

الله أكبر



دانشگاه آزاد اسلامی  
واحد شاهرود  
دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی شیمی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc.)  
گرایش مهندسی فرایند

عنوان :

طراحی و ساخت فتوراکتور چند لولهای

استاد راهنما :

دکتر مجید علیآبادی

استاد مشاور:

دکتر منصوره سلیمانی

نگارش :

امید بیباک

تابستان 1393



ISLAMIC AZAD UNIVERSITY

Shahrood Branch

Faculty of Thechnical & Engineering –

Department of Chemical Engineering

((M.Sc.)) Thesis

On Process Engineering

Subject:

Design and construction of a multi- tube photoreactor

Thesis Advisor:

Majid Aliabadi Ph.D.

Consulting Advisor:

Mansoureh Soleimani Ph.D

By:

Omid Bibak

Summer 2014

## تشکر و قدردانی

سپاس ایزدمنان را که به من توفیق کسب علم و دانش داد.

بر خود لازم می دانم که سپاس و قدردانی خود را نسبت به راهنماییها و محبتهای استاد ارجمندم

جناب آقای دکتر مجید علیآبادی ابراز دارم و بدینوسیله زحمات و الطاف ایشان را ارج نهم.

از خانم دکتر منصوره سلیمانی که زحمت مشاوره پروژه را بر عهده داشتند سپاسگزارم.

همچنین از همکاری جناب آقای مهندس بهروز بنی اسدی مسئول محترم آزمایشگاه HPLC به خاطر

تلاش های بی شائبه ایشان صمیمانه تقدیر و تشکر می کنم.

تقدیم به همسر

به پاس قدر دانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آرامش و آسایش برای من فراهم آورده است

1	چکیده
	<b>فصل اول؛ فتوکاتالیزورها و فرایندهای اکسایش فتوکاتالیزی</b>
3	1-1- مقدمه
4	2-1- انواع آلاینده های آب
5	3-1- آلودگی محیط زیست توسط پسابهای رنگی
6	4-1- رنگ
8	5-1- مواد رنگزا
8	1-5-1- طبقه بندی مواد رنگزا
8	1-1-5-1- طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق ساختار شیمیایی
9	2-1-5-1- طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق کاربرد
10	5-1-2- رنگینه های تری آریل متان و رنگینه های وابسته آن
11	1-2-5-1- مالاشیت گرین
14	6-1- فرایندهای اکسایش پیشرفته
17	1-6-1- اشعه فرابنفش (UV)
19	2-6-1- فرایندهای اکسایش فتوکاتالیزی
20	1-2-6-1- فتوکاتالیزورها
21	2-2-6-1- دی اکسید تیتانیوم $TiO_2$
22	3-2-6-1- سوابق مطالعاتی
23	4-2-6-1- مکانیسم فرآیند $TiO_2/UV$
26	5-2-6-1- مزایای فرآیند $UV/TiO_2$
	<b>فصل دوم؛ مروری بر کارهای گذشته</b>
30	1-2- فتوراکتورها جهت تصفیه آب
31	2-1-1- فتوراکتورهای دوغابی $TiO_2$

- 32 ..... 2-1-2- راکتورهای فتوکاتالیستی با  $TiO_2$  تثبیت شده
- 33 ..... 2-2- فتوراکتورها با منبع تابش مصنوعی (لامپ)
- 34 ..... 2-2-1- انواع فتوراکتورهای دوغابی
- 38 ..... 2-2-2- فتوراکتورها با  $TiO_2$  تثبیت شده

### فصل سوم؛ عملیات تجربی- مواد و روشها

- 44 ..... 3-1- مواد شیمیایی
- 45 ..... 3-2- وسایل و تجهیزات
- 46 ..... 3-3- انتخاب فتوراکتور مناسب
- 47 ..... 3-4- نحوه انجام فرایند فتوکاتالیستی
- 49 ..... 3-5- روش آنالیز آلاینده
- 49 ..... 3-6- سنتتیک واکنش

### فصل چهارم؛ نتایج بحث و تفسیر

- 52 ..... 4-1- بررسی تأثیر نور UV-C و کاتالیست  $TiO_2$  در حذف MG
- 54 ..... 4-2- بررسی تأثیر مقدار کاتالیست بر کارایی فرایند UV/ $TiO_2$  در حذف MG
- 55 ..... 4-3- تأثیر غلظت  $[MG]_0$  بر کارایی فرایند UV/ $TiO_2$  در حذف MG
- 56 ..... 4-4- اثر pH محیط واکنش بر کارایی فرایند UV/ $TiO_2$  در حذف MG
- 58 ..... 4-5- اثر افزودن یون های معدنی بر کارایی فرایند UV/ $TiO_2$  در حذف MG
- 59 ..... 4-6- مقایسه منابع تابش بر کارایی فرایند UV/ $TiO_2$  در حذف MG
- 60 ..... 4-7- مقایسه سایر فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته
- 60 ..... 4-7-1- بررسی میزان حذف ماده رنگزای MG در فرایند UV/ $H_2O_2$
- 60 ..... 4-7-1-1- بررسی اثر غلظتهای مختلف  $H_2O_2$  در حذف MG در فرایند

UV/ $H_2O_2$

62 ..... 2-1-7-4- بررسی نقش مؤثر پراکسید هیدروژن در حذف ماده رنگزای MG

در فرایند  $\text{TiO}_2\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$

63 ..... 3-1-7-4- مقایسه فرایندهای  $\text{UV}/\text{H}_2\text{O}_2$  و  $\text{UV}/\text{TiO}_2/\text{H}_2\text{O}_2$  در میزان

حذف MG

### فصل پنجم ؛ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

65 ..... 1-5- نتیجه‌گیری

66 ..... 2-5- پیشنهادات

### پیوست شکلها

68 ..... پ-1- شمای کلی فتوراکتور مورد استفاده

68 ..... پ-2- نقشه شماره 1 فتوراکتور دوغابی چند لوله ای طراحی شده

69 ..... پ-3- نقشه شماره 2 فتوراکتور دوغابی چند لوله ای طراحی شده

70 ..... پ-4- لامپ UV-C

70 ..... پ-5- لامپ UV-A (Black Light)

72 ..... منابع و مأخذ

84 ..... چکیده انگلیسی



شکل 1-1: مشخصات ساختاری مالاثیت گرین	12
شکل 2-1: طیف امواج الکترومغناطیسی	18
شکل 3-1: ناحیه فرابنفش	19
شکل 4-1: ساختارهای بلوری TiO <sub>2</sub> (الف) آاناتاز، (ب) روتیل و (ج) بروکیت	22
شکل 5-1: مقادیر پتانسیل برای فرایندهای قابل انجام بر روی TiO <sub>2</sub> در pH=7	24
شکل 1-2: راکتور غشایی با جریان یک پارچه و سیستم فیلتراسیون	35
شکل 2-2: راکتور تیلور با جریان حلقوی	36
شکل 3-2: نمای کلی فتوراکتور Photo-CREC-Water-II	37
شکل 4-2: نمای کلی فتوراکتور Photo-CREC-Water-III	37
شکل 5-2: نمای کلی راکتورهای فیلم ریزان	38
شکل 6-2: راکتور با کابل های فیبر نوری	39
شکل 7-2: فتوراکتور چند لوله ای	40
شکل 8-2: راکتور با بستر آکنده	40
شکل 9-2: راکتور دیسک گردان با تابش متناوب کنترل شده	41
شکل 10-2: راکتور نوری لوله ای	42
شکل 11-2: فتوراکتور Photo-CREC Water I	42
شکل 1-3: ساختار شیمیایی مالاثیت گرین	44
شکل 2-3: شمای کلی فتوراکتور	47
شکل 3-3: منحنی استاندارد	49
شکل 4-3: سنتیک درجه اول برای تخریب MG با فرایند UV/TiO <sub>2</sub>	50
شکل 1-4: تأثیر TiO <sub>2</sub> و تابش UV-C بر حذف MG	53
شکل 2-4: تأثیر مقدار TiO <sub>2</sub> در حذف MG	55
شکل 3-4: اثر غلظت [MG] <sub>0</sub> در حذف فتوکاتالیستی	56

- شکل 4-4: مقایسه تأثیر pH بر سرعت حذف محلول MG در اکسیداسیون ..... 57  
فتوکاتالیستی با فرایند UV/TiO<sub>2</sub>
- شکل 4-5: تأثیر یونهای معدنی در میزان حذف فتوکاتالیستی MG ..... 58
- شکل 4-6: تأثیر شدت تابش UV در فرایند حذف MG ..... 60
- شکل 4-7: تأثیر غلظت پراکسید هیدروژن در میزان حذف MG در فرایند ..... 61  
UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- شکل 4-8: نقش مؤثر پراکسید هیدروژن در میزان حذف MG در فرایند ..... 62  
UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- شکل 4-9: مقایسه فرایند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> با فرایند ترکیبی ..... 63  
UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/TiO<sub>2</sub> در حذف MG

---

جدول 1-1: رابطه بین رنگ جذب شده و رنگی که دیده می شود.....	7
جدول 2-1: پتانسیل اکسیداسیون برخی از اکسیدکننده ها در آب .....	15
جدول 3-1: ثابت سرعت واکنش رادیکال هیدروکسیل و ازون با ترکیبات مختلف .....	16
جدول 4-1: فرآیندهای اکسایش پیشرفته .....	17
جدول 5-1: انرژی شکاف طیف برخی از نیمه رساناها .....	20
جدول 1-2: انواع فتوراکتورها با منبع تابش مصنوعی .....	34
جدول 1-3: مشخصات پودر TiO <sub>2</sub> -Degussa P25 .....	45
جدول 2-3: مواد شیمیایی مصرفی و شرکت تولید کننده .....	45
جدول 3-3: مشخصات دستگاههای مورد استفاده .....	45
جدول 4-3: مشخصات وسایل مورد استفاده .....	45
جدول 5-3: خصوصیات فیزیکی و شیمیایی MG .....	48
جدول 1-4: تأثیر کاتالیست و تابش UV-C بر سرعت حذف MG .....	53
جدول 2-4: تأثیر pH بر سرعت حذف MG .....	57
جدول 3-4: تأثیر افزودن یونهای معدنی بر سرعت حذف MG .....	59
جدول 4-4: ثابت سرعتمنابعمختلفتابش UV در فرایند حذف MG .....	60
جدول 5-4: تأثیر غلظتهای پراکسید هیدروژن بر سرعت حذف MG .....	61

## چکیده

رنگها موادی با ساختار پیچیده بوده که در نتیجه مراحل مختلف صنعت نساجی نظیر رنگرزی به محیط زیست وارد میشوند. مالاشیت گرین در صنعت به عنوان رنگ تریاریلمتان طبقه بندی می شود و به عنوان رنگدانه استفاده می شود. استفاده از فتوکاتالیست های ناهمگن به ویژه  $\text{TiO}_2$  برای فرایند تصفیه آب توجه زیادی را به دلیل تخریب مؤثر و معدنیسازی ترکیبات آلی مقاوم (سرسخت) را به خود جلب کرده است. در این پروژه، طراحی و ساخت یک فتوراکتور دوغابی چندلوله‌ای و همچنین تخریب فتوکاتالیستی مالاشیت گرین (MG) به عنوان آلاینده هدف با استفاده از نانو فتوکاتالیست دی اکسیدتیتانیوم ( $\text{TiO}_2$ -P25) در مقیاس آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. تأثیر شرایط عملیاتی مانند: 1) غلظت ماده هدف، 2) مقدار فتوکاتالیست  $\text{TiO}_2$ ، 3) pH و 4) شدت نور بر راندمان حذف مورد مطالعه قرار گرفت. شرایط بهینه با غلظت اولیه 5 تا 50 میلی گرم بر لیتر ماده هدف و مقدار کاتالیست 0/05 تا 1 گرم بر لیتر در حضور سه لامپ (6 W) UV-C بدست آمد، که تخریب کامل MG در کمتر از 90 دقیقه با  $\text{TiO}_2=0.1\text{g/L}$ ، [MG=10mg/L] و pH=5 با فرایند UV/TiO<sub>2</sub> انجام شد و در پایان با مقایسه با فرایند UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> نتایج بیان شده است. این تحقیق نشان میدهد که فرایند UV/TiO<sub>2</sub> روشی مؤثر و کارآمد در حذف ترکیب رنگی MG از منابع آبی میباشد.

**کلمات کلیدی:** مالاشیت گرین- ترکیب رنگزا- تخریب فتوکاتالیستی- فتوکاتالیست  $\text{TiO}_2$ - تابش فرابنفش.

فصل اول

**فتو کاتالیزورها و فرآیندهای  
اکسایش فتو کاتالیزی**

## ۱-۱ - مقدمه

امروزه سلامتی بشر و محیط زیست در معرض خطر انواع مختلفی از آلاینده ها قرار دارد. با پیشرفت تکنولوژی در زندگی روزمره با مواد سمی ناشی از آگروز ماشین ها، فرمالدهید، بنزن، انواع قارچ ها و مانند آن روبرو هستیم. آمار و ارقام نشان می دهد که تنها در چین سالانه بالای صد هزار نفر به دلیل آلودگی مکانهای سرپوشیده جان خود را از دست می دهند. بررسی ۲۰۰ اتومبیل جدید نشان داد که ۹۰ درصد این محصولات دارای گازهای خروجی بسیار سمی و مرگبار هستند. بنابراین پیدا کردن راهکاری برای پالایش محیط زیست، هدفی است که بسیاری از دانشمندان در سراسر جهان برای رسیدن به آن تلاش می کنند.

در این میان، تکنولوژی جدیدی با عنوان فتوکاتالیست<sup>۱</sup> مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. واژه فتوکاتالیست در اصل به معنی شتاب بخشیدن به یک واکنش فوتونی توسط کاتالیست است. به طور دقیق تر، کاتالیست در شرایط تهییج شده یا عادی خود از طریق میان کنش با مواد واکنشگر یا محصولات اولیه، واکنش فوتونی را تسریع خواهد کرد. فتوکاتالیست ها مواد پاک کننده محیطی هستند، هنگامی که نور خورشید و یا فلورسانس به آنها برخورد می کند از روی سطوح آلودگی ها را بر می دارند و می توانند ترکیبات آلی مثل باسیل ها و بو ها را از بین ببرند [1].

تمام آبهای طبیعی حاوی انواع آلودگیهایی هستند که از فرآیندهای فرسایش، شستشو و هوازدگی ناشی می شوند. به این آلودگیهای طبیعی، آلاینده های دیگری که ناشی از تخلیه فاضلابهای خانگی و صنعتی است، اضافه می گردد [2].

---

<sup>1</sup>-Photocatalyst

رنگ اولین آلودگی شناخته شده در زیست بوم های آبی است. رنگها یکی از اصلی ترین و مهم ترین آلاینده ها هستند که در صنایع مختلف مثل کاغذ، پلاستیک، چرم، دارو، غذا، آرایشی، رنگ آمیزی، نساجی و غیره استفاده می شوند. بنابراین مقدار قابل توجهی آلودگی ناشی از مواد رنگی حاصل از رهائش وسیع آنها در پسابها تولید می شود. حضور این رنگها در آب حتی در غلظتهای بسیار پایین نامناسب است و آلودگی های وسیع زیست محیطی را سبب می شود. [2]

در صورتیکه پسابهای رنگی بدون تصفیه به محیط زیست تخلیه شوند می توانند اثرات نامطلوبی را در اکوسیستم بوجود آورند. وجود مواد رنگی در آب به علت کاهش نفوذ نور به درون آب، فتوسنتز گیاهان را کاهش می دهند و باعث مرگ و میر موجودات آبی شده و در نهایت بعد از گذشت زمانی نه چندان طولانی، مسیرهای جاری شدن این پسابها به باتلاق تبدیل می شوند. [3]

محدودیت منابع طبیعی آب قابل مصرف، صرفه جویی در مصرف آن را ضروری نموده است و از این رو تصفیه و بازیابی آبهای صنعتی به منظور مصرف مجدد و جلوگیری از آلودگی محیط زیست اهمیت روز افزون یافته است. بهترین راه برای تمیز کردن آبهای آلوده استفاده از کاتالیستی است که برای تعداد زیادی از آلاینده ها کاربرد داشته باشد. در چنین شرایطی اکسیدهای فلزی مثل  $ZnO$ ،  $TiO_2$  و  $WO_3$  بهترین گزینه هستند و مطالعات نشان داده که در این میان اکسید تیتانیم نسبت به بقیه برتری دارد.

## 1-2- انواع آلاینده های آب

آلاینده های آب انواع مختلفی دارند. آلاینده های غیر مقاوم<sup>1</sup> شامل مواد آلی، بعضی مواد معدنی و برخی میکرو ارگانیسمها هستند که توسط فرایندهای خودپالایی طبیعی تجزیه می شوند بطوریکه غلظت آنها با زمان کاهش می یابد. بسیاری از مواد معدنی و برخی از مواد آلی تحت تأثیر فرایندهای تصفیه طبیعی قرار نمی گیرند بطوریکه غلظت این آلاینده های مقاوم<sup>2</sup> تنها با رقیق شدن کاهش می یابد. علاوه بر طبقه بندی آلاینده ها به مقاوم و غیر مقاوم، خصوصیات زیر باید در مورد انواع آلاینده ها در نظر گرفته شود: [4]

۱ - مواد سمی که مانع فعالیتهای بیولوژیکی در آب می شوند. منشاء این مواد از پسابهای صنعتی است و شامل فلزات سنگین موجود در پساب واحدهای آبکاری، آفت کشها و حشره کشها، پساب کارخانجات نساجی، صنایع رنگرزی و غیره می باشد.

<sup>1</sup> - Non-conservative  
<sup>2</sup> - conservative

۲ - موادی که به میزان اکسیژن آب اثر می گذارند:

- الف- موادی که اکسیژن آب را مصرف می کنند : مواد آلی که به صورت بیوشیمیایی اکسید می شوند و یا مواد معدنی احیاء کننده.
  - ب- موادی که در فصل مشترک هوا - آب مانع انتقال اکسیژن می شوند: روغنها، شوینده ها و انواع رنگها می توانند با تشکیل لایه ای بر روی آب، سرعت انتقال اکسیژن را کاهش می دهند.
  - ج- آلودگی های حرارتی: غلظت اکسیژن محلول در آب با افزایش دما کاهش می یابد.
- ۳ - مواد معلق یا جامدات حل شده در غلظتهای بالا باعث بروز مشکلاتی می شوند. به عنوان مثال، خاک رس با کشیدن پوششی بر بستر جریان از رشد خوراک ماهیها جلوگیری می کند.

در حال حاضر تأمین آب شیرین مورد نیاز مردم، یکی از مشکلات اساسی اکثر کشورهای جهان به شمار می رود. فرآیندهای تصفیه معمول آب و فاضلاب اغلب بر آلاینده های مقاوم تأثیر نمی گذارد و با توجه به وجود این مواد در اغلب پسابهای صنعتی، لزوم استفاده از فرآیندهای پیشرفته که باعث تجزیه این آلاینده ها گردد احساس می شود.

### 1-3- آلودگی محیط زیست توسط پسابهای رنگی

صنایع رنگرزی و نساجی یکی از بزرگترین مصرف کنندگان آب در میان صنایع مختلف به شمار می روند، از اینرو مقدار قابل توجهی پساب نیز در مراحل مختلف فرآیند، در این صنایع تولید می شود. اغلب واحدهای رنگرزی و نساجی حاوی مقادیر قابل توجهی از ترکیبات آلی و سمی هستند، از جمله این ترکیبات رنگهای آزو می باشند. در صورتی که پسابهای رنگی بدون تصفیه به محیط زیست تخلیه شوند می توانند به طرق مختلف اکوسیستم آبی را بطور نامطلوبی تحت تأثیر قرار دهند. وجود مواد رنگی در آب به علت کاهش نفوذ نور به درون آب، فتوسنتز گیاهان را کاهش می دهند و به علت سمی بودن، باعث مرگ و میر موجودات آبی شده و نهایتاً رودخانه ها و جویبارهایی که محل تخلیه این پسابها هستند در طولانی مدت به باتلاق تبدیل می گردند [2].

رنگهای آزو به دلیل ساختمان آروماتیکی، در برابر تجزیه بیولوژیکی مقاوم هستند و همچنین می توانند میزان اکسیژن آب را کاهش دهند و موجب فعالیت باکتریهای بی هوازی در آب می گردند. از طرفی حذف رنگ از پسابها مهمتر از حذف سایر مواد آلی غیر رنگی می باشد، زیرا غلظت رنگ در آبهای پذیرنده پسابهای رنگی ممکن است کمتر از 1ppm باشد و با توجه به این غلظت پایین،



رنگ مرئی بوده و اثرات زیست محیطی خود را به دنبال خواهد داشت و حتی ممکن است موجب عدم پذیرش آن از سوی مصرف کنندگان گردد [3و4].

بنابراین تصفیه پسابهای رنگی قبل از تخلیه آنها به محیط زیست ضروری است. روشهای مختلف شیمیایی و فیزیکی بدین منظور مورد استفاده قرار گرفته اند که از مهمترین آنها می توان به فرآیند ازوناسیون، اکسایش شیمیایی، جذب سطحی بوسیله انواع جاذبها، فیلتراسیون غشایی، انعقاد و ته نشینی اشاره کرد.

یکی از روشهای پیشرفته ای که در سالهای اخیر به منظور حذف انواع آلاینده ها از آبهای آلوده، مطالعه و پیشنهاد شده است فرآیند اکسایش پیشرفته می باشد که در قسمتهای بعد به معرفی این فرآیندها پرداخته می شود.

#### 1-4- رنگ

ناحیه مرئی طیف امواج الکترومغناطیس شامل طول موجهای حدود 400 nm تا 800nm می باشد. تابش پایین تر از 400nm قابل رؤیت نیست و در ناحیه ماورای بنفش قرار دارد، تابش بالاتر از 800nm قابل رؤیت نیست و در ناحیه مادون قرمز قرار دارد. نور سفید یعنی تابشی که تقریباً به طور یکنواخت در گستره 400nm تا 800nm گسترده است، چنانچه از یک منشور یا یک شبکه پراش عبور کند، به طیف های رنگی که عبارتند از : بنفش، نیلی، آبی، زرد، نارنجی و قرمز تجزیه می شود. زمانی که یک سطح رنگی، به وسیله یک دسته شعاع نور سفید روشن می شود، تعداد معینی از طول موج ها جذب می شوند و نور باز تابیده که فاقد تابشهای جذب شده است، روی قسمت شبکه یک چشم معمولی اثر می گذارد. [5]

تمام موادرنگی، رنگینه ها و رنگدانهها، قابلیت جذب تعدادی از تابشهای ناحیه مرئی را دارند و چنین جذبی به خواص مولکولی جسم بستگی دارد (جدول (1-1)). به نام مولر رابطه بین تابشهای جذب شده و رنگ ظاهری جسم برای تعدادی از اجسام انتخاب شده که هرکدام یک نوار باریک جذبی دارند، داده شده است. اگر طول موجهای مربوط به رنگ دیده شده (رنگ جسم) به تابشهای جذب شده افزوده شود، رنگ سفید بدست میآید. به جفت رنگهای دیده شده و جذب شده، رنگهای مکمل میگویند [5و6].

جدول(1-1): رابطه بین رنگ جذب شده و رنگی که دیده می شود[6و5]

رنگ دیده شده	رنگ جذب شده	طول موج nm
زرد-سبز	بنفش	400-435
زرد	آبی	435-480
نارنجی	سبز-آبی	480-490
قرمز	آبی-سبز	490-500
ارغوانی	سبز	500-560
بنفش	زرد-سبز	560-580
آبی	زرد	580-595
سبز-آبی	نارنجی	580-605
آبی-سبز	قرمز	605-750

### 1-5- مواد رنگزا

عوامل موجود در ساختمان یک مولکول تعیین کننده این هستند که آیا مولکول در ناحیه مرئی جذب خواهد داشت یا خیر و همچنین اینکه این جذب در چه ناحیه ای رخ خواهد داد (نظریه ویت 1876). ویت عقیده داشت که مولکول رنگینه ترکیبی است از یک هسته سیر نشده با بعضی از گروه ها که رنگساز نامیده می شوند، چنین ترکیبی را رنگزای می نامند. اگرچه نظریه ویت به صورت فرضیه تقریبی برای سالهای متمادی به کار می رفت ولی کاربرد نظری آن تا سالهای اخیر مبهم به نظر می رسید. در ترکیبات سیر نشده جذب انرژی باعث انتقال الکترون از حالت پایه به حالت برانگیختگی می شود. در شیمی رنگینه به این مطلب بیشتر پرداخته شده است.[7]

رنگزاهای مواد آلی آروماتیک قابل حل در آب هستند که کاربردهای زیادی در صنایع به ویژه در صنعت نساجی دارند. رنگزاهای مورد استفاده در صنایع نساجی به سه گروه تقسیم می شوند:[7]

۱. رنگزاهای آنیونی (اسیدی، راکتیو<sup>۱</sup>)
۲. رنگزاهای کاتیونی (رنگ های بازی<sup>۲</sup>)

<sup>1</sup>-Reactive Dye  
<sup>2</sup>-Basic Dye

۳. رنگزاهای غیر یونی(رنگ های دیسپرس<sup>۱</sup>)

رنگزاهای بازی به خاطر دارا بودن ویژگی های مطلوبی همچون روشنی رنگ، سهولت حالیت آن در آب و مصرف کم انرژی به طور گسترده در صنایع نساجی استفاده می شوند.

### 1-5-1- طبقه بندی مواد رنگزا

مواد رنگزا را می توان به دو طریق مختلف طبقه بندی کرد[8].

• طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق ساختار شیمیایی

• طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق کاربرد

در طبقه بندی اول، ساختار شیمیایی ماده رنگزا را از نظر گروه های کروموفوریک بررسی می کند و در طبقه بندی دوم، روشهای رنگرزی و محدوده کاربردهای آن را بر حسب نوع کالا بررسی و تحلیل می نماید. در ادامه به بحث و بررسی جامع تر دو گونه طبقه بندی می پردازیم.

### 1-1-5-1- طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق ساختار شیمیایی

مواد رنگزا بر طبق این طبقه بندی به گروه های مواد رنگزای آزو، آنتراکینون، خمی، ایندیگوبید، آریل کربونیوم، پلی متین، فتالوسیانین، نیترو، نیتروزو و دیگر مواد رنگزایی که در هیچ یک از طبقه های فوق نمی گنجد (مواد رنگزای متفرقه)[9].

### 1-1-5-2- طبقه بندی مواد رنگزا بر طبق کاربرد

مواد رنگزای مصرفی در نساجی به دو گروه اصلی(گروه اول و گروه دوم) و هر گروه به چند شاخه فرعی تقسیم شده است. منظور از این تقسیم بندی این است که روی خصوصیات ویژه معین و متداول در ارتباط با عملکرد عمومی رنگرزی و ثبات در برابر عملیات تری رنگرزی ها تاکید شود.[10و11]

• مواد رنگزای گروه اول

تمامی مواد رنگرزی در این گروه در آب حلال هستند به جز مواد رنگرزی دیسپرس که خیلی جزئی محلول می باشد. مواد رنگرزی در یک فرآیند برگشت پذیر از یک محلول مایع، جذب جاذب می شوند. تقسیم بندی مواد رنگرزی در این گروه عبارتند از : مواد رنگرزی اسیدی، مواد رنگرزی مستقیم، مواد رنگرزی بازی و مواد رنگرزی دیسپرس.[10و11]

<sup>1</sup>-Disperse Dye

- مواد رنگزای گروه دوم

ویژگیهای تمامی مواد رنگزای در این گروه این است که در مقابل عملیات تری ثبات خوبی دارند، بنابراین در جایی که حداکثر ثبات در مقابل عملیات تری مورد احتیاج است گروه دوم بر گروه اول ترجیح داده می شوند. مواد رنگزای گروه دوم به گروههای فرعی دیگری تقسیم می شوند که هر یک از آنها به طور مختصر شرح داده می شوند: [10 و 11]

- مواد رنگزای غیر محلول در آب

مواد رنگزای موجود در این طبقه عبارتند از: مواد رنگزای گوگردی، مواد رنگزای اینگرین، مواد رنگزای خمی، اجزاء آروماتیک و ترکیبات آن و مواد رنگزای اکسیداسیون. [10 و 11]

- مواد رنگزای گوگردی

این دسته از مواد رنگزای از طریق احیاء و محلول شدن با سولفید سدیم قابل استفاده هستند و در آب نامحلول می باشند. مواد رنگزای گوگردی قدیمی، گوگردی لوکو، گوگردی محلول و گوگردی تراکمی در این گروه جای می گیرند [10 و 11].

- مواد رنگزای خمی

این دسته از مواد رنگزای دارای گروه های کتون  $C=O$  هستند و در آب محلول نیستند ولی اگر در یک محلول قلیایی حاوی یک ماده احیاء کننده نظیر هیدروسولفیت سدیم قرار گیرند ترکیب لوکو قابل حل آنها در آب تولید می شود. [10 و 11]

- اجزاء آروماتیک و ترکیبات آن

این نام به طبقه ای از مواد رنگزای اطلاق می شود که کاربرد آنها بر اساس تشکیل ترکیب آرو رنگی غیر محلول در داخل لیف می باشد. این مواد رنگزای از ترکیب دو جزء، یکی جزء آرو و دیگری جزء کوپلینگ تشکیل می شوند. که این دو جزء به طور جداگانه بر روی کالا منتقل گشته و با یکدیگر ترکیب می شوند. این نام به گروه کوچکی از مواد رنگزای اطلاق می گردد که تقریباً همه آنها بر پایه فتالوسیانین می باشند و تحت شرایط کاربردی ویژه ای مواد رنگزای غیر محلول در داخل لیف تشکیل می دهند. [10 و 11]

- مواد رنگزای اکسیداسیون

این مواد، گروه کوچکی از مواد رنگزای هستند که فقط یک نوع آن در رنگ کردن کالای نساجی و به ویژه چاپ دارای اهمیت می باشد. این مواد رنگزای در اثر اکسیداسیون شیمیایی به مواد