titizlikle ilgilenen, manevi desteğiyle yüksek lisans dönemim boyunca beni yalnız bırakmayan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. Yeşim KARA' ya; Tez Jürimde bulunan ve desteğini hiç bir zaman eksik etmiyen Sayın Prof. Dr. Ümit DİVRİKLİ, Sayın Prof. Dr. Ali ÇELİK, Sayın Yrd. Doç. Dr. Mehmet ÇİÇEK'e, deney çalışmalarım boyunca yardımını esirgemeyen Arş. Gör. Ayşen HÖL'e, Teknik yardımlarından dolayı Tartes Tarım Firması çalışanlarına, Tüm yüksek lisans dönemim boyunca çalışmalarımda ve manevi anlamda yardımlarını esirgemeyen Hülya METİN, Hesna YAKA, Özgür GÜL ve Çiğdem Aydın'a Teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca, hayatım boyunca maddi manevi desteğini esirgemeyen Sevgili babam Zühtü KOCA'ya ve canım annem Nefize KOCA'ya ve Ozan SUNGUR'a sonsuz şükranlarımı sunarım.

TEMMUZ 2012

Seda KOCA
(Biyolog)

İÇİNDEKİLER

ÖZET	viii
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1. Fitoremediasyon	1
1.1.1. Fitoekstraksiyon	8
1.1.2. Fitodegradasyon/Dönüşüm	9
1.1.3. Fitovolatilizasyon	9
1.1.4. Fitostimulasyon	9
1.1.5. Fitostabilizasyon	9
1.1.6. Rizofiltrasyon	9
1.1.7. Fitoremediasyon İçin Bitki Seçimi	10
1.2. Ağır Metal	10
1.2.1. Ağır metallerin genel özellikleri	11
1.2.2. Ağır metal-bitki ilişkisi	12
1.2.3. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması	13
1.2.4. Ağır metallerin bitkilerde taşınması	13
1.2.5. Bitkilerde ağır metal dirençliliği	14
1.2.6. Ağır metallerin bitkiler üzerindeki fizyolojik etkileri	14
1.3. Topraksız Tarım	15
1.3.1. Topraksız tarımın uygulanmasının amacı	18
1.3.2. Topraksız tarımın avantajları ve dezavantajları	19
1.4. Sıvı (Agregat Olmayan) Hidroponik Sistemler	21
1.4.1. Besleyici film tekniği (NFT)	21
1.4.2. Değişken akışlı sistemler	24
1.4.3. Damlama sistemleri	25
1.4.4. Su kültürü	26
1.4.5. Fital sistemleri	26
1.4.7. Agregat hidroponik sistemler	28
1.4.8. Hidroponide kapillar sistemler	30
1.4.9. Hidroponik sistemlerde besin çözeltileri	31
1.5. Jojoba (<i>Simmondsia chinensis</i>)	33
1.6. Ayciçeği (<i>Helianthus annuus</i>)	35
2. TEZİN AMACI	37
3. MATERYALLER	38
3.1. Bitkisel Materyaller	38
3.2. Kimyasal Materyaller	39
3.2.1. Nikel (Ni)	39
3.2.2. Kadmiyum (Cd)	40
3.3. Mekanik materyaller	41
3.3.1. Hidroponik sistem kurulumu	41
4. YÖNTEMLER	46
4.1. Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemi	46
4.2. NFT (Nutrient Film Tekniği) Sisteminin Kullanımı	46

4.2.1. Hidroponik sistemde kontrol çalışması.....	46
4.2.2. Ağır metallerin bitkilere uygulanması	51
4.3. Bitkilerin Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi.....	53
5. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	53
6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA.....	55
KAYNAKLAR	58

TABLO LİSTESİ

1.1: Fitoremediasyonun avantajları ve dezavantajları.....	7
1.2: Makro elementler (Megep, 2008).	32
1.3: Mikro elementler (Megep, 2008).....	32
4.1: Hidroponik sistemde ve toprakta yetişen biber (<i>Capsicum annuum</i>)	47
4.2: Hidroponik sistemde çimlenen bitkilerin klorofil a ve b değerlerinin saptanması	47
5.1: Jojobada bulunan nikel miktarı	54
5.2: Ayçiçeğinde bulunan nikel miktarı	54
5.3: Jojobada bulunan kadmiyum miktarı.....	54
5.4: Ayçiçeğinde bulunan kadmiyum miktarı.....	54

ŞEKİL LİSTESİ

1.1: Toprak temizleme yöntemleri	4
1.2: Fitoremediasyon sırasında kirleticilerin olası sonları	8
1.3: Besleyici film tekniği modeli	22
1.4: Değişken akışlı sistem modeli	25
1.5: Damlama sistem modeli	25
1.6: Su kültürü modeli	26
1.7: Fitol sistemleri modeli	26
1.8: Aeroponik sistemi modeli	27
3.1: Sistemin iskelet kısmının kuruluşu	42
3.2: Polikarbon camların takılması	42
3.3: Polikarbon perdenin iskelete tutturulması	43
3.4: Hidroponik sistemin iç iskeletinin kurulumu	43
3.5: Bitkilerin yerleştirildiği, saksı kısımları ve boru sistemlerinin kurulmuş	44
3.6: Hidroponik sistemin, otomasyon kısmının kurulumu 1	44
3.7: Hidroponik sistemin, otomasyon kısmının kurulumu 2	45
3.8: Hidroponik düzeneğin kurulmuş son hal	45
4.1: Hidroponik sistemde yetişen biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisinin kök	47
4.2: Hidroponik sistemde yetişen biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkinin yaprak	48
4.3: Hidroponik sistemde biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisinin büyümüş hali	48
4.4: Hidroponik sistemde biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisinin tomurcuğa	49
4.5: Hidroponik sistemde biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisinin meyveye	49
4.6: Hidroponik sistemde çimlendirilen ayçiçeği (<i>Helianthus annuus</i>) tohumu	50
4.7: Hidroponik sistemde çimlendirilen jojoba (<i>Simmondsia chinensis</i>)	50
4.8: Hidroponik sistemde ve toprakta çimlenen ayçiçeği (<i>Helianthus annuus</i>)	51
4.9: Ağır metallerin hazırlanması	52
4.10: Hidroponik sistemde çimlendirilen bitkilere ağır metallerin uygulanması	52
5.1: Nikel (Ni) standart grafiği	53
5.2: Kadmiyum (Cd) standart grafiği	54

ÖZET

BAZI BİTKİLERİN HİDROPONİK ORTAMDA FİTOREMEDİASYON KAPASİTELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Bu çalışmada jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin hidroponik ortamda fitoremediasyon kapasiteleri araştırılmıştır. Bu çalışma için nikel (Ni^{+2}) ve kadmiyum (Cd^{+2}) ağır metalleri kullanılmış, bitkiler bu ağır metallere belirli süreler ve dozlarda maruz bırakılmıştır.

Çalışmamız için öncelikle, hidroponik sistemin en iyi kontrol edilen sisteminin hangisi olduğu araştırılmış ve NFT (Nutrient Film Tekniği) sisteminin parametrelerin kontrol edilmesi açısından diğerlerinden daha iyi olduğu tespit edilmiştir. Bu bilgilerden yararlanarak, pH, Isı, Nem, Işık gibi bitki gelişimin kontrolü açısından önemli olan parametrelerin bulunduğu bir sistem kurulmuştur. Kurulan hidroponik sistem üzerinde öncelikle düzgün çalıştığının gözlenmesi ve bitkideki fizyolojik değişimlere bakılması için biber bitkisinde ön çalışma yapılmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda biber bitkisinin gelişiminin düzgün ilerlediği gözlemlenmiştir. Daha sonra toprakta yetişen ve sistemde yetişen bitkinin kök, gövde ve yapraklarındaki farklılıklar tespit edilmiştir.

Hidroponik sistemin düzgün çalıştığının gözlemlenmesinden sonra, fitoremediasyon çalışması için jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkileri sistemde çimlendirilip, Nikel (Ni^{+2}) ve kadmiyum (Cd^{+2}) ağır metallerinden hazırlanan 1,5 ve 7 ppm konsantrasyonundaki solüsyonda 96 saat bekletilmiştir. Daha sonra 25 °C oda sıcaklığında kurutulan bitkiler, bünyelerindeki suyun buharlaştırılması için yaklaşık 60 dakika 80 °C etüvde bekletilmiştir. Ufak parçalara ayrılan bitkiden 1gram alınarak 8ml $HNO_3.HClO_4-H_2O_2$ (2:1:1) asit karışımı üzerine eklenmiştir. Oluşan karışım 170 °C 3 saat ısıtıldıktan sonra soğutulmaya bırakılan içeriğin üzerine 2 ml H_2SO_4 ve 8ml'lik asit karışımından eklenmiştir. Oluşan solüsyon 2500 rpm de 5 dakika döndürülüp, döndürülen solüsyonun üst kısmında kalan yerden alınarak, daha sonra 1M HNO_3 le

25 ml ye tamamlanıp, AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi) cihazında içerisindeki ağır metaller ölçülmüştür.

Yapılan ölçümler sonucunda jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin belirli oranlarda ağır metali absorbe ettiği ortaya çıkmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hidroponik, Fitoremediasyon, NFT (Nutrient Film Tekniği), Jojoba (*Simmondsia chinensis*), Ayçiçeği (*Helianthus annuus*)

SUMMARY

STUDYING PHYTOREMEDIATION CAPACITY OF SOME PLANTS IN HYDROPONIC SYSTEMS

In this study, jojoba (*Simmondsia chinensis*) and sunflower (*Helianthus annuus*) phytoremediation capacity of plants in hydroponics were investigated. For this study, nickel (Ni +2) and cadmium (Cd +2) used heavy metals, plants were exposed to doses of these heavy metals and certain periods of time.

In order to study, whichever system is controlled hydroponic system is the best researched and NFT (Nutrient Film Technique) system was found to be better than others in terms of control parameters. With this information you, pH, Temperature, Humidity, Light as a system where the parameters that are important for plant growth control has been established. Hydroponic systems are working properly established primarily on the pepper plant for observation and preliminary work has been done to look at physiological changes in plants. Development of pepper plants was observed as a result of this work is progressing smoothly. Then the system grows in the soil and plants grown in root, stem and leaf of the differences have been identified.

Hydroponic systems are working properly after the observation, to study phytoremediation jojoba (*Simmondsia chinensis*) and sunflower (*Helianthus annuus*) plants germination system, Nickel (Ni +2) and Cadmium (Cd +2) 1.5 and 7 ppm, the concentration of heavy metals in solution prepared in 96 hours kept. The plants were then dried at room temperature 25 ° C plants, about 60 minutes, 80 ° C for the evaporation of water in their bodies were kept in an oven. HNO₃-HClO₄ 8ml separated by taking small pieces 1 g plant-H₂O₂ (2:1:1) acid mixture was added on. The resulting mixture was heated to 170 ° C for 3 hours then cooled and dropped on the content 8 ml'lik acid mixture was added 2 ml H₂SO₄. The resulting solution was rotated at 2500 rpm for 5 minutes, taking them from the upper part of the solution is

returned, then completed to 25 ml of 1M HNO₃ le, AAS (Atomic Absorption Spectrophotometer) device was measured in the heavy metals.

Result of the analysis of jojoba (*Simmondsia chinensis*) and sunflower (*Helianthus annuus*) plants to absorb heavy metals in certain proportions emerged.

KeyWords: Hydroponic, Phytoremediation, NFT (Nutrient Film Technique), Jojoba (*Simmondsia chinensis*), Sunflower (*Helianthus annuus*)

1. GİRİŞ

Günümüzde dünyanın birçok yerinde insanlara sağladığı yararlar nedeniyle topraksız tarım en çok kullanılan yöntemlerden birisi olmuştur. Özellikle bu yöntemin su kültürü dediğimiz hidroponik dalı toprak alanlarının azalması, verimsizleşmesi, topraktaki elementlerin fazlalığı yada azlığı gibi toprak sorunları ve bu yöntemin seracılıkta kullanımının artması ile daha çok tercih edilmektedir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile son yılların en büyük problemlerinden birisi olan çevre kirlenmesi sonucu toprağa karışan ağır metallerin (Pb^{+2} , Cd^{+2} , Hg^{+2} , As^{+2} , vs.) bitkiler üzerindeki etkisi ölçülüp, Toprak temizlenmesinde en çok tercih edilen yönü ortaya konmuş, ekonomik ve ekolojik olan, özel donanım gerektirmeyen ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan veren bir yöntem olan fiteromediasyon yönteminin ne kadar önemli olduğu ortaya konulmuştur.

1.1. Fitoremediasyon

Ağır metallerin toprakta biriktiği, bu alanda yetişen bitkilere toksik etki gösterdiği ve yeraltı sularına ulaşarak insan sağlığını tehdit ettiği bilinmektedir (Fergusson, 1991). Bazı maddelerin, besin olarak kullandığımız çeşitli organizmalarda depolanması ve besin zincirinin son üyesi olan insanda akut zehirlenmelere yol açmasıyla güncel konular haline geldikleri bilinmektedir (Sugano ve ark., 1975). Ayrıca insanların besinlerle birlikte alabileceği ağır metal miktarlarının tolerans limitleri (Kieffer, 1991) ile topraktaki ağır metallerin doğal miktarlarının sınır değerleri belirlenmiştir (Taşatar, 1995).

Sanayi bölgelerinde hava kirliliğinin oluşmasında, kimyasal maddeler ve motorlu taşıtlar önemli rol oynamaktadır. Bu etmenler içerisinde, canlı yaşamını tehlikeye düşüren ağır metaller önemli yer tutmaktadır. Bunlara örnek olarak kurşun (Pb), kadmiyum (Cd) ve civa (Hg) gibi metaller verilebilir.

Bu metallerin gereğinden fazla olması çevre kirliliğinin artmasına sebep olur. Bazı bitkiler bu metalleri, kökleri, yaprakları veya tohumları aracılığıyla tutarak hava kirliliğinin azalmasını sağlayabilirler. Bu tür bitkilere "hiperakümülatör bitkiler" denir. Bu bitkilerin topraktan ağır metalleri temizlenmesi tekniğine de "fitoremediasyon tekniği" adı verilir.

Toprak kirliliğinin kontrolünde kullanılan fiziksel ve kimyasal arıtma yöntemleri, uygulama kolaylığı ve uygulama süresinin kısalığı gibi bazı avantajlara sahip olmasına rağmen, gerek arıtma masrafının yüksek olması, gerekse arıtma sonucunda ortaya çıkan diğer kirletici formlarının nihai gideriminin zorlukları nedeniyle çevresel açıdan fazla tercih edilmemektedir. Kimyasal arıtmaya alternatif olarak kullanılan ve kısaca bitkiler kullanılarak topraktan yerinde (in-situ) organik ve metal kirleticilerin giderimi olarak tarif edilen fitoremediasyon yöntemi, yeni ortaya konmuş, ekonomik ve ekolojik olması ile özel donanım gerektirmemesi ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkân vermesi gibi avantajlara sahip olması nedeniyle günümüzde tercih edilen bir yöntem haline gelmektedir.

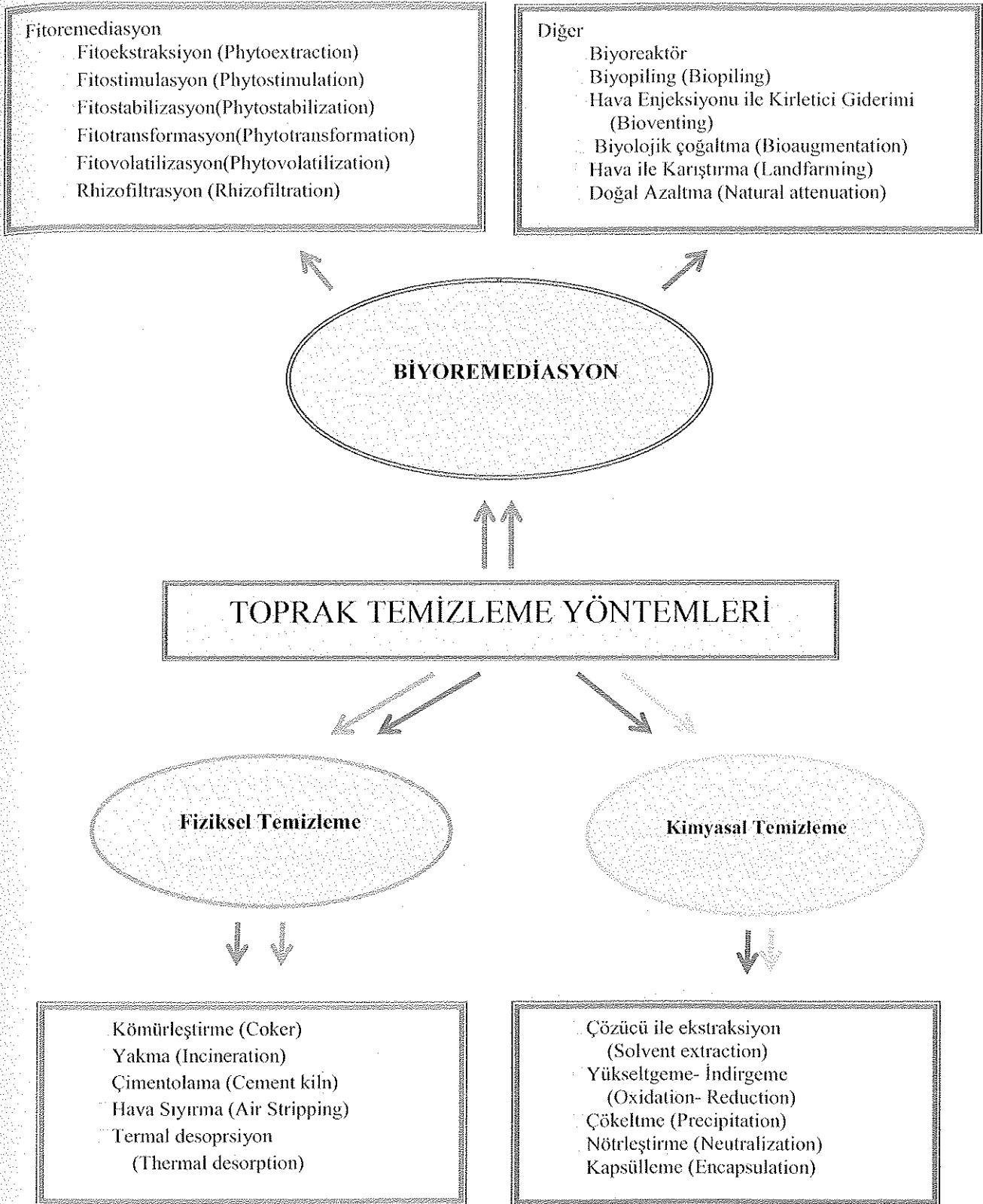
Bitkiler tarafından element alımı, genel olarak bitkinin alım sistemleri ve türe özel gereksinimler dışında toprağın bu elementi bulundurma kapasitesine ve toprak çözeltisindeki kimyasal erişilebilirliğine bağlı olarak değişir. Ayrıca kation değişim kapasitesi ile organik madde içeriği gibi toprak özelliklerine göre de değişir. Elementler, toprakta hareketlenmelerini takiben bitkinin kök hücreleri tarafından tutulur. Önce hücre duvarına bağlanan elementler, daha sonra taşıyıcı sistemler ve hücre içi bağlanma bölgeleri ile düzenlenerek plazma membrandan geçer. Element iyonlarının alımının kanal proteinleri ve/veya taşıyıcı proteinler tarafından gerçekleştirildiği düşünülmektedir. Plazma membranın iç kısmının (-) yüklü olması kationların alımı için geçiş üstünlüğü sağlamaktadır (Clemens ve ark., 2002).

Toprak çözeltisinden bitki köklerine metal taşınması difüzyon ve konveksiyon yoluyla olmaktadır. Bu iki yöntemden hangisinin daha önemli ve öncelikli olduğuna dair çok fazla bilgi bulunmamaktadır. Fakat çözeltideki toplam metal konsantrasyonunun artmasının konveksiyon yoluyla taşınımı da arttırdığı saptanmıştır. Komplekslerin oluşumu toprak çözeltisindeki çözülmüş metal konsantrasyonunun artmasına bağlıdır. Ayrıca bitki tarafından alımda,

komplekslerinin bitkiler tarafından alınmaması durumunda bile bitki köküne doğru difüzyon yoluyla gerçekleşen taşınımları önemli ölçüde arttırdıkları görülmüştür.

Elementin topraktaki hareketliliği, topraktan alınması, kökte birikim ve hücre içindeki boşluklara taşınma, ksilem taşınımının etkinliği ve toprak üstü kısımlarda elementin dağılımı, bitkilerde element birikimini etkileyen faktörlerdir. Elementlerin çözünürlüğü ve hareketi toprağın tipine bağlı olarak adsorpsiyon, desorpsiyon ve kompleks oluşturma işlemlerinden de etkilenebilmektedir. Metallerin kök hücreleri içerisinde birikmesinden sonra uzun mesafe taşınması ksilem özsuyuna geçişleri ile gerçekleşir. Buradan da terleme gücü ile bitkinin üst kısımlarına taşınır. Metaller ksilem özsuyu içinde yaprak apoplastlarına ulaştırılır. Taşıyıcılar simplast içine alım sağlar ve yaprak içine dağılım apoplast ve simplast yoluyla gerçekleşir (Clemens ve ark., 2002).

Toprağın kirleticilerden arındırılması için biyolojik olan ve olmayan çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemler fiziksel temizleme, kimyasal temizleme ve biyoremediasyon olarak 3 başlık altında toplanabilir



Şekil 1.1: Toprak temizleme yöntemleri

Fitoremediasyon, bitkileri ve onlarla ilişkili olan mikroorganizmaları kullanarak yapılan çevre temizliğidir (Salt ve diğ., 1998). Bu teknoloji doğal olarak, organik ve inorganik kirleticileri ayrıştırmak ya da toplamak için bitkileri ve onların rizosferlerini kullanır. Fitoremediasyon, birçok organik ve inorganik kirleticiler için etkin bir temizleme yöntemidir. Çevredeki birçok organik kirleticinin kaynağı genellikle insanlar ya da ksenobiyotik organizmalardır. Bunların çoğu toksik bir kısmı da kanserojendir. Organik kirleticiler çevreye; yakıtların, çözücülerin dökülmesi, ordu aktivitelerinde kullanılan patlayıcı ve kimyasal silahlar, tarım faaliyetlerinde salınan pestisitler, herbisitler ve endüstriyel aktiviteler (kimyasal, petrokimyasal, odun işleme) ile salınabilir. Özelliklerine bağlı olarak, organikler bitkinin kök çevresinde ayrıştırılırlar ya da bitki tarafından; ayrıştırma, biriktirme ya da uçurma yollarıyla alınır (Pilon-Smits, 2005).

Fitoremediasyon, çevredeki kirleticilerin iyileştirilmesi amacı ile su ve topraktaki kirleticilerin çeşitli bitkiler kullanılarak ekstrakte edilmesi, bitki bünyesinde tutulması, sabitlenmesi ya da degradasyonunu içeren bir teknolojidir. Bu temizleme süreci, bitki rizosferini oluşturan bitkiler ya da diğer organizmalar tarafından kirleticilerin metabolize edilmesi, degradasyonu, ayrılması ve birikimini sağlayan bitki ile ilgili tüm biyolojik, fiziksel ve kimyasal süreçleri içermektedir (Cunningham ve diğ., 1995; Macek ve diğ., 2000). Fitoremediasyon hava, toprak, sediment ve suda yerinde uygulama için kullanılabilir.

Fitoremediasyon doğrudan ya da dolaylı olmak üzere iki şekilde meydana gelebilir. Doğrudan fitoremediasyonda, bitkiler, suda çözünen kirleticilerin önemli bir kısmının işlenmesi ve biriktirilmesi, sonrada terleme aracılığı ile taşınması fonksiyonları ile detoksifikasyon sağlarlar. Kök büyümesi sırasında, büyük kimyasal gradiente karşı elementler ve bileşikler değişebilir, karşılaşılabılır ve yer değiştirebilir. Büyüme ve terleme sonucunda, toprak manipülasyonu veya alan destabilizasyonunun maliyetleri olmadan, bitkiler ve köklerle ilişkili mikroorganizmalar temizleme yeteneği kazanır (Stomp ve diğ., 1994).

Diğer taraftan dolaylı fitoremediasyonda detoksifikasyonu gerçekleştirmek için köklerle ilişkili mikroorganizmalar kullanılır. Bitkilerin kök yüzeyi, rizosferdeki

mantar uzantılarını ve aktif bakteriyal biyofilmi destekler. Bitki kökleri sadece salgıları aracılığı ile organik besin ve enerji sağlamaz, aynı zamanda topraktaki oksidasyon-redüksiyon potansiyelini, oksijenin kökler aracılığı ile doğrudan ya da zamanla değişen toprak gözenekleri ile dolaylı olarak taşınmasını ve böylece toprak mikroorganizmalarının büyümesi için optimal oksidasyon-redüksiyon mikro çevresinin oluşturulmasında oldukça etkilidir. Bitki örtüsü, toprak, erozyonun önlenmesi ve kirlenici maddelerin hareketini hemen hemen dengeler. Karşılık olarak mikroorganizmalar kirlenici tutma kapasitesi ve kök yüzey alanını oldukça genişletirler. Onlar kısmen, artan bitki büyümesinde toprağın fiziksel ve kimyasal parametrelerle en ölçülebilir değişimini ve kök metabolik kapasitesini düzenlerler (Curl ve Truelove, 1986).

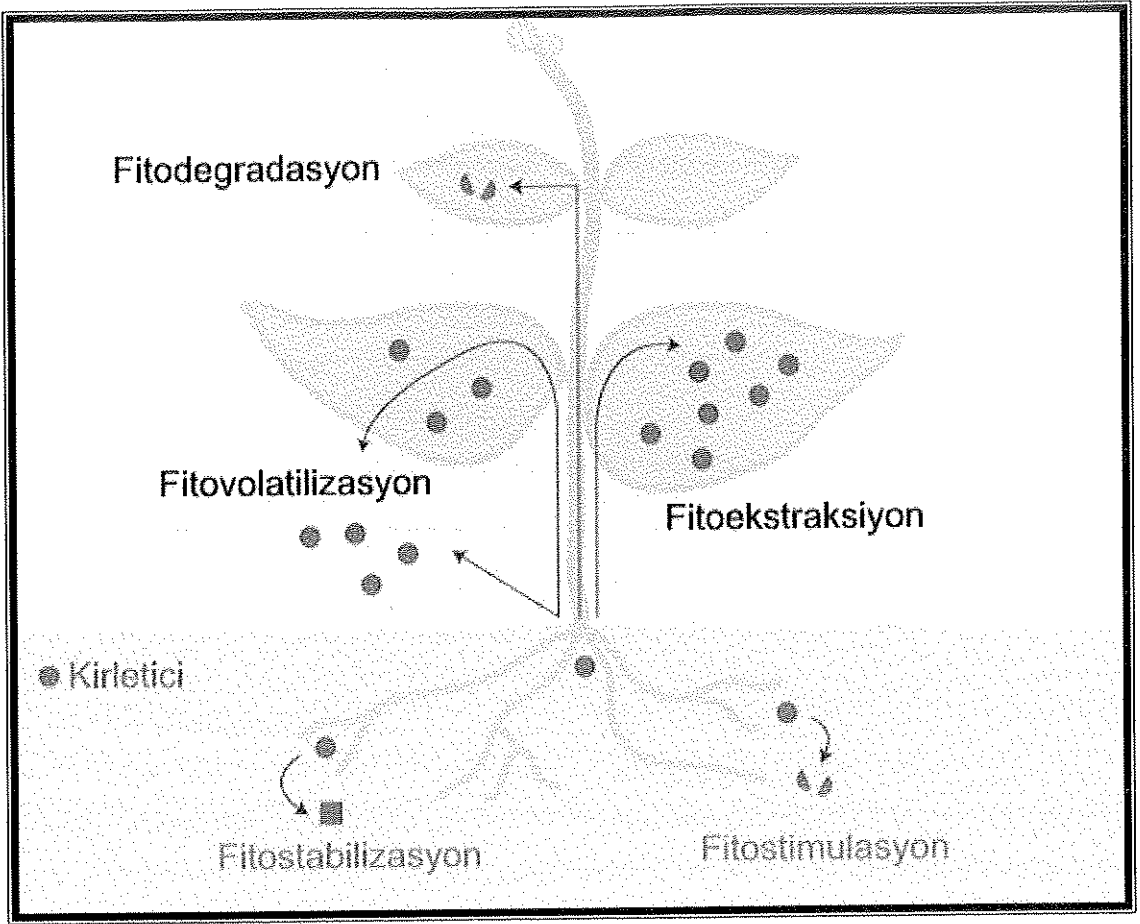
Fitoremediasyon, kamu kurumlarında ve endüstride son on yıl içinde popülerlik kazanmıştır. Bu popüleritenin temelinde fitoremediasyonun çevresel atıkların temizlenmesinde ucuz bir yöntem oluşu ve çevresel fonların azlığı yatar. Fitoremediasyon toprak taşınması, yakılması, yıkanması ya da pompalama-temizleme gibi mühendislik temelli remediasyondan on kat daha ucuzdur. Çünkü biyolojik süreç eninde sonunda güneş enerjisi ile çalışır. Fitoremediasyonun ucuz olmasının temel nedeni yerinde uygulanmasıdır ve insanların, yaban hayatının ve çevrenin kirlenmiş substrata maruz kalma riskini önemli ölçüde azaltır. Aynı zamanda fitoremediasyon insanlar içinde 'yeşil temizlik' olması nedeniyle kimyasal temizlik ve buldozerle kıyaslanınca oldukça hoş karşılanan bir alternatiftir. Böylece, devlet daireleri çevre temizlik stratejilerine hazırda bulunan kısıtlı kaynakları kullanmak için fitoremediasyonu koymayı tercih ederler. Şirketlerse (elektrik santralleri, petrol ve kimya endüstrisi) bu çevre dostu teknolojiyi kullanarak reklam yapmayı sever. Çevre danışmanlık şirketleri fitoremediasyonu artan bir şekilde müşterilerine sundukları tekliflere koymaktadırlar (Pilon-Smits, 2005).

Tablo 1.1: Fitoremediasyonun avantajları ve dezavantajları
(ITRC, 2004, EPA 2001; Green ve Hoffnagle, 2004)

Avantajlar	Dezavantajlar
Geleneksel metotlardan daha uygun maliyetli	Remediasyon için uzun zaman gerekli
<input type="checkbox"/> Düşük ikincil atık hacmi	Etkili derinlik bitki kökleri ile sınırlı
<input type="checkbox"/> Estetik görünüm	<input type="checkbox"/> Fitotoksosite sınırlamaları
<input type="checkbox"/> Habitat oluşturma – Biyoçeşitlilik	Kirleticilerin kaderi çoğunlukla belirsiz
<input type="checkbox"/> Yeşil teknoloji	<input type="checkbox"/> İklimle bağlı, iklimle değişebilen
<input type="checkbox"/> Daha genel kabul	<input type="checkbox"/> Mevsime bağlı uygulama
<input type="checkbox"/> Erozyon kontrolü sağlar	<input type="checkbox"/> Kirleticilerin taşınma ihtimali (ör; hayvanlar ya da hava ile)
<input type="checkbox"/> Toprağın kirleticiye maruz kalma riskini azaltır	<input type="checkbox"/> Sıklıkla karşılaşılan bir durum olmamakla birlikte, biyokütle içindeki metallerin bertaraf edilmesi gerekebilir
<input type="checkbox"/> Toz emisyonunu azaltır	
<input type="checkbox"/> Akışı önler	
<input type="checkbox"/> Etkileri daha az yıkıcı	

Fitoremediasyon, organik ve inorganik kirleticilerin uzaklaştırılmasında yararlanılan göreceli olarak yeni bir teknolojidir. Ucuz ve etkili olmasından dolayı son yıllarda araştırmacılar bu fitoremediasyon teknolojisi üzerinde çalışmalarını yoğunlaştırmaktadır (McPherson, 2007).

Bitki, ortam, kirletici ve mikroorganizmalarla ilişkisine göre fitoremediasyon çeşitleri aşağıdaki gibi özetlenebilir (Pletsch ve diğ., 1999; Pilon-Smits, 2005; Margaretich, 2007).



Şekil 1.2: Fitoremediasyon sırasında kirleticilerin olası sonları

(kırmızıyla belirtilmiş)kirleticiler rizosfer de ya stabilize edilirler ya da ayrıştırılırlar, bitki dokularında ise ya biriktirilir ya ayrıştırılır ya da buharlaşırlar (Pilon-Smits, 2005).

1.1.1. Fitoekstraksiyon

Fitoekstraksiyon ağır metaller, metaloidler, radyonüklidler ve tuzlar gibi ortamda bulunan inorganik kirleticilerin toprak yüzeyinden alınarak bitkiye taşınmasıdır. Halofitlerin ve hiperakümülatör bitkilerin geniş alandaki inorganik mineralleri bitki bünyesine alma kapasiteleri araştırılmaktadır. Halofit ya da hiperakümülatör olarak bilinen bitki cinsleri arasında Atriplex, Brassica, Helianthus, Kochia, Pelargonium, Pinus, Salicornia ve Thlaspi yer almaktadır (Tsao, 2003).

1.1.2. Fitodegradasyon/Dönüşüm

Metabolik süreç içinde zehirli maddelerin içsel yıkımı ya da bitkisel enzimlerin toprağa salınmasıyla dışarıda yıkımına fitodegradasyon denir (McPherson, 2007). Fitodegradasyon organik kirleticilerin degradasyonu için gerekli olan kofaktör ya da enzimlerin bitkiler tarafından üretilmesi olarak tanımlanmaktadır (Tsao, 2003).

1.1.3. Fitovolatilizasyon

Çözünmüş formdaki organik ya da inorganik kirleticilerin transpirasyonel sistem aracılığı ile ortamdan alınarak buharlaşma ile atmosfere verilmesi fitovolatilizasyon olarak bilinmektedir (Tsao, 2003). Bir kirleticinin topraktan ya da taban suyundan alınarak bitkiden atmosfere atılması şeklinde özetlenebilir (McPherson, 2007).

1.1.4. Fitostimulasyon

Bitki ve kök çevresinde bulunan bakteriler aracılığı ile bileşiklerin daha az toksik veya toksik olmayan bileşiklere dönüştüğü degradasyon işlemi olan fitostimulasyon (geliştirilmiş) rizosfer biyoremediasyonu (parçalanması) olarak da isimlendirilmektedir. Geliştirilmiş rizosfer parçalanması, rizosfer varlığında geliştirilen mikrobiyal aktivitenin sonucu olarak kirleticilerin parçalanmasıdır (Farrell ve diğ., 2000), topraktan kirleticilerin uzaklaştırılabilmesi için bir başka fitoremediasyon sürecini de içerir (McPherson, 2007).

1.1.5. Fitostabilizasyon

Farrell ve diğ. (2000)'de tanımlandığı gibi fitostabilizasyon topraktaki ya da taban suyundaki kirleticileri hareketsiz bırakmak ya da biriktirmek için bitkilerin kullanımınıdır ve üç kısma ayrılır: köklerle emilim ve biriktirme, kök yüzeyine yapışma, rizosferde humik materyallerle birleşme. Bu üç mekanizma, kirleticilerin emilim, taşınma ve metabolize edilmelerinde olduğu gibi her bir kirletici türü için Kow değerine bağlıdır (McPherson, 2007).

1.1.6. Rizofiltrasyon

Rizofiltrasyon kök çevresinde çözünmüş halde bulunan kirleticilerin, kökler tarafından absorbe edilmesi, bitki köklerinin üzerinde çökmesi ya da

adsorbsiyonudur. Sonuçta kirleticiler bitkinin içinde ya da üzerinde biriktirilir ya da taşınması engellenir. Kirletici daha sonra bitkinin fiziksel olarak çıkarılması ile uzaklaştırılır. Bu teknoloji metallere ya da radyonüklidlerle kirlenmiş atık sular, yüzey suları ve yeraltı sularının temizlenmesi için öncelikli olarak kullanılmaktadır (Saleh ve diğ., 2004).

1.1.7. Fitoremediasyon İçin Bitki Seçimi

Farklı fitoteknolojiler çeşitli bitki özelliklerinden yararlanır ve her biri için farklı bitki türleri kullanılır. Fitoremediasyon için uygun olan bitkilerin genel özellikleri şöyle sıralanabilir; hızlı gelişim, yüksek biyokütle oranı, rekabetçi, dayanıklı ve kirliliğe toleranslı. Ek olarak, bitki tarafından alınma, taşınma ve hasat edilebilir dokularda biriktirilme inorganiklerin fitoekstraksiyonu için önemli unsurlardır. Fitodegradasyon için uygun bitkiler ise geniş ve yoğun kök sistemleri taşımaları ve ayrıştırma enzimleri bol olmalıdır. Geniş bir kök yüzey alanı aynı zamanda fotostimulasyon için de uygundur, mikrobiyal gelişimi destekler; daha da önemlisi özel salgıların üretimi özellikli bitki-mikroorganizma ilişkileri yoluyla rizodegradasyonu destekler (Pilon-Smits, 2005).

1.2. Ağır Metal

Son yüzyılda kentleşme, sanayileşme ve dünya nüfusunun hızlı artışı nedeniyle evsel ve endüstriyel üretim ve tüketim koşullarına bağlı olarak oluşan organik ve inorganik zararlı maddeler ekosferin madde bütçesini önemli ölçüde değiştirmiştir. Bu maddeler çeşitli kaynaklardan alıcı ortamlara katı, sıvı ve gaz formlarında ulaşabilmektedir. İnsanoğlunun 19. yüzyıla kadar çevreye bıraktığı atıklar, ekosistemin kendini yenileyebilme özelliği ile giderilebilmekteydi. Dolaylı veya doğrudan çevreye bırakılan atıklar, enerji kaynağı ve karbon olarak canlıların anabolik (yapım) ve katabolik (yıkım) faaliyetleri sırasında kullanılarak yok edilmekteydi. Bugün aşırı şekilde çevreye bırakılan atıklar, mevcut ekolojik dengeyi bozarak hayat kalitesini, dahası hayatın kendisini tehdit eder duruma gelmiştir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde sanayi ve teknolojik nedenlerle bazı metallerin üretimi artış gösterirken buna bağlı olarak da tüketimin hızla artması

bunların çevreye yayılması olasılığını arttırmakta ve ekosistemi geri dönüşümsüz bir duruma getirmektedir. Günümüzde toprakta ağır metal kirliliği önemli çevresel problemlerden birisidir. Ağır metallerin toprakta aşırı birikmesinin sadece toprak verimliliği ve ekosistem fonksiyonları üzerinde değil aynı zamanda besin zinciri yoluyla havyan ve insan sağlığı üzerinde de önemli etkileri vardır. Toprak, su ve havada değişik oranlarda bulunabilen ağır metaller belirli derişimlerin üzerinde kirliliğe yol açarlar. Ağır metallerin çevrede yaygın bir şekilde birikmesi, tüm canlılar için boyutları giderek artan bir tehlike oluşturmaktadır. Çevreyi kirleten bütün unsurlar bitkilerde strese neden olur. Stres ise bitkilerin fizyolojisini etkiler, onların genetik potansiyellerini değiştirir, verimliliklerini kısıtlar ve ölümlerine yol açarak büyük oranlarda ürün kayıpları meydana getirir. Ağır metal kirliliğinin çeşitli nedenleri vardır. Bunlar antropojenik veya doğal kaynaklı olabilir. Endüstriyel faaliyetler, motorlu taşıtların egzoz gazları, maden yatakları ve işletmeleri, volkanik faaliyetler, tarımda kullanılan gübre ve ilaçlar ile kentsel atıklar ağır metallerin çevreye yayılmasına neden olan etmenlerden bazılarıdır (Evans ve Furlong, 2003).

Bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleransları bitki türüne, element türüne, strese maruz kalma süresine ve strese maruz kalan doku veya organın yapısına bağlı olarak değişmektedir. Bu nedenle ağır metalin tür ve miktarı, yarayışlılığı, zararın şiddeti ve türü ayrıca zarar oluşum sürecinin bilinmesi bitkilerin gelişimi ve canlılığı açısından oldukça önemlidir. Bazı bitkilerin topraktan ağır metal alımında yüksek oranda etkili olduğu ve bu tür bitkilerin ağır metal toksisitesine karşı toleranslı olduğu belirlenmiştir. Hiperakümülatör olarak da isimlendirilen bu bitkilerin arasında Brassicaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae ve Scrophulariaceae gibi bitki familyaları sayılabilir (Cunningham ve Ow, 1996).

1.2.1. Ağır metallerin genel özellikleri

Metaller fizikokimyasal özelliklerine ve yer kabuğu katmanlarında yerleşmelerine göre hafif metaller, ağır metaller, zor eriyen metaller, nadir toprak metalleri ve radyoaktif metaller olarak birkaç gruba ayrılırlar. Bununla birlikte metallerin bu tür sınıflandırılışı şartlı anlam taşır. Ağır metallerin çoğu periyodik tablonun d bloğundaki geçiş metalleridir. A grubu elementlerinden kurşun, kalay, germanyum

ve diğ er birkaç elementin dahil edildiğ i ağır metaller grubuna sodyumdan sonraki metaller girer. Bu metallerin yoğunluğu 7 gr/cm³'den yüksektir (Paşayev, 2005). Ağır metaller normalde, kayaların ve maden cevherlerinin bünyesinde bulunduğu için toprakta, sularda, sedimentlerde ve yaşayan organizmalarda da bulunması doğaldır (Alloway ve Ayres, 1993). Bazı ağır metaller bitki beslenmesi için önemli oldukları halde yüksek konsantrasyonlarda fitotoksiktirler. Bunlar Bakır (Cu⁺²), Demir (Fe⁺²), Mangan (Mn⁺²), Molibden (Mo⁺²), Çinko (Zn⁺²), Kobalt (Co⁺²) ve Nikel (Ni⁺²)'dir. Bununla birlikte Kadmiyum (Cd⁺²), Krom (Cr⁺²), Civa (Hg⁺²) ve Kurşun (Pb⁺²) gibi ağır metaller de çeşitli yollardan tarımsal ekosisteme girerler. Bunların bitki bünyesinde bulunmaları derişimlerine, çözünebilirliklerine ve bitkinin cinsine bağılıdır (Bergmann, 1992).

1.2.2. Ağır metal-bitki ilişkisi

Bitkiler elementleri seçici özelliklerle alırlar. Ağır metallerin bitkilerde birikimi ve organlarda dağılımı bitkinin ve elementin türüne, kimyasal ve biyolojik aktiviteye, oksidasyon-redüksiyon potansiyeline, pH değerine, kation değişim kapasitesine, oksijenin çözülmesine, ısıya ve köklerin salgı yeteneğine bağılıdır (Sharma ve Dubey, 2005).

Bitkileri ağır metallere olan tepkilerine göre üç ana grupta toplamak mümkündür. Bunlar; (1) ağır metalleri bünyesine almayan bitkiler; (2) topraktaki ağır metal seviyesi kadarını bünyesine alan indikatör (belirteç) bitkiler; ve (3) toprak üstü kısımlarında topraktaki seviyelerinden daha fazlasını aşırı biriktiren dolayısı ile ağır metal kirliliğinin temizlenmesinde (fitoremediasyon) kullanılan hiperakümülatör bitkilerdir. Hiperakümülatör bitki türleri genellikle Brassicaceae, Euphorbiaceae, Asteraceae, Lamiaceae gibi bitki familyaları içerisinde yer almaktadır. Hiperakümülatör bitkileri kendi içerisinde iki ana grupta toplamak mümkündür. Birincisinde, *Thlaspi* L. genusuna ait bitki türlerinde olduğu gibi birden fazla ağır metali aşırı miktarda bünyesinde biriktirebilen fakat az miktarda biyokütle oluşturan hiperakümülatör bitkiler yer almaktadır. İkincisinde ise orta seviyede ağır metal biriktirebilen fakat yüksek miktarda biyokütle oluşturan *Helianthus annuus* L., *Nicotiana tabacum* L., *Brassica juncea* L., ve *Zea mays* L. gibi bitki türleri yer almaktadır (Memon ve ark., 2001).

1.2.3. Ağır metallerin bitkiler tarafından alınması

Topraktaki metallerin bir kısmı bitkiler tarafından alınırken bir kısmı da toprakta kalır. Bu metalleri depo eden bitkiler öncelikle metalleri toprakta harekete geçirmelidir. İlk olarak metal şelatlayıcı moleküller (fitosideroforez) rizosfere salınır. Bunun nedeni toprağa bağlı olan metalleri topraktan çözmek içindir. İkinci olarak kökler spesifik plazma membranına bağlı metal redüktazlar ile metal iyonlarını azaltabilirler. Üçüncü olarak da bitki kökleri saldıkları protonlar ile toprak ortamını asitleştirerek ağır metalleri çözebilirler. Metalleri toprakta harekete geçirme işi, kök mantarları veya kökte kolonileşmiş bakteriler tarafından da yapılabilmektedir. Düşük pH toprak içindeki bağlı metal iyonlarının serbest kalmasına neden olur. Kök içine intraselüler (hücre içi, simplastik) veya ekstraselüler (hücre dışı, apoplastik) yollarla giren metal iyonları spesifik veya genel iyon taşıyıcıları vasıtasıyla ya da kanallarla bitki hücrelerine girerler. Bitki için gerekli olmayan ağır metaller de aynı transmembran taşıyıcılarını kullandıklarından aralarında rekabet ederler (Salt ve ark., 1995).

1.2.4. Ağır metallerin bitkilerde taşınması

Metal iyonları kök içine girdiklerinde ya depolanırlar ya da sürgünlere taşınırlar. Sürgünlere metal taşınımı muhtemelen ksilemler aracılığıyla olur. Ancak metaller floem yoluyla da bitkide taşınabilirler (Stephan ve Scholz, 1993). Metal iyonları ksilem borularına girmek için öncelikle kaspari şeridini geçmek zorundadırlar. Kaspari şeridi nedeniyle ekstraselüler geçiş bloke edildiğinden, metal iyonları bu suya geçirimsiz hücre duvarı şeridini geçmek için intraselüler olarak hareket etmek zorundadırlar. Ksilem hücre duvarları, metal protonların hareketini önemli ölçüde yavaşlatması beklenen yüksek bir proton değişim kapasitesine sahiptir. Bu nedenle kadmiyum-sitrat gibi metal-şelat kompleksleri transpirasyon akımında metal hareketlerini kolaylaştırırlar. X-ışını spektroskopisi kullanılarak 7 gün süreyle kadmiyum etkisinde Brassica juncea'nın ksilem özsuunda metalin oksijen atomları tarafından şelat hale gelmesi, Cd translokasyonuna organik asitlerin karıştığını destekler. Floemde de metaller ya organik asitlerle şelatlı olarak ya da fitoşelatinlerle veya metalotiyoninlerle taşınabilirler (Salt ve ark., 1995).

1.2.5. Bitkilerde ağır metal dirençliliği

Toksik etkili ağır metallere dayanıklı olan bir bitki ya hücreye giren ağır metalleri derhal detoksifiye etmeli ya da hücreye alınımını sınırlı tutmalıdır. Ağır metallere kirlenmiş topraklardaki bazı endemik bitkilerin asit fosfatazlar gibi ağır metale dayanıklı enzimler içerdiği görülmüştür. Ağır metaller hücre içinde biriktirildiklerinde detoksifiye edilmeleri gerekir. Detoksifikasyonda iki temel yöntem vardır. Birinci yöntemde metaller; asetat, malat ve sitrat gibi organik asitler veya sistein, metiyonin ve düşük molekül ağırlıklı moleküllere bağlanarak organometalik bileşikler oluştururlar. İkinci yöntemde ise, bitkiler metalleri kendilerinin sentezlediği ve kükürt bakımından zengin polipeptit molekülleri arasına bağlarlar. Bu şekilde oluşturulan moleküller fitoşelatinler olarak adlandırılırlar. Bitkilerde yaygın olarak bulunan fitoşelatin yapısı tripeptit glutatyona benzer (γ -glutamil-sisteinil-glisin). Glutasyon, peroksitlerin detoksifikasyonunda önemli rol oynar. Kurşun etkisinde bırakılan Brassica juncea'nın köklerinde de fitoşelatinlerin üretildiği ve böylece fitoşelatinlerin kurşun detoksifikasyonu ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir (Salt ve ark., 1995).

1.2.6. Ağır metallerin bitkiler üzerindeki fizyolojik etkileri

Besin zinciri ve biyolojik döngünün temel basamağı konumundaki bitkilerin ağır metal kirliliğinden etkilenmesi kaçınılmazdır. Ağır metaller arasında yer alan Mn^{+2} , Fe^{+2} , Cu^{+2} , Zn^{+2} ve Ni^{+2} gibi elementler yüksek bitkiler için gerekli besinlerdir (Welch, 1995). Örneğin, bakır ve çinko gibi ağır metallerin normal konsantrasyonları bitkideki metabolik işlemler için gereklidir. Bitki için gerekli olsun veya olmasın ağır metallerin doku ve organlardaki aşırı birikimi toksik etki yapar ve sonunda bitkiyi ölüme götürür. Ağır metallerin bitkilerde transpirasyonu (Costa ve ark., 1994), fotosentezi (Chung ve Sawhney, 1993), enzim aktivitesini, çimlenmeyi, protein sentezini olumsuz yönde etkilediği yapılan birçok çalışmayla anlaşılmıştır. Ayrıca membranlarda hasar, hormonal dengenin bozulması, su ilişkisinin değişmesi gibi fizyolojik olaylar üzerine de ağır metallerin önemli etkileri vardır (Costa ve ark., 1994).

1.3. Topraksız Tarım

Topraksız yetiştiricilik seralarda kullanılan bir teknolojidir. Her türlü bitkisel üretimin durgun veya akan besin eriyiklerinde, besin eriyikleriyle sulanan katı ortamlarda gerçekleştirilmesidir. Üretimin doğrudan besin eriyiklerinde gerçekleştirilmesi "su kültürü" (hidroponik), sulamanın besin eriyikleriyle yapılması koşuluyla perlit, torf, hindistancevizi lifi (kokopit), vermikulit, kaya yünü, volkanik ve bazaltik taşlar, kum, bitki kompostları, talaş gibi ortamlarda gerçekleştirilmesi "katı ortam kültürü" olarak adlandırılmaktadır. Katı ortam kültüründe kullanılan yetiştiricilik ortamı, bitkiyi dik tutan, köklere mekanik destek veren ve besin çözeltisinin uygulanmasına olanak veren doğal ya da yapay bir maddedir. Bu tip yetiştiricilikte, topraklı yetiştiricilikte kullanılan toprak işleme aletlerinin kullanılmasına gerek yoktur. Gübreleme ve sulama otomatik olarak yapılmaktadır. Bu yöntem su ve gübre kullanımını etkinleştirmekte, erkenci ve daha fazla verim sağlamaktadır. Bitkiler besin çözeltisinden homojen şekilde yararlanır ve geleneksel tarıma göre daha homojen ürünler elde edilir.

Topraksız tarım; toprağın olmadığı veya toprağın bitki yetiştiriciliği için uygun olmadığı (taşlık, kayalık alanlar, az toprak derinliği, tuzluluk, yüksek kireç, yüksek ve düşük pH, hastalık ve zararlı bulaşıklığı vb.) yerlerde kullanılan bir teknik olmakla birlikte, bitki kök bölgesinde kusursuz bir ortam (fiziksel ve kimyasal olarak) sağlanması ve üretimde risklerin en aza indirilerek verimlilik ve kalite artışının garantilendiği bir sistem olması nedeniyle tercih edilmektedir.

İnsanoğlu, kendisinin ve gelecekteki nesillerin ihtiyaçlarını karşılayabilmek daha az iş gücü ile daha verimli ve kaliteli ürün elde etmek amacı ile yeni üretim yöntemleri (Alternatif Üretim Yöntemleri)'nin arayışı içine girmiştir. Bu yöntemlerden gelecekte kullanım şansı en yüksek olanı kuşkusuz "Topraksız Tarım" (Topraksız Kültür yada Hidroponik)'dir (Sevgican, 2002).

Topraksız tarımın ticari üretimdeki yeri ise çok küçüktür. Ülkemizde 2005 yılında toplam topraksız tarım alanı tahminen 800 dekadır (Destici, 2005).

Ülkemizde topraksız tarımın geçmişi oldukça yenidir. Bu konudaki çalışmalar üniversite ve araştırma enstitülerinde devam etmektedir (Sevgican, 1999).

Seralarda belli ürünlerin arka arkaya uzun yıllar yetiştirilmesi (monokültür) nedeniyle, toprakta hastalık ve zararlı yoğunluğu artmakta ve topraklar çabuk bozulmaktadır. Bunun yanında örtü, sera topraklarını yağmurun yararlarından yoksun bırakmakta ve yıkanmama nedeniyle tuzluluk önemli bir sorun oluşturmaktadır. Sera bitkilerinin ömürlerinin uzunluğu, güçlü hibrit çeşitler, yüksek verim, bitki artıklarının bırakılmaması ve yaz aylarındaki yüksek sıcaklıklar nedeniyle organik madde parçalanmasının artması, dezenfeksiyonlarla toprağı besince zenginleştiren solucanların yaşama şansının sınırlandırılması, toprağın bozulmasına neden olan diğer etmenlerdir. Sera topraklarında tüm iyileştirme ve dezenfeksiyonlar yapılsa dahi, yukarıda belirtilen nedenler tamamen ortadan kalkmamakta, her 4-5 yılda bir toprağın değiştirilmesi gerekmektedir (Sevgican, 1989 ve 1990).

Sera topraklarının dezenfeksiyonunda kullanılan metilbromidin insan sağlığına zararlı etkileri nedeniyle batı Akdeniz ve Avrupa ülkelerinde yasaklanması da topraksız kültürün yaygınlaşmasında etkili olmuştur (Leoni ve ark., 1988).

Daha öncede bahsettiğimiz gibi bu sistemle yetiştiricilik iki başlık altında toplanmaktadır. Bitkilerin besin solüsyonu içerisinde su kültürü (hidroponik), katı ortamlar da yetiştirilmesi ortam (substrat) kültürü olarak adlandırılmaktadır.

Su kültürünün teknik donanım ve bilgi gerektirmesi, pek çok ülkede ortam kültürünün yaygınlık kazanmasına neden olmuştur. Ayrıca bu yöntemlerle yapılan yetiştiricilikler açık ve kapalı sistem olarak da sınıflandırılabilir.

Açık sistem: Bitkiye verilen besin solüsyonu tekrar kullanılmamakta dışarı atılmaktadır.

Kapalı sistem: Bitkiye verilen besin solüsyonu bir yerde toplanıp tekrar dönüşümü sağlanarak kullanılmaktadır (Çelikel, 2002).

SU KÜLTÜRÜ (Hidroponik): Bitkilerin durgun veya akan besin solüsyonu içerisinde yetiştirilmesidir.

Durgun Su Kültürü: En eski topraksız yetiştirme tekniğidir. Günümüzde bitki besleme ile ilgili çalışmalarda kullanılmaktadır.

Besleyici Film Tekniği (NFT): 1960 yılında İngiltere'de Dr. Allan Cooper tarafından geliştirilmiştir. Orijinal adı Nutrient Film Technique'dir. Bu sistemin temel prensibi, yeterli su, besin maddeleri ve havalanmayı sağlamak üzere bitkilerin kökleri boyunca besin eriyiğinin ince bir tabaka halinde (1 cm'den az) yeniden dönüşümünün sağlanmasıdır.

Aeroponik: Bu yöntemde besin solüsyonu çıplak bitki köklerine su halinde püskürtülmektedir. Bitkilerin gelişimi için gerekli olan oksijen ve su yeterince sağlanmaktadır. Sistem su ve besin elementleri kullanımını azaltmak amacıyla geliştirilmiştir (Çelikel, 2002).

ORTAM KÜLTÜRÜ

Tekne ve Yatak Kültürü: Bu sistemde bitkiler 15-20 cm derinlikteki uzun dar plastik, kereste veya çimentodan yapılmış yastıklarda yetiştirilirler. Fazla suyun drene edilebilmesi için yastıklar eğimli bir şekilde hazırlanmaktadır. Nem kayıplarını önlemede ve iyi bir nem dağılımını sağlamak için yatakların üzeri plastik örtü ile kaplanır.

Torba Kültürü: Ortamlar bitki başına 10-15 litre olacak şekilde plastik torbalara doldurulmalıdır. Genellikle 50-70 litre kapasitesindeki torbalar yaygın olarak kullanılmaktadır. Ortam kültüründe kullanılan inorganik substratlar kum, çakıl, kaya yünü, perlit, vermikulit, volkanik tüf (siyah, beyaz, kahverengi vb.) organik substratlar ise torf, ağaç kabukları, talaş, mantar kompost atığı sayılabilir. Ortamların genellikle temiz, hastalık ve zararlı taşınmaması ve hafif olması vb. özellikler aranır.

Katı ortam kültürü dış ülkelerde ticari amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır. Katı ortamın bitkilere destek sağlaması, besin ve su kaybını önlemesi, iyi havalanabilir bir

kök ortam oluşturmaları, bulunma kolaylığı ve ucuzluğu, su ve besin madde stresine karşı katı ortamın bir sigorta görevi yapması bu sistemin kullanım alanını genişletmektedir (Çelikel, 2002).

1.3.1. Topraksız tarımın uygulanmasının amacı

Seracılık birim alandan yüksek verim alınmasını sağlayan ve böylelikle küçük arazilerin bile en karlı biçimde değerlendirilmesini mümkün kılan bir üretim şeklidir. Ülkemiz seralarında üretim çoğunlukla ısıtma yapmadan, mevcut iklim koşullarından olabildiğince yararlanılarak, oldukça basit yapılar altında yürütülmekte ve halen geleneksel şekilde toprakta yapılmaktadır. Ayrıca seralarda yetiştirilen türlerin ekonomik önemleri nedeni ile rotasyon yapılmamakta ve üreticiler ardi ardına aynı türleri yetiştirmektedirler (Tüzel, 2004). Seralarda uygulanan monokültür; toprak kaynaklı hastalık ve zararlıların artışına ve toprak yorgunluğuna neden olarak, verim ve kalite azalmaları gibi üretimi kısıtlayan çeşitli sorunları da beraberinde getirmektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmak için; fazla miktarda organik madde kullanılabilir, sera toprağı yaz aylarında yıkanıp işlenebilir, sürülme tabanı kırılabilir ya da gerektiğinde toprak değıştirme yapılabilirse de, bu işlemlerin etkinliğı ve yapılma zorluğu yeni yöntemler arama zorunluluğunu gündeme getirmiştir (Gül ve ark., 1998). Yeni yöntemler içinde uygulanabilir en etkin yollardan biri olan toprak dezenfeksiyonunda ise buharla dezenfeksiyonun maliyetinin yüksek olması, kimyasal dezenfeksiyonda ise kullanılan en yaygın dezenfektan olan metil bromit (MeBr)'in Montreal Protokolü çerçevesinde 2005 yılı sonuna kadar gelişmiş ülkelerde kullanımının yasaklanmış, gelişmekte olan ülkelerde 2015'de, ülkemizde ise 2007 yılı sonu itibariyle yasaklanmış olması nedeniyle alternatif uygulamalar aranmaya başlanmıştır. Seralarda monokültür uygulamaları sonucu, toprak patojenlerindeki artışa karşı, kimyasal dezenfeksiyonun kullanılmadığı durumlarda diğeri bir alternatif uygulama da topraksız tarımdır (Gül ve ark., 1998; Van Os ve ark., 2000; Tüzel ve Özçelik, 2004).

Günümüzde pek çok topraksız tarım tekniğı geliştirilmiştir. Bu teknikler ekonomik yeterliliğe, kullanılacak materyallerin teminine ve bitki türlerine göre farklılık göstermektedir. Merdiven tipi (A-shape) sistemi şeklinde geliştirilen teknik; özellikle birim alana daha fazla bitki sığmasını sağlayarak sera gibi pahalı bir yatırım gerektiren tesisin birim alanından maksimum düzeyde yararlanılmasını sağladığı için

salata-marul, çilek gibi fazla boylanmayan alçak boylu bitki türlerinin yetiştiriciliğinde tercih edilebilecek bir sistemdir (Resh, 1991).

1.3.2. Topraksız tarımın avantajları ve dezavantajları

1.3.2.1. Topraksız tarımın avantajları

- Toprak devre dışı kaldığı için, toprak işleme, yıkama, dezenfekte etme gibi emek ve masraf gerektiren işlemlere gerek yoktur.
- Tarımsal üretimi, bitki yetiştirmeye uygun olmayan tuzlu, taşlı, çöl ve sığ alanlara da kaydırma şansı vardır.
- Tarımsal üretimin, tamamı ile tarım alanları dışında, örneğin evlerin balkon ve teraslarında da gerçekleştirilmesi söz konusudur.
- Topraklı tarımda, toprakların farklı fiziksel ve kimyasal yapılar nedeniyle gerçekleştirilemeyen üniform üretim, topraksız tarımda, toprak dışındaki koşullar istenilen şekilde düzenlenebildiği için gerçekleştirilebilir.
- Bu yöntemle üretimde besin maddeleri erimiş halde, sulama suyu ile birlikte verilebildiği için ayrıca ne organik ve ne de kimyasal gübrelemeye gerek yoktur.
- Topraksız tarımda bitki besin maddeleri daha etkin ve daha ekonomik bir tarzda kullanılır.
- Besin maddelerinin kök ortamında homojen olarak dağılımları söz konusudur.
- Besin maddelerinin dozlar ayarlanarak bitkilerin vegetatif ya da generatif fazda tutulmalar sağlanabilir.
- Topraksız kültür yöntemiyle yetiştirilen bitkilerden alınan ürün, gerekli besinler yeteri kadar verildiği için, daha lezzetlidir.
- Tuzlu sulama sularından yararlanılabilir. Tuzlu sular belli ölçüde iyi nitelikli sulama sularıyla karıştırıldıktan sonra kullanılabilir.
- Bitkiler için su stresi problemi yoktur.
- Topraklı tarımda karşılaşılan ve genelde potasyum ve kalsiyum eksikliğinin neden olduğu yumuşak ve kof meyve eldesi söz konusu değildir.
- Sızma, yıkanma ve buharlanmadan doğan kayıplar azaldığı için sudan ekonomi sağlanır.

- Topraksız kültür otomatizasyona uygundur. Sulama ve gübreleme otomatize edilerek iş gücünden ekonomi sağlanabilir.
- Topraksız tarımda, kök ortamının pH, tuzluluk, besin madde dengesi ve hava su oranı daha sağlıklı bir şekilde ayarlanabilir.
- Bazı topraksız tarım uygulamalarında sera oransal nemini ayrıca yükseltmeye gerek yoktur. O nedenle de oransal nemi artırıcı önlem almak, düzen kurmak gereksizdir.
- Toprak kaynaklı hastalık ve zararlılar ile yabancı otlar sorun olmaktan çıkar. Sterilizasyonun gerekli olduğu durumlarda ilaç harcamaları çok düşük olur.
- Toprak kaynaklı hastalık ve zararlı sorunu çok daha az olduğu içindir ki kullanılan tarımsal ilaç miktarı da düşer.
- Topraksız tarım, ekim nöbeti zorunluluğunu ortadan kaldırır.
- Bir üretimin arkasından, birkaç gün içinde, yenisini başlatma şansı vardır.
- Birim alandaki bitki sayısı artırılabilir.
- Bu üretim şeklinde insan sağlığı açısından, temiz ürün almak her zaman mümkündür. Zira toprağa karıştırılan özellikle organik kökenli gübreler hastalık etmeni taşıyabilirler.
- Erkencilik, topraklı tarıma kıyasla daha belirgindir.
- Bazı topraksız tarım uygulamalarının, üretim harcamalarını azalttığı da bilinenler arasındadır.
- Yine bazı topraksız tarım uygulamalarının, besin eriyiğinin ısıtılarak verilebilmesi sonucu soğuk sera çalışmalarına daha uygun olduğu kabul edilir.
- Verim daha yüksektir (Sevgican, 2002).

1.3.2.2. Topraksız tarımın dezavantajları

- Bazı topraksız tarım tiplerinin büyük teknik donanım gerektirmesi,
- Topraksız tarım üreticisinin mutlaka özel bilgi ve deneyime sahip olmasının gerekliliği,
- Zaman zaman bitki besleme ile ilgili komplike sorunların ortaya çıkması,
- Toprağın tamponluk (dengeleme) görevini üstlenmesinden kaynaklanan bir takım güzelliklerden bu sistemin yoksun olması,
- Özellikle organik yetiştirme ortamlarının kullanılmadığı topraksız kültür şekillerinde CO₂ gübrelemesinin gerekli hale gelmesi,

- Verticillium*, *Fusarium*, *Pythium* ve *Phytophthora* gibi hastalık etmenlerinin, kapalı devre çalışan NFT gibi bazı topraksız kültür şekillerinde daha hızlı yayılması ,
- NFT gibi bazı sistemlerde solüsyon sıcaklığına bağlı olarak bazı fizyolojik bozuklukların ortaya çıkması sayılabilir (Sevgican, 2002).

1.4. Sıvı (Agregat Olmayan) Hidroponik Sistemler

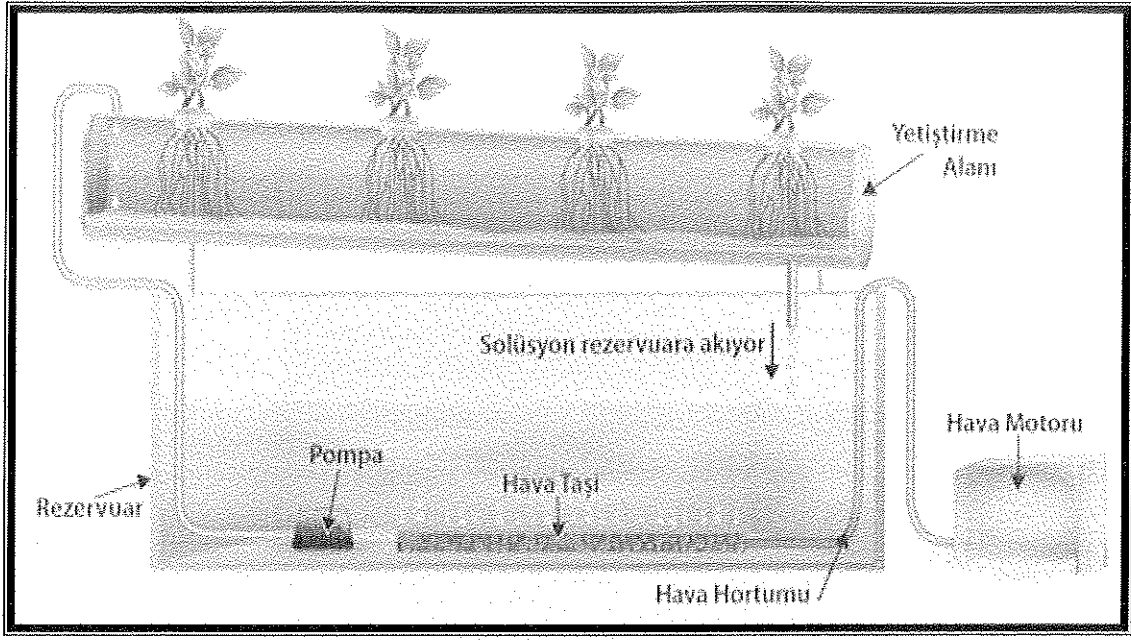
Bitkilerin herhangi katı bir ortam içermeyen yapılarda özel besin çözeltilerinde veya bu besin çözeltilerinin belli aralıklarla bitki köklerine püskürtülmesi ile yetiştirilmesi yöntemidir.

Hidroponik, kelime anlamında besin çözeltisi içerisinde desteksiz olarak bitki yetiştiriciliği anlamındadır. Bununla birlikte besin çözeltisi kullanarak katı ortamda bitki yetiştirme de hidroponik sistem içinde yer alır.

Hidroponik sistemler bu sınıflandırmanın dışında açık ve kapalı sistemler olarak da adlandırılabilir. Açık sistemde besin çözeltisi bitki köklerine bir kez verilir ve yeniden kullanılmaz. Kapalı sistemde ise fazla çözelti yeniden toplanır ve dolaştırılır (Megep, 2008).

1.4.1. Besleyici film tekniği (NFT)

Bu teknikte besin çözeltisinin 0,5 mm ince bir film şeklinde ve belirli bir debi ile akacağı bir kanal bulunmaktadır. Bitki kökleri bu kanaldaki besin çözeltisine doğrudan temas etmektedir. Sistemin temel bileşenleri plastik borular ve tanktaki dalgıç pompadır. Kanallar genellikle mat plastik film veya plastik borulardan oluşmaktadır (Megep, 2008).



Şekil 1.3: Besleyici film tekniği modeli

(<http://www.toprakvesu.org>)

Yetiştirme kabı olarak kullanılan olukların içinden bir besin criyiğini ince bir tabaka halinde geçer. Kaplarda yerleştirilen bitkilerin köklerini besin eriyiği ile temas ettirerek beslenmeleri sağlanır. Böylece kökler hem beslenebilmekte ve su alabilmekte, hem de yeterli havalanma olanağı bulmaktadır. Oluklardan geçen eriyik daha sonra tankta toplanıp yeniden kullanılmaktadır. Böylece su ve besin maddesi kayıpları da en aza indirgenir. Bu yöntem, topraksız kültürün en gelişmiş tekniğidir. Tümüyle otomatik çalışan bir sisteme ve düzenlemeye gerek gösterir.

Bütün NFT sistemlerinin ortak özelliği kanallarda bulunan çözeltinin derinliğinin az olmasıdır. Akış, genellikle sürekli; ancak bazı sistemlerde her saat başı birkaç dakika çözelti eklenmesi ile aralıklı olarak da çalıştırılır. Aralıklı akışın amacı kök sistemlerinin yeteri kadar havalanmasını sağlamaktır. Ancak hızlı büyüme sırasında akış süresi çok kısa veya çok seyrek aralıklarla olursa bitkiler su stresine girebilir; bu nedenle aralıklı akış düzenlemesi ılıman iklim dönemlerinde uygulanması daha iyi olur.

NFT kanallarının tabanında kapiler hasır genç kök sisteminin çevresindeki çözelti akıntısının dalgalanmasını önlemek için kullanılır. Akış kesildiğinde bu hasır suyu ve besinleri tutarak stok görevi de yapar.

NFT sistemlerinde tek sıralı bitki dikiminde 15–20 cm, çift sıralı bitki dikiminde ise 30–38 cm veya daha geniş kanallar kullanılmaktadır. Kanal uzunluğu maksimum 4–10 m, eğimi ise 1/50 veya 1/75'tir. Besin çözeltisi her kanalın yüksek ucundan pompalanarak alttaki uca doğru akarak bitkinin kök hasırını ıslatmaktadır. Kanallardaki akış hızı dakikada 1–2 litre olmalıdır. Bu yetiştirme yönteminde fideler yetiştirme ortamıyla birlikte kanalı oluşturacak levhanın ortasına yerleştirilir. Levhanın her iki ucu fidelerin tabanına doğru çekilip buharlaşmayı engellemek için birbirine tutturulur. Fide yetiştirme ortamı bitkiler küçükken gerekli olan besinleri tutmaktadır. Bitkiler büyüdüğünde ise kanal içinde hasır şeklinde yayılarak kökleri aracılığı ile besinleri doğrudan alır.

Besin çözeltisi kanalın alt ucuna toplanarak besin çözeltisi tankına dolmaktadır. Çözelti yeniden sisteme verilmeden önce tuz bakımından incelenmektedir. NFT yetiştiricilikte uzun büyüyen bitkilerin devrilmemesi için bitkilere mutlaka gerekli destek sağlanmalıdır (Megep, 2008).

1.4.1.1. Modifiye NFT

Bitki köklerinin, değişik kanallar içerisinden sürekli veya aralıklı olarak birkaç mm'den 4-5 cm'ye kadar derinlikteki besin eriyikleri içerisinde tutularak beslendiği sistemdir. Sistemde bitkilere verilen besin eriyiği eğimli bir kanaldan geçirilerek besin tanklarında depolanır. Analiz sonuçlarına göre eksiklikleri tamamlandıktan sonra tekrar ortama motorlar aracılığı ile pompalanır (Megep, 2008).

1.4.1.2. Sabit kanallar

Sera zeminin NFT kanallarının yerleştirilmesi durumuna göre şekil verilerek kaplanması yöntemidir. İlk tesis masrafı yüksektir; ancak işletme masrafları diğer standart yöntemlere göre daha düşüktür.

Bütün yıl marul yetiştirilecek bir serada sabit kanallar şöyle kurulur; 1:50 eğiminde, 45 m uzunluğunda, 2,5 cm derinliğinde ve 10 cm genişliğinde birbirine paralel betondan kanallar oluşturulur. Beton yüzeyleri besin çözeltisinden izole etmek amacıyla özel bir madde ile kaplanır. Bu şekilde oluşturulan NFT sistemleri ile mekanizasyon üst seviyede gerçekleşirken düşük maliyette üretim yapılmasına imkân sağlar (Megep, 2008).

1.4.1.3. Hareketli kanallar

İlk defa 1981 yılında Prince ve arkadaşları tarafından marul üretimi için önerilmiştir. Bitki büyüme ve gelişmesine bağlı olarak kanallar birbirinden bağımsız olarak sera içinde dağılım gösterir. Değişik sıra aralı bu sistem sera alanından en üst seviyede yararlanmayı sağlar. Aynı zamanda ışığı engelleyici etkisini de ortadan kaldırır (Megep, 2008).

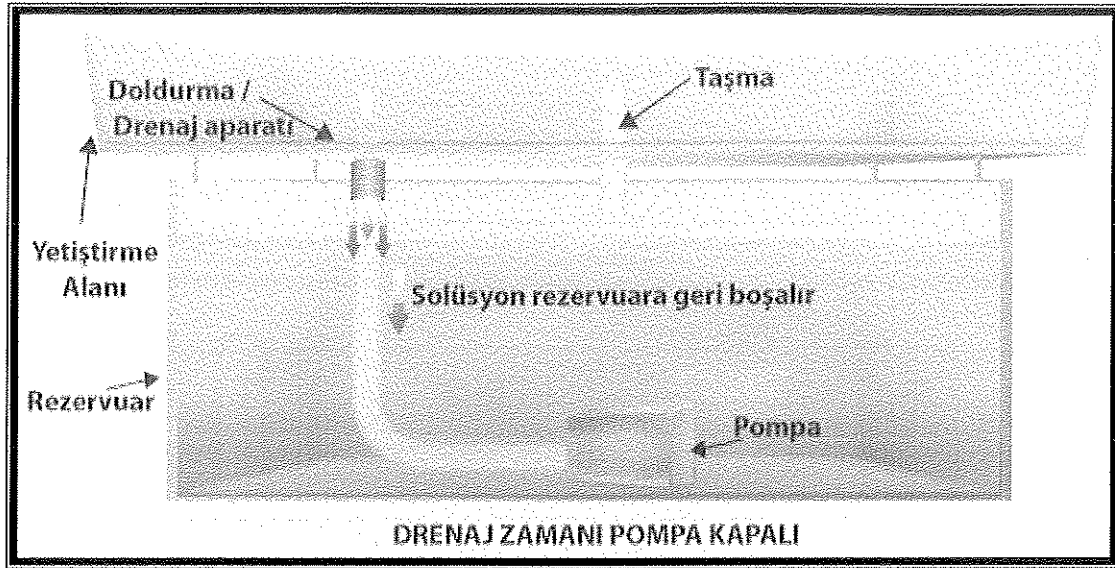
1.4.1.4. Borulu sistemler

Bu sistemde 2-3 cm derinliğindeki besin çözeltisi, 10 cm çapındaki plastik borulardan akar. Bu borular üzerinde yanları plastik ve altı delikli saksı içinde bitki yetiştirilir. Plastik saksı boruda akan besin çözeltisine değdirilmekte ve böylece bitki besinini almaktadır. PVC borularının yerleştirilmesi yetiştirilecek bitkinin çeşidine göre değişir. Borular düz veya zikzak şeklinde yerleştirilir. Zikzak şeklindeki sistemde aynı alanda daha fazla bitki yetiştirilir; ancak bu sistem daha çok yavaş büyüyen bitkiler için uygundur. Düz sistemde ise hem uzun hem de kısa boylu bitkiler yetiştirilmektedir.

California'da sınırlı alanda marul üretimini üst seviyede gerçekleştirmek amacıyla geliştirilen bir yöntemdir. NFT kanalları üzerindeki hareketli bantlar üzerine dikilen bitkiler gelişme dönemleri sonunda mekanik olarak hasat edilir (Megep, 2008).

1.4.2. Değişken akışlı sistemler

Bu tür sistemler genellikle sulama ve drenaj olarak adlandırılırlar (Megep, 2008).

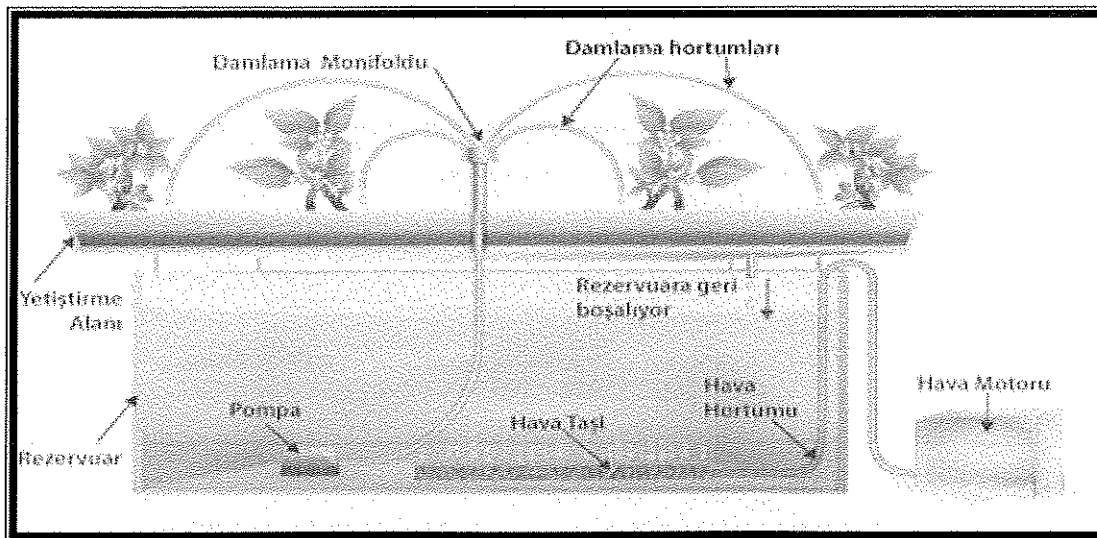


Şekil 1.4: Değişken Akışlı Sistem Modeli

(<http://www.toprakvesu.org>)

1.4.3. Damlama sistemleri

Damla sistemleri dünyada en yaygın olarak kullanılan hidroponik sistemlerdir. Genellikle domates ve biber gibi uzun süreli ekinlerin yetiştirildiği ticari faaliyetlerde kullanılırlar (Megep, 2008).

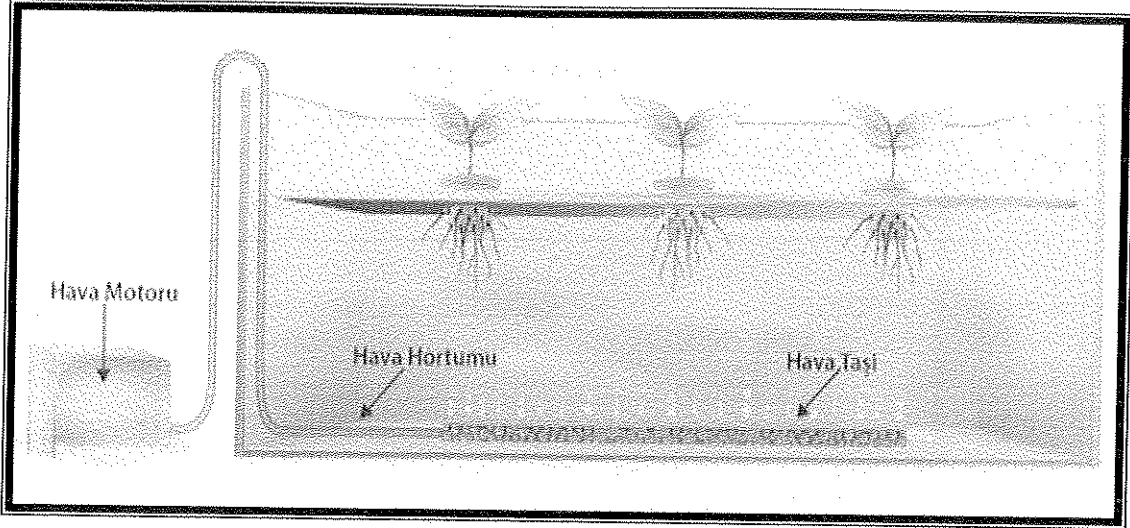


Şekil 1.5: Damlama Sistem Modeli

(<http://www.toprakvesu.org>)

1.4.4. Su kültürü

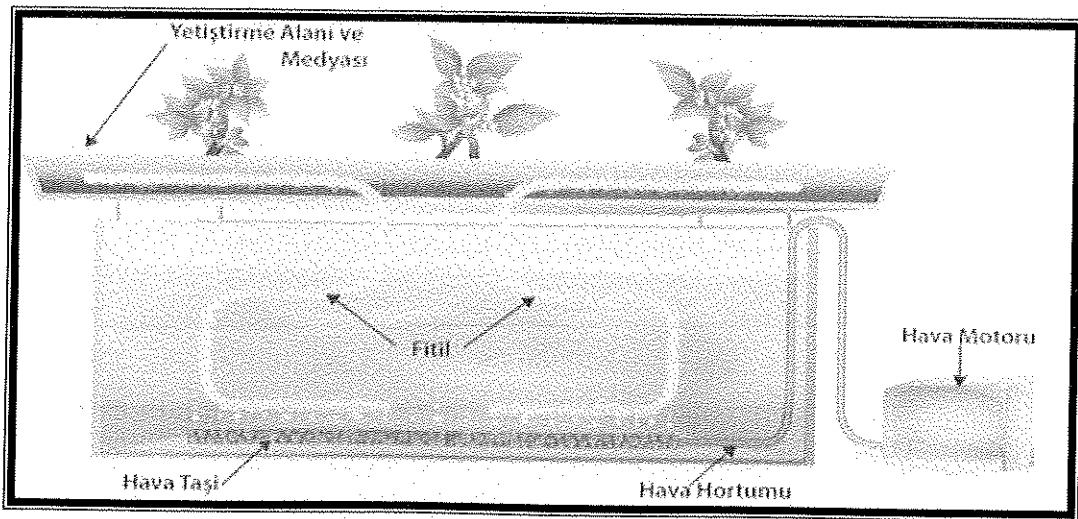
Su Kültürü sistemleri en basit hidroponik sistemlerden birisidir. Basit bir hava motoru sayesinde çıkan hava kabarcıkları, yukarıda asılı duran bitkinin köklerine oksijen verirler (Megep, 2008).



Şekil 1.6: Su Kültürü Modeli
(<http://www.toprakvesu.org>)

1.4.5. Fıtil sistemleri

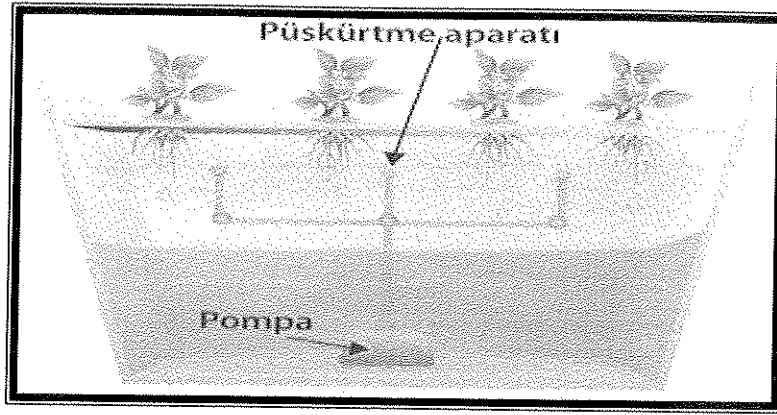
Yetiştirme alanına döşenen fıtil, rezervuardan suyu emerek kök bölgesine taşınır. Bitkiler bu şekilde gerekli besin solüsyonunu alırlar (Megep, 2008).



Şekil 1.7: Fıtil Sistemi Modeli
(<http://www.toprakvesu.org>)

1.4.6. Aeroponik sistemler

Yetiştirme ortamı çok fazla oksijen ve nemin bulunduğu sisli yağmur ormanlarına benzer. Havai'de orkideler havadaki nemden dolayı ağaçlarda rastgele bir şekilde yetişirler. Aeroponikler bu ortamı kök ortamında yaratmaya çalışırlar (Megep, 2008).



Şekil 1.8: Aeroponik Sistemi Modeli

(<http://www.toprakvesu.org>)

Aeroponik, bitkilerin köpük panellere yerleştirildiği ve bitki köklerinin panelin altındaki havada asılı kaldığı yetiştirme tekniğidir. Kullanılan paneller kök oluşumunu uyarmak ve alg gelişimini önlemek için ışık geçirgenliği olmayan kapalı kutularda oluşur. Besin çözeltisi köklere ince sis şeklinde püskürtülür. Mistleme her 2-3 dakikada bir 1-2 saniye yapılmaktadır. Bu, köklerin nemli tutulması ve besin çözeltisinin havalandırılması için yeterlidir. Bitkiler köklere yapışan çözelti sisinden su ve besini alır.

A tipi aeroponik sistemler Arizona'da geliştirilmiştir. Bu yöntemde 1.2 mx2.4 m ölçüde geniş plastik paneller, tabanda iki panel arasındaki mesafe 1.2 m ve yandan görünümü ikiz kenar üçgen olacak şekilde monte edilir. A şeklindeki panel su geçirmez özelliktedir ve 2,5 cm derinliğindeki besin çözeltisinin toplandığı bir haznedan oluşur. Yetiştirme ortamında küçük tüplerde bulunan genç bitkiler panel merkezinden 18 cm aralıklarla açılan yerlerine dikilir. Bitki kökleri havada asılı kalır ve daha önce anlatılan besin çözeltisi ile sisleme yapılır. Bu sistem genellikle seralarda uygulanmaktadır. Daha çok marul, ıspanak gibi kısa boylu ve yapraklı sebzeler için uygundur. Diğer tekniklerde olduğu gibi hava, su, besin maddesi ve ışık

bitkinin dört ana gereksinimidir. Köklere en iyi şekilde havalanma sağlanması sistemin ana avantajıdır.

Bu tekniğin başlıca avantajı, alanın maksimum kullanılmasıdır. Diğer sistemlerle karşılaştırıldığında birim alanda yetiştirilen bitki sayısı iki kat daha fazladır; ancak tek olumsuz tarafı ise eğimli yüzeyde yetişen bitkilerin farklı yoğunlukta ışık almasıyla düzensiz gelişmeleridir (Megep, 2008).

1.4.7. Agregat hidroponik sistemler

Topraksız yetiştiriciliğin bu sisteminde gerekli olan katı veya sert ortam, lokal olarak elde edilen materyallerden oluşur. Seçilen ortam materyallerinin esnek, gevrek, su ve hava tutma kapasitesi iyi ve kolaylıkla drene edilen özellikleri olmalıdır. Bu özelliklere ek olarak toksin maddelerden, hastalık ve zararlılardan oluşan mikroorganizmalardan arındırılmış olmalıdır.

Bu yöntemde ise bitkiler; torba, tekne, saksı, viol ve benzer biçimlerde kaplara doldurulan organik veya inorganik yapıları substratlara ekilerek veya dikilerek yerleştirilir. Besin çözeltisi belli aralıklarla damlama sulama veya yağmurlama sulama ile bu ortama verilir ve bitkiler su/besin maddelerini substratlardan alır.

Bu tekniklerin tümünde temel prensip, toprak kullanmadan yetiştirilen bitkilerin kök sistemlerine yeterli oranda besin maddesi içeren çözeltilerin ulaşmasıdır. Besin maddesi düzeyleri bitki türlerine göre ayrı ayrı hazırlanır. Bitkilerin gelişme devrelerindeki istekleri göz önüne alınarak içerikleri değiştirilerek uygulanır. Besin çözeltilerinin pH'ı ve elektriksel iletkenlikleri (EC) bitkilerin optimum isteklerine göre düzenlenmelidir. Tüm bunları sağlamak için çözeltiler özel tanklarda hazırlanır, daha sonra sisteme bağlanarak bitkilere verilir (Megep, 2008).

1.4.7.1. Yöntemin avantajları

- Bitkinin kök bölgesine yeteri kadar nem ve hava sağlar. Topraklı yetiştiricilikte olduğu gibi bir sıkışma söz konusu değildir. Dolayısıyla toprak işleme ve çapalama sorunu ortadan kalkar.

- Toprakta bulunan ve toprakla taşınan yabancı ot tohumları bu yöntemde sorun oluşturmaz. Rüzgârla taşınan ot tohumlarının ise kontrolü mümkündür. Yabancı ot mücadelesine büyük ölçüde gerek kalmaz.
- Bitkilerin besin maddesi gereksinimi su ile birlikte karşılanır. Ayrıca gübrelemeye gerek kalmaz, besin maddesi ve gübre kayıpları en aza iner.
- Bütün bitkilere eşit miktarda ve dengeli su-besin verilir. Böylece daha homojen ve üniform ürün elde edilebilir.
- Su ekonomisi sağlar. Dengeli sulama ve beslemeyle verimde ve kalitede artış sağlanır.
- Sterilizasyonu daha kolaydır.
- Bitkisel üretimi, bitki yetiştirmeye uygun olmayan, tuzlu, taşlı, çöl ve sığ alanlara da kaydırma imkânı vardır.
- Besin maddelerinin dozları ayarlanarak bitkilerin vegetatif veya generatif devrede tutulmaları sağlanabilir.
- Bitkiler için su stresi problemi yoktur.
- Topraksız kültür yetiştiriciliği otomasyona uygundur. Sulama ve gübreleme otomatize edilerek iş gücünden ekonomi sağlanır.
- Topraksız kültür yetiştiriciliğinde, kök ortamının pH, tuzluluk, besin maddesi ve hava/su oranı dengeli bir şekilde ayarlanabilir (Megep, 2008).

1.4.7.2. Yöntemin dezavantajları

- Sistemi çalıştırmak için gerekli malzemelerin satın alınması ve kurulması pahalı olduğundan ilk maliyeti yüksektir.

- Zaman zaman bitki beslenme sorunları ile karşı karşıya kalınabilir.
- Yöntemin sağlıklı çalıştırılabilmesi için bilgi birikimine sahip kalifiye elemana gerek gösterir.
- Düzenli ve kesintisiz elektrik sistemine gerek gösterir. Elektrik sistemindeki kesintilerde özellikle NFT sisteminde çok önemli sorunlar ortaya çıkabilir.
- Sonbahar ve ilkbahar devrelerinde sıcak mevsimlerde kök bölgesi sıcaklığı yükselebilir. Bunu engelleyecek önlemler almak gerekir.
- Temiz bir çalışma gerektirir. Özen gösterilmezse bazı kök hastalıklarının ortaya çıkması durumunda bunlar besin çözeltisi ile hızla diğer bitkilere de yayılabilir (Megep, 2008).

1.4.8. Hidroponide kapillar sistemler

Kapillar sistemler, besin eriyiğinin bitki kök bölgesine alttan uygulandığı, ortam içinde kapillarite ile yükseldiği ve herhangi bir atık çözeltinin oluşmadığı (Zero Runoff System – ZRS) sistemlerdir.

Sistemin çalışma prensibi, ilgili besin eriyiği deposundan filtreden geçirilerek, kilcal borular yardımıyla alınan eriyiğin bitki kök bölgesinin altından (sakı tabanından) uygulanmasına dayanır.

1.4.8.1. Kapiller sistemlerin avantajları ve dezavantajları

- Damla sulama sistemlerinde gereken sulama programlaması ihtiyacı bu sistemlerde yoktur.
- Pompa, pahalı boru sistemleri, otomatik kontrol sistemi ve drenaj gerektirmediğinden sistem ucuzdur.
- Su kullanımı otomatik vanalarla düzenlenir iş gücünden tasarruf sağlar.
- Yetiştiriciye sulama zamanı ve miktarı konusunda karar verme zorunluluğu getirmemesi, dışarıdan bir enerjiye ihtiyaç duymaması ve maliyetini düşürebilecek

farklı üretim çeşitlerinin geliştirilebilirliği sistemin diğer üstün tarafları olarak görülmektedir (Saarinen ve Reinikainen,1995).

- Kapılar sistemlerin en büyük avantajı, atık çözelti oluşturmadığı için su ve gübre tasarrufu sağlaması ve çevreyi kirletmemesidir.

- Kapılar sistemlerin kurulum masraflarının yüksek olması, saksıların yerleştirildiği yüzeyde besin eriyiğinin saksı altında uygun dağılımının sağlanması açısından tesviyenin gerekli olması bir diğer dezavantaj olarak görülse de maliyeti düşürebilecek farklı üretim çeşitlerinin geliştirilebilirliği (Saarinen ve Reinikainen, 1995; Meriç, 2006) bu dezavantajı elimine edebilmektedir.

1.4.9. Hidroponik sistemlerde besin çözeltileri

Topraksız tarımda en fazla dikkat edilmesi gereken iki ana konu; besin çözeltisinin hazırlanması ve sulamanın düzenlenmesidir.

Besin çözeltisinin hazırlanması: Besin çözeltisi hazırlığında yapılması gereken ilk işlem sulama suyunun tahlil edilmesidir. Suyun EC(tuz) ve pH değeri ile sodyum, kalsiyum, magnezyum, sülfat, bikarbonat ve bor içeriğinin bilinmesi gerekir. Bazı durumlarda suyun kalsiyum, magnezyum içeriği yüksek olabilir. Besin çözeltisi hazırlanırken bu oranlara dikkat edilmeli, eksik kalan miktarı karşılayacak kadar gübre ilave edilmelidir. İyi bir bitki gelişimi için besin çözeltisinin EC ve pH değerinin belirli sınırlarda tutulması gerekir. Bu değerler EC metre ve pH metre adı verilen aletlerle ölçülür. EC değeri istenilen değerin üzerinde ise su, altında ise gübre ilave edilir. Çözeltinin pH değerini düşürmek için nitrik asit veya fosforik asit kullanılır (Megep, 2008).

Besin çözeltisinin hazırlanması iki farklı şekilde olur:

- a. Gerekli gübreler ayrı ayrı eritildikten sonra doğrudan bitkiye verilecek suya karıştırılır.
- b. Fazla miktarda gübre eritilip tank dışında stok çözelti hazırlanır. Daha sonra belli miktarda alınarak sulama suyuna karıştırılır.

Stok çözelti hazırlanacak ise kalsiyumlu gübrenin fosfat ve sülfatlı gübrelerle karıştırılmamasına dikkat edilmelidir; aksi halde kalsiyum, fosfat ve sülfat ile çökelti oluşturarak sulama sisteminin tıkanmasına neden olur.

Bitkilerin beslenmesinde kullanılacak gübreler çok çeşitlidir. Besin çözeltisi hazırlanmasında kullanılan makro ve mikro elementler şunlardır:

Tablo1.2: Makro Elementler (Megep, 2008).

Nitrik asit (%100)	% 22 N
Fosforik asit (%100)	% 32 P
Kalsiyum nitrat	% 16.9 Ca- % 11.9 N
Potasyum nitrat	% 38 K - % 13 N
Amonyum sülfat	% 21 N
Amonyum nitrat	% 33 N
Magnezyum nitrat	% 9 Mg - % 11 N
Mono potasyum fosfat (MKP)	% 28 K - % 23 P
Mono amonyum fosfat (MKP)	% 27 P - % 12 N
Potasyum sülfat	% 42 K - % 18 S
Potasyum sülfat	% 10 Mg - % 13 S

Tablo1.3: Mikro Elementler (Megep, 2008).

Mangan sülfat	% 32 Mn
Çinko sülfat	% 23 Zn
Boraks	% 11 B
Bakır sülfat	% 25 Cu
Sodyum molibdat	% 40 Mo
Demir EDTA	% 13 Fe
Demir DTPA	% 6 Fe
Demir EDDHA	% 5 Fe

1.5. Jojoba (*Simmondsia chinensis*)

Alem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Euphorbiales

Familya: Simmondsiaceae

Cins: *Simmondsia*

Tür: *S. chinensis*

Jojoba, Simmondsiaceae familyasından *Simmondsia chinensis* olarak adlandırılır. Ancak bu adlandırma bir hata sonucu gerçekleşmiştir. 1822'de İngiliz doğa bilimci H.F.Link Baja Kaliforniya'ya gelmiş ve jojobanın bitki örneklerini toplamıştır. Bitkiye başka bir İngiliz Botanikçi olan T.W.Simmonds'un adını onur olarak vermiştir. Daha sonra Link farklı bitkiler için Çin'i ziyaret etmiştir. Jojoba'nın bulunduğu paketi, Çin'den gelen bitki paketiyle yanlışlıkla karıştırmış, Kaliforniya'dan gelen bitkiler Çin bitkisiymiş gibi tanımlanmıştır. Böylece jojobaya *Simmondsia chinensis* ismi verilmiştir (Rosengarten, 2004: 295). Jojoba herdem yeşil, boyu 60 cm ile 4.5 metre uzunluğunda olabilen ve gri yeşil renginde yaklaşık 5 cm uzunluğunda oval yapraklara sahip bir çalı bitkisidir. Bazı çöl bitkilerinde olduğu gibi derin kök sistemine sahiptir (Rosengarten, 2004: 295).

Bitki kuraklığa karşı yer altındaki neme ulaşabilmek için derin bir kök sistemine sahiptir. Köklerin %80'i toprak yüzünden itibaren ilk 80 cm içerisinde ise de bir iki yılda 4-5 metreye ulaşabilir. Bazı olgun bitkilerde kökler 13 metre derine inebilir (National Research Council, 2002: 20-21). Bu özelliği ile erozyon ile mücadelede mükemmel bir bitkidir.

Olgun jojoba bitkisi -9°C 'ye uzun vadede zarar görmeden dayanabilir, fakat çiçek tomurcukları ve bazı yeni tohumlar -2°C 'de zarar görebilir ve -6°C 'de ölürler. Doğal olarak daha çok yıllık yağışı 200-460 mm olan yerlerde yetişir. Kurak yer bitkisi denmesine rağmen iyi verim ve hızlı plantasyon kurulması için belli miktarda su gerekmektedir. Ticari başarı için yıllık nemin 460-610 mm olması en iyi plantasyonlar için gereklidir. Bitki iyi drenajın olduğu yerlerde yetişebilir, fakat

suyun biriktiği yerlerde hayatta kalmaz (National Research Council, 2002: 23). Sonoran çölünde en büyük ve güçlü jojoba bitkileri, alt toprak katmanlarında kil ve alüvyon içeren iyi drene olmuş topraklarda eğimli arazilerde bulunmaktadır. Ekili alanlarda, bazı bitkiler kumlu topraklarda bazıları ise alüvyonca zengin topraklarda daha iyi yetişmektedir. Bazı yerlerde çok killi toprak uygun olabilir ama iyi drenaja sahip olması şarttır. Bitki gözenekçe fakir toprağa dayanamayabilir. Örneğin sele meyilli topraklar bitki için uygun değildir (National Research Council, 2002: 23-24).

Tuzun birikimi kurak toprakların genel bir problemidir. Jojoba toprak drenajı yeterli olan ve uygulamalarının akıllıca yönetimi sağlanan düşük kaliteli suya toleranslıdır. Kaliforniya'da bitkiler 2000 ppm tuz içeren suyla yeterli derecede büyümektedir. Bir çalışmada; jojobanın bir varyetesinde yaklaşık 7000 ppm tuzlu suya sahip toprakta çiçek oluşumunda bir gerileme olmadığı gösterilmiştir (National Research Council, 2002: 24). Jojoba dioik bir bitkidir. Cinsiyetinin belirlenebilmesi için ilk çiçek tomurcuklarının görülmesi ve bunun içinde 1 ila 4 yıl geçmesi gerekmektedir (National Research Council, 2002: 17). Erkek bitki polen üretir ve sadece stamenleri olan çiçekleri vardır. Dişi bitkinin üç yumurta hücresine sahip bir yumurtalığı olan çiçekleri vardır. Çiçek tomurcukları genelde yazın ve sonbaharda büyüme gösterir ve ilkbaharda açarlar.

Normalde çiçeklerin dallar üzerinde alması olarak bulunmasına karşın, bazı bitkilerde bunun her boğumda, bazılarında ise üç boğum da bir gerçekleştiği görülmüştür. Erkek çiçekler salkım halinde oluşurken, dişi çiçekler tek tektir .

Dişi çiçeklerde böcekleri çekecek taç yaprağı veya koku yoktur ve bitkinin tozlaşması tamamen rüzgara bağlıdır. Dişi bitkiler çiçekleri tozlaştığında (genelde rüzgar ile) yağ içeren, kahverengi ve yaklaşık fındık tanesi kadar olan tohumlarını bulunduran meyvelerini verirler. Olgun bitkiler yılda 1.5 -5.5 kg tohum (kuru ağırlık) verimine sahiptirler, yıllık verim ortalama 2.3 kg civarındadır. Bitki yaklaşık 5 yıl sonra meyve vermeye başlar.

Hastalık veya böceklerle ciddi zarar görmeyen bir bitkinin ömrü 50 ila 200 yıl arasında değişmektedir (Rosengarten, 2004: 295). Meyveleri meşe palamudunun boyutlarındadır, başta yeşilimsi iken olgunlaştıkça kahverengiye döner. Genelde bir tohum içerirler bazen de iki veya üç içerdikleri olur (National Research Council, 2002: 20).

1.6. Ayçiçeği (*Helianthus annuus*)

Alem: Plantae

Bölüm: Magnoliophyta

Sınıf: Magnoliopsida

Takım: Asterales

Familya: Asteraceae

Altfamilya: Asteroideae

Oymak: Heliantheae

Cins: *Helianthus*

Tür: *H. annuus*

Ayçiçeğinin insan ve hayvan beslenmesinde önemli bir yer tutması, endüstride çeşitli amaçlara uygun kullanımı dünyanın birçok farklı bölgelerine uyumluluk sağlaması, geniş ölçüde üretimine ve tüketimine olanak sağlamaktadır. Ayçiçeği, dünyada 22.3 milyon ha alanda, 27.7 milyon ton üretilmektedir. Ekiliş ve üretimi en fazla ABD, Arjantin, Rusya ve Çin'de yapılmakta olup bu ülkeler dünya üretiminin yarısından fazlasını gerçekleştirmektedir (Anonim, 2004a).

Günebakan, Gündöndü ve Günçiçeği diye de bilinen bir yıllık bitki. Ayçiçeğinin boyu, yarım metreden dört metreye kadar varır. Kalınlığı 1 ile 4 cm arasında değişir. Ayçiçeğinin çok sağlam bir kök yapısına sahip olduğu bilinmektedir. Bu bitki kuvvetli kökleriyle toprağı sıkı sıkıya kavrar ve çok fazla besin maddesi, özellikle potasyum alır. Ayçiçeğinin sapı, yani gövdesi de çok kuvvetlidir. Tek bir saptan ibaret olan veya dallanan çeşitleri vardır. Tarımı yapılan ayçiçeklerinin dallanmaması, buna karşılık süs bitkisi olarak kullanılanlarının ise dallanması istenir. Ayçiçeğinin yabani türleri daha fazla dallanır; dallanma yabaniyet vasfıdır. Fazla

dallandığı zaman her dalın ucunda bir tabla meydana getirir. Fakat tablalar ve tabla üzerinde oluşan meyve (tohum) küçük ve yağ oranı düşük olur. Bu bakımdan dallanan ayçiçekleri makbul değildir.

Ayçiçeğinin yaprakları iri ve kalp şeklinde olup, renkleri açık yeşilden koyu yeşile kadar değişir. Bitkinin yaprakları, dalları ve sapı tüylüdür. Ayçiçeği saplarının içi özle doludur. Çiçekler ana sap veya dalların ucunda teşekkül eden tablalarda meydana gelir. Tablaların altında birbiri üzerine kiremit gibi dizilmiş ve sivri, sapsız mekik şeklinde yaprakları bulunur.

Tablalar üzerinde iki çeşit çiçek vardır. Tablanın ilk iki sırasındaki çiçekler kısır olup ürün vermezler. Bunların erkek ve dişi organları yoktur. Kısır çiçeklerin taç yaprakları, tablanın dışa gelen kısmında bir dil şeklinde uzanmış olup, uzunlukları yarım ile iki santimetre arasındadır. Renkleri beyazımsı kırmızımtırak, portakal renklidir. Son derece güzel bir görünüşe sahiptirler. Bu çiçeklerin bir tabladaki sayısı 50 ile 200 arasında değişir. Ayçiçeği tohumlarının bin tanesinin ağırlığı 70 ile 200 gram arasındadır. Yağlı çeşitlerin tohumları daha küçük, çerezlik çeşitlerin ise daha büyüktür. Tanesi küçük olan tohumlarda yağ nisbeti daha fazla, tanesi büyük olanlarda ise yağ nisbeti daha düşüktür. Bu bakımdan ayçiçeği ekimi yapılırken hangi gaye güdülüyorsa ona göre çeşit seçimi yapılmalıdır. Ayçiçeği tohumlarında yüzde 35 oranında kabuk ve yüzde 65 oranında da iç bulunmaktadır. Kabuklu tohumların yağ oranı yüzde 45-55; içteki yağ oranı ise yüzde 65-70 dolayındadır.

Ayçiçeği ülkemiz ekonomisinde yağlı toumlu bitkiler içerisinde ilk sırayı almaktadır. Tohumları % 40-50 civarında yağ içermekte olup, bitkisel yağ üretimimizin % 65 kadarı ayçiçeğinden elde edilmektedir (Yosmaoğlu, 2002). Ayçiçeği yağı, boya, sabun, kozmetik ve plastik sanayinde de kullanılmaktadır.

2. TEZİN AMACI

Günümüzde dünyanın birçok yerinde insanlara sağladığı yararlar nedeniyle topraksız tarım en çok kullanılan yöntemlerden birisi olmuştur. Özellikle bu yöntemin su kültürü dediğimiz hidroponik dalı toprak alanlarının azalması, verimsizleşmesi, topraktaki elementlerin fazlalığı ya da azlığı gibi toprak sorunları ve bu yöntemin seracılıkta kullanımının artması ile daha çok tercih edilmektedir. Toprakta yetişen bitkilerin besin alımı, sıcaklık, don, vs. gibi çevresel şartlarından etkilenmesi nedeni ile kontrollü bir ortamın sağlanamaması bitkiyle ilgili çalışmalar yapılmasında sıkıntı yaratmaktadır. Bu nedenle kurduğumuz hidroponik ortamlarla öncelikle kontrollü bir ortam yaratmaya çalışılıp, bu sistemin önemi ortaya konulmuştur. Daha sonra bu sistemle çalışmak üzere seçtiğimiz bitkiler jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) kurulan sisteme yerleştirilip, çimlenmesi sağlanmış, daha sonrada farklı oranlarda ağır metaller verilerek, bu bitkilerin bünyelerinde tutma kapasiteleri incelenmiştir. Sanayi ve teknolojinin gelişmesi ile son yılların en büyük problemlerinden birisi olan çevre kirlenmesi sonucu toprağa karışan ağır metallerin (Pb, Cd, Hg, As, vs.) bitkiler üzerindeki etkisi ölçülüp, Toprak temizlenmesinde en çok tercih edilen yönü ortaya konmuş, ekonomik ve ekolojik olan, özel donanım gerektirmeyen ve uygulanan bölgenin yeniden kullanılabilmesine imkan veren bir yöntem olan fitoremediasyon yöntemi için ne kadar önemli olabilecekleri ortaya konulmuştur.

3. MATERYALLER

3.1. Bitkisel Materyaller

Hidroponik Sistemde gerçekleştirdiğimiz fitoremediasyon çalışması sırasında 2 adet bitki tercih edilmiştir.

1-Jojoba (*Simmondsia chinensis*)

2-Ayçiçeği (*Helianthus annuus*)

Jojoba (*Simmondsia chinensis*) bitkisi toprak seçiciliği olmayan, kuraklığa dayanıklı, uzun ömürlü (100-200 yıl) bir bitkidir., Jojoba bitkisinin köklerinin de önemi büyük olup, kökler 25 m kadar derine inebilmekte, bu durum bitkiyi toprak erozyonuna karşı paratoner durumuna getirmektedir. Ayrıca bitkinin çalı formunda olması rüzgar erozyonuna karşı da direnç sağlamasına neden olmaktadır. Jojoba biyodizel bitkisi çok önemli enzimlere sahip, kendi yağını üreten ve metabolize eden biyosentetik özelliğindedir. Bitkinin tohumlarından çıkarılan yağ, yemeklik olarak, tank, uçak ve araba yakıtı olarak, çeşitli hastalıkların (kanser, böbrek bozuklukları, saç dökülmesi, yaraların iyileştirilmesi, cildin güneş ve rüzgarın etkisinden korunması gibi) tedavisinde kullanılabilir ve yine bu tohumlardan elde edilen yağın çeşitli endüstri alanlarında; ilaç sanayi, kozmetik ve yakıt endüstrilerindeki yeri ve önemi büyüktür. Bitkinin kullanım alanının genişliği ve yetiştirme şartlarının elverişliliği göz önünde bulundurulursa, çevresel kirlenmenin önemli bir sorun olduğu günümüzde, bu bitki üzerinde fitoremediasyon çalışması yapılması uygun bulunmuştur. Çalışmada kullanılan tohumlar Osmaniye ilinde bulunun Osman Enez tarafından temin edilmiştir, kökeni mısırdır.

Ayçiçeği (*Helianthus annuus*) Bir tarım bitkisi olan ayçiçeği bütün dünyada olduğu gibi yurdumuzda da önemli besin maddeleri arasında sayılmakta ve geniş alanlarda tarımı yapılmaktadır. Ayçiçeği veriminin artırılması diğer bazı faktörlerle birlikte toprak ve suyun kalitesine bağlıdır. Gerek toprak ve gerekse suyun kalitesini

bozan etmenlerden biri de ağır metallerdir (Zengin ve Munzuroğlu, 2006). Bu nedenle çalışmamızda bu bitki üzerinde fitoremediasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmada kullanılan tohumlar Denizli Tarım İl Müdürlüğünden temin edilmiştir. Tohum numarası AS- 508'dir.

3.2. Kimyasal Materyaller

Hidroponik sistemde yapılan fitoremediasyon çalışmasında 2 adet ağır metal kullanılmıştır.

1-Nikel (Ni^{+2})

2-Kadmiyum(Cd^{+2})

3.2.1. Nikel (Ni)

Günümüzde mutlak gerekli elementlerden biri olarak kabul edilen nikelin tarım topraklarındaki konsantrasyonu genelde çok azdır. Ancak, serpantin gibi ultra bazik püskürük kayalardan oluşan toprakların nikel içeriği 100-5000 mg Ni/kg arasında değişmektedir (Kacar ve Katkat, 2006). Nikel kömür (10-50 mg Ni/kg), petrol (49-345 mg Ni/kg), elik, alaşım üretimi, galvaniz ve elektronik endüstrisinde kullanılmaktadır. Kritik toksik düzey toprakta 100 mg/kg, duyarlı bitkilerde $> 10 \mu g/g$ kuru madde ve orta düzeyde duyarlı bitkilerde ise $> 50 \mu g/g$ kuru maddedir (zbek ve ark., 1995). Nikel, kileyt bileşiklerini kolaylıkla oluşturması nedeniyle, bitkilerdeki enzimlerde ve fizyolojik aktif merkezlerde bulunan ağır metallere yer değiştirir. Nikel reaz ve birçok hidrogenaz enzimlerinin metal yapı maddesidir. Bu nedenle nikel içerikleri az olan bitkiler üre şeklinde uygulanan azotlu gübreden yararlanamadıkları gibi üre bu bitkilere toksik etki de yapmaktadır (Kacar ve Katkat, 2006).

Bitkide gereğinden fazla bulunan Ni, klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar, bitki köklerinin diğer besin elementlerini almasını engelleyerek besin elementleri noksanlıklarının ortaya çıkmasına neden olur (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Nikel çok sayıda bakteri için yaşamsal öneme sahip bir ağır metaldir. Yüksek bitkilerde önemli işlevleri olan üreaz ve çoğu hidrogenaz enzimlerin metal yapı

maddesidir. Metallerin bitkiler tarafından alınımı ve taşınımının aktif olarak gerçekleştirildiğine inanılmaktadır. Bitkilerde Ni^{+2} iyonunun hareketliliği yüksektir. Kilyet bileşiklerini kolay oluşturan Ni^{+2} bitki enzimlerinde bulunan ve fizyolojik aktif merkezlerde yer alan ağır metallerle yer değiştirir. Bitkilerde gereğinden fazla bulunan nikel klorofil sentezi ve yağ metabolizması üzerine olumsuz etki yapar (Bollard, 1983; Asher, 1991).

3.2.2. Kadmiyum (Cd)

Kadmiyumun tarım topraklarına girişi ve yayılması endüstriyel faaliyetler, fosforlu gübreler, lağım atıkları ve atmosferik depositler yoluyla olmaktadır (Tablo 1) (Haktanır, 1987). Toprakta 3 mg/kg, bitki kuru maddesinde ise 1 mg/kg'dan fazla kadmiyum toksik etkilidir (Özbek ve ark., 1995). Bitki ve topraklara ulaşan kadmiyumun büyük kısmı kadmiyum içeren toz zerreciklerinin havadan çökmesi yolu ile olmaktadır. Trafiğin yoğun olduğu alanlardaki yol kenarlarındaki topraklarda toz çökmesi ile yılda m^2 'ye 0.2-1.0 mg kadmiyum ilavesinin olduğu ölçülmüştür (Haktanır, 1987).

Bu metal insan, hayvan ve bitkiler için toksik etkili bir elementtir. Bitki bünyesinde azot ve karbonhidrat metabolizmalarını değiştirmesi nedeniyle birçok fizyolojik değişikliğe neden olmaktadır. Proteinlerin -SH gruplarındaki enzimleri inaktive etmekte, fotosentezi engellemekte, stomaların kapanmasına, transpirasyon ile su kaybının azalmasına ve klorofil biyosentezinin bozulmasına neden olmaktadır (Sheoran ve ark., 1990). Aşırı kadmiyum dozlarının klorofil biyosentezini bozmasının en önemli nedeni klorofil biyosentezinde görev yapan protoklorofil reduktaz ile aminolevulinik asit sentezini engellemesidir. Ayrıca ağır metallerin serbest radikal oluşumuna yol açtığı ve bu yolla tilakoid membran lipidlerinin oksidatif yıkımına neden olduğu, bu gibi durumlarda ise klorofil yıkımının arttığı ve sentezinin engellendiği bilinmektedir (Zengin ve Munzuroğlu, 2005).

Topraklarda kadmiyum yarayışlılığı büyük ölçüde toprak pH'sına ve öteki kationların cins ve miktarına bağlıdır. Kadmiyum alınımı Ca ve Zn engeller. Bitkilerde uzun yök taşınan ağır metallerden olan Cd^{+2} çoğu bitki türlerinde karotenoidlerin ve klorofillerin sentezine olumsuz şekilde etki yapar. Porter ve

Sheridan (1981) konsantrasyonu 1-20 mg/ ml⁻¹ arasında değişen Cd⁺² 'un yonca bitkisinde fotosentezi önemli derecede gerilettiğini saptamıştır. Benze şekilde artan Cd⁺² konsantrasyonuna bağlı olarak buğday fidelerinde toplam klorofil konsantrasyonu gibi klorofil a/ klorofil b oranı da azaltılmıştır (Bhardwaj ve Mascarenhas, 1989).

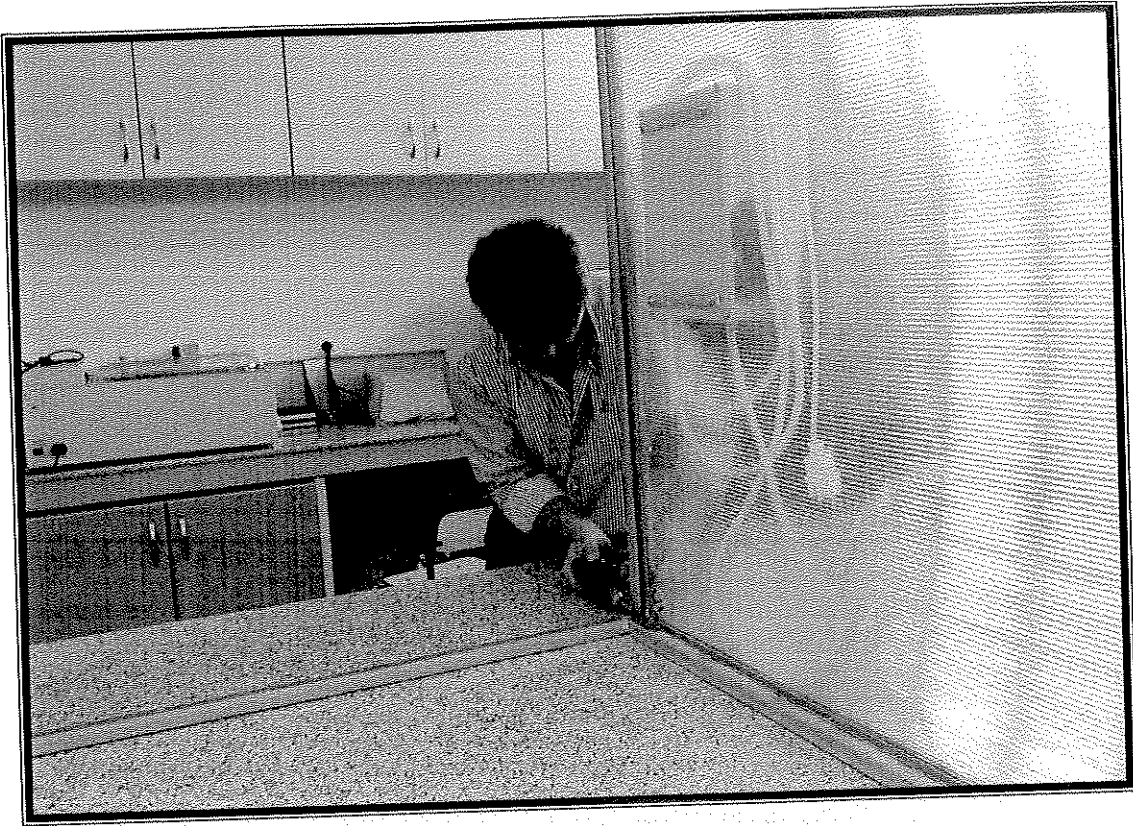
3.3. Mekanik materyaller

Fitoremediasyon alışmaları sırasında, bitkilerinin yetişmesi ve ağır metalleri kontrollü alabilmesi için hidroponinin NFT (Nutrient Film Tekniği) metodunun uygulandığı sistem kurulmuştur. Sistem kurulumu ve otomasyonu İzmir TARTES firmasına yaptırılmıştır.

3.3.1. Hidroponik sistem kurulumu

Hidroponik sistem kurulumu gerçekleştirilirken, bitkiler için en uygun ortamlar göz önünde bulundurularak malzemeler seçilmiştir, özellikle otomasyon sistemi, bitkinin yetiştirilen ortamda herhangi bir strese maruz kalmaması için oldukça önemlidir. Her bitkinin yetiştiği sıcaklık, nem, ışık ve toprak ph'sı farklılık gösterir. Kurduğumuz ortamın her türlü bitki yetiştirmeye uygun olması için otomasyon sisteminde bir çok özelliğin kontrolüne yer verilmiştir.

Hidroponik sistem kurulumunda elik iskelet yerleştirildikten sonra, polikarbon cam ve polietilen örtü yerleştirildi. Daha sonra bitkilerin yerleştirileceği alanlar, besin solusyonun bitki köklerine ulaşacağı borular ve suyun devir daim etmesini sağlayacak motorlar kurularak, sistemin ana kısmı tamamlandı.



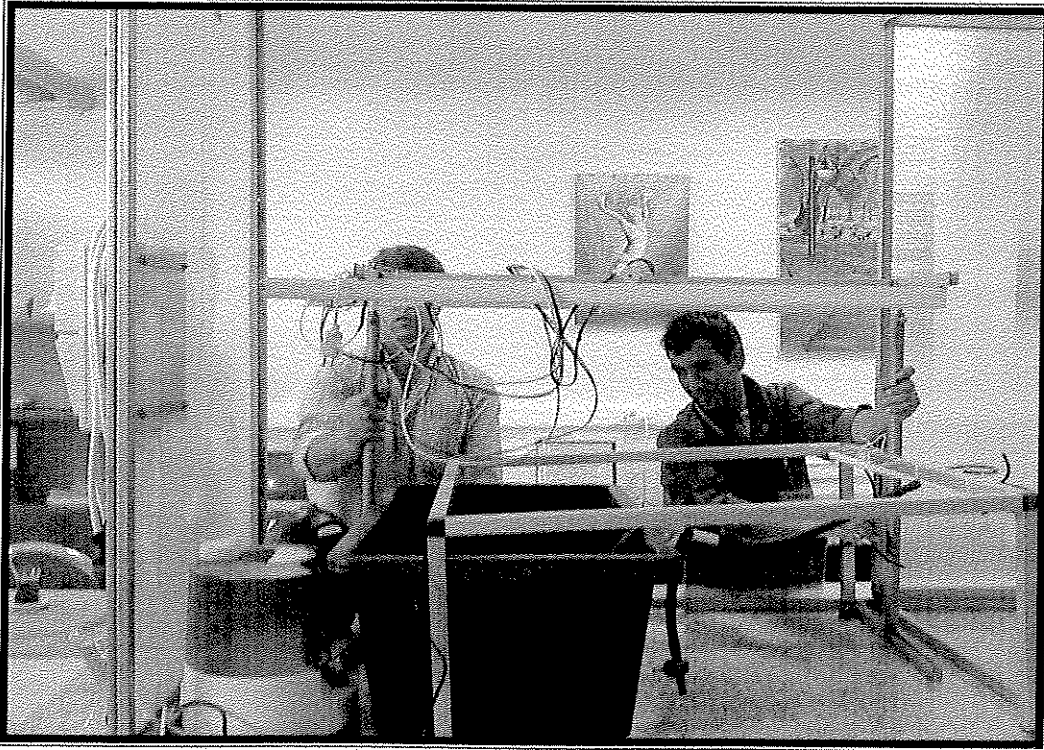
Şekil 3.1: Sistemin iskelet kısmının kuruluşu



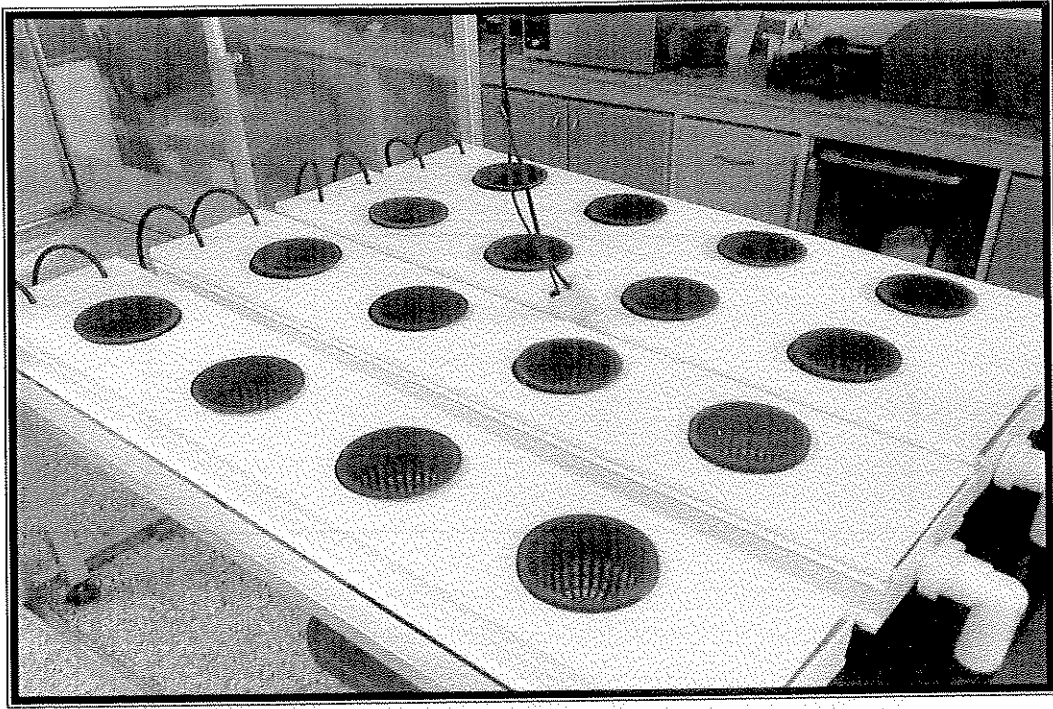
Şekil 3.2: Polikarbon camların takılması



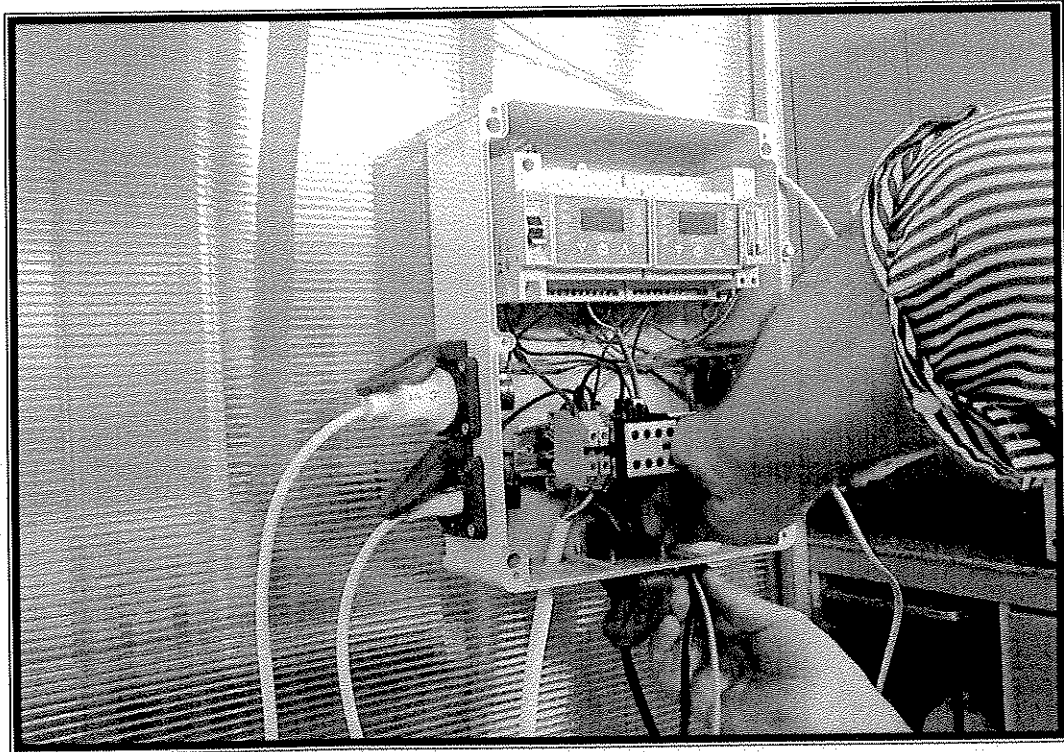
Şekil 3.3: Polikarbon perdenin iskelete tutturulması



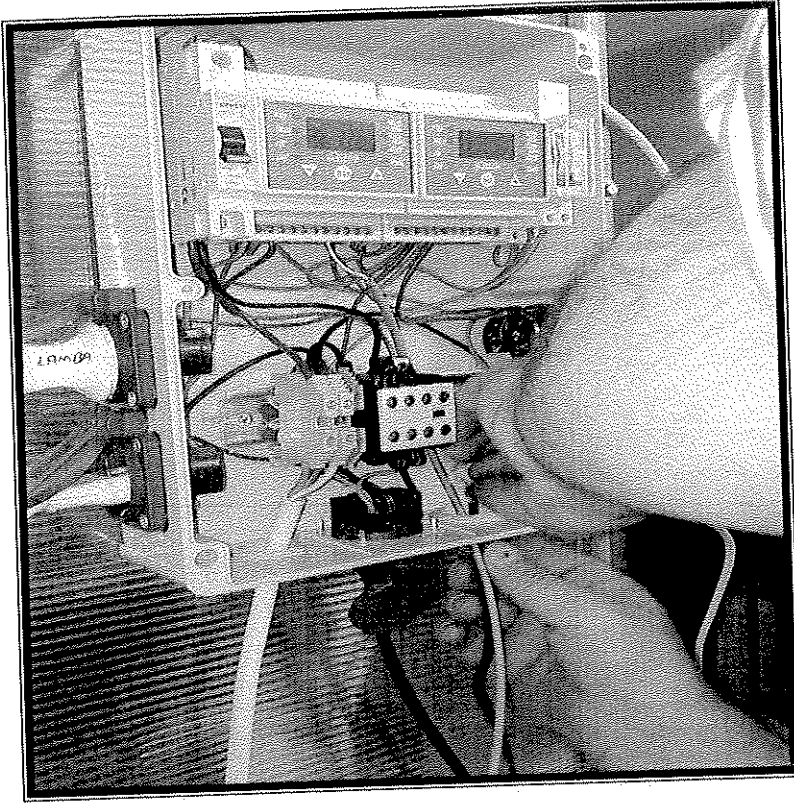
Şekil 3.4: Hidroponik sistemin iç iskeletinin kurulumu



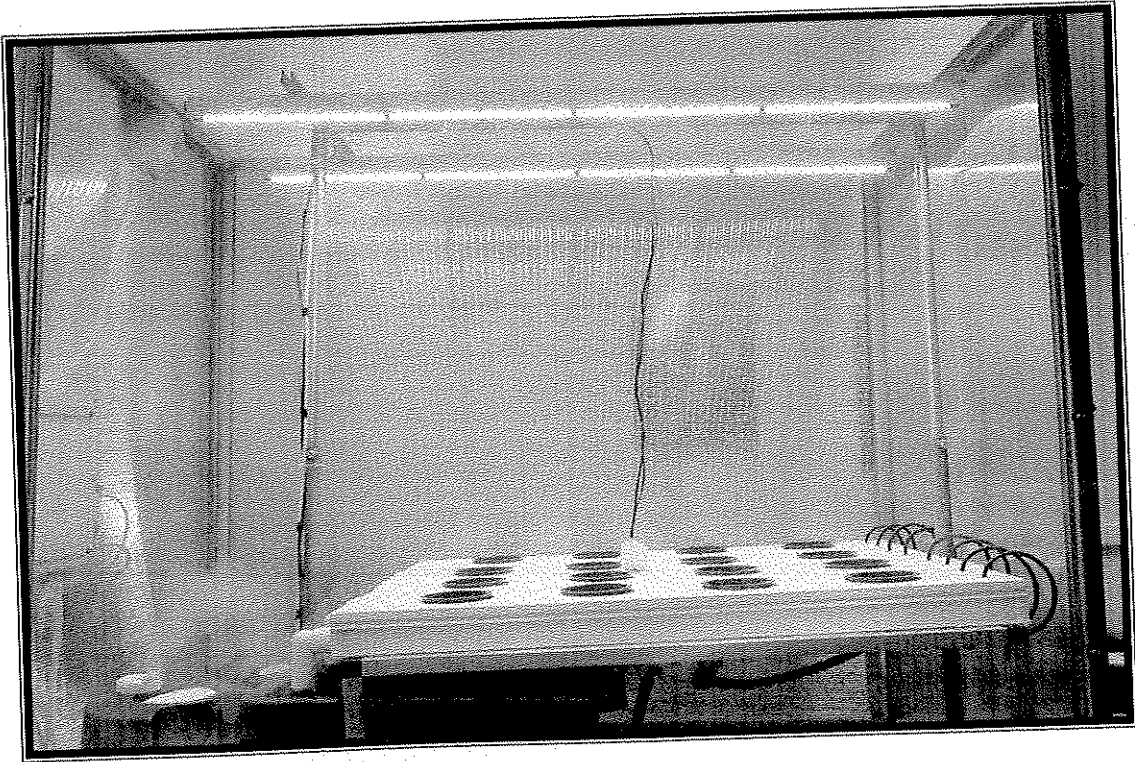
Şekil 2.5: Bitkilerin yerleştirildiği, saksı kısımları ve boru sistemlerinin kurulmuş



Şekil 3.6: Hidroponik sistemin, otomasyon kısmının kurulumu 1



Şekil 3.7: Hidroponik sistemin, otomasyon kısmının kurulumu 2



Şekil 3.8: Hidroponik düzeneğin kurulmuş son hal

4. YÖNTEMLER

4.1. Kullanılan Fitoremediasyon Yöntemi

Tez aşamasında fitoremediasyonun, Fitorekstraksiyon yöntemi kullanılmıştır. Bitkilerin kökleriyle ağır metalleri alması ve bünyesinde tutması yoluyla, fitoremediasyon aşaması gerçekleşir.

4.2. NFT (Nutrient Film Tekniği) Sisteminin Kullanımı

4.2.1. Hidroponik sistemde kontrol çalışması

Pamukkale üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümünde kurulan hidroponik düzeneğin, bitkini yaşayabileceği ortamı karşılayıp, karşılamadığı anlamak için bir ön çalışma yapılmıştır. Ön çalışmada biber (*Capsicum annuum*) bitkisi kullanılarak kök, gövde ve yaprakların gelişimini, toprakta gelişen bir biber (*Capsicum annuum*) bitkisiyle arasındaki farklılıkları, stoma ve epidermis yapısındaki değişikliklere bakılarak, sistemin bitkinin yetişmesi, köklerinin kendisi için gerekli olan besinleri alması açısından kontrolünü olup olmadığı gözlemlenmiştir. Yapılan ön çalışma için seçilen biber (*Capsicum annuum*) bitkisi düzeneğe yerleştirildikten sonra, kendisi için gerekli olan ortam ısısı, gün ışığı, nem ve besinler ayarlanmıştır. Yaklaşık 2 ay sonunda bitkinin tüm kısımları fiziksel olarak ve mikroskopta incelenmiş ve gelişiminin düzgün olduğu gözlenmiştir. Kurulan mekanizmanın tez çalışması için uygun olduğu anlaşılmıştır.

Tablo 2.1: Hidroponik sistemde ve toprakta yetişen biber (*Capsicum annuum*)

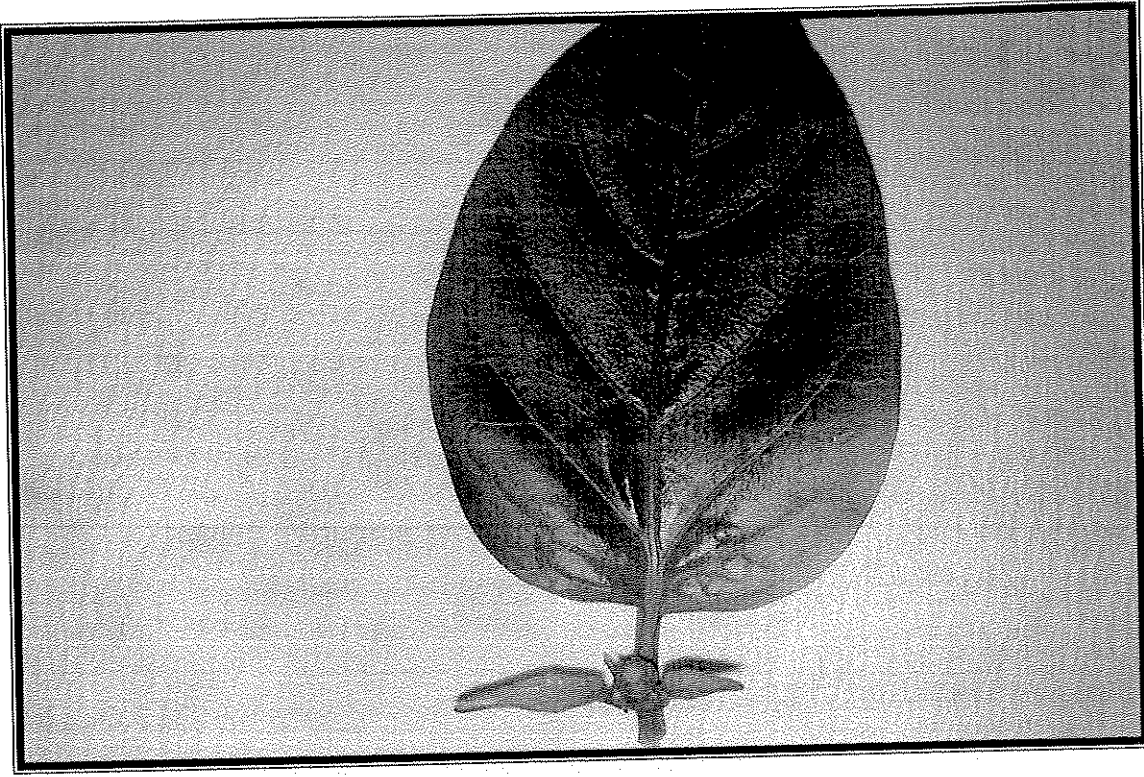
	Hidroponik sistemde yetişen biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisi	Toprakta yetişen biber (<i>Capsicum annuum</i>) bitkisi
Kök uzunluğu	15-20 cm	7-10 cm
Gelişmiş yaprak ayası uzunluğu	14-16 cm	10-12 cm
İki yaprak arası uzunluk	4-5 cm	3-4 cm
Stoma sayısı	Alanda 24-26 stoma	Alanda 4-5 stoma

Tablo 4.2: Hidroponik sistemde çimlenen bitkilerin klorofil a ve b değerlerinin saptanması

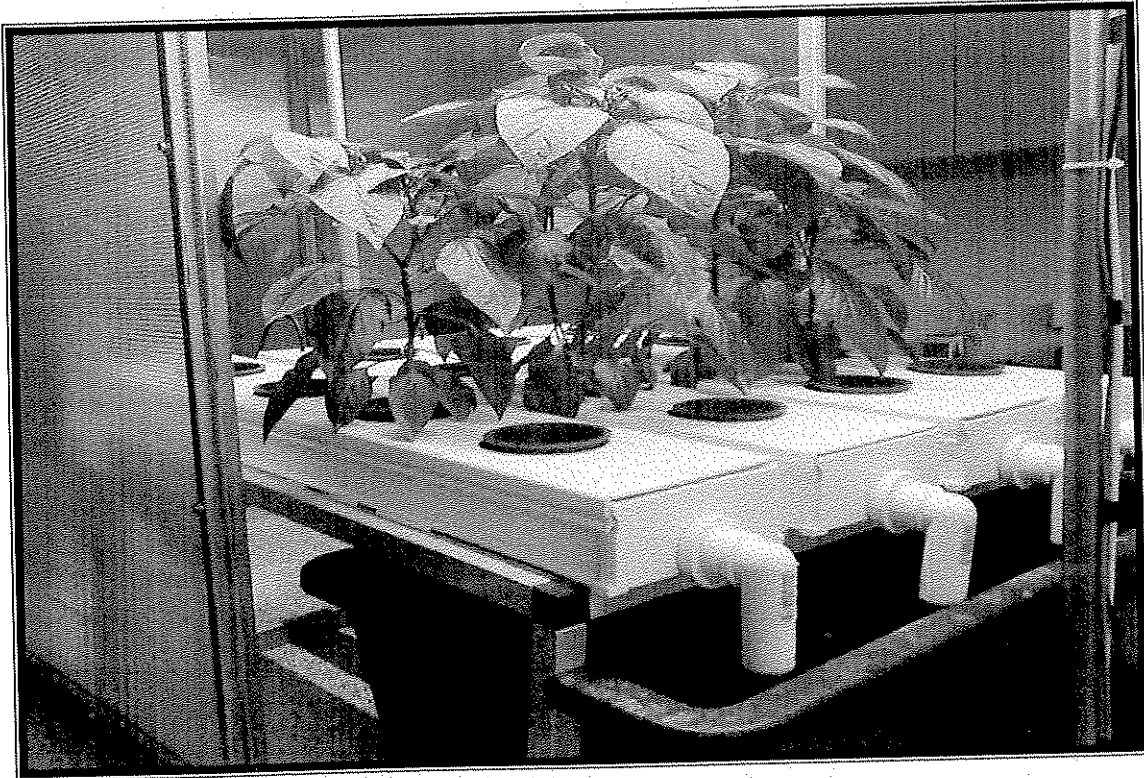
Örnek	Klorofil a	Klorofil b	Klorofil a+b
Jojoba	70.86	71.909	83.736
Ayçiçeği	53.27	9.4708	74.714



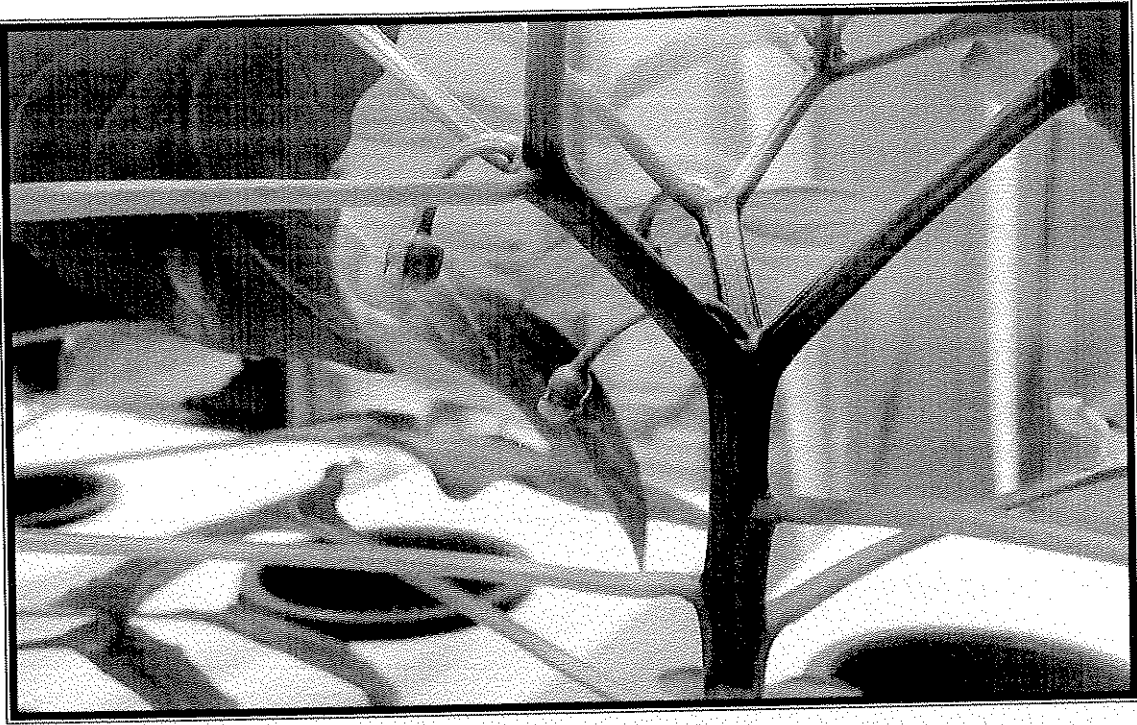
Şekil4.1: Hidroponik sistemde yetişen biber (*Capsicum annuum*) bitkisinin kök



Şekil 4.2: Hidroponik sistemde yetişen biber (*Capsicum annuum*) bitkinin yaprak



Şekil 4.3: Hidroponik sistemde biber (*Capsicum annuum*) bitkisinin büyümüş hali



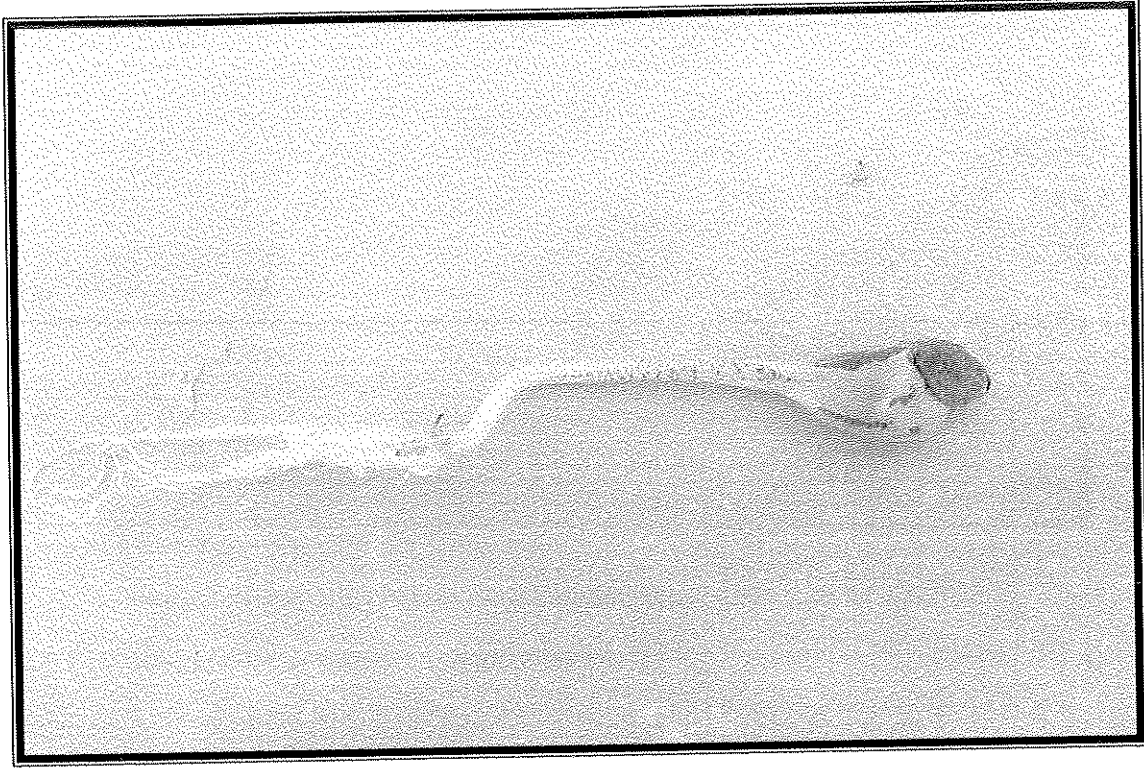
Şekil 4.4: Hidroponik sistemde biber (*Capsicum annuum*) bitkisinin tomurcuğa



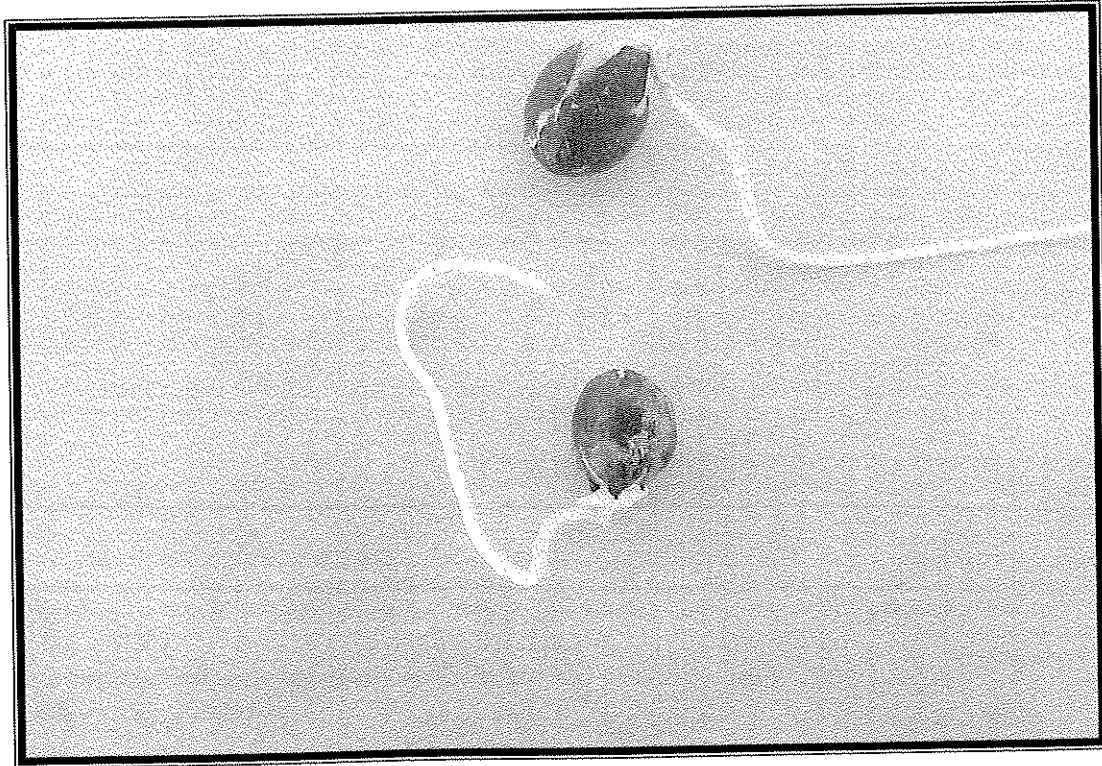
Şekil 4.5: Hidroponik sistemde biber (*Capsicum annuum*) bitkisinin meyveye

Tez çalışması sırasında hidroponinin kollarından birisi olan NFT (Nutrient Film Tekniği) sistemi kullanılmıştır. Bu sistemde yukarıda örnek resimleri bulunan bitkilerin oturtulduğu bölmelerde bitkiler çimlendirilmiştir. Bitki besinlerini buldukları saksıların altından ince bir film tabakası halinde akan sudan almaktadır.

Aynı şekilde Fiteromediasyon için ağır metaller verilirken de bu sistemde bitkilere 1,5,7 ppm'lik ağır metaller aynı borulardan saksıların altında bulunan köklere ince bir film tabakası halinde uygulanmıştır.



Şekil 4.6: Hidroponik sistemde çimlendirilen ayçiçeği (*Helianthus annuus*) tohumu



Şekil 4.7: Hidroponik sistemde çimlendirilen jöjoba (*Simmondsia chinensis*)



Şekil 4.8: Hidroponik sistemde ve toprakta çimlenen ayçiçeği (*Helianthus annuus*)

4.2.2. Ağır metallerin bitkilere uygulanması

Çalışmamızda, jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerine 2 adet ağır metal uygulanmıştır. Bunlar, nikel (Ni) ve kadmiyum (Cd) ağır metalleridir. Ağır metallerden 1,5,7 ppm'lik çözeltiler hazırlanmış ve her iki bitkiye de 96 saat boyunca uygulanmıştır. 96 saat sonunda alınan bitkiler oda sıcaklığında kurutulduktan sonra kimyasal analizleri için kullanılmıştır.



Şekil 4.9: Ağır metallerin hazırlanması



Şekil 4.10: Hidroponik sistemde çimlendirilen bitkilere ağır metallerin uygulanması

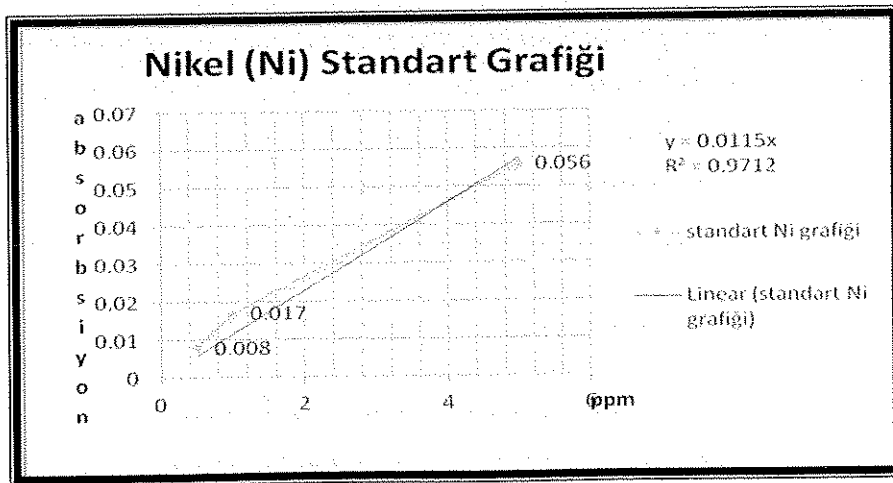
4.3. Bitkilerin Ağır Metal İçeriklerinin Belirlenmesi

Hidroponik sistemde ağır metale maruz bırakılan bitkilerin (Divrikli ve diğ., 2003) yayınından alınan kimyasal yöntem ile ağır metal içerikleri belirlenmiştir.

Sistemde 96 saat 1, 5, 7 ppm'lik ağır metale maruz bırakılan bitkiler alınarak 25 °C oda sıcaklığında kurutulan bitkiler, bünyelerindeki suyun buharlaştırılması için yaklaşık 60 dakika 80 °C etüvde bekletildi. Ufak parçalara ayrılan bitkiden 1 gram alınarak 8ml HNO₃.HClO₄-H₂O₂ (2:1:1) asit karışımı üzerine eklendi. Oluşan karışım 170 °C 3 saat ısıtıldı. Daha sonra soğutulmaya bırakılan içeriğin üzerine 2 ml H₂SO₄ ve 8ml'lik asit karışımından ekleniyor. Oluşan solüsyon 2500 rpm'de 5 dakika döndürüldü. Döndürülen solüsyonun üst kısmında kalan yerden alınarak, daha sonra 1M HNO₃ le 25 ml ye tamamlanıp, AAS (Atomik Absorbsiyon Spektrofotometresi) cihazında içerisindeki ağır metaller ölçüldü.

5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Yapılan çalışma sonucunda, hidroponik sistemde çimlendirilip, ağır metale maruz bırakılan jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinin bünyelerinde tuttuğu ağır metal oranları, standart oranları ile birlikte aşağıdaki Şekil 27, 28, 29, 30, 31, 32'de verilmiştir.



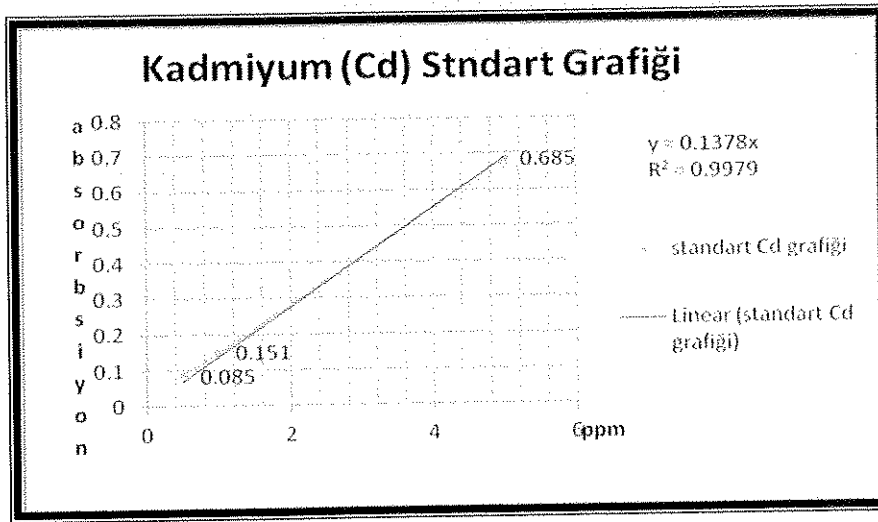
Şekil 5.1: Nikel (Ni) standart grafiği

Tablo 5.1: Jojobada bulunan nikel miktarı

EKLENEN NİKEL (µg)	BULUNAN NİKEL (µg)	GERİ KAZANIM (%)
100 µg	16.53 µg	%16.53
500 µg	42.4 µg	%8.48
700 µg	50.5 µg	%7.21

Tablo 5.2: Ayçiçeğinde bulunan Nikel Miktarı

EKLENEN NİKEL (µg)	BULUNAN NİKEL (µg)	GERİ KAZANIM (%)
100 µg	19 µg	%19
500 µg	44.93 µg	%9
700 µg	46.22 µg	%6.6



Şekil 5.2: Kadmiyum (Cd) standart grafiği

Tablo 5.3: Jojobada Bulunan Kadmiyum Miktarı

EKLENEN NİKEL (µg)	BULUNAN NİKEL (µg)	GERİ KAZANIM (%)
100 µg	0.575 µg	%0.575
500 µg	1.475 µg	%0.295
700 µg	1.9 µg	%0.271

Tablo 5.4: Ayçiçeğinde Bulunan Kadmiyum Miktarı

EKLENEN NİKEL (µg)	BULUNAN NİKEL (µg)	GERİ KAZANIM (%)
100µg	3.1 µg	%3.1
500µg	4.1 µg	%0.82
700µg	7.9 µg	%1.12

6. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bitkiler ve ilişkide oldukları mikroorganizmalar, kirleticileri; stabilizasyon, rizosferde ve bitkide degradasyon, hasat edilebilir dokularda biriktirme ya da buharlaştırma yöntemleriyle fitoremediasyona uğratabilirler. Fitoremediasyon, uygun maliyetli, çevre dostu bir alternatif sunar ve yakma, toprak kazma, pompalama-temizleme gibi geleneksel yöntemler için tamamlayıcı bir yöntemdir. Fitoremediasyon birçok organik ve inorganik kirletici için etkili bir biçimde çalışsa da altında yatan biyolojik süreç hala tam olarak anlaşılammıştır. Bitki-mikroorganizma ilişkileri, organikler için parçalanma mekanizmaları çalışılması gereken alanlardır (Pilon-Smits, 2005).

Yapılan fiteromediasyon çalışmasında kullanılan ayçiçeği (*Helianthus annuus*) ve jojoba (*Simmondsia chinensis*) bitkilerinin ikisinde de ağır metalleri absorbe etme kapasitesi tespit edilmiştir. Bu işlem için nikel (Ni^{+2}) ve kadmiyum (Cd^{+2}) ağır metalleri ile çalışılmıştır. Ayçiçeği topraklardaki ağır metalleri absorbe etme açısından fitoremediasyon çalışmalarında sık kullanılan bir bitkidir. Fakat ayçiçeğinin fitoremediasyon kapasitesinin hidroponik ortamda ölçülmesi, çimlenmesinden itibaren toprak etmenlerinden etkilenmediği için daha net sonuç doğurmuştur. Jojoba bitkisi de son dönemlerde bilindiği üzere, ağır sanayi ve daha bir çok önemli sanayi dallarında kullanımı, yetiştirme olanaklarının kolaylığı açısından tercih edilen bir bitkidir. Uzun zamandır çevresel sorunların yaşandığı, toprakların gittikçe kimyasallarla kirlendiği dünyamızda, jojoba gibi bir bitkinin bu ortamların temizlenmesinde kullanımının önemli olacağını düşündüğümüz için, bu bitkide fitoremediasyon çalışması gerçekleştirdik, düşük oranlarda da olsa bitkinin ağır metalleri bünyesinde barındırdığını tespit ettik.

Ayrıca ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkisinin metalleri (Pb^{+2} , Cd^{+2} , Zn^{+2} , Ni^{+2} , Cu^{+2}) fitoekstraksiyon (Dietz ve Schnoor, 2001; Pilon-Smits, 2005) ve rizofiltrasyon (Dushenkov ve diğ., 1995; Raskin, 1996; Schoonor ve Dee, 1997; Dushenkov ve

Kapulnik, 2000; Pilon-Smits, 2005) yöntemleri ile uzaklaştırdığı ve hidrokarbonlar için toleranslı olduğu (Olson ve Fletcher, 2000) görülmüştür.

Yapılan diğer bir çalışmada petrolün ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkisi üzerindeki fizyolojik etkilerini incelemek amacı ile *H. annuus* Vanko tohumları % 0, 1, 2.5, 5, 7.5 ve 10 SBL ham petrolü ile kirletilmiş toprağa ekilmiş, çimlenme oranları ve 30 gün boyunca gelişimleri takip edilmiştir. % 7.5 ve 10 SBL ham petrol uygulamasında bitki gelişimi gözlenmediğinden diğer serilerden 15. ve/veya 30. gün hasatlar alınarak taze-kuru ağırlık değişimi, oransal su içeriği, membran permeabilitesindeki değişiklikler, klorofil ve karotenoid miktarları uygun metotlar kullanılarak belirlenmiştir (Erol, 2010).

H. annuus Vanko tohumlarının SBL ham petrol ortamındaki çimlenme yüzdesine bakıldığında, petrol oranı arttıkça çimlenme yüzdesi azalmaktadır, Ham petrol tarafından topraktaki kirlenme seviyeleri büyüme depresyonu olarak gözükmektedir. Büyüme yavaşlığı ve çimlenme azalması gibi benzer gözlemler ilk yapılan çalışmalarda rapor edilmiştir (Anoliefo, 1991; Smith ve diğ., 1989; Peretiemo-Clarke ve Achuba, 2007). Petrol hidrokarbonlarının yarattığı büyüme depresyonu, hücre boyutu ve bölünmesinin azalması olarak nitelendirilmiştir (Achuba, 2006; Peretiemo-Clarke ve Achuba, 2007). Çimlenme oranları ile elde edilen deney bulguları literatür bilgisi ile örtüşmektedir (Chaineau ve diğ., 1997; Henner ve diğ., 1999; Batty ve Anslow, 2008).

Bu çalışmada Topraksız Tarımın Hidroponik (Sukul) dalı seçilmiştir. NFT (Nutrient Film Tekniği) kullanılarak bitkiler kontrollü bir şekilde çimlendirilip, yine kontrollü bir şekilde ağır metallere maruz bırakılmıştır. Bitkiler yetiştirilirken, özellikle deney aşamalarında bazı parametrelerin bilinmesinin, daha doğru sonuçlar çıkaracağı bir gerçektir. Bu tür mini model kontrollü ortamların çalışmamız sırasında daha elverişli olduğu tespit edilmiştir. Özellikle sistemin kurulumunun ardından yapılan ön çalışma sonrası, bitkinin gelişiminin bu sistemlerde topraktaki gelişimine oranla daha iyi olduğu tespit edilmiştir.

Bazı parametrelerin başlangıçta bilinmesi önemlidir. Örnek vermek gerekirse topraktaki kullanılabilir formda bitkisel gelişim için çok önemli olan fosfor,

alüminyumla inorganik fosforu oluşturarak çökeltmektedir (Cumming ve ark., 1986). Aynı zamanda alüminyum topraktan Ca ve Mg iyonlarının bitki bünyesine alımını da olumsuz etkilemektedir (Haug ve Caldwell, 1985). Kök rizom bölgesindeki pH değerini bilmek, bu bölgede AMF simbiyozunun, kökün toprağın pH değerini düşürme aktivitesini engelleyip engellemediği hakkında bilgi verir. Bu sayede AMF simbiyozu eğer kökün, kök bölgesindeki pH seviyesini düşürmesini engelliyorsa, pH seviyesine duyarlı elementlerinde alımını azalttığı yönünde bir yargıya varılabilir. Böyle bir etki olduğu durumda simbiyozu sahip bitkilerde sahip olmayanlara oranla daha düşük ağır metal birikimi gözlenir çünkü simbiyozu sahip olmayan bitki kökü tam kapasitede pH düşürme yeteneğini kullanmakta ve pH değerine hassas ağır metalleri biriktirmektedir (Roos ve Jakobsen, 2007). Yapılan bazı çalışmalar bitki bünyesine Cr alımıyla topraktaki organik asitler arasında bir korelasyon olduğunu ortaya koymuştur (Shahandeh ve Hossner, 2000). Srivastava ve ark. (1999) yaptıkları çalışmada toprakta artan organik asit konsantrasyonlarında, bitki bünyesine dağılımının etkilenmeden Cr alımının arttığını bulmuşlardır. İlerideki çalışmalara ışık tutması açısından ve ileride daha derinlemesine çalışabilmek açısından yapılacak sonraki çalışmalarda elektriksel iletkenlik, toprak pH değeri, topraktaki alınabilir P ve N konsantrasyonu, toprağın başlangıç ağır metal konsantrasyonları (örn: Al^{+2} , Fe^{+2} , Zn^{+2} , Cd^{+2} , Cr^{+2} vb.), topraktaki organik asitler, ortamından alınacaksa bitkinin başlangıç mikorizal enfeksiyon seviyesi, bitki biyokütlesi gibi parametrelerin ölçülmesi önerilmektedir. Bu sayede yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilerin değerlendirilmesi aşamasında hem verilerin değerlendirilmesi daha kolay olacak hem de parametrelerin birbirleriyle olan korelasyonlarını ortaya koyma aşamasında kesin yargıya varmak daha kolay olacaktır (Yıldız, 2008).

Sonuç olarak, hidroponik sistemde kontrollü bir şekilde çimlendirilip, yetiştirilen jojoba (*Simmondsia chinensis*) ve ayçiçeği (*Helianthus annuus*) bitkilerinden literatürlerden de görüldüğü üzere ayçiçeği bitkisi fitoremediasyon için kullanılmaktadır. Çalışmamızda ayçiçeğinin nikel ağır metalini bünyesinde kadmiyuma göre daha iyi tuttuğu görülmüştür. Jojoba bitkisi de bünyesinde ayçiçeği gibi nikel ağır metalini iyi absorbe ederken, kadmiyum ağır metalini düşük bir oranda absorblamıştır. Ayrıca kurulan hidroponik sistemin, bitki yetişmesi açısından ve kontrollü deneyler için özellikle parametrelerinin ayarlanabilmesi göz önünde bulundurulursa daha elverişli olduğu ortaya çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Çelikel, G.**, 2002. Topraksız kültürde sebze yetiştiriliği. Tarım ve Köyişleri Bakanlığı. Tarımsal Araştırmalar Genel Müdürlüğü. Alata bahçe kültürleri araştırma enstitüsü. Çifti eğitim broşürü. No:12 Mersin.
- Destc, A.**, 2005. Toprak Olmadan Çilek de, Domates de Üretiliyor. Milliyet gazetesi 27.03.2005 tarihli sayısı.
- Evans, G. M., Furlong, J. C.**, 2003. "Environmental Biotechnology, Theory and Application", University of Durham, UK and Taeus Biotech Ltd., pp. 285.
- Fergusson, JE.**, 1991. The Heavy Elements: Chemistry, Environmental Impact and Healt Effects, Pergamon Press, Oxford, 614 pp.
- Frick, C. M., Farrell, R. E., Germida, J. J.**, 1999. \Assessment of Phytoremediation as an In-Situ Technique for Cleaning Oil-Contaminated Sites., Petroleum Technology Alliance of Canada (PTAC).
- Kieffer, S.**, 1991. Metals as essential trace elements for plants, animals, and humans. In Metals and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis, and Biological Relevance. E. Merian, toim. Weinheim, New York, New York.
- Knight, P. R., D. J. Eakes, C. H. Gilliam and H. G. Ponder.**, 1994. Recycled irrigation solutions and method of fertilization influence geranum growth in a subirrigation system. SNA Water Conference, 39: 392-394.
- Leoni S, Caduni M, Grudina R and Madeddu B.**, 1988. Results from three tomato cultivation cycles in soilles culture in Mediterraeen environment. Seventh International Congress on Soilles Culture Proceedings, 265-274, Flevohof.
- Macek, T., Mackova, M., Kas, J.**, 2000. \Exploitation of Plants for the Removal of Organics in Enviromental Remediation., Biotechnology Advances, 18: 23-34.
- Margaretich, M.**, 2007. \Phytoremediation., Illumin, Volume 8, issue ii, <http://illumin.usc.edu/article.php?articleID=79&page=2> [Ziyaret Tarihi=01.09.2007].
- Mcpherson, A.**, 2007. \Monitoring Phytoremediation of petroleum Hydrocarbon Contaminated Soils in a Closed and Controlled Environment., A thesis Degree

of Masters of Science In the Department of Civil and Geological Engineering
University of Saskatchewan, Saskatoon.

- Memon, A. R., Aktoprakligül, D., Özdemir, A., Vertii, A.,** 2001. "Heavy metal accumulation and detoxification mechanisms in plants", Turk J Bot., 25: 111-121.
- Munzuroğlu, F. K. ve Zengin Ö.** 2004. Effects of lead (Pb⁺⁺) and copper (Cu⁺⁺) on the growth of root, shoot and leaf of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 17: 1-10.
- Pilon-Smits, E,** 2005. —Phytoremediation, *Annu. Rev. Plant Biol.*, 56:15-39.
- Pletsch, M., Araujo, B. S., Charlwooda, B.V.,** 1999. —Novel biotechnological approaches in environmental remediation research□, *Biotechnology Advances*, 17 (8): 679-687.
- Resh, H. M.,** 1991. Hydroponic Food Production. 462 s. Woodbridge Pres Pub. California.
- Saarinen, J.A. and O. Reinikainen.,** 1995. Peat substrate and self-regulating irrigation – An environmentally sound method, *Acta Hort.*, 401:435-442.
- Saleh, S., Huang, X., Greenberg, B. M., Glick, B. R.,** 2004. Phytoremediation of Persistent Organic Contaminants in the Enviroment□, In: Singh, A., Ward, O., "Applied Bioremediation and Phytoremediation", Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-21020-2.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, N.P.B.A., Dushenkov, V., Ensley, B.D., Chet, I. And Raskin, I.,** 1995. "Phytoremediation: A Novel Strategy for The Removal of Toxic Metals from The Environment Using Plants", *Biotechnology*, 13: 468-474.
- Salt, D. E., Smith, R. D., Raskin, I.,** 1998. —Phytoremediation□, *Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol*, 49: 643–668.
- Sevgican, A.,** 2002. Örtü alt Sebzeçiliği II (Topraksız Tarım), Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bahçe Bitkileri Bölümü, İzmir.
- Sevgican, A.,** 1999. Topraksız tarım. Örtü altı sebzeçiliği. Cilt 2. Ege Üniversitesi basım evi, 526,Bornova, İzmir.130.
- Stomp, A. M., Han, K. H., Wilbert, S., Gordon, M. P., Cunningham, S.D.,** 1994. \Genetic strategies for enhancing phytoremediation., *Ann NY Acad Sci.*, 721: 481-491.

- Sugano, H., Omata, S. and Tsubaki, H.**, (1975) Methylmercury inhibition of protein synthesis in brain tissue. I. Effects of methylmercury and heavy metals on cell-free protein synthesis in rat brain and liver. In *Studies on the Health Effects of Alkylmercury in Japan*, Environmental Agency, Japan.
- Taşatar, B.**, 1995. *Topraklarımız ve Toprak Kirliliği*, T.C. Çevre Bakanlığı, Çevre Yayınları, 3.
- Tsao, D. T.**, 2003. —Overview of Phytotechnologies□, In: Scheper, T., Tsao D.T., *Advances in Biochemical Engineering Biotechnology:78, Phytoremediation*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, ISSN 0724-6145, ISBN 3-540-43385-6.
- Tüzel, Y., Gül, A., Tüzel, İ. H.**, 2004. Different soilless culture systems. Pages 66-82, *Regional Training Workshop on Soilless Culture Technologies*. Ed.: Y. Tüzel. Turkey.
- Divrikli, Ü., Saraçoğlu, S., Soylak, M., L. Elçi**, “Determination of Trace Heavy Metal Contents of Green Vegetable Samples from Kayseri-Turkey by Flame Atomic Absorption Spectrometry,” *Fresenius Environmental Bulletin*, 12, 9, 1123-1125 , 2003
- Ward, O., Singh, A.**, 2004. \Soil Bioremediation and Phytoremediation- An Overview., In: Singh, A., Ward, O., *Applied Bioremediation and Phytoremediation*, Springer, Verlag Berlin Heidelberg New York, ISBN 3-540-21020-2.
- Welch R. M.**, 1995. “Micronutrient nutrition of plants”, *Critical Reviews in Plant Sciences*, 14 (1), 49-82.

8. ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Seda KOCA

Doğum Yeri ve Tarihi: KAKLIK / 14.04.1987

Adres: Mehmetçik Mah. Emek Sitesi. Akasya Apt. No: 8 / DENİZLİ

Lisans Üniversite: Süleyman Demirel Üniversitesi