



## طراحی یک سلول خورشیدی با استفاده از ساختار گریتینگ

مکاری بنابی<sup>۱</sup>، غلامعلی<sup>۱</sup>؛ عباسیان، کریم<sup>۲</sup>

### Designing a solar cell using a grating structure

Mokari, Gholamali<sup>1</sup>; Abbasiyan, Karim<sup>2</sup>

Email: mokariali68@gmail.com

#### چکیده

یکی از دلایلی که سبب شده تا امروز استفاده از انرژی خورشیدی امری فراگیر نباشد، نبود موادی با ضریب جذب کافی نور است. اکثر جذب کننده های نور در طول زمان کارایی خود را بتدریج از دست می دهند یا به دلایلی مثل افزایش دمای بیش از حد طراحی شده، غیرقابل استفاده می شوند. مطالعه و بررسی سلول های خورشیدی با هدف افزایش بازده آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. این امر مطالعه ی دقیق بر روی نسل های مختلف سلول های خورشیدی را می طلبد. در این مقاله به بررسی ساختار سلول خورشیدی لایه نازک پرداخته و ساختار گریتینگ در لایه های آلومینیوم، سیلیکون و روی اکسید مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی گریتینگ ها از اهمیت بالایی برخوردار است، که باعث افزایش جذب و بالا رفتن پارامترهای سلول خورشیدی به خصوص جریان اتصال کوتاه و بازده می شود.

**کلمات کلیدی:** سلول خورشیدی لایه نازک، ساختار گریتینگ، آلومینیوم، سیلیکون، روی اکسید، جریان اتصال کوتاه، بازده

#### ۱. مقدمه

رشد مداوم مصرف انرژی و رو به اتمام بودن سوخت های فسیلی و مشکلات محیط زیستی آنها موجب می شود تا بشر به دنبال منابع انرژی تجدیدپذیر باشد که انرژی خورشیدی مناسب ترین گزینه در این زمینه است و در راستای تلاش برای بهبود بازده سلول های خورشیدی توجه زیادی به این امر شده است تا هزینه سلول برای کاربرد های گسترده کاهش یابد [۱]. در حال حاضر، در دنیا توجه زیادی به تحقیقات در عرصه سلول های خورشیدی از جمله سلول های خورشیدی سیلیکونی صورت می گیرد و کاربرد های زیادی برای آنها وجود دارد. کشور ما ایران در یکی از بهترین مناطق دنیا از نظر تابش خورشید قرار دارد. به عبارت دیگر، ایران آنقدر از خورشید انرژی دریافت می کند که می تواند علاوه بر تامین نیازهای خود، به صادرات انرژی به کشورهای همسایه نیز اقدام کند. بنابراین تحقق در این زمینه در کشورمان از اهمیت فوق العاده ای برخوردار است که نمی توان از آن چشم پوشی کرد.

سلول های فتو ولتائیک از مواد ویژه ای ساخته شده اند که آنها را semiconductor یا نیمه رسانا می نامیم. از این مواد می توان به سیلیکون اشاره کرد که اکنون بسیار پرکاربرد است. در اصل هنگامی که نور با سلول برخورد میکند، مقدار مشخصی از آن توسط مواد نیمه رسانا جذب می شود. این یعنی انرژی جذب شده از نور به نیمه رسانا منتقل می شود. انرژی به الکترون های سست ضربه می زند و اجازه می دهد که آنها آزاد شده و به گردش در

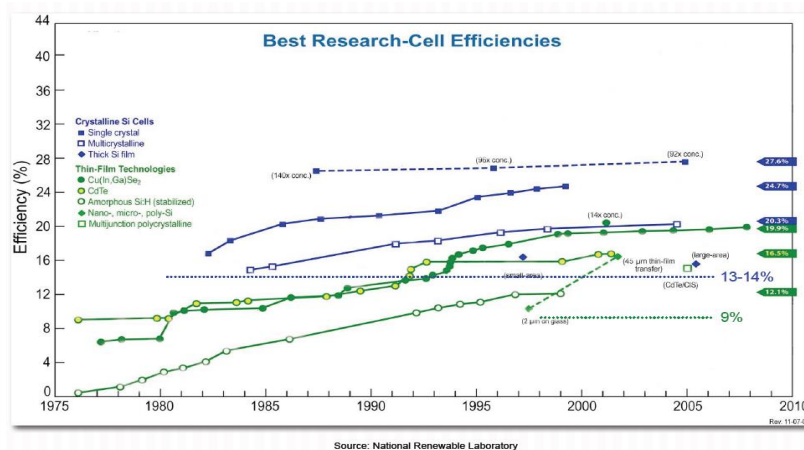
<sup>۱</sup>. گروه برق، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup>. گروه فوتونیک، واحد تبریز، دانشگاه سراسری، تبریز، ایران



آیند[۲] به سه دلیل عمده، بهره گیری از انرژی خورشید در تولید برق، در هزاره ی سوم، به صورت جدی تری در دستور کار بسیاری از کشورهای پیشرفته ی صنعتی قرار گرفته است. پیش از همه، این فناوری، فاقد هر گونه آلودگی بوده و هیچ پیامد زیست محیطی خاصی را به دنبال ندارد. دوم، سلول خورشیدی فاقد قطعات و ساز و کارهای مکانیکی اند و به این لحاظ، عملکرد آن ها با حداقل فرسایش و استهلاک همراه بوده و نیازی به تعویض و سرویس های منظم و دوره ای ندارند و بالاخره، ذخایر سوخت های فسیلی جهان به سرعت رو به اتمام است و براساس گزارش های مختلف، در یک قرن آینده و به تدریج به اتمام می رسند[۳].

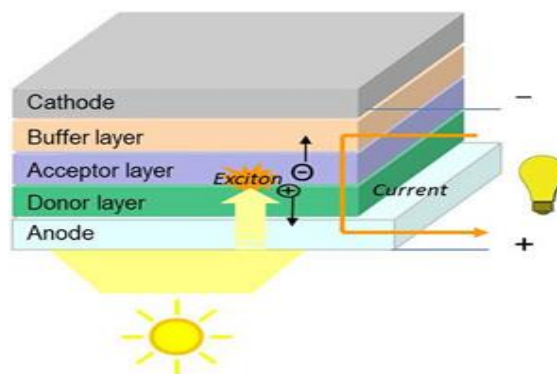
## ۲. سلول خورشیدی لایه نازک

سلولهای خورشیدی لایه نازک بیش از ۲۰ سال تحقیق و توسعه، شروع به گسترش نمودند. لایه نازکها به طور قابل ملاحظه ای در هزینه تولید الکتریسیته نسبت به ویفرهای سیلیکونی کاهش ایجاد نمودند.



شکل ۱: بازده سلولهای خورشیدی با تکنولوژی لایه نازک

از مزایای این روش قیمت تمام شده کم، حجم کم و قابلیت انعطاف زیر لایه می باشد و معایب آن کم بودن راندمان می باشد. سلول های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی بازده تبدیل توانی حدود ۲۰ درصد را دارا می باشند[۴].



شکل ۲: نمای کلی از ساختار سلول خورشیدی لایه نازک



### ۳. معادلات حاکم بر سلول های خورشیدی

در زیر ابتدا معادلات حاکم بر سلول های خورشیدی را به صورت تک بعدی بیان می کنیم و همچنین روش های حل آنها را توصیف خواهیم نمود. عموماً، برای بررسی یک سلول خورشیدی معادلات پواسون و انتقال (معادلات پیوستگی) برای الکترون و حفره را حل می کنند [۵].  
معادله پواسون:

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{+q}{\epsilon} [N_d(x) - N_a(x) + P(x) - n(x)] \quad (1)$$

$$E(x) = -\frac{dv(x)}{dx} \quad (2)$$

معادلات پیوستگی جریان

$$-\frac{1}{q} \frac{d}{dx} J_p(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (3)$$

$J_n(x)$  و  $J_p(x)$  که با میدان الکتریکی و تعداد حامل ها رابطه زیر دارند:

$$J_n(x) = q\mu_n n(x)E(x) + qD_n \frac{dn(x)}{dx} \quad (4)$$

$$J_p(x) = q\mu_p p(x)E(x) + qD_p \frac{dp(x)}{dx} \quad (5)$$

با تلفیق این دو معادله در معادلات پیوستگی به دو معادله زیر می رسیم:

$$D_n \frac{d^2n(x)}{dx^2} + \mu_n E(x) \frac{dn(x)}{dx} + \mu_n \frac{dE(x)}{dx} n(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (6)$$

$$D_p \frac{d^2p(x)}{dx^2} + \mu_p E(x) \frac{dp(x)}{dx} + \mu_p \frac{dE(x)}{dx} p(x) + G(x) - R(x) = 0 \quad (7)$$

جدول ۱: پارامترهای به کار رفته در معادلات حاکم

ردیف	نام پارامتر	نماد پارامتر
۱	بار الکترون	q
۲	ضریب دی الکتریک	ε
۳	چگالی دهنده	$N_d$
۴	چگالی پذیرنده	$N_a$
۵	چگالی حفره	p
۶	چگالی الکترون	n
۷	پتانسیل الکتریکی	v
۸	میدان الکتریکی	E
۹	چگالی جریان الکتریکی الکترون ها	$J_n$
۱۰	چگالی جریان الکتریکی حفره ها	$J_p$
۱۱	قابلیت تحرک الکترون	$\mu_n$
۱۲	قابلیت تحرک حفره	$\mu_p$
۱۳	نرخ تولید	G(x)
۱۴	نرخ باز ترکیب	R(x)
۱۵	ضریب نفوذ الکترون	$D_n$
۱۶	ضریب نفوذ حفره	$D_p$

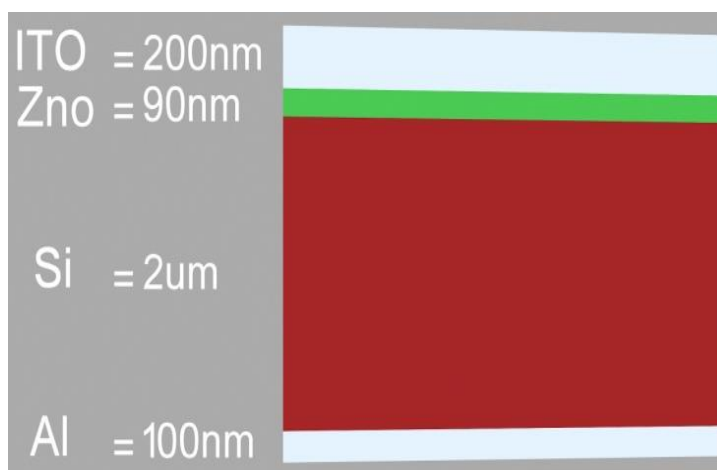


#### ۴. ابزار مورد استفاده جهت شبیه سازی

در سلول فتوولتائیک پارامتر کلیدی PCE مشخص کننده بازده تبدیل توان است PCE نسبت ماکزیمم توان قابل دستیافت خروجی به توان نور ورودی است. در این مقاله ما به بررسی مشخصه نوری و جذب ساختار گریتینگ در لایه های سلول خورشیدی پرداخته ایم و تاثیر ساختار گریتینگ روی افزایش و گسترش طیف جذب مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. که هدف از ارزیابی افزایش PCE، Voc، Isc سلول است و این پارامترها را با نتایج شبیه سازی و تجربی دیگر ساختارها مقایسه خواهیم کرد. برای سلول خورشیدی مطرح شده مطابق ویژگی‌ها و پارامترهای بدست آمده یک ساختار بهینه را ارائه خواهیم کرد. این کارها را با نرم افزارهای مهندسی لومریکال انجام خواهیم داد. نرم افزار لومریکال که جزو قوی ترین ابزارهای رایج شبیه سازی سلول خورشیدی است توانایی دارد مدلی ۳ بعدی از سلول خورشیدی را با در نظر گرفتن و تعیین ویژگی های ساختار گریتینگ رسم نماید. شبیه سازی نوری سلول خورشیدی نانوساختار و شبیه سازی ادوات پلاسمونی نانوساختار که از جمله ویژگی های این نرم افزار می باشد.

#### ۱.۴. تهیه سلول خورشیدی

تصویری از ساختاری سلول خورشیدی لایه نازک سیلیکونی که ما انتخاب و طراحی کردیم در شکل ۳ نشان داده شده است. که در این لایه پایینی آلومینیوم نقش کاتد را ایفا میکند، بعد بالای آلومینیوم لایه نیمه رسانای سیلیکون را استفاده شده است، و به این روال لایه نازک اکسید روی و اکسید قلع ایندینیم (ITO) کانتکت بالایی به عنوان آند استفاده شده است.



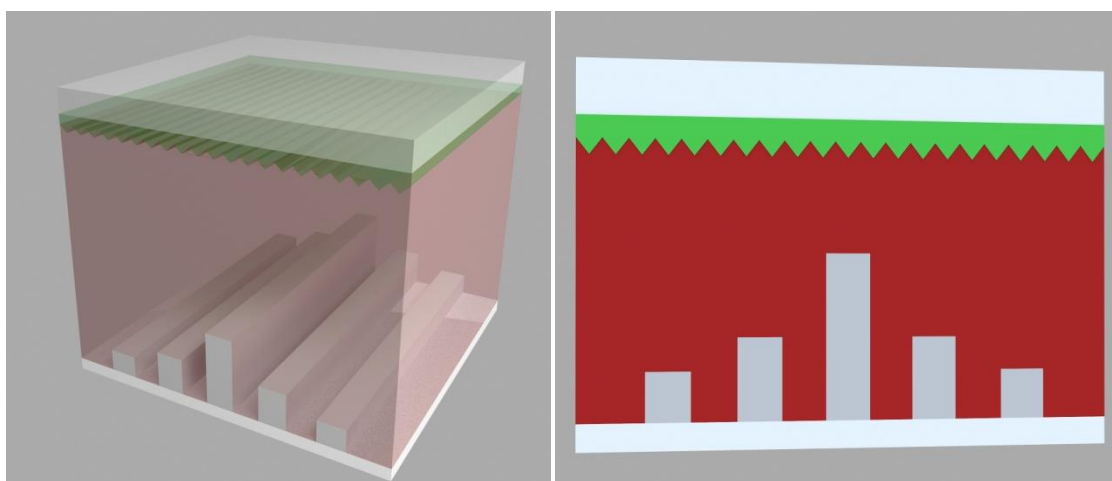
شکل ۳: ساختار انتخاب شده در این تحقیق

در مورد اندازه لایه ها ایده آل ترین اندازه ها استفاده شده است که در این اندازه ها ضریب جذب سلول خورشیدی در نتیجه توان و جریان اتصال کوتاه و بخصوص بازده افزایش می یابد. اکسید روی یک ماده نیمه رسانای نوع N با گاف انرژی مستقیم حدود ۳.۳۷ الکترون ولت در دمای اتاق و انرژی برانگیختگی ۶۰ میلی الکترون ولت است که در نور مرئی یک نیمه رسانای شفاف می باشد مزایای دیگر اکسید روی عبارتند از فراوانی و قیمت پایین نسبت به مواد مشابه می باشد. اکسید قلع با ناخالصی ایندینیم (ITO) از



رساناهای اکسیدی شفاف شناخته شده ای است که به دلیل رسانندگی و شفافیت بالا در ناحیه نور مرئی به عنوان الکتروود شفاف در الکترو نیک نوری کاربرد فراوانی دارد [۶].

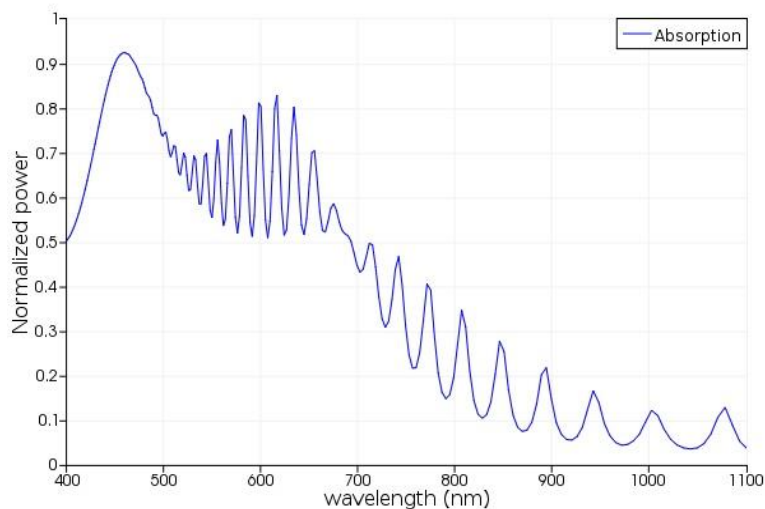
در این مقاله ابتدا ما بهترین اندازه و لایه هایی که برای ساختار سلول خورشیدی مناسب می باشد را نشان داده و انتخاب کردیم، و در قسمت دیگر ، تاثیر ساختار گریتینگ در لایه های سلول خورشیدی را نشان می دهیم. در این لایه ها ما از کوپلر گریتینگ برای لایه پایینی آلومینیوم اعمال کردیم و برای لایه های نازک روی اکسید و سیلیکون بلیز گریتینگ را اعمال کردیم که نتیجه کار منجر به افزایش جریان اتصال کوتاه و بازده تبدیل توان خواهد بود. در شکل (۴) شماتیکی از این ساختار مشاهده می گردد.



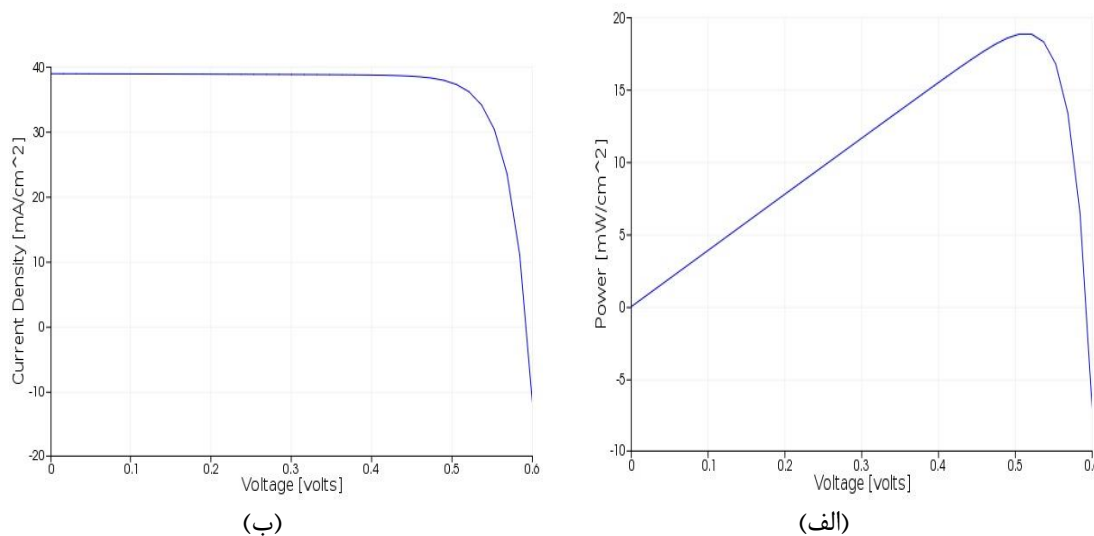
شکل (۴) سلول خورشیدی با اعمال گریتینگ کوپلر در آلومینیوم و بلیز گریتینگ در سیلیکون و روی اکسید

#### ۲.۴. نتایج شبیه سازی با اعمال ساختار گریتینگ

نتایج حاصل از این تحقیق برای حالت بدون اعمال ساختار گریتینگ توسط نرم افزار لومریکال مطابق منحنی های زیر شبیه سازی شده است. مهمترین منحنی در شبیه سازی سلول های خورشیدی منحنی جذب، جریان-ولتاژ (I-V) و توان خروجی می باشد. شکل (۵) منحنی جذب و شکل (۶) منحنی ولتاژ-جریان و ماکزیمم توان خروجی برای حالت بدون گریتینگ نشان داده شده است. مقادیر ۰/۶ ولت برای ولتاژ مدار باز، ۳۹/۰۰۱۷ میلی آمپر بر سانتی متر مربع برای جریان اتصال کوتاه، ۱۸/۸۷۱۴ میلی ولت بر سانتی متر مربع برای ماکزیمم توان خروجی، ۸۰/۶۴ درصد برای ضریب پر شدگی و ۱۸/۸۷ درصد برای بازده دستگاه بدست آمد.

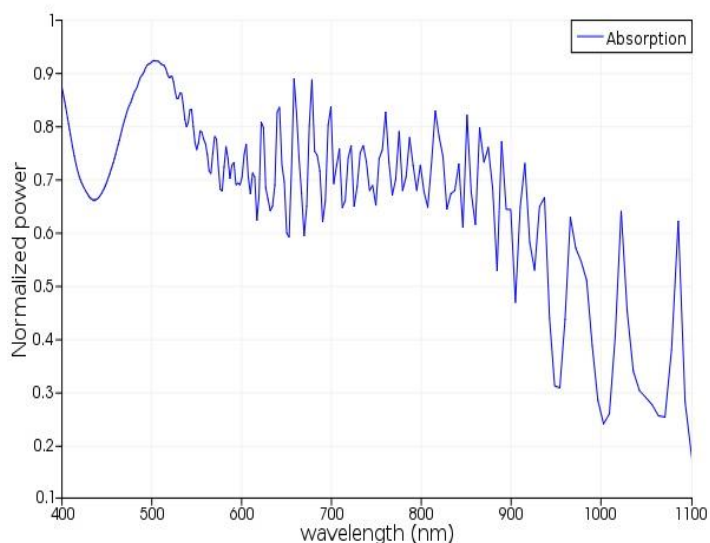


شکل (۵) منحنی جذب سلول خورشیدی بدون اعمال گریتینگ

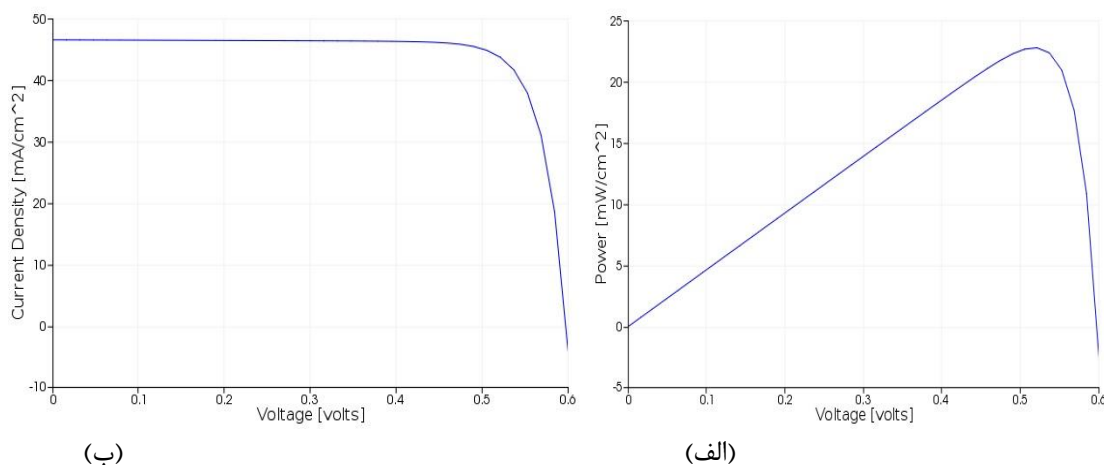


شکل (۶) - (الف) منحنی ماکزیمم توان خروجی (ب) منحنی ولتاژ-جریان بدون اعمال حالت گریتینگ

شکل (۷) منحنی جذب و شکل (۸) منحنی مشخصات تحلیل شده برای این حالت اعمال ساختار گریتینگ را نشان می‌دهد. مقادیر ۶/۰ ولت برای ولتاژ مدار باز، ۴۶/۶۱۴۴ میلی آمپر بر سانتی متر مربع برای جریان اتصال کوتاه، ۲۲/۸۰۷۶ میلی ولت بر سانتی متر مربع برای ماکزیمم توان خروجی، ۸۱/۵۴ درصد برای ضریب پرتاب و ۲۲/۸ درصد برای بازده دستگاه بدست آمد.



شکل (۷) منحنی جذب برای بهترین حالت گریتهینگ



(ب)

(الف)

شکل (۸) - (الف) منحنی ماکزیمم توان خروجی (ب) منحنی ولتاژ- جریان با اعمال حالت گریتهینگ

### ۳.۴. نتایج کل تحقیق:

نتایج حاصل از دستگاه سلول خورشیدی لایه نازک در جدول ۲ خلاصه شده است. این موضوع آشکار است که با اعمال ساختار گریتهینگ لایه های سلول خورشیدی در افزایش بازده تبدیل توان تاثیر چشمگیری ایفا می کند.

جدول ۲: نتایج حاصل از اعمال گریتهینگ و بدون اعمال گریتهینگ

مشخصات	Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	Voc (v)	FF(%)	Effi(%)
سلول ساده	۳۹/۰۰۱۷	۰/۶	۸۰/۶۴	۱۸/۸۷
حالت گریتهینگ	۴۶/۶۱۴۴	۰/۶	۸۱/۵۴	۲۲/۸



## ۵. نتیجه گیری

در این پژوهش تحلیل و شبیه سازی سلول های خورشیدی لایه نازک سیلیکونی با اعمال ساختار گریتینگ بررسی شده است. ضخامت و جنس تک تک لایه ها، نوع ساختار گریتینگ، در سلول خورشیدی، نتایج حاصله و یافتن برتری حضور ساختار بر عدم حضور آن موجب جذب و بالا بردن پارامترهای سلول خورشیدی از جمله جریان اتصال کوتاه و بازده، برتری خود را نشان داد و بر اساس شبیه سازی بحث بر روی آنها اعلام نموده ایم.

## ۶. مراجع

[1] J. Gong, J. Liang, K. Sumathy, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16 (2012) 5848-5860.

[2] Nelson, R. E. (2003). *A brief history of thermo photovoltaic development. Semiconductor Science and Technology*, 18(5). <http://iopscience.iop.org/0268-1242/18/5/301>

[3] *Clean Electricity from Photovoltaic's* (Eds: M. D. Archer, R. Hill), Series on Photo conversion of Solar Energy, Vol. 1, Imperial College Press, London 2001.

[4] C. Haase, D. Knipp, and H. Stiebig, "Optics of thin-film silicon solar cells with efficient periodic light trapping textures," *Proc. SPIE*, 6645, (2007).

[5] <http://www.lumerical.com/company/representatives.html>

[6] C Jagadish, SJ Pearton "Zinc oxide bulk, thin films and nanostructures: processing, properties, and applications" 2011 - books