

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته فوتونیک

---

بررسی امکان و چگونگی بکارگیری رنگدانه‌های طبیعی در ساختار سلول‌های  
خورشیدی رنگدانه‌ای (DSSC)

---

مؤلف:

صدیقه خیاطزاده ماهانی

استاد راهنما:

دکتر حسن فاطمی امام غیث

دی ماه ۱۳۹۳



دانشگاه شهید باهنر کرمان

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط دریافت درجه کارشناسی ارشد به

## دانشکده فیزیک

### دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود.

دانشجو: صدیقه خیاطزاده ماهانی

استاد راهنما: دکتر حسن فاطمی امام غیث

داور ۱: دکتر مجید تراز

داور ۲: دکتر حسین روح الامینی

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع: دکتر وحید میرزایی محمودآبادی

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: دکتر فریده شجاعی اکبرآبادی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر است.

تقدیم به

زیباترین سروده های خداوند در دیوان زندگیم

پدر مهربان و مادر فداکارم

## تقدیر و شکر

ای بیشترین، هستی و برترین، همه‌ای آنکه خرد سرگشته‌ی درگاه تو ست، ای نزدیک‌ترین من از من و  
مهربان‌ترین من از من و من هر چه بگویم تو آن نیستی و آن، هستی و چه حقیرند واژه‌ها در بیان ربوبیت تو  
و من چه کوچکم در پیدا کردن واژه‌ها، جمله عالم را به یاری تو و به نشان تو آشکار می‌کنم و به شکرانه یاریت  
بنده‌ی آن شنایم که تو سرای آنی.

از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر حسن فاطمی امام غیث به پاس حمایت‌ها و راهنمایی‌های بی‌دریغشان در  
پیشبرد این پایان‌نامه سپاسگزارم.

از خانواده عزیزم مخصوصاً پدر و مادرم کمال سپاس را دارم.

از جناب آقای دکتر حسین روح‌الایمنی، جناب آقای دکتر مصطفوی و سایر اساتید محترم دانشگده  
فنیکی و دوست عزیزم خانم مریم جعفری بسیار سپاسگزارم.

## چکیده

در این پایان‌نامه، نقش محلول‌های رنگدانه‌ای طبیعی مورد استفاده در فوتوالکتروود سلول خورشیدی رنگدانه‌ای و میزان عملکرد آنها بررسی شده است. محلول‌های رنگدانه‌ای مورد استفاده در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به دو دسته محلول‌های رنگدانه‌ای صنعتی و محلول‌های رنگدانه‌ای طبیعی تقسیم بندی شده‌اند. سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با رنگدانه صنعتی دارای عملکرد خوبی است. اما به دلیل سمی بودن محلول‌های رنگدانه‌ای صنعتی، بر روی استفاده از محلول‌های رنگدانه‌ای طبیعی در فوتوالکتروودهای سلول خورشیدی رنگدانه‌ای تمرکز داده شده است. محلول‌های رنگدانه‌ای طبیعی مورد نیاز از مواد طبیعی مانند گیاهان و میوه‌ها استخراج شدند. سپس سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای طبیعی ساخته شده‌اند و عملکرد این سلول‌ها با محلول‌های رنگدانه حاصل از برگ چای قرمز و برگ سبزی جعفری و پودر زردچوبه، از سه دسته مهم رنگدانه‌های طبیعی آنتوسیانین دار، کلروفیل دار و کورکومین دار، بهینه مقدار شده است. برای تهیه محلول رنگدانه بهینه، شرایطی از قبیل غلظت محلول، نوع حلال و اثر دما در فرآیند تهیه رنگدانه مورد بررسی قرار گرفته شده است و در نهایت سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای بهینه شده فوق ساخته شدند که عملکرد آن نسبت به هر یک از سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای که در شرایط مختلف ساخته شده، افزایش یافته است. به منظور افزایش عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، از ترکیب مناسب محلول‌های رنگدانه‌ای که در گستره‌های مختلف بیناب مرئی دارای جذب هستند، نیز استفاده شد که روشی نو برای بالا بردن کارایی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای محسوب می‌شود.

**کلیدواژه:** سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای - نانوذرات - محلول‌های رنگدانه‌ای - فوتوآند  $\text{TiO}_2$

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	<b>فصل اول: مقدمه</b> ..... ۱
۲	۱-۱ خورشید و انرژی خورشیدی..... ۲
۳	۲-۱ اصول تبدیل انرژی در پدیده فوتولتایی..... ۳
۶	۳-۱ قانون بیر-لامبرت..... ۶
۷	۴-۱ تاریخچه سلول‌های خورشیدی..... ۷
۸	۵-۱ تکنولوژی‌های فتولتاییکی خورشیدی..... ۸
۹	۱-۵-۱ نسل اول: سلول‌های سیلیکونی کریستالی..... ۹
۹	۲-۵-۱ نسل دوم: سلول‌های خورشیدی لایه نازک..... ۹
۹	۳-۵-۱ نسل سوم: سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی..... ۹
۱۰	۶-۱ مشخصات سلول‌های خورشیدی..... ۱۰
۱۲	۷-۱ کارهای انجام شده در این پایان نامه..... ۱۲
۱۳	<b>فصل دوم: سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای و اجزای تشکیل دهنده آن‌ها</b> ..... ۱۳
۱۴	۱-۲ اجزای سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای..... ۱۴
۱۵	۱-۱-۲ فوتوالکتروود..... ۱۵
۱۵	۱-۱-۲-۱ زیر لایه رسانا و شفاف (TCO)..... ۱۵
۱۵	۱-۱-۲-۲ ماده نیمه‌رسانا..... ۱۵
۱۷	۲-۱-۲ محلول الکتروولیت ریدوکس..... ۱۷
۱۷	۳-۱-۲ محلول رنگدانه..... ۱۷
۱۸	۴-۱-۲ الکتروود پیشخوان..... ۱۸
۱۹	۵-۱-۲ مواد ضد نشت..... ۱۹
۱۹	۲-۲ ساختار و اصول عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای (DSSC)..... ۱۹

- ۳-۲ چگونگی عملکرد زمانی سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۲۲
- ۱-۳-۲ فرآیند تزریق الکترون و بازگشت مولکول‌های رنگدانه به حالت پایه ..... ۲۲
- ۲-۳-۲ فرآیند احیای مولکول رنگدانه اکسید شده ..... ۲۳
- ۳-۳-۲ فرآیند انتقال بار در فیلم نیمه‌رسانا ..... ۲۳
- ۴-۳-۲ فرآیند بازترکیب الکترون‌ها با مولکول رنگدانه اکسید شده یا محلول الکترولیت ریدوکس ..... ۲۳
- ۵-۳-۲ فرآیند انتقال الکترون در محلول الکترولیت ریدوکس و فرآیند کاهش الکترولیت در الکتروود پیشخوان ..... ۲۴

## **فصل سوم: بررسی انواع رنگدانه‌های مورد استفاده در سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای (DSSC) ..... ۲۵**

- ۱-۳ رنگدانه‌های مورد استفاده در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۲۶
- ۱-۱-۳ رنگدانه‌های صنعتی ..... ۲۷
- ۲-۱-۳ رنگدانه‌های طبیعی ..... ۳۲
- ۱-۲-۱-۳ رنگدانه‌های آنتوسیانین دار ..... ۳۳
- ۲-۲-۱-۳ رنگدانه‌های کلروفیل دار ..... ۳۴
- ۳-۲-۱-۳ رنگدانه‌های کورکومین دار ..... ۳۶

## **فصل چهارم: ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای (DSSC) ..... ۳۸**

- ۱-۴ مواد و وسایل مورد نیاز برای ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۳۹
- ۲-۴ ساخت فوتوآند مورد استفاده در ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۳۹
- ۳-۴ ساخت محلول رنگدانه مورد استفاده در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۴۲
- ۴-۴ ساخت محلول الکترولیت اکسایشی - کاهش‌ی مورد استفاده در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۴۵
- ۵-۴ ساخت الکتروود پیشخوان (کاتد) مورد استفاده در سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۴۵
- ۶-۴ ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای آب بندی نشده ..... ۴۶



- ۴-۷ ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای آب بندی شده ..... ۴۷
- فصل پنجم: نتایج تجربی حاصل از بررسی‌های انجام شده و تحلیل آنها ..... ۴۸**
- ۵-۱ ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای حاصل از گیاهان و میوه‌ها . ۵۰
- ۵-۱-۱ تجزیه و تحلیل بیناب جذبی نسبی محلول‌های رنگدانه‌ای حاصل از گیاهان و میوه‌ها ۵۱
- ۵-۱-۲ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای حاصل از گیاهان و میوه‌ها ..... ۵۹
- ۵-۲ اثر غلظت محلول رنگدانه بر روی عملکرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۶۱
- ۵-۲-۱ تجزیه و تحلیل بیناب جذبی محلول‌های رنگدانه‌ای با غلظت‌های متفاوت ..... ۶۱
- ۵-۲-۲ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای با غلظت‌های متفاوت. .... ۶۳
- ۵-۳ اثر حلال مورد استفاده در تهیه محلول رنگدانه بر عملکرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ... ۶۷
- ۵-۳-۱ تجزیه و تحلیل بیناب جذبی محلول‌های رنگدانه‌ای با حلال‌های متفاوت ..... ۶۷
- ۵-۳-۲ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای با حلال‌های مختلف ..... ۶۸
- ۵-۴ اثر دمای عصاره‌گیری در بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای ..... ۷۰
- ۵-۴-۱ اثر دما در تهیه محلول رنگدانه‌ای با حلال آب مقطر ..... ۷۰
- ۵-۴-۱-۱ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های رنگدانه‌ای تهیه شده در دماهای مختلف. .... ۷۰
- ۵-۴-۲ اثر دما در تهیه محلول رنگدانه با حلال اتانول ..... ۷۲
- ۵-۴-۲-۱ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های اتانولی رنگدانه‌ای تهیه شده در دماهای مختلف ..... ۷۲
- ۵-۵ ساخت سلول خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول رنگدانه‌ای با شرایط بهینه ..... ۷۵
- ۵-۶ بررسی وابستگی بازده سلول خورشیدی رنگدانه‌ای به ترکیب رنگدانه‌های طبیعی آنها .... ۷۶
- ۵-۶-۱ آزمایش اول: تهیه محلول رنگدانه ترکیبی با استفاده از محلول‌های حاصل از برگ چای قرمز و پودر زردچوبه ..... ۷۶

۱-۱-۶-۵ تجزیه و تحلیل بیناب جذبی محلول‌های رنگدانه‌ای و محلول ترکیبی آنها.....	۷۶
۲-۱-۶-۵ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای ساخته شده با محلول‌های رنگدانه‌ای خالص و محلول ترکیبی آنها.....	۷۷
۲-۶-۵ آزمایش دوم: تهیه محلول اتانولی رنگدانه ترکیبی با استفاده از محلول‌های حاصل از برگ چای قرمز، برگ سبزی جعفری و پودر زردچوبه.....	۷۹
۱-۲-۶-۵ تجزیه و تحلیل بیناب جذبی محلول‌های رنگدانه‌ای خالص و محلول‌های رنگدانه‌ای ترکیبی.....	۷۹
۲-۲-۶-۵ تجزیه و تحلیل عملکرد سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای با محلول‌های اتانولی رنگدانه‌ای خالص و محلول‌های ترکیبی.....	۸۱
<b>فصل ششم: برداشت کلی.....</b>	<b>۸۳</b>
فهرست منابع.....	۸۶
پیوست.....	۹۲

# فصل اول

## مقدمه

در این فصل علت استفاده از انرژی خورشید، پدیده فوتولتاییک، تاریخچه سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، انواع سلول‌های خورشیدی و مشخصات یک سلول خورشیدی به طور مختصر بیان می‌شود.

## ۱-۱ خورشید و انرژی خورشیدی

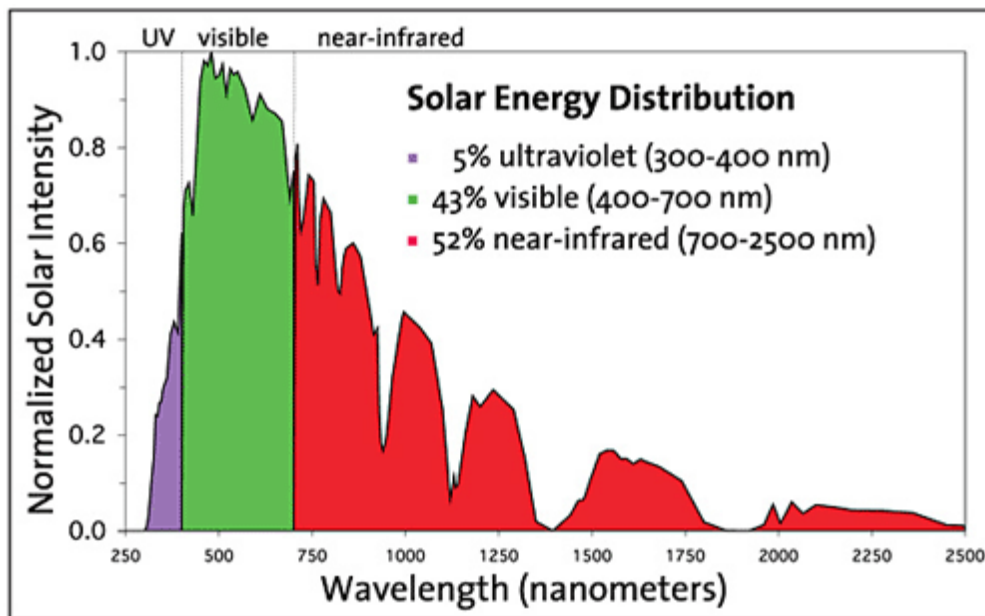
امروزه رشد اقتصادی کشورها وابسته به تامین منابع انرژی است. در بیشتر کشورها این منابع شامل ذغال سنگ، نفت، گاز و همچنین انرژی هسته‌ای می‌باشد. با این وجود، استفاده از این منابع با چالش‌های مختلفی از جمله پایان پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی و افزایش گازهای گلخانه‌ای در اثر سوختن منابع فسیلی روبه‌رو است. بین سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۳۰ میلادی، مصرف جهانی انرژی سالانه با رشدی بیش از ۵۰٪ تخمین زده شده است [۱]. بدین منظور باید منابع انرژی تجدیدناپذیری مانند انرژی خورشید، آب و باد جایگزین منابع انرژی تجدیدناپذیر شود.

خورشید، ستاره منظومه شمسی تأمین کننده انرژی لازم برای زندگی موجودات زنده روی زمین است که دمای تقریبی سطح آن ۶۰۰۰ درجه کلوین و شعاع تقریبی آن  $1400000$  کیلومتر می‌باشد. انتقال انرژی خورشید به فضای اطرافش به شکل تابش جسم سیاه انجام می‌گیرد که توان انرژی تابش کل و شار انرژی تابشی از سمت خورشید به فضای خارج، به ترتیب،  $10^{26} \times 3/48$  وات بر کیلومتر مربع و  $10^{13} \times 6/713$  وات بر کیلومتر مربع می‌باشد. از این میزان انرژی، شار انرژی دریافتی زمین از خورشید در نزدیکی جو زمین  $1/3$  کیلووات بر متر مربع می‌باشد که با احتساب میزان تابش جسم سیاه زمین در حال تعادل با انرژی دریافتی از خورشید، دمای میانگین توده هوا در نزدیک جوی زمین ۲۷۵ درجه کلوین محاسبه می‌شود [۲].

به دلیل حرکت وضعی زمین حول محور چرخش خود زاویه تابش نور خورشید و متعاقباً میزان انرژی دریافتی برای قسمت‌های مختلف زمین متفاوت است. در رابطه با میزان انرژی نورانی خورشید که به سطح زمین می‌رسد، عبارتی تحت عنوان  $AM^1$  (و یا جرم هوا) وجود دارد که بیانگر زاویه تابش خورشید به سطح زمین است و به نوعی میزان انرژی نورانی تابیده شده به سطح زمین را بیان می‌کند. مقدار  $AM0$ ، بیان کننده میزان تابش خورشیدی رسیده به جسم خارج از جو زمین است. مقدار  $AM1$  بیان کننده میزان تابشی است که به صورت عمودی بر سطح زمین می‌تابد و عبارت  $AM1.5$  میزان استاندارد تابش است. شرایط  $AM1.5$  در حالتی رخ می‌دهد که

<sup>1</sup> Air Mass

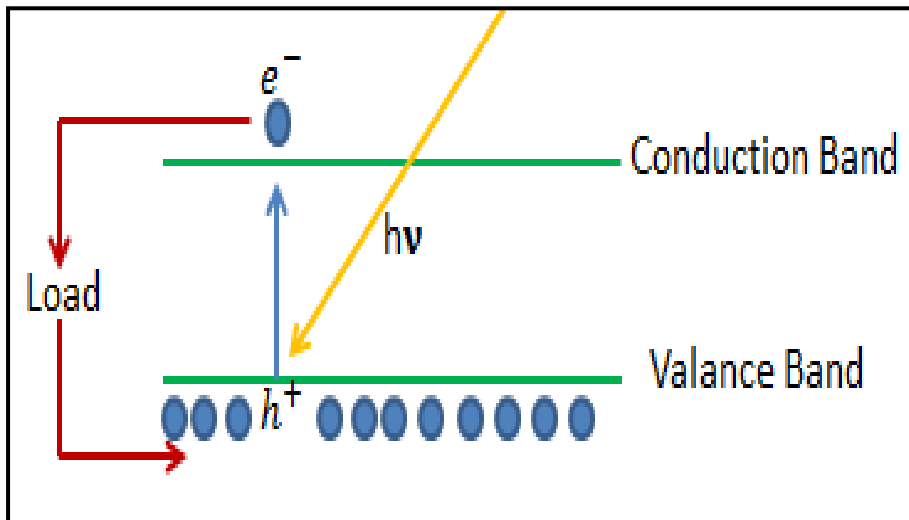
زاویه تابش خورشید با محور عمودی زمین ۴۸ درجه باشد. در شکل (۱-۱) الگوی تابش خورشیدی روی سطح زمین در شرایط AM1.5 نشان داده شده است که به عنوان شرایط متعارف برای آزمایش و مشخصه‌یابی سلول‌های خورشیدی به کار می‌رود. میزان کل توان انرژی دریافتی در شرایط AM1.5 از مساحت زیر نمودار طیف جذبی AM1.5 (شکل ۱-۱) به دست می‌آید که مقدار آن ۱۰۰۰ وات بر مترمربع یا ۱۰۰ میلی‌وات بر سانتی‌متر مربع می‌باشد. انرژی خورشید از طریق سلول‌های خورشیدی (تبدیل به الکتریسیته) و یا سیستم‌های گرمایی خورشیدی (تبدیل به گرما) قابل استفاده برای تامین مستقیم انرژی بشر است [۳].



شکل ۱-۱- بیناب تابشی خورشید روی سطح زمین در شرایط استاندارد AM1.5 [۴]

## ۲-۱ اصول تبدیل انرژی در پدیده فوتولتایی

به طور کلی تبدیل انرژی به شکل فوتولتایی براساس اثر فوتوالکتریک است. در شکل (۲-۱) جایی که نور به ماده نیمه‌رسانا تابیده و در آن یک جفت الکترون - حفره به وجود می‌آید نشان داده شده است. برای استخراج الکتریسیته از سیستم، الکترون و حفره باید قبل از بازترکیب از هم جدا شده و سپس به مدار خارجی منتقل شوند.

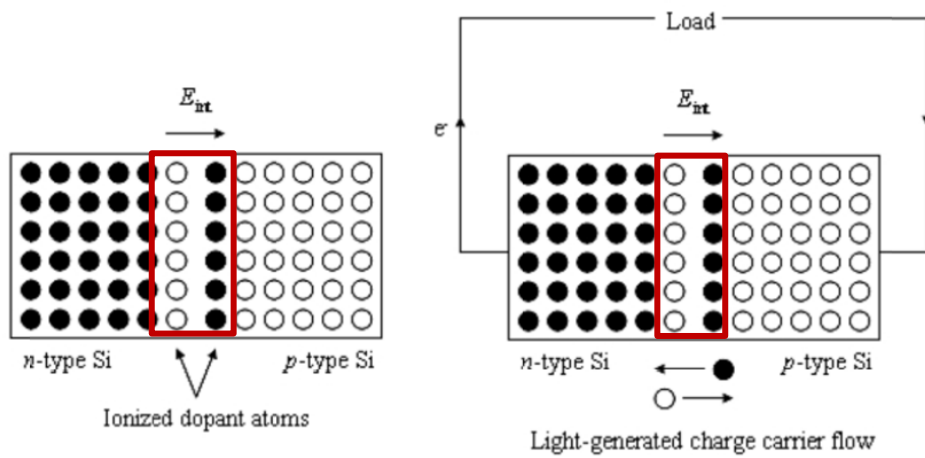


شکل ۱-۲- تولید الکترون - حفره در یک نیمه‌رسانا

به طور مرسوم، در سلول‌های خورشیدی نیمه‌رسانای جامد، الکترون‌ها و حفره‌ها با یک میدان الکتریکی داخلی از هم جدا می‌شوند. این میدان، اطراف پیوند  $p-n$  که هسته‌ی تمام سیستم‌های فوتولتایی نیمه‌رسانای جامد است، تشکیل می‌شود. بلورهای  $P$  و  $n$  با ترکیب دو نیمه‌رسانا، با ناخالصی‌های دهنده و پذیرنده، برای مثال سلیکون آلائیده شده با برن<sup>۱</sup> ( $B$ ) و سلیکون آلائیده شده با فسفر<sup>۲</sup> ( $P$ )، به وجود می‌آید. هنگامی که این نیمه‌رساناها با هم در تماس فیزیکی قرار می‌گیرند، الکترون‌ها از نیمه‌رسانای نوع  $n$  به نیمه‌رسانای نوع  $p$  جریان می‌یابند. بنابراین اتم‌های یونیزه شده‌ای را از خود بر جای گذاشته و، مشابه، اتم‌های یونیزه شده‌ای را نیز با اضافه کردن الکترون، در نیمه‌رسانای نوع  $p$  به وجود می‌آورند. این اتم‌های یونیزه شده، یک میدان الکتریکی داخلی را در اطراف پیوندگاه  $p-n$  که ناحیه تهی نامیده می‌شود، به وجود می‌آورند. همانگونه که در شکل (۱-۳) نشان داده شده است، هنگامی که یک جفت الکترون - حفره در این ناحیه به وجود می‌آید، میدان الکتریکی داخلی حامل‌های بار را به جهت‌های مخالف هدایت کرده و مانع باز ترکیب آنها می‌شود [۵].

<sup>1</sup> Born

<sup>2</sup> Phosphorus



شکل ۱-۳- یک پیوند p-n در تاریکی (سمت چپ) و در روشنایی (سمت راست). دایره های سیاه (●) نماد بار منفی و دایره های سفید

(○) نماد بار مثبت هستند.

### ۱-۳ قانون بیر - لامبرت

قانون بیر - لامبرت<sup>۱</sup> یکی از قوانین اصلی اپتیک است. این قانون تجربی، ارتباط شدت نور جذب شده در اثر عبور از یک ماده را با خصوصیات آن بیان می کند.

هنگامی که اشعه‌ی الکترومغناطیسی با شدت  $I_0$  وارد محیط ماده می شود، مقداری از این شدت بر اثر جذب ماده کاهش پیدا می کند و شدت خروجی آن  $I$  کمتر از  $I_0$  می شود.

درصد گذردهی اشعه از رابطه زیر به دست می آید :

$$T = \frac{I}{I_0} \times 100 \% \quad (1-1)$$

و میزان درصد جذب  $(A)^2$  و عبور<sup>۳</sup>  $(T)$  در صورتی که بازتاب از ماده نداشته باشیم، از رابطه زیر به دست می آید :

$$A + T = 1 \quad (2-1)$$

و میزان جذب برابر است با :

$$A = \text{Log} \frac{I}{I_0} = -\text{Log} T = -\epsilon bc \quad (3-1)$$

که در این رابطه  $\epsilon$  ضریب جذب مولی بر حسب  $(\frac{L}{\text{mol.cm}})$ ،  $b$  ضخامت ماده بر حسب  $(\text{cm})$ ،  $c$  غلظت ماده بر حسب  $(\frac{\text{mol}}{L})$  است [۶].

<sup>1</sup> Beer-lambert law

<sup>2</sup> Absorption

<sup>3</sup> Transmission



## ۴-۱ تاریخچه سلول‌های خورشیدی

بکرل<sup>۱</sup> در سال ۱۸۳۹ میلادی موفق به کشف اثر فوتوالکتریک شد. او دو تیغه پلاتین را در محلول نمک هالید فلز با فاصله از هم قرار داد و متوجه شد وقتی این چیدمان در معرض نور خورشید قرار می‌گیرد بین دو تیغه اختلاف پتانسیل ایجاد می‌شود [۷].

از زمان کشف اثر فوتوالکتریک توسط آلبرت انیشتین<sup>۲</sup> (۱۹۰۵ میلادی) تاکنون، بشر همواره به فکر استفاده از انرژی خورشید به عنوان منبع انرژی ارزان برای مصارف خانگی و صنعتی رو به گسترش خود بوده است و همین امر سبب گسترش علوم مربوط به ساخت سلول‌های خورشیدی و فیزیک نیمه‌رسانا شده است [۷].

در سال ۱۸۷۳ میلادی، اسمیت<sup>۳</sup> فوتورسانش در سلنیم<sup>۴</sup> (Se) را مشاهده کرد [۸].

در سال ۱۸۷۹ میلادی، دی<sup>۵</sup> و آدامز<sup>۶</sup> توانستند اثر فوتولتایی را در ساختار حالت جامد (سلنیم) بینند سلول سیلیکونی تک کریستالی با پیشرفت تکنولوژی سیلیکون در سال ۱۹۴۱ میلادی ساخته شد و در سال ۱۹۵۴ میلادی گروه RCA<sup>۷</sup> موفق شدند با استفاده از سلول اتصال p-n سیلیکونی تابش رادیواکتیو را به انرژی الکتریکی تبدیل کنند و با استفاده از روش مشابه چاپین<sup>۸</sup>، فولر<sup>۹</sup> و پیرسن<sup>۱۰</sup> بازده تبدیل انرژی خورشیدی ۶٪ را گزارش کردند [۹].

به این ترتیب اولین سلول اتصال p-n ساخته شد و در طول چند دهه‌ی بعد سلول‌های لایه نازک، سیلیکونی آمورف<sup>۱۱</sup>، اتصال ناهمگون<sup>۱۲</sup>، سلول‌های فتوالکتروشیمیایی و... ساخته شد که به دلیل گستردگی بحث به آن نمی‌پردازیم.

انرژی که از خورشید به سطح زمین می‌رسد شامل ۵۲٪ در محدوده فرورسرخ، ۴۳٪ در محدوده نورمرئی و ۵٪ در محدوده فرابنفش بیناب تابشی خورشید که به زمین می‌رسد است، از این رو

<sup>1</sup> Becqerel

<sup>2</sup> Albert Einstein

<sup>3</sup> Smith

<sup>4</sup> Selenium

<sup>5</sup> Day

<sup>6</sup> Adams

<sup>7</sup> Radio Corporation of America

<sup>8</sup> Chapin

<sup>9</sup> Fuller

<sup>10</sup> Pearson

<sup>11</sup> Amorphous Silicon

<sup>12</sup> Hetergeneous

سلول خورشیدی باید در ناحیه ی فرورسرخ و مرئی جذب بالایی داشته باشد. مواد اکسید نیمه‌رسانا وقتی در معرض تابش نور خورشید قرار می‌گیرند چون انرژی گاف بزرگی، حدود ۳ تا ۴ الکترون ولت، دارند و نور مرئی، که محدوده انرژی آن حدود ۱/۷ تا ۳/۱ الکترون ولت، را به مقدار کم جذب می‌کنند ولی در صورتی که حساس‌کننده‌های نوری (رنگدانه‌های آلی که می‌توانند نور مرئی را جذب کنند) جذب سطحی نیمه‌رسانا می‌شوند، می‌توانند نور مرئی را جذب کنند و در این صورت الکترون‌های برانگیخته شده در اثر جذب نور مرئی، به نوار هدایت نیمه‌رسانا تزریق می‌شوند. این اثر باعث پیشرفت تکنولوژی فیلم عکاسی شد.

فیلم سیاه و سفید فقط شامل یک لایه نازک امولسیون، شامل هالید نقره (عموماً  $AgCl$  و  $AgBr$ ) است. برای  $AgBr$  گاف انرژی برای انتقال مستقیم حدود ۴/۳ الکترون ولت و گاف انرژی برای انتقال غیر مستقیم حدود ۲/۴ الکترون ولت است. مولکول رنگدانه طوری انتخاب می‌شود که بالاترین اوربیتال مولکولی اشغال شده<sup>۱</sup> (HOMO) بالای نوار ظرفیت و پایین‌ترین اوربیتال مولکولی اشغال نشده<sup>۲</sup> (LUMO) بالای انتهای نوار هدایت نیمه‌رسانا قرار می‌گیرد. بنابراین الکترونی که از تراز HOMO مولکول رنگدانه برانگیخته می‌شود می‌تواند به نوار هدایت  $AgBr$  تونل بزند [۱۰].

بر همین اساس در سال ۱۹۹۱ میلادی، مایکل گرتزل<sup>۳</sup> سلول‌های خورشیدی حساس شده با رنگدانه<sup>۴</sup> (DSSC) را اختراع کرد. عملکرد این سلول‌ها مانند پدیده فتوسنتز در گیاهان است و انرژی خورشیدی را به انرژی الکتریکی تبدیل می‌کنند که در سال ۲۰۰۵ بازده ۱۱٪ برای این سلول‌ها گزارش شد [۱۱]. برای اغلب این سلول‌ها، بازدهی بالاتر از ۱۰٪ گزارش شده است و این در حالی است که سلول‌های خورشیدی سلیکونی تجاری بازدهی بین ۱۳ تا ۱۷ درصد دارند [۱۲].

## ۵-۱ تکنولوژی‌های فتوولتاییکی خورشیدی

مواد گوناگونی در ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده شده است که بازده و هزینه‌های ساخت متفاوتی دارند. در واقع این سلول‌ها باید طوری طراحی شوند که بتوانند انرژی نورانی خورشید را

<sup>1</sup> Highest Occupied Molecular Orbital

<sup>2</sup> Lowest Occupied Molecular Orbital

<sup>3</sup> Michael Graetzel

<sup>4</sup> Dye Sensitized Solar Cells

که به سطح زمین می‌رسد با بازده بالا به انرژی الکتریکی مفید تبدیل کنند. موادی که برای ساخت سلول‌های خورشیدی استفاده می‌شود در سه نسل قرار می‌گیرند [۱۳].

**۱-۵-۱ نسل اول: سلول‌های سیلیکونی کریستالی - سلول‌های سیلیکونی کریستالی از سیلیکون ساخته شده‌اند. سیلیکون یکی از فراوانترین عناصر پوسته زمین است. سیلیکون یک نیمه‌رسانا با گاف انرژی ۱/۱ الکترون ولت است و در صنعت فتوولتائیک استفاده می‌شود. اگرچه این سلول‌های خورشیدی ساخته شده با این نیمه‌رسانا طیف گسترده‌ای از نور خورشید را جذب می‌کنند اما تولید آنها بسیار گران است [۱۴].**

**۲-۵-۱ نسل دوم: سلول‌های خورشیدی لایه نازک - در این سلول‌ها از نیمه‌رساناهای گروه سوم و پنجم جدول تناوبی مندلیف به صورت لایه نازک استفاده شده است. این سلول‌ها علی‌رغم بازده بالایی که دارند اما از نظر هزینه مناسب نیستند. در سلول‌های خورشیدی لایه نازک لایه‌هایی به نازکی ۱ تا ۴ میکرومتر بر روی زیرلایه‌های بزرگ و ارزانی همچون شیشه، پلیمر یا فلزات نشانده می‌شوند. در نتیجه برای ساخت آنها نیاز به ماده کمتری از نیمه‌رساناها می‌باشد تا مقدار جذب نور خورشید بهینه را داشته باشند. علاوه بر این فیلم‌های نازک می‌توانند در ساختارهای کم وزن و با قابلیت انعطاف خوبی بسته‌بندی شوند [۱۵].**

**۳-۵-۱ نسل سوم: سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی - سلول‌های خورشیدی ساخته شده از مواد آلی در مقایسه با همتایان دیگر خود بازده کمتری دارند اما به دلیل هزینه کم ساخت و همچنین قابلیت‌هایی مانند انعطاف پذیری برای مصارف غیر صنعتی مناسب هستند. سلول‌های خورشیدی مبتنی بر مواد آلی شامل سلول‌های خورشیدی رنگدانه‌ای، سلول‌های خورشیدی پلیمری و سلول‌های خورشیدی کوانتم دات هستند [۱۶].**

## ۶-۱ مشخصات سلول‌های خورشیدی

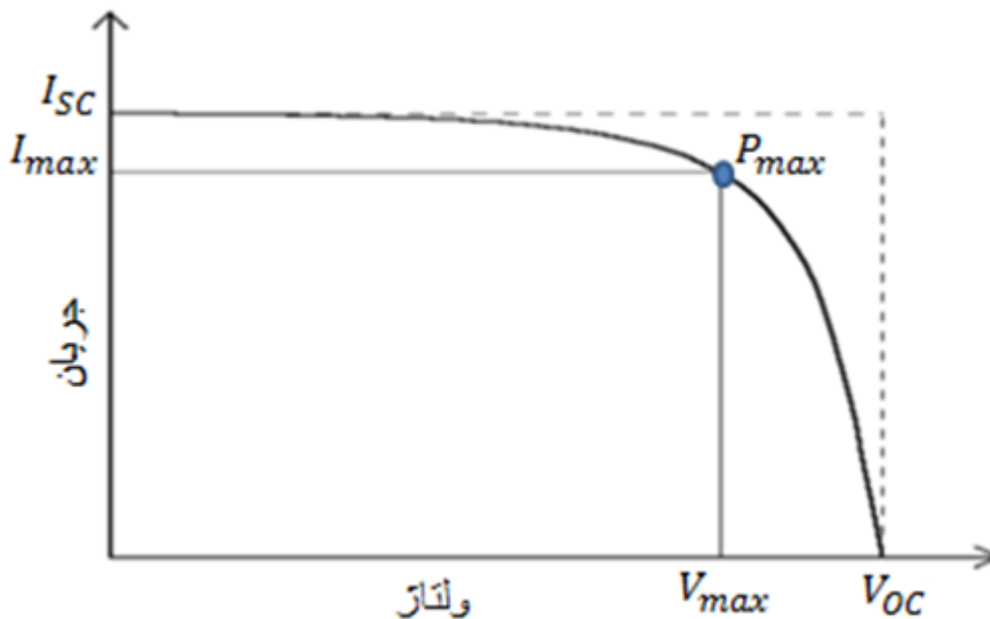
برای بررسی عملکرد یک سلول خورشیدی باید چندین مشخصه مهم آن را در نظر گرفت. این مشخصه‌های مهم در نمودار ویژگی جریان - ولتاژ سلول‌های خورشیدی عبارتند از:

۱- جریان اتصال کوتاه ( $I_{sc}$ ): مقدار جریان به ازای ولتاژ اخذ شده صفر را جریان اتصال کوتاه<sup>۱</sup> می‌گویند [۱۷].

۲- ولتاژ مدار باز ( $V_{oc}$ ): مقدار پتانسیل وقتی که جریان مدار صفر است را پتانسیل مدار باز<sup>۲</sup> می‌گویند [۱۸].

۳- ماکزیمم توان خروجی ( $P_{max}$ ): توان خروجی به ازای یک ولتاژ اعمالی عبارت است از حاصلضرب جریان در ولتاژ. مقدار  $I_{max}$  و مقدار  $V_{max}$  مقدار جریان و ولتاژ در نقطه  $P_{max}$  هستند [۱۹].

در شکل (۴-۱) پارامترهای فوق برای یک سلول خورشیدی نشان داده شده‌است.



شکل ۴-۱- نمودار جریان - ولتاژ برای یک سلول خورشیدی

<sup>۱</sup> Short Circuit Current

<sup>۲</sup> Open Circuit voltage