







دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی عمران

## بررسی عملکرد زائادات گردو به عنوان جاذب برای حذف رنگ از محلول‌های حاوی رنگینه‌های نساجی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-مهندسی محیط زیست

فائزه السادات اسلامیان

استادان راهنما

دکتر امیر تائبی

دکتر هستی هاشمی نژاد



دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی محیط زیست خانم فائزه السادات اسلامیان

تحت عنوان

بررسی عملکرد زائادات کردو به عنوان جاذب برای حذف رنگ از محلول های حاوی رنگینه های نساجی

در تاریخ ۹۰/۱۲/۸ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

- |                        |                                  |
|------------------------|----------------------------------|
| دکتر امیر تائبی        | ۱- استاد راهنمای پایان نامه      |
| دکتر هستی هاشمی نژاد   | ۲- استاد راهنمای پایان نامه      |
| دکتر سید سعید اسلامیان | ۳- استاد مشاور پایان نامه        |
| دکتر سید مجید مرتضوی   | ۴- استاد داور (اختیاری)          |
| دکتر محمد مهدی امین    | ۵- استاد داور (اختیاری)          |
| دکتر عبدالرضا کبیری    | ۶- سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده |

## تقدیم و تشکر

در ابتدا از اساتید راهنمای گرامی این پایان‌نامه، دکتر امیر تائبی و دکتر هستی هاشمی‌نژاد که با صبر و حوصله راهنمایی این پایان‌نامه را تقبل کردند و تجربیات ارزشمند خود را در اختیار من نهادند، تشکر می‌کنم.

سپس از پدر و مشاورم، دکتر سید سعید اسلامیان، به خاطر پشتیبانی و راهنمایی همیشگی او در همه‌ی مراحل زندگی و همچنین از مادر و برادرم که همیشه همراه من بودند، بی‌نهایت سپاس گزارم.

از داوران محترم، دکتر سید مجید مرتضوی و دکتر محمد مهدی امین که داوری این پایان‌نامه را به عهده گرفتند، تشکر می‌نمایم.

در نهایت از مسئول آزمایشگاه محیط‌زیست عمران، سرکار خانم بهناز هرندی‌زاده به خاطر همکاری‌شان و تمامی عزیزانی که در به ثمر رسیدن این کار تحقیقی به نوعی نقشی داشتند، مراتب قدردانی خود را اعلام می‌دارم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،  
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع  
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی  
اصفهان است.

## فهرست مطالب

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
فهرست مطالب	هفت
فهرست شکل ها	یازده
فهرست جدول ها	سیزده
چکیده	۱
<b>فصل اول: مقدمه</b>	
۱-۱- کلیات	۲
۲-۱- اهداف	۴
۳-۱- سامان دهی پروژه	۵
<b>فصل دوم: رنگینه ها و روش های حذف آن ها</b>	
۱-۲- مقدمه	۶
۲-۲- رنگ	۷
۳-۲- مواد رنگزا	۷
۱-۳-۲- تاریخچه مواد رنگزا	۸
۲-۳-۲- طبقه بندی و کاربرد مواد رنگزا	۹
۴-۲- روش های حذف مواد رنگزا	۱۳
۱-۴-۲- فیلتراسیون غشایی	۱۵
۲-۴-۲- اکسیداسیون	۱۶
۳-۴-۲- تصفیه الکتروشیمیایی	۱۶
۴-۴-۲- تبادل یون	۱۷
۵-۴-۲- جذب	۱۷
<b>فصل سوم: فرآیند جذب</b>	
۱-۳- مقدمه	۱۹
۲-۳- جذب	۲۰
۳-۳- جاذب	۲۲
۴-۳- جاذب های ارزان قیمت	۲۵
۵-۳- پیشینه تاریخی	۲۵

۲۶	۳-۵-۱- پیشینه تاریخی حذف رنگ توسط کربن فعال
۲۷	۳-۵-۲- پیشینه تاریخی حذف رنگ توسط جاذب‌های ارزان قیمت
۳۱	۳-۶-۱- مدل‌های ایزوترم جذب
۳۲	۳-۶-۱- مدل ایزوترم جذب لانگمویر
۳۳	۳-۶-۲- مدل ایزوترم جذب فرنلیچ
۳۴	۳-۶-۳- مدل ایزوترم جذب BET
۳۵	۳-۷-۱- مدل‌های سینتیک جذب
۳۵	۳-۷-۱- مدل سینتیک جذب شبه مرتبه اول
۳۶	۳-۷-۲- مدل سینتیک جذب شبه مرتبه دوم
۳۶	۳-۷-۳- مدل سینتیک جذب ایلوویچ

#### فصل چهارم: مواد و روش‌ها

۳۸	۴-۱- مقدمه
۳۸	۴-۲- وسایل و مواد استفاده شده
۴۱	۴-۳- رنگینه‌های مورد استفاده در این پژوهش
۴۲	۴-۴- جاذب ارزان قیمت مورد بررسی در این پژوهش
۴۲	۴-۴-۱- گردو
۴۵	۴-۴-۲- پوست گردو
۴۶	۴-۴-۳- آماده‌سازی جاذب پوست گردو
۴۷	۴-۴-۴- آزمایش طیف‌سنجی IR
۴۸	۴-۵- آماده‌سازی و تهیه محلول‌های مورد نیاز
۴۸	۴-۵-۱- تهیه محلول رنگ استاندارد
۴۸	۴-۵-۲- اسید هیدروکلریک و سود
۴۸	۴-۶- آماده‌سازی ظروف
۴۸	۴-۷- اندازه‌گیری غلظت رنگ
۴۸	۴-۷-۱- اصول اندازه‌گیری غلظت رنگ
۴۹	۴-۷-۲- اندازه‌گیری طول موج حداکثر جذب
۵۰	۴-۷-۳- رسم منحنی کالیبراسیون و محاسبه غلظت نهایی
۵۱	۴-۷-۴- محاسبه راندمان رنگزدایی
۵۲	۴-۸- تنظیم pH
۵۲	۴-۹- طرح آزمایش‌ها
۵۴	۴-۹-۱- طرح آزمایش فاکتوریل کامل



۵۵.....	۱۰-۴- روش انجام آزمایش‌های اصلی
۵۵.....	۱۰-۴-۱- آزمایش‌های سینتیک جذب و تعیین زمان تعادل
۵۶.....	۱۰-۴-۲- آزمایش‌های ایزوترم جذب
۵۶.....	۱۰-۴-۳- آزمایش‌های بهینه‌سازی پارامترهای جذب
۵۷.....	۱۱-۴- آنالیز آماری آزمایش‌ها
۵۷.....	۱۱-۴-۱- تحلیل واریانس
۶۰.....	۱۱-۴-۲- آزمون مقایسه میانگین LSD

### فصل پنجم: مواد و نتایج و بحث

۶۱.....	۱-۵- مقدمه
۶۲.....	۲-۵- آنالیز جاذب
۶۲.....	۲-۵-۱- آنالیز IR
۶۳.....	۳-۵- سینتیک جذب
۶۳.....	۳-۵-۱- آزمایش‌های بررسی سینتیک جذب
۶۴.....	۳-۵-۲- نتایج آماری آزمایش‌های سینتیک جذب
۶۵.....	۳-۵-۳- تعیین زمان تعادل
۶۷.....	۳-۵-۴- مدل سینتیک جذب
۷۲.....	۴-۵- ایزوترم جذب
۷۲.....	۴-۵-۱- آزمایش‌های ایزوترم جذب
۷۴.....	۴-۵-۲- مدل‌های ایزوترم جذب
۸۱.....	۵-۵- پارامترهای مؤثر بر جذب
۸۱.....	۵-۵-۱- آزمایش‌های اولیه جهت طرح آزمایش
۸۴.....	۵-۵-۲- نتایج آماری آزمایش‌های بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر جذب
۸۷.....	۵-۵-۳- آنالیز واریانس (ANOVA)
۹۴.....	۵-۵-۴- بررسی عوامل مؤثر طرح فاکتوریل (آزمون میانگین LSD)
۱۰۱.....	۵-۶- شرایط بهینه جذب
۱۰۲.....	۵-۷- مقایسه با کربن فعال

### فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۰۳.....	۶-۱- نتیجه‌گیری
۱۰۳.....	۶-۱-۱- جاذب
۱۰۴.....	۶-۱-۲- سینتیک جذب

۱۰۴.....	۳-۱-۶- ایزوترم جذب .....
۱۰۵.....	۴-۱-۶- پارامترهای موثر بر جذب .....
۱۰۷.....	۲-۶- محدودیت‌های پژوهش .....
۱۰۷.....	۳-۶- پیشنهادات .....
۱۰۹.....	مراجع .....
۱۱۳.....	چکیده انگلیسی .....

## فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

### فصل دوم: رنگینه‌ها و روش‌های حذف آن‌ها

- ۱-۲- چندین گروه کروموفوری متداول حاضر در رنگینه‌های آلی..... ۹
- ۲-۲- الگوریتم فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب نساجی..... ۱۴

### فصل سوم: فرآیند جذب

- ۱-۳- تصویری شماتیک از جذب سطحی..... ۲۰
- ۲-۳- منحنی تغییرات مقدار ماده جذب شده بر روی جاذب نسبت به دما در فرآیند جذب فیزیکی..... ۲۱
- ۳-۳- منحنی تغییرات مقدار ماده جذب شده بر روی جاذب نسبت به دما در فرآیند جذب شیمیایی..... ۲۱
- ۴-۳- تصویری شماتیک از انواع منافذ بر اساس اندازه..... ۲۲
- ۵-۳- کربن فعال در سمت راست و تصویر میکروسکوپی آن در سمت چپ..... ۲۴
- ۶-۳- تصویر شماتیک جذب تک‌لایه‌ای در ایزوترم جذب لانگمویر..... ۳۲
- ۷-۳- تصویر شماتیک جذب چندجایگاهی در ایزوترم جذب فرندلیچ..... ۳۳
- ۸-۳- تصویر شماتیک جذب چندلایه‌ای در ایزوترم جذب BET..... ۳۴

### فصل چهارم: مواد و روش‌ها

- ۱-۴- وسایل و مواد مورد استفاده..... ۴۰
- ۲-۴- ساختار مولکولی رنگینه‌های مورد استفاده در این پژوهش..... ۴۲
- ۳-۴- تصویری از درخت گردو (در سمت راست) و میوه درخت گردو (در سمت چپ)..... ۴۳
- ۴-۴- تصویری از پوسته گردو خرد شده (سمت راست) و پودر پوست گردو عبوری از الک #۵۰ (سمت چپ)..... ۴۶
- ۵-۴- طیف نور و محدوده‌ی طیف نور مادون قرمز..... ۴۷
- ۶-۴- منحنی‌های جذب نور در مقابل طول موج برای تعیین طول موج حداکثر..... ۵۰
- ۷-۴- منحنی‌های کالیبراسیون برای سه رنگینه‌ی مورد استفاده..... ۵۱

### فصل پنجم: نتایج و بحث

- ۱-۵- نمودار آنالیز طیف IR برای جاذب (پوست گردو)..... ۶۲
- ۲-۵- نمودار تأثیر زمان تماس بر راندمان جذب رنگ قرمز اسیدی ۸۸ توسط پوست گردو..... ۶۵
- ۳-۵- نمودار تأثیر زمان تماس بر راندمان جذب رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ توسط پوست گردو..... ۶۵
- ۴-۵- نمودار تأثیر زمان تماس بر راندمان جذب رنگ آبی مستقیم ۱۵ توسط پوست گردو..... ۶۶
- ۵-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه اول با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸..... ۶۷

- ۶-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه دوم با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۶۸
- ۷-۵- منحنی برازش داده شده مدل ایلویچ با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۶۸
- ۸-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه اول با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۶۹
- ۹-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه دوم با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۶۹
- ۱۰-۵- منحنی برازش داده شده مدل ایلویچ با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۶۹
- ۱۱-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه اول با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۷۰
- ۱۲-۵- منحنی برازش داده شده مدل شبه مرتبه دوم با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۷۰
- ۱۳-۵- منحنی برازش داده شده مدل ایلویچ با داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۷۱
- ۱۴-۵- منحنی های تغییرات غلظت نهایی رنگ قرمز اسیدی ۸۸ بر حسب ظرفیت جذب برای غلظت‌های اولیه مختلف ..... ۷۲
- ۱۵-۵- منحنی های تغییرات غلظت نهایی رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ بر حسب ظرفیت جذب برای غلظت‌های اولیه مختلف ..... ۷۳
- ۱۶-۵- منحنی های تغییرات غلظت نهایی رنگ آبی مستقیم ۱۵ بر حسب ظرفیت جذب برای غلظت‌های اولیه مختلف ..... ۷۳
- ۱۷-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب لانگمویر با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۷۴
- ۱۸-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب لانگمویر با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۷۵
- ۱۹-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب لانگمویر با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۷۵
- ۲۰-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب فرندلیچ با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۷۷
- ۲۱-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب فرندلیچ با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۷۷
- ۲۲-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب فرندلیچ با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۷۸
- ۲۳-۵- بررسی تطابق مدل ایزوترم جذب BET با داده‌های آزمایشگاهی برای حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۷۹
- ۲۴-۵- نمودار تأثیر سایز جاذب بر روی راندمان حذف رنگ برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۸۲
- ۲۵-۵- نمودار تأثیر سرعت اختلاط بر روی راندمان حذف رنگ برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۸۳
- ۲۶-۵- هیستوگرام فراوانی درصد حذف رنگ قرمز اسیدی ۸۸ توسط پوست گردو ..... ۸۵
- ۲۷-۵- هیستوگرام فراوانی درصد حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ توسط پوست گردو ..... ۸۵
- ۲۸-۵- هیستوگرام فراوانی درصد حذف رنگ آبی مستقیم ۱۵ توسط پوست گردو ..... ۸۵
- ۲۹-۵- نمودار میله‌ای مقایسه‌ی راندمان حذف سه رنگ مورد بررسی در این پژوهش ..... ۸۶
- ۳۰-۵- هیستوگرام فراوانی کلی (بدون احتساب نوع رنگ) برای راندمان حذف رنگ ..... ۸۷
- ۳۱-۵- نمودار دایره‌ای میزان مشارکت عوامل در حذف رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۸۸
- ۳۲-۵- نمودار دایره‌ای میزان مشارکت عوامل در حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ ..... ۸۹
- ۳۳-۵- نمودار دایره‌ای میزان مشارکت عوامل در حذف رنگ آبی مستقیم ۱۵ ..... ۹۰
- ۳۴-۵- نمودار دایره‌ای کلی درصد مشارکت عوامل در حذف رنگ توسط پوست گردو ..... ۹۲
- ۳۵-۵- نمودار تأثیر عامل میزان دز جاذب بر درصد حذف رنگ ..... ۹۶
- ۳۶-۵- نمودار تأثیر عامل غلظت اولیه رنگ بر درصد حذف رنگ ..... ۹۸

۳۷-۵- نمودار کلی تأثیر عامل غلظت اولیه رنگ بر راندمان حذف ..... ۹۹

## فهرست جدول‌ها

صفحه

عنوان

### فصل دوم: رنگینه‌ها و روش‌های حذف آن‌ها

۱-۲- ارتباط بین طول موج و رنگ جذب شده و رنگ مشاهده شده ..... ۷

### فصل سوم: فرآیند جذب

۱-۳- طبقه‌بندی جاذب‌ها بر اساس اندازه منافذ ..... ۲۲

۲-۳- جاذب‌های متداول و کاربرد آن‌ها ..... ۲۳

۳-۳- عملکرد جاذب‌های ارزان‌قیمت در حذف رنگینه‌های بازی ..... ۲۹

۴-۳- عملکرد جاذب‌های ارزان‌قیمت در حذف رنگینه‌های اسیدی ..... ۳۰

۵-۳- عملکرد جاذب‌های ارزان‌قیمت در حذف رنگینه‌های مستقیم و راکتیو ..... ۳۱

### فصل چهارم: مواد و روش‌ها

۱-۴- مشخصات دستگاه‌ها و وسایل مورد استفاده در این پروژه ..... ۳۹

۲-۴- مشخصات مواد استفاده شده در این پروژه ..... ۳۹

۳-۴- مشخصات رنگینه‌های استفاده شده در این پروژه ..... ۴۱

۴-۴- تولید گردو به تن در سال ۲۰۰۵ در کل جهان ..... ۴۴

۵-۴- خصوصیات شیمیایی پوست گردو ..... ۴۵

۶-۴- خصوصیات فیزیکی پوست گردو ..... ۴۶

۷-۴- جدول انتخاب طرح آزمایش مناسب بر اساس تعداد عوامل و نوع هدف آزمون ..... ۵۳

۸-۴- عوامل و سطوح مورد بررسی با طرح آزمایش فاکتوریل کامل در این پژوهش ..... ۵۵

### فصل پنجم: نتایج و بحث

۱-۵- نتایج و تفسیر آنالیز طیف IR برای جاذب (پوست گردو) ..... ۶۳

۲-۵- عوامل و سطوح در نظر گرفته شده در بررسی سینتیک جذب رنگینه قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۶۳

۳-۵- عوامل و سطوح در نظر گرفته شده در بررسی سینتیک جذب رنگینه‌های آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ ..... ۶۴

۴-۵- خلاصه نتایج آماری آزمایش‌های سینتیک جذب بر حسب راندمان حذف رنگ ..... ۶۴

۵-۵- خلاصه نتایج تطابق مدل سینتیک جذب بر داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ ..... ۶۸

- ۶-۵- خلاصه نتایج تطابق مدل سینتیک جذب بر داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی اسیدی ۱۱۳..... ۷۰
- ۷-۵- خلاصه نتایج تطابق مدل سینتیک جذب بر داده‌های آزمایشگاهی برای رنگ آبی مستقیم ۱۵..... ۷۱
- ۸-۵- ضرایب حاصل از تطابق مدل ایزوترم جذب لانگمویر با داده‌های آزمایشگاهی در حذف رنگ توسط جاذب..... ۷۶
- ۹-۵- ضرایب حاصل از تطابق مدل ایزوترم جذب فرندلیچ با داده‌های آزمایشگاهی در حذف رنگ توسط جاذب..... ۷۸
- ۱۰-۵- ضرایب حاصل از تطابق مدل ایزوترم جذب BET با داده‌های آزمایشگاهی در حذف رنگ آبی اسیدی ۱۱۳..... ۸۰
- ۱۱-۵- عوامل و سطوح مورد بررسی در آزمایش‌های بهینه‌سازی جذب رنگ توسط پوست گردو..... ۸۴
- ۱۲-۵- خلاصه نتایج آماری آزمایش‌های بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر بر جذب بر حسب راندمان حذف..... ۸۴
- ۱۳-۵- نتایج آنالیز واریانس مرکب و تأثیر متقابل عوامل برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸..... ۸۸
- ۱۴-۵- نتایج آنالیز واریانس مرکب و تأثیر متقابل عوامل برای رنگ آبی اسیدی ۱۱۳..... ۸۹
- ۱۵-۵- نتایج آنالیز واریانس مرکب و تأثیر متقابل عوامل برای رنگ آبی مستقیم ۱۵..... ۹۰
- ۱۶-۵- نتایج کلی آنالیز واریانس مرکب و تأثیر متقابل عوامل در حذف رنگ توسط پوست گردو..... ۹۳
- ۱۷-۵- نتایج آزمون LSD برای نوع رنگینه..... ۹۴
- ۱۸-۵- نتایج آزمون LSD برای میزان دز جاذب..... ۹۵
- ۱۹-۵- نتایج آزمون LSD برای غلظت اولیه رنگ..... ۹۷
- ۲۰-۵- نتایج کلی آزمون LSD برای غلظت اولیه رنگ بدون احتساب نوع رنگینه..... ۹۸
- ۲۱-۵- نتایج آزمون LSD برای تأثیر pH..... ۹۹
- ۲۲-۵- نتایج آزمون میانگین برای تأثیر متقابل دز جاذب و غلظت اولیه رنگ..... ۱۰۱
- ۲۳-۵- شرایط بهینه‌ی و حداکثر ظرفیت جذب رنگ توسط پوست گردو..... ۱۰۱
- ۲۴-۵- مقایسه عملکرد کربن فعال با پوست گردو برای حذف سه رنگ مورد بررسی در شرایط بهینه این پژوهش..... ۱۰۲

## چکیده

رنگینه‌ها یکی از مهمترین آلاینده‌های محیط‌زیست و منابع آبی هستند که به دلیل ماهیت خطرناک خود و همچنین از لحاظ زیبایی، همواره مشکلاتی را برای محیط‌زیست به همراه دارند و وجود آن‌ها در منابع آبی، موجب برهم زدن تعادل اکوسیستم می‌شود. امروزه به دلیل تخلیه‌ی مقادیر زیادی از فاضلاب‌های حاوی رنگ صنایع نساجی به منابع آب‌های طبیعی و همچنین وضع قوانین سختگیرانه‌تر توسط دولت‌ها و سازمان‌های محیط‌زیست، از این رو حذف رنگ از فاضلاب‌های نساجی از اهمیت خاصی برخوردار است. روش‌های حذف گوناگونی برای جداسازی رنگ از محلول‌های آبی موجود است. از میان روش‌های متداول، روش جذب سطحی مؤثرترین روش در حذف رنگ از محلول‌های آبی حاوی رنگ به شمار می‌آید. راندمان رنگ‌زدایی فرآیند جذب به میزان زیادی به نوع جاذب انتخاب شده بستگی دارد. متداول‌ترین جاذب به دلیل ظرفیت بالای جذب آن، کربن فعال می‌باشد. اما به دلیل گران‌قیمت بودن آن و مشکلاتی که در فرآیند احیا و بازسازی آن وجود دارد، محققان در صدد جایگزین کردن آن با دیگر جاذب‌ها از جمله جاذب‌های ارزان قیمت و طبیعی می‌باشند. یک دسته مهم و کارآمد از این جاذب‌های ارزان قیمت، زاننات کشاورزی هستند که امکان استفاده مجدد از آن‌ها در حذف رنگ از محلول‌های آبی، می‌تواند قدم مهمی جهت حفاظت از محیط‌زیست محسوب شود.

هدف از انجام این پژوهش، بررسی عملکرد زاننات گردو در حذف رنگ از محلول‌های آبی حاوی رنگینه‌های نساجی است. در این تحقیق از پوست گردو به عنوان یک جاذب ارزان قیمت در حذف سه رنگینه‌ی قرمز اسیدی ۸۸، آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ استفاده شده است و پارامترهای مؤثر بر جذب رنگ از جمله غلظت اولیه‌ی رنگ در چهار سطح (۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر)، دز جاذب در چهار سطح (۵، ۱۰، ۲۰ و ۳۵ گرم در لیتر) و pH در سه سطح (۴، ۶، ۸)، از طریق طرح آزمایش فاکتوریل کامل مورد بررسی قرار گرفت. کلیه آزمایش‌های این پژوهش در سه بخش انجام پذیرفت.

در بخش اول آزمایش‌های سینتیک جذب (۱۱۲ آزمایش) انجام گرفت که بر اساس آن اثر زمان تماس بر فرآیند جذب رنگ بررسی و زمان تعادل تعیین گردید. زمان رسیدن به تعادل در فرآیند جذب رنگ قرمز اسیدی ۸۸ توسط پوست گردو برابر ۹۰ دقیقه و برای دو رنگ آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ برابر ۱۲۰ دقیقه محاسبه گردید. سپس تطابق داده‌های آزمایشگاهی بدست آمده از آزمایش‌های سینتیک جذب با سه مدل سینتیک جذب شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و ایلویچ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که داده‌های آزمایشگاهی حاصل از فرآیند حذف رنگ توسط جاذب پوست گردو با مدل سینتیک جذب شبه مرتبه دوم برازش مناسب‌تری دارد.

در بخش دوم آزمایش‌های ایزوترم جذب انجام گرفت که بر اساس آن، ظرفیت جذب حداکثر جاذب پوست گردو در حذف سه رنگینه‌ی قرمز اسیدی ۸۸، آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ به ترتیب ۲۴/۶، ۱۵/۴، ۱۱/۳ میلی‌گرم بر گرم محاسبه گردید. همچنین در این قسمت، تطابق داده‌های آزمایشگاهی با سه مدل ایزوترم جذب متداول لانگمویر، فرنللیچ و BET مورد بررسی قرار گرفت و براساس نتایج بدست آمده از آن، به طور کلی سه رنگینه با مدل ایزوترم جذب فرنللیچ برازش مناسب‌تری داشتند.

در بخش سوم ۲۸۸ آزمایش به منظور بررسی پارامترهای مؤثر بر راندمان حذف رنگ توسط پوست گردو انجام گرفت. براساس آنالیزهای آماری انجام گرفته، حدود ۷۰٪ داده‌ها دارای درصد حذف رنگی در بازه ۱۰۰-۷۰ بودند. راندمان حذف رنگ حداکثر برای سه رنگ قرمز اسیدی ۸۸، آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ برابر ۹۶/۶، ۹۶/۴، ۸۷/۴ درصد گزارش گردید. نتایج آنالیز واریانس نشان داد که عامل دز جاذب با درصد مشارکت ۴۹٪ دارای بیشترین تاثیر در حذف رنگ توسط پوست گردو است. با افزایش دز جاذب، راندمان حذف رنگ افزایش می‌یابد. این در حالی است که با افزایش غلظت اولیه‌ی رنگ، راندمان رنگ‌زدایی کاهش می‌یابد. تغییر pH، تغییر چندانی بر روی این راندمان از خود نشان نداد. نتایج مقایسه راندمان حذف رنگ توسط پوست گردو با کربن فعال در شرایط بهینه برای این سه رنگینه، نشان داد که پوست گردو راندمان حذف بالاتری برای دو رنگینه‌ی آبی اسیدی ۱۱۳ و آبی مستقیم ۱۵ و راندمان مشابهی برای رنگ قرمز اسیدی ۸۸ دارد. از این رو، به علت ارزان قیمت و در دسترس تر بودن پوست گردو نسبت به کربن فعال، جاذب پوست گردو در حذف این سه رنگینه‌ی مورد بررسی در این پژوهش نسبت به کربن فعال برتری دارد.

به طور کلی پوست گردو با حداکثر اندازه ذرات ۳۰۰ میکرون، قادر به حذف بهینه‌ی این سه رنگینه در شرایط آزمایشگاهی: غلظت اولیه رنگ ۲۵ میلی‌گرم در لیتر، دز جاذب ۳۵ گرم در لیتر، pH طبیعی (حدود ۷)، زمان تعادل ۱۲۰ دقیقه، سرعت شیکر ۱۶۰ دور بر دقیقه و دمای آزمایشگاهی (۲۵±۲) است.

**کلمات کلیدی:** جذب سطحی، رنگینه، پوست گردو، سینتیک، ایزوترم

## فصل اول

### مقدمه

#### ۱-۱ کلیات

امروزه تخلیه‌ی مقادیر زیادی از فاضلاب‌های حاوی رنگ حاصل از صنایع نساجی، کاغذ و پلاستیک سازی، مواد آرایشی و غذایی و غیره به منابع آب‌های طبیعی، مشکلات جدی را به وجود آورده است. فاضلاب‌های صنعتی برخلاف سایر فاضلاب‌ها حاوی مقدار زیادی مواد شیمیایی می‌باشند که با توجه ماهیت خطرناک آن‌ها، حذف این مواد و تصفیه این نوع فاضلاب پیش از تخلیه به منابع آبی از ضرورت خاصی برخوردار است. از این رو با وضع قوانین سخت گیرانه‌تر از سوی سازمانهای حفاظت از محیط‌زیست در سراسر دنیا، اهمیت حذف رنگ از این فاضلاب‌های خروجی روز به روز در حال افزایش می‌باشد [۱].

رنگینه‌ها یک دسته‌ی مهمی از آلاینده‌ها به شمار می‌آیند که حتی در مقادیر بسیار کم نیز قابل رویت توسط چشم انسان می‌باشند [۲]. به دلایلی که در ذیل ذکر خواهد شد، حذف رنگینه‌ها از فاضلاب صنایع پیش از آمیخته شدن با آب‌های طبیعی بسیار حائز اهمیت می‌باشد:



- ★ رنگینه‌ها از لحاظ زیبایی مشکل ساز هستند، به گونه‌ای که حتی وجود مقدار کمی از آن‌ها در فاضلاب‌ها و منابع آبی با چشم قابل رویت است.
- ★ معمولاً رنگینه‌ها علاوه بر سمی بودن، دارای ساختارهای مولکولی پیچیده‌ای هستند که باعث می‌شود ساختارهای پایدار و تجزیه ناپذیری داشته باشند [۳].
- ★ وجود رنگینه در فاضلاب تخلیه شده در منابع آبی، مانع عبور نور از آب و در نهایت موجب برهم زدن تعادل اکوسیستم خواهد شد، زیرا باعث اختلال در عمل فتوسنتز شده و در نتیجه گیاهانی که از نور به عنوان منبع انرژی بهره می‌گیرند، به تدریج از بین خواهند رفت [۴].
- ★ مهم‌تر از همه، رنگینه‌ها می‌توانند مشکلات بسیاری برای سلامتی انسان داشته باشند مانند ابتلا به بیماری‌هایی از قبیل بیماری‌های پوستی، سرطان، نارسائی‌های کلیوی، آسیب‌رسانی به مغز، جگر و غیره [۳، ۴].
- ★ مواد آلی مثل رنگینه‌ها با فرآیندهای شیمیایی و یا بیولوژیکی تغییر شکل داده، سبب مصرف اکسیژن محلول آبهای جاری می‌گردند. کمبود اکسیژن محلول رودخانه‌ها باعث نابودی موجودات آبی و ماهیان می‌شود و با ایجاد طعم و بوی ناخوشایند، شرایط آبهای جاری را برای اغلب مصارف صنعتی، شهری، کشاورزی، مسکونی و تفریحی نامناسب می‌گرداند [۳، ۴].
- ★ فاضلاب‌های ناشی از صنایع نساجی معمولاً بسته به رنگینه‌ی مورد استفاده، دارای pH های خیلی بالا یا خیلی پایین می‌باشند که این شرایط برای آبیان مناسب نمی‌باشد و منجر به مرگ و کاهش در فرآیند پرورش و تکثیر آن‌ها خواهد شد.
- روش‌های گوناگونی جهت حذف رنگ از محلول آبی موجود است که مهمترین آن‌ها عبارتند از: روش ترسیب و ته‌نشینی، انعقاد، فیلتراسیون، اکسیداسیون شیمیایی، تبادل یونی و جذب [۵]. در بین روش‌های ذکر شده، روش جذب به علل زیر مؤثرترین روش در حذف رنگ محسوب می‌شود [۳]:
- ★ پایین بودن هزینه اولیه و نیاز کمتر به انرژی
- ★ طراحی و اجرای ساده
- ★ غیر سمی بودن فرآیند
- ★ راندمان بالاتر برای حذف رنگینه‌ها

کرین فعال به علت ظرفیت جذب بالا متداولترین جذب می‌باشد. اما این جاذب بسیار گران قیمت است. از این رو امروزه فعالیت‌های بسیاری در جهت جایگزینی جاذب‌های ارزان قیمت با کرین فعال صورت گرفته است. یک جاذب ارزان قیمت باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- ★ ارزان
- ★ در دسترس
- ★ فراوان
- ★ تجزیه پذیر
- ★ طبیعی و دوست دار محیط زیست
- ★ قابل استفاده بدون نیاز به فرآیندهای پیش تصفیه‌ی گران قیمت

تحقیقات نشان می‌دهند که جاذب‌های ارزان قیمت علاوه بر خصوصیات ذکر شده، دارای سینتیک جذب سریع نیز می‌باشند. جاذب‌های ارزان قیمت و یا به تعبیری دیگر دوست دار محیط زیست، معمولاً از منابع طبیعی، زائدات کشاورزی و کارخانه‌ها، محصولات جانبی صنایع از جمله صنایع چوب و غیره حاصل می‌شوند [۶].

## ۱-۲ اهداف

هدف از این تحقیق بررسی عملکرد زائدات گردو به عنوان جاذب ارزان قیمت و طبیعی برای حذف رنگ از فاضلاب‌ها و محلول‌های حاوی رنگینه‌های نساجی می‌باشد. بدین منظور در این پژوهش از پوست گردو جمع‌آوری شده از مزارع شرق اصفهان استفاده گردید و جهت انجام آزمایش‌ها آماده‌سازی شد. همچنین از تعدادی رنگینه متداول نساجی جهت تهیه محلول‌های رنگی استفاده گردید و در نهایت، بررسی و تعیین پارامترهای تأثیرگذار در بهینه سازی شرایط جذب نیز در این پژوهش انجام پذیرفت. مراحل اجرای این پروژه را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

- ★ تهیه جاذب از مزارع شرق اصفهان و آماده‌سازی آن جهت آزمایش
- ★ بررسی امکان جذب برای رنگینه‌های متفاوت و انتخاب رنگینه‌های مناسب
- ★ بررسی و تعیین پارامترهای مؤثر بر جذب و طرح آزمایش
- ★ انجام آزمایش‌های اصلی به منظور بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر جذب
- ★ آنالیز آماری نتایج و تعیین شرایط بهینه جذب
- ★ جستجوی بهترین مدل هم‌دمای (ایزوترم) جذب رنگینه‌ها بر جاذب و تعیین حداکثر ظرفیت جذب آن.

### ۱-۳ سامان‌دهی پایان‌نامه

بر اساس تحقیقات انجام شده ساختار زیر جهت ارائه مطالب در پایان‌نامه مد نظر قرار گرفته شده است:

- ★ در فصل اول کلیاتی از دلایل انتخاب و انجام و اهداف این پروژه ارائه گردید.
- ★ در فصل دوم به بیان کلیاتی در مورد رنگ، انواع رنگینه‌های موجود، روشهای مختلف طبقه‌بندی آنها و همچنین روشهای متداول حذف آنها پرداخته می‌شود.
- ★ در فصل سوم فرآیند جذب به طور کامل معرفی شده و پیشینه علمی استفاده از این روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.
- ★ در فصل چهارم مواد، وسایل مورد استفاده و روش‌های آزمایش‌ها معرفی می‌گردد.
- ★ در فصل پنجم نتایج بدست آمده ارائه و مورد بررسی و تفسیر آماری قرار می‌گیرند.
- ★ در فصل ششم پیشنهاداتی ارائه خواهد شد و یک جمع‌بندی کلی انجام می‌شود.
- ★ در آخر منابع و مراجع مورد استفاده در این پژوهش ذکر می‌گردند.

## فصل دوم

### رنگینه‌ها و روش‌های حذف آن‌ها

#### ۲-۱ مقدمه

رنگینه‌ها از روزگاران دیرین به طور وسیعی در صنایع نساجی، کاغذ، چرم، پلاستیک، مواد آرایشی و غذایی مورد استفاده قرار گرفته است. اما به دلیل ماهیت خطرناک رنگینه‌ها، فاضلاب حاصل از این صنایع و تخلیه‌ی آن در منابع آبی، مشکلات جدی را به همراه داشته است. حضور رنگینه‌ها در منابع آبی نه تنها از جنبه‌ی زیبایی خوشایند نیست، بلکه به علت تجزیه‌ناپذیری، تعادل سیستم اکوسیستم را برهم می‌زنند. همچنین این مواد علاوه بر ایجاد بیماری‌های پوستی جدی برای انسان، باعث مرگ تدریجی برخی از موجودات آبی شده و در نهایت سیستم اکولوژیک<sup>۱</sup> را مختل خواهند نمود.

حذف رنگینه‌ها که از مهمترین آلاینده‌های محیط‌زیست به شمار می‌روند، امروزه به دلیل مشکلات ذکر شده و همچنین وضع قوانین سختگیرانه‌تر توسط سازمان‌های محیط‌زیست در خصوص فاضلاب‌های حاوی رنگینه (پیش از تخلیه در منابع آبی)، از اهمیت خاصی برخوردار است. بدین منظور در این فصل ابتدا به شناسایی این مواد، انواع و کاربرد آن‌ها پرداخته خواهد شد و سپس روش‌های حذف آن‌ها از محیط‌های آبی معرفی می‌گردد.

---

<sup>1</sup> Ecologic System