وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده زیست شناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست شناسی(فیزیولوژی گیاهی)

# اثر اتیلن دی امین تترا استیک اسید بر گیاه پالایی گیاه تاج خروس زینتی(*Cleosia argentea*)در برابر تنش سرب

**توسط:**

**مریم رازقندی**

**استاد راهنما:**

**دکتر وحید پوزش**

**استاد مشاور:**

**دکتر حسن مکاریان**

**مهر ۱۳۹۲**

به نام خدا

# اثر اتیلن دی امین تترا استیک اسید بر گیاه پالایی گیاه تاج خروس زینتی (*Cleosia argentea*)در برابر تنش سرب

**به وسیله‌ی:**

مریم رازقندی

**پایان نامه**

ارائه شده به تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی
از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

**در رشته‌ی:**

زیست شناسی (گرایش فیزیولوژی گیاهی)

از دانشگاه دامغان

**ارزیابی و تأیید شده توسط کمیته پایان نامه با درجه: خیلی خوب**

دکتر وحید پوزش، استادیار فیزیولوژی گیاهی دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان (استاد راهنما)
دکتر حسن مکاریان،استادیار زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی ،دانشگاه شاهرود(استاد مشاور)
دکتر تقی لشکربلوکی، استادیار بیوشیمی دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان (استاد داور)
دکتر مهری بهنام نیا، استادیار فیزیولوژی گیاهی دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان (استاد داور)
دکتر حسن فریدنوری، استادیار بیوفیزیک دانشکده زیست شناسی، دانشگاه دامغان(نماینده تحصیلات تکمیلی)

**مهر۹۲**

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشگاه دامغان

دانشکده زیست شناسی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست شناسی(فیزیولوژی گیاهی)

# اثر اتیلن دی امین تترا استیک اسید بر گیاه پالایی گیاه تاج خروس زینتی(*Cleosia argentea*)در برابر تنش سرب

**توسط:**

**مریم رازقندی**

**استاد راهنما:**

**دکتر وحید پوزش**

**استاد مشاور:**

**دکتر حسن مکاریان**

**مهر۱۳۹۲**

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم و

همسر مهربانم

که هر چه دارم نتیجه ی تلاش و حمایت انهاست

# تشکر و قدردانی

اکنون که به حول و قوه الهی کار نگارش این پایان نامه به پایان رسیده است، لازم می دانم از همه ی عزیزانی که مرا مرهون مساعدت، همفکری و همدلی شان نموده اند، صمیمانه قدردانی و تشکر کنم.

صمیمانه ترین سپاس را تقدیم به پدر و مادر عزیزم و همسر مهربانم می نمایم که هر چه دارم نتیجه ی تلاش و حمایت انهاست.

از استاد راهنمای ارجمند و بزرگوارم، جناب دکتر پوزش که مرا در به ثمر رسیدن این پایان نامه راهنمایی نمودند کمال تشکر را دارم.

از جناب دکتر مکاریان استاد فرهیخته، که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند بسیار سپاسگزارم.

از اساتید گرانقدر جناب دکتر لشکر بلوکی و خانم دکتر بهنام نیا که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل گردیدند. خیلی ممنون و سپاس گذارم.

سپاسگزارم از کارشناس ازمایشگاه خانم عالمی که همیشه با گشاده رویی در بسیاری از ابهامات مربوط به کار ازمایشگاه به بنده کمک فراوانی نمودند

و در اخر از دوستان عزیزم به ویژه خانم ابوالحسنی، ابویسانی و ابراهیمی که همراهی ها، همفکری ها و همدلی های این عزیزان در طی این مسیر بسیار شامل حالم گردید نهایت سپاسگزاری را دارم.

# چکیده

## اثر اتیلن دی امین تترا استیک اسید بر گیاه پالایی گیاه تاج خروس زینتی (*Cleosia argentea*) در برابر تنش سرب

توسط

مریم رازقندی

افزایش فعالیت‌های صنعتی در طی سالهای اخیر و به دنبال آن ورود انواع فلزات سنگین از جمله سرب به خاک از مشکلاتی است که سلامت بشر را تهدید می‌کند. امروزه تکنیک گیاه پالایی به عنوان یک روش مقرون به صرفه و مناسب از نظر محیط زیست، کاربرد بسیار مهم در پالایش خاک‌های آلوده دارد. عوامل همبند کننده (کلاتورها) به دلیل کمپلکس شدن با فلزات و افزایش انحلال پذیری فلزات سنگین نقش بسزایی در سرعت بخشیدن به فرایند گیاه‌پالایی می‌توانند داشته باشند و با توجه به این که اتیلن دی امین تترا استیک اسید (EDTA) جزء کلات‌کننده‌های بسیار موثر در انحلال‌پذیری فلز سرب به حساب می‌آید، می‌تواند در فرآیند گیاه پالایی بسیار موثر عمل کند. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر EDTA بر گیاه پالایی تاج خروس زینتی در برابر تنش سرب در قالب طرح کاملا تصادفی در ۲ تیمار با ۳ تکرار در گلخانه اجرا گردید. تیمارها شامل ۴ غلظت صفر(شاهد)، ۶۰، ۱۲۰و ۱۸۰ میکرو مولار سرب و EDTA در دو غلظت صفر و ۵۰۰ میکرو مولار در محیط هیدروپونیک، به مدت ۱۴ روز بر روی گیاهان اعمال گردید. نتایج نشان داد که کاربرد همزمان EDTA با سرب نه تنها به جذب سرب از طریق ریشه‌ها کمک کرد، بلکه در انتقال سرب به بخش هوایی گیاه موثر بود و باعث کاهش سمیت سرب و افزایش رشد گیاه گردید. با توجه به اینکه گیاه تاج خروس زینتی تا غلظت ۱۸۰ میکرو مولار سرب، حتی در عدم کاربرد EDTA مقاومت نشان داد، پس می‌توان در فرایند گیاه پالایی خاک‌های آلوده به فلز سرب، از این گیاه استفاده کرد.

**واژه‌های کلیدی: گیاه پالایی، فلزات آلاینده ، تاج خروس زینتی، EDTA**

# فهرست مطالب

**عنوان** صفحه


**فصل اول:مقدمه**

۱-۱-گیاه پالایی..... ۳
۱-۲- انواع گیاه پالایی..... ۵
۱-۲-۱-ریشه صافی..... ۵
۱-۲-۲-ریشه تثبیتی..... ۵
۱-۲-۳-گیاه جذبی..... ۵
۱-۲-۴-گیاه تجزیه ای..... ۶
۱-۲-۵ ریشه تجزیه ای..... ۷
۱-۳- انواع گیاهان در فرایند گیاه پالایی..... ۷
۱-۳-۱-گیاهان معرف..... ۷
۱-۳-۲-گیاهان دوری گزین..... ۷
۱-۳-۳-گیاهان بیش اندوز..... ۸
۱-۴-مصرف تولیدات گیاه پالایی..... ۸
۱-۴-۱-تولید انرژی در گیاه پالایی..... ۹
۱-۵-مشکل اساسی در تکنیک گیاه پالایی..... ۱۰
۱-۶-تنش..... ۱۰
۱-۶-۱-فلزات سنگین:..... ۱۰
۱-۶-۱-۱-اهمیت مطالعه ی آلودگی فلزات سنگین..... ۱۱
۱-۶-۱-۲-توزیع فلزات سنگین در بخش های مختلف گیاه:..... ۱۱
۱-۶-۱-۳-عوامل موثر درجذب فلزات سنگین توسط گیاه..... ۱۲
۱-۶-۲-فلز سنگین سرب..... ۱۲
۱-۶-۲-۱-اثرات سمیت سرب در گیاهان..... ۱۳
۱-۶-۲-۱-۱-در سطح مورفولوژیک..... ۱۳
۱-۶-۲-۱-۲-در سطح فیزیولوژیک..... ۱۳

۱-۶-۲-۲-مکانیسم های گیاه برای کاهش سمیت سرب..... ۱۳
۱-۶-۲-۳-مسیرهای ورود سرب به محیط زیست..... ۱۴
۱-۷- خصوصیات تیره ی تاج خروس..... ۱۴
۱-۷-۱-گیاه تاج خروس زینتی (تاج خروس تاجی)..... ۱۵
۱-۷-۱-۱-خصوصیات اکولوژیکی..... ۱۵
۱-۸-کلات کننده ها..... ۱۶
۱-۸-۱-افزایش میزان حلالیت فلزات در خاک به کمک کلات کننده ها..... ۱۶
۱-۸-۲-ویژگی های یک کلات کننده ایده ال در گیاه پالایی..... ۱۷
۱-۸-۲-۱-اتیلن دی آمین ترا استیک اسید..... ۱۷
۱-۸-۲-۱-۱-تحقیقات انجام شده بر روی EDTA..... ۱۸
۱-۹-اهداف پژوهش..... ۱۹

**فصل دوم:مواد و روش ها**

۲-۲-نحوه ی اجرای آزمایش..... ۲۱
۲-۳-نحوه اعمال تیمارها..... ۲۱
۲-۴- اندازه گیری ها..... ۲۲
۲-۴-۱- اندازه گیری صفات مورفولوژی..... ۲۲
۲-۴-۱-۱- طول ریشه و بخش هوایی..... ۲۲
۲-۴-۱-۲- سطح برگ..... ۲۲
۲-۴-۱-۳-وزن خشک ریشه و اندام هوایی..... ۲۲
۲-۵-مطالعات بیوشیمیایی..... ۲۳
۲-۵-۱-مقدار رنگیزه های گیاه..... ۲۳
۲-۵-۱-۱-رنگیزه های فتوسنتزی..... ۲۳
۲-۵-۱-۲-آنتوسیانین ها..... ۲۳
۲-۵-۱-۳-فلاوونوئیدها به روش اسپکترفتومتری..... ۲۴
۲-۵-۲-پروتئین..... ۲۴
۲-۵-۳-سنجش قند..... ۲۵
۲-۵-۴- مالون دی آلدئیدMDA..... ۲۶
۲-۵-۵-پرولین:..... ۲۶
۲-۵-۶-پراکسیدهیدروژن..... ۲۷
۲-۵-۷-فعالیت گایاکول پراکسیداز (POD)..... ۲۸
۲-۵-۸-روش تهیه ی خاکستر تر گیاهی(هضم اسیدی)..... ۲۹
۲-۵-۸-۱-اندازه گیری مقدار عنصر کلسیم..... ۲۹

۲-۵-۸-۲-اندازه گیری مقدار عنصر پتاسیم..... ۲۹
۲-۵-۸-۳-سنجش مقدار سرب در گیاه..... ۳۰
۲-۵-۸-۴-محاسبه ی دو شاخص (BCF) و(TF)..... ۳۰
۲-۹-تجزیه و تحلیل آماری..... ۳۱

**فصل سوم: نتایج**

۳-۱- اثر سرب و EDTA بر وزن خشک بخش هوایی..... ۳۳
۳-۲-اثر سرب و EDTA بر وزن خشک ریشه..... ۳۳
۳-۳-اثر سرب و EDTA بر طول ساقه..... ۳۴
۳-۴-اثر سرب و EDTA بر طول ریشه اصلی..... ۳۴
۳-۵-اثر سرب وEDTA بر سطح برگ..... ۳۵
۳-۶-اثر تیمارهای مورد بررسی برمیزان کلروفیل و کاروتنوئید..... ۳۷
شکل ۵:اثر متقابل سرب و EDTA بر میزان کلروفیلA..... ۳۷
شکل ۶:اثر ساده سرب بر میزان کلروفیل B..... ۳۸
شکل۷:اثر متقابل سرب وEDTA بر مقدار کلروفیل کل..... ۳۸
شکل۸: اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار کاروتنویید..... ۳۹
۳-۷-اثر سرب وEDTA بر آنتوسیانین:..... ۳۹
۳-۸-اثر سربوEDTA بر فلاونوئید..... ۳۹
۳-۹-اثر سرب و EDTA برمقدار پروتئین..... ۴۰
۳-۱۰: اثر سرب وEDTA برمقدار قند..... ۴۲
۳-۱۱-اثر سربوEDTA برمقدار مالون دی آلدئید..... ۴۳
۳-۱۲-اثر سربوEDTA برمقدار پرولین..... ۴۵
۳-۱۳-اثر سرب وEDTA بر پراکسید هیدروژن..... ۴۶
۳-۱۴-اثر سرب و EDTA بر کلسیم ریشه و بخش هوایی :..... ۴۸
۳-۱۵-اثر سرب وEDTA بر پتاسیم ریشه و بخش هوایی..... ۵۰
۳-۱۶-اثر سربوEDTA بر گایاکول پراکسیداز..... ۵۱
۳-۱۷-انباشتگی یون سرب..... ۵۲
۳-۱۸-محاسبه ی دو شاخص BCF,TF..... ۵۴

**فصل چهارم: بحث ونتیجه گیری**

۴-۱- صفات مورفولوژیکی گیاه..... ۵۷
۴-۲-تغییرات رنگدانه های فتوسنتزی(کلروفیل ها و کاروتنوئید)..... ۵۹
۴-۳-تغییرات فلاونوئیدها..... ۶۰
۴-۴-تغییرات پروتئین..... ۶۱

۴-۵- تغییرات قند ۶۲
۴-۶-تغییرات مالون دی آلدئید ۶۳
۴-۷-تغییرات پرولین: ۶۳
۴-۸-تغییرات هیدروژن پراکسید ۶۴
۴-۹-تغییرات کلسیم ۶۵
۴-۱۰-تغییرات پتاسیم ۶۵
۴-۱۱-تغییرات آنزیم گایاکول پراکسیداز ۶۶
۴-۱۲-انباشتگی سرب در ریشه و اندام هوایی ۶۶
۴-۱۳-شاخص BCF و شاخص TF ۶۸
نتیجه گیری ۶۹
پیشنهادها ۷۰
منابع ۷۱

# فهرست شکلها


شکل۱- اثر ساده سرب بر وزن خشک اندام هوایی..... ۳۳
شکل۲-اثر ساده سرب بر طول ساقه..... ۳۴
شکل۳-اثر متقابل سرب و EDTA بر طول ریشه..... ۳۵
شکل۴- اثر ساده سرب بر میزان سطح برگ..... ۳۶
شکل ۵-:اثر متقابل سرب و EDTA بر میزان کلرفیل a..... ۳۷
شکل ۶-اثر ساده سرب بر میزان کلروفیل b..... ۳۸
شکل۷-اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار کلروفیل کل..... ۳۸
شکل۸-اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار کاروتنویید..... ۳۹
شکل۹-اثر متقابل سرب و همبند کننده EDTA بر مقدار فلاونوئید..... ۴۰
شکل۱۰- اثر متقابل سرب و همبند کننده EDTA بر میزان پروتئین بخش هوایی..... ۴۱
شکل۱۱- اثر متقابل سرب و همبند کننده EDTA بر میزان پروتئین ریشه..... ۴۲
شکل۱۲- تاثیر سطوح مختلف سرب و همبند کننده EDTA بر میزان قند بخش هوایی ..... ۴۳
شکل۱۳- تاثیر سطوح مختلف سرب و همبند کننده EDTA برمیزان قند ریشه..... ۴۳
شکل۱۴- اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار مالون دی‌الدئید بخش هوایی..... ۴۴
شکل۱۵- اثر متقابل سرب و همبند کننده EDTA بر مقدار مالون دی آلدئید ریشه..... ۴۵
شکل۱۶- اثر متقابل سرب و EDTA بر سایر پرولین بخش هوایی..... ۴۶
شکل۱۷- اثر متقابل سرب و EDTA بر میزان H2O2 بخش هوایی..... ۴۷
شکل۱۸- اثر متقابل سرب و EDTA بر میزان H2O2ریشه..... ۴۷
شکل۱۹- اثر ساده سرب بر مقدار کلسیم بخش هوایی..... ۴۸
شکل۲۰- اثر ساده EDTA بر مقدار کلسیم بخش‌هوایی..... ۵۴
شکل۲۱- اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار کلسیم ریشه..... ۴۹
شکل۲۲- اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار پتاسیم بخش هوایی..... ۵۰
شکل۲۳- اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار پتاسیم ریشه..... ۵۰
شکل۲۴- اثر متقابل سرب و EDTA بر میزان انزیم گایاکول پراکسیداز بخش هوایی..... ۵۱
شکل۲۵- اثر ساده سرب بر میزان آنزیم گایاکول پراکسیداز ریشه..... ۵۲
شکل۲۶- اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار انباشتگی سرب بخش هوایی..... ۵۳

شکل۲۷-اثر متقابل سرب و EDTA بر مقدار انباشتگی سرب ریشه.....۵۴
شکل۲۸- مقایسه شاخص انتقال (TF) در ۳ غلظت سرب,EDTA.....۵۴
شکل۲۹ - مقایسه شاخص BCFدر غلظت سرب و EDTA.....۵۵

فهرست جداول

جدول (۳-۱) تجزیه واریانس(میانگین مربعات) صفات مورفولوژیکی..... ۳۷
جدول (۳-۲) تجزیه واریانس ( میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی..... ۴۱
جدول (۳-۳) تجزیه واریانس ( میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی..... ۴۵
جدول (۳-۴) تجزیه واریانس ( میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی..... ۵۰
جدول (۳-۵) تجزیه واریانس ( میانگین مربعات) صفات فیزیولوژیکی..... ۵۶
جدول (۳-۶) محاسبه دو شاخص BCF وTF..... ۶۰

# فصل اول:

# مقدمه

همزمان با افزایش روزافزون فعالیت های صنعتی و کشاورزی به منظور پاسخ گویی به نیازهای جوامع بشری، مشکلات مختلفی گریبان‌گیر انسان شده است. از جمله این موارد می‌توان به مصرف بیش از اندازه‌ی برخی از آفت کش ها با ترکیبات شیمیایی مختلف همچون آرسنات سرب اشاره نمود[۱].

عناصر فلزی سنگین همچون سرب به علت ماندگاری زیاد در خاک و تهدید سلامتی انسان از اهمیت بالایی برخوردار هستند. سوخت های بنزینی از جمله مهمترین منابع آلودگی این عنصر درخاک‌های جهان بویژه خاک‌های سطحی به شمار می‌روند. بر اساس داده‌های آژانس حفاظت محیط زیست، سرب از جمله مهم‌ترین فلز ات آلاینده محیطی است. منابع عمده سرب عمدتا ناشی از وسایل حمل و نقل و پساب‌های خانگی و صنعتی می‌باشد[۲]. برای مقابله با مشکل فلزات سنگین درخاک‌ها روش‌های متعددی وجود دارد. از جمله‌ی این روش‌ها می‌توان به خاک‌برداری خاک‌های آلوده وجایگزینی آنها با خاک‌های غیرآلوده، شستشو و مدفون کردن مکان‌های آلوده توسط خاک‌های غیرآلوده اشاره کرد. برخی ازروش‌ها مانند شستشو اثرات نامطلوبی بر جمعیت میکروبی وحاصلخیزی خاک دارند، علاوه برآن باعث بروز مشکلات زیست محیطی زیادی به جهت انتقال این عناصر به منابع آب زیرزمینی می‌شوند. هزینه‌های زیاد مهندسی و اجرای این روش‌ها باعث غیر عملی بودن آنها شده و در نهایت این مناطق بدون این که پاکسازی عناصر سنگین در آنها انجام شود رها می‌شوند[۳].

ازجمله روش‌های پیشنهادی دیگر تثبیت فلزات سنگین موجود درخاک توسط مواد مختلف از جمله آهک است. ترکیبات فسفردار ازجمله مواد موثر در کاهش غلظت سرب دراندام‌های هوایی گیاهان می باشند. یکی از موثرترین ترکیب‌های فسفردار هیدروکسی آپاتیت است[۴].

درکل افزایش موادی از جمله هیدروکسی آپاتیت و دیگر ترکیبات مشابه باعث کاهش عناصر ضروری برای گیاهان می‌شود[۵]. و علاوه بر آن دارای اثرات منفی روی خصوصیات خاک وهمچنین آزادسازی بعضی مواد سمی می‌شوند، لذا این روش به دلیل اثرات جانبی منفی که برجای می گذارد پیشنهاد نمی‌شود[۵, ۶]. ازجمله روش‌های دیگر برای مقابله با مشکل آلایندگی فلزات سنگین استفاده ازموجودات زنده خاک است. در این روش با استفاده از موجودات زنده خاک بعضی ازآلاینده‌های آلی موجود در خاک را می‌توان تجزیه کرد ولی از آنجایی که برای آلودگی‌های فلزات سمی ناکارآمد است موارد استفاده زیادی ندارد.[۷].

از روش‌های دیگر، روش گیاه‌پالایی (Phytoremediation) است که بدلیل همگامی با طبیعت و عدم ایجاد مشکلات زیست محیطی به عنوان یک روش مناسب مطرح شده است. استفاده از سیستم زنده‌ی ریشه‌ای گیاه می‌تواند انتقال فلزات سنگین را از خاک به سایر اندام-های گیاهی میسر کند و بنابراین درطی برداشت اندام های تجمع دهنده، خروج این فلزات به صورت عملی از زمین های آلوده مسیر می‌شود[۷, ۸]. در فن‌آوری گیاه پالایی یک سری از ترکیبات هستند که بعنوان کلات کننده‌ی فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ این همبند

کننده ها موجب افزایش تحرک و جذب فلزات سنگین توسط گیاهان می‌شوند. اتیلن دی آمین ترا استیک اسید (EDTA) یک همبند کننده سنتزی است که ظرفیت بالایی در همبند کردن فلزات دارد و کمپلکس آن با فلزات، به آسانی توسط گیاه جذب می شود[۷،۹].

از طرفی استفاده از گیاهان زراعی و علوفه‌ای به منظور گیاه پالایی از خاک‌های آلوده، خطر استفاده از این گیاهان توسط انسان و دام را به همراه خواهد داشت. برای رفع این نگرانی می‌شود از گیاهان زینتی که مصرف خوراکی ندارند استفاده کرد. ولی متاسفانه مطالعات اندکی درمورد گیاه پالایی گیاهان زینتی و از طرفی دیگر مطالعات خیلی محدودی در زمینه‌ی بررسی مقدار و وسعت آلاینده‌های فلزی در ایران انجام شده است، به گونه‌ای که هنوز یک نقشه ی مدون از مقدار پراکندگی فلزات سنگین درخاک‌های ایران وجود ندارد. اما نمونه‌های یافت شده‌ی بسیار در اطراف کارخانجات صنعتی مختلف و بزرگراه‌ها ودیگر منابع آلوده‌کننده، ضرورت مطالعه روش‌های آلودگی‌زدایی در خاک‌های ایران را ایجاب می‌نماید. بنابراین هدف از این مطالعه بررسی گیاه پالایی تاج خروس زینتی در برابر تنش سرب و اثر اتیلن دی امین ترا استیک اسید به عنوان یک عامل کلات کننده در جذب فلز مورد نظر می باشد.

## ۱-۱-گیاه پالایی

ایده اولیه‌ی استفاده از گیاهان برای پالایش زیست محیطی تقریبا قدیمی است. با این وجود، این فن آوری تا قبل از سال ۱۹۴۸ وجود نداشت. تعدادی از پژوهشگران ایتالیایی برای نخستین بار تجمع بالای نیکل را در گیاه *Alyssum bertolonii* گزارش کردند. در سال ۱۹۶۲ تحقیقاتی با استفاده از گیاهان آبی برای پالایش آب‌های آلوده به مواد رادیواکتیو در مناطق هسته‌ای روسیه شروع گردید. آنها دریافتند که برخی گیاهان رشد یافته در آب‌های آلوده، بدون نشان دادن علایم سمیت، قادر به تجمع مقادیر بالای از فلزات در بافت‌هایشان هستند[۹].

شانی (Chaney) اولین دانشمند امریکایی بود که در سال ۱۹۸۳گزارش خود را درباره پتانسیل گیاهان بیش انباشتگر به عنوان پاک‌کننده محل‌های آلوده منتشر کرد[۱۰]. مزایای قابل توجه تکنولوژی‌های گیاه پالایی در یک دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است و هم اکنون مراحل تجاری شدن خود را طی می‌کند. برای مثال ۳۰ درصد پروژه‌های تحقیقات سازمان محیط زیست آمریکا (EPA) در سال ۲۰۰۰ اختصاص به پروژه‌های گیاه پالایی فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو داشت.گیاه پالایی به عنوان یک روش مورد قبول برای پالایش خاک‌های الوده به فلزات توصیه شده است[۷].

در دهه‌های گذشته ورود آلاینده‌ها با منشاء انسانی مانند فلزات سنگین، درون اکوسیستم به مقدار زیاد افزایش یافته است که این به عنوان یک خطر جدی برای حیات اکوسیستم زمین به

شمار می‌رود. فلزات سنگین در یک مقیاس وسیع وارد محیط زیست می‌گردند. تجمع این فلزات در خاک، آب و هوا یک مشکل زیست محیطی بسیار مهم به شمار می‌رود. از این رو محققان به فکر راهکار مناسبی جهت کاهش این آلودگی‌های زیست محیطی شدند، تحقیقات نشان داده است که حضور برخی گونه‌های گیاهی می‌تواند اثرات بسزایی در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی داشته باشد[۱۱]. این فرایند که گیاه پالایی یا Phytoremediation نامیده می‌شود، از پیشوند یونانی Phyto به معنی گیاه و لاتین remidium به معنی اصلاح یا حذف مواد زیان آور است. گیاه پالایی فناوری مبتنی بر تلفیق فعالیت گیاهان وجامعه میکروبی همراه آن، برای تجزیه، انتقال، غیر فعال کردن و ساکن سازی (ایموبلیزه کردن) ترکیبات آلاینده خاک و آبهای زیرزمینی است[۱۲]. گیاه پالایی درحقیقت روش بکارگیری گیاهان سبز جهت خارج کردن مواد خاص ازخاک می‌باشد. گیاه پالایی درمقایسه با بعضی ازروشها ازجمله جایگزینی خاک‌های آلوده با خاک‌های غیر آلوده و مدفون کردن خاک‌های آلوده، روش پایدار و کم هزینه‌ی است. حفظ رفتار و ویژگ‌های خاک و بهبود حیات موجودات زنده خاک از جمله مزایای این روش به حساب می‌آید[۱۳].

مهم‌ترین ترکیبات معدنی آلاینده، فلزات سنگین هستند و میکروارگانیسم‌های خاک قادر به تجزیه آلاینده‌های آلی می‌باشند، اما برای تجزیه میکروبی فلزات، نیاز به آلی شدن یا تغییرات فلزی آنها وجود دارد که امروزه از گیاهان برای این منظور استفاده می‌شود. پیش از این به منظور پاکسازی خاک‌های آلوده از روش‌هایی پر هزینه استفاده می‌شده است. بر اساس تحقیقات صورت گرفته، رفع آلودگی خاک معمولا با دو روش خارج از محل و در محل صورت می‌گیرد. در روش خارج از محل، خاک آلوده به مکان دیگری انتقال یافته و پس از رفع آلودگی به مکان اولیه برگردانده می‌شود. در روش دیگر که نیاز به جابه‌جایی و انتقال خاک ندارد آلاینده‌ها با آلی شدن، از قابلیت جذب زیستی آنها کاسته می‌شود [۹, ۱۴]. برای کاهش آلودگی آلاینده‌های معدنی در خاک می‌توان از روش‌های آلی کردن، کمپلکس کردن استفاده کرد. اما بیشتر این روش‌ها گران بوده و سبب تخریب محیط زیست می‌شوند. روش گیاه‌پالایی به روش پالایش سبز نیز معروف است. متاسفانه علی‌رغم این پتانسیل، هنوز در برخی از کشورها به عنوان یک فناوری، استفاده تجاری ندارد. گیاه پالایی یعنی استفاده از مهندسی گیاهان سبز شامل گونه‌های علفی و چوبی برای جذب مواد آلاینده از آب و خاک به منظور کاهش خطرات آلاینده‌های محیط زیست نظیر فلزات سنگین، عناصر کمیاب، ترکیبات آلی و مواد رادیواکتیو می باشد[۱۴]. در سال‌های اخیر با تحقیقات گسترده‌ای که در زمینه‌ی گیاه پالایی انجام گرفته است محققان دریافتند که این روش نه تنها اقتصادی است بلکه بسیار موثرتر از روش های گذشته می‌باشد.

## ۱-۲- انواع گیاه پالایی

### ۱-۲-۱-ریشه صافی[1]

ریشه صافی می تواند به عنوان یک روش آلودگی زدایی فلزات سنگین ازفاضلاب‌ها و آب‌های آلوده قبل از ورود آنها به خاک مورد استفاده قرار گیرد . قابلیت بالای بعضی ازگیاهان درجذب فلزات سنگین ازمحیط‌های محلول آلوده اساس این روش را تشکیل می‌دهد[۱۵] .

دراین حالت ریشه‌ی گیاهان در آب‌های آلوده رشد کرده و فلزات سنگین موجود در آب توسط ریشه‌ی گیاهان جذب و یا جذب سطحی می‌شود. برای این که یک گیاه قابلیت بیشتری در جذب آلاینده‌ها ازآب‌های آلوده داشته باشد لازم است مقاومت زیادی در برابر آلودگی و شرایط ناساعد داشته و علاوه بر آن دارای نسبت وزنی ریشه به ساقه ی بالایی باشد. این تکنیک شامل استفاده گیاهان خاکی و آبی به منظور جذب، تغلیظ و رسوب آلودگی‌ها از منابع آلاینده آبی بر روی ریشه گیاهان می‌باشد[۱۵, ۱۶].

### ۱-۲-۲-ریشه تثبیتی [2]

این تکنیک پالایشی باعث غیرمتحرک کردن و تثبیت فلزات در خاک های آلوده می‌شود. ازمزایای این روش می‌توان به کم هزینه بودن آن اشاره کرد. عموما درمکان های آلوده‌ای که خروج فلزات ازخاک ازروش‌های دیگر مقرون به صرفه نیست سعی می‌شود پایداری خاک‌های آلوده را به گونه‌ای افزایش داد که مانع از ورود این فلزات به آب‌های سطحی یا زیرسطحی شد[۱۷]. در واقع ریشه‌ی گیاه مانع از گسترش آلودگی در محیط ریزوسفر می‌شود.

### ۱-۲-۳-گیاه جذبی[3]

این تکنیک شناخته شده‌ترین روش پالایش در میان تکنولوژی‌های گیاه پالایی است و اکثر تحقیقات در این زمینه تمرکز یافته است. مراحل گیاه‌پالایی شامل استفاده از گیاهان به منظور

---

1-Rhizofiltration
2-Rhizostabilization
3-Phytoextraction

حذف آلودگی‌های فلزی و رادیواکتیو از محیط خاک می‌باشد. این روش بهترین راهکار به منظور حذف آلودگی‌های اولیه از خاک و ایزوله کردن آنها بدون تخریب ساختار خاک و حاصلخیزی آن می‌باشد. در این روش خاصیت phytoaccumulation گیاهان باعث جذب و تغلیظ آلودگی‌های خاک در بیوماس گیاهی می‌شود. اگر دسترسی این فلزات در خاک برای گیاهان مناسب نباشد ممکن است استفاده از کلات‌کننده‌های سنتزی یا ترکیبات اسیدزا به منظور آزاد شدن آنها به داخل محلول خاک و جذب کافی آنها در گیاه لازم باشد. دراین بخش ازگیاهانی استفاده می‌شود که توانایی بالای جذب فلزات سنگین ازخاک را توسط ریشه داشته باشند و علاوه برآن بتوانند مقدار زیادی از فلزات سنگین جذب شده را به اندام هوایی انتقال دهند. گیاهانی برای گیاه جذبی مطلوب هستند که دارای تولید زیست‌توده‌ی زیاد، توانایی جذب بالا به طور ژنتیکی و کشت و کار راحت باشند[۱۸]. با خروج اندام هوایی حاوی فلزات سنگین از زمین‌های آلوده، خروج عناصر سنگین بدون این که خاک سطحی از مناطق آلوده برداشت و جابه‌جا شود امکان‌پذیر است. اندام‌های گیاهان زراعی مربوطه توسط عملیات زراعی برداشت می‌شوند و اگر مقدار محتویات فلزات سنگین موجود در اندام هوایی درحدی باشد که توجیه اقتصادی داشته باشند، طی فرایندهای دیگر برای جداسازی فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند[۸].

## ۱-۲-۴-گیاه تجزیه‌ای[1]

در این روش یکسری از فعالیت‌های متابولیسمی گیاهان باعث کاهش و حذف آلودگی‌ها از طریق تغییر شکل دادن، شکستن، تثبیت و تبدیل کردن آن‌ها به ترکیبات فرار می‌شود. در این روش مواد آلی به مولکول‌های ساده‌تر در بافت‌های گیاهی تجزیه می‌شوند. این تکنیک توسط گیاهانی انجام می‌شود که می‌توانند عناصر را به فرم فرار خود تبدیل کنند و بدین وسیله باعث خروج آلاینده‌ها از آب و یا خاک‌های آلوده شوند[۱۹].

1-Phytodegradation