علمی-پژوهشی

بررسی به کارگیری تکنیک اوریگامی در افزایش دریافت تابش خورشیدی صفحات فتوولتاییک با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای*

Analyzing the Use of Origami to Increase the Solar Radiation on Photovoltaic Panels Through Software Simulation

امیر برزویی[۱]، مهدی زندیه[۲] (نویسنده مسئول)، شاهین حیدری[۳]

تاریخ ارسال:	تاریخ بازنگری:	تاریخ پذیرش:	تاریخ انتشار آنلاین:
۱۳۹۷/۰۹/۲۷	۱۳۹۸/۰۱/۲۵	۱۳۹۹/۰۳/۳۱	۱۳۹۹/۱۰/۰۱

چکیده

بر اساس آمار منتشره در حوزه انرژی، امروزه ساختمان‌ها به عنوان بزرگترین منبع مصرف انرژی شناخته می‌شوند. به این دلیل پیشرفت‌های فناوری در حوزه ساخت و ساز بیش از پیش به سمت راهکارهای نوین در جهت کاهش مصرف انرژی در این بخش تمرکز یافته اند. دستیابی به راه حل هایی همسو با محیط زیست در راستای حرکت به سمت توسعه پایدار در بخش معماری، مورد نظر معماران و طراحان قرار گرفته است. فناوری‌های تطبیق پذیر در پوسته‌های ساختمانی به منظور استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر بخش مهمی از این دست تلاش‌ها را در بر می‌گیرد. پوسته‌های متشکل از صفحات فتوولتاییکی که از نور خورشید انرژی الکتریکی تولید می کنند، به عنوان بخشی حایز اهمیت در کاهش وابستگی ساختمان‌ها به انرژی‌های فسیلی شناخته می‌شوند. استفاده از تکنیک های کم هزینه و اثر بخش در زمینه ی معماری کمک شایانی به بهبود فرآیند ساخت نموده است. این تحقیق بر آنست تا تاثیر بهره گیری از تکنیک کاغذ و تا را در صفحات فتوولتایک به کار رفته در نمای ساختمان‌ها به منظور افزایش دریافت تابش خورشیدی بررسی کند. این امر با استفاده از نرم افزارهای شبیه ساز پارامتریک (گرسهاپر) و انرژی (لیدی باگ) انجام گرفته است. پس از تحلیل و بررسی کلی انواع مختلف روش های اوریگامی و نمونه های به کار گرفته شده در صنعت ساختمان و همچنین موارد موجود در طبیعت، ۴ مورد به عنوان مدول های پایه برای بررسی بیشتر و مدلسازی در افزونه ی لیدی باگ نرم افزار گرسهاپر انتخاب شدند. مدول های شبیه سازی شده با استفاده از افزونه ی گالاپاگوس بر اساس الگوریتم ژنتیک بهینه سازی شدند تا بهینه ترین حالت آنها برای دریافت حداکثر میزان تابش خورشیدی به دست آید. نتایج این پژوهش نشان می دهد تغییر چینش وجوه مختلف صفحات فتوولتاییک با استفاده از تکنیک اوریگامی نسبت به مدول پایه ی یک متر مربعی عمودی در نمای جنوبی ساختمان، می تواند بین ۳,۴۴ تا ۱۱,۳۹ درصد میزان تابش دریافتی از خورشید را افزایش دهد.

واژه‌های کلیدی:

صفحات فتوولتاییک، تکنیک اوریگامی، شبیه سازی انرژی.

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. amir.borzouei@gmail.com

۲. دانشیار، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. mahdi_zandieh@yahoo.com

۳. استاد، گروه معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران. shheidari@ut.ac.ir

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده نخست با عنوان "طراحی پوسته های الگوریتمیک/پارامتریک به منظور افزایش کارایی تولید برق خورشیدی با استفاده از صفحات فتوولتاییک" می‌باشد که به راهنمایی نویسنده دوم و سوم در دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره) انجام گرفته است.

۱- مقدمه و بیان مسئله

دستیابی به راه حل‌های پایدار، در پی رشد روز افزون مصرف انرژی در ساختمان‌ها و بحران انرژی به طور برجسته ای مورد توجه قرار گرفته است. بر طبق آخرین آمار سازمان اطلاعات انرژی ساختمان‌ها انرژی بیشتری به نسبت بخش‌های صنعت و حمل و نقل مصرف می‌کنند (EIA, 2011). همانطور که در تصویر ۱ مشخص است سهم ساختمان‌ها در مصرف انرژی در داخل کشور نیز در مقایسه با بخش صنعت و حمل و نقل افزون تر است (MOE, 2012). نگاهی به آمار چند ساله ی اخیر سهم رشد یابنده ی بخش ساختمان را از کل انرژی مصرفی نمودار می‌نماید. این امر به علت تعداد فزاینده‌ی افرادی است که زمان خود را درون ساختمان‌ها می‌گذرانند (Bougdah & Sharples, 2009). اگر چه آمارهای مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشورهای مختلف متفاوت است، ولی در تمامی آن‌ها می‌توان الگوی رشد مصرف را ردیابی نمود (Knaack & Klein, 2009; Ficca, 2015).

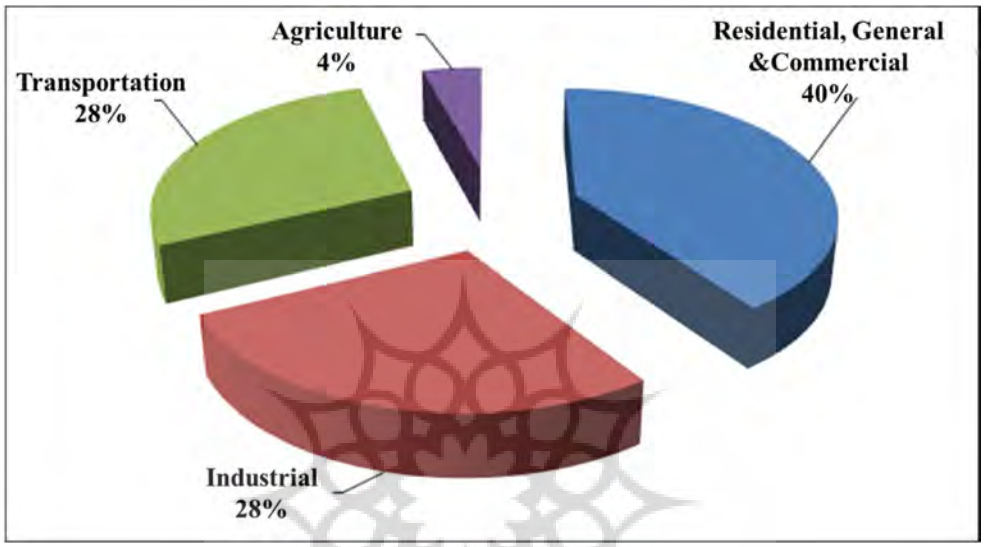

Fig. 1 Share of energy consumption of different sectors of total energy consumption in Iran in 1390 (MOE, 2012)

معماری مدرن با بهره‌گیری از رشد تکنولوژی و نگاه ماشینی به ساختمان باعث عدم تطابق ساختمان‌ها با بستر آن‌ها و در نتیجه آسیب‌های زیست محیطی و افزایش استفاده از منابع انرژی گردید. یکی از راهکارهای کاهش اتلاف انرژی، طراحی ساختمان‌های تطبیق پذیر با شرایط محیطی بیرون بوده است (Abasi et al., 2015). برجسته ترین عامل در اتلاف انرژی در بخش ساختمان، نمای ساختمان است، در واقع این نماهای ساختمان هستند که به عنوان فیلتری در مقابل عوامل خارجی عمل می‌کنند و شرایط آسایش درونی را فراهم می‌آورند (Loonen, 2010).

نماهای هوشمند به طور فزاینده‌ای در حال گسترش می‌باشند که تا حد زیادی این پیشرفت را مرهون رشد فزاینده‌ی فناوری و استفاده از هندسه‌های پیچیده می‌باشند. معماری هوشمند به گونه‌ای از معماری اطلاق می‌شود که با هدف محقق نمودن نیازهای متغیر پیرامونی با بهره گیری از هندسه و یا مکان تغییر یابنده به طور فیزیکی خود را تطبیق می‌دهد (Salehi et al, 2014). در حال حاضر این نوع از پاسخ گویی در معماری برای بهره گیری از تابش آفتاب، تهویه و بهبود مسایل و معضلات مرتبط با انرژی به طور خاص زمانی که بار حرارتی زیادی صرف گرمایش و تهویه می‌شود، مورد نیاز است.

یکی از روش‌های بهره‌گیری از انرژی خورشیدی در ساختمان به دلایل مزیت‌های بی‌شمار آن تولید الکتریسیته می‌باشد (Tudorache & Kreindler, 2010). این پژوهش بر روی تبدیل تشعشعات خورشید به انرژی الکتریکی از طریق سلول‌های فتوولتایکی تمرکز می‌کند. دلیل این امر سعی بر ارتقاء عملکرد فناوری رو به رشد صفحات فتوولتاییکی است تا از نظر اقتصادی برای کاربرد در ساختمان‌های متعارف توجیه پذیر گردد. کاربردهای صفحات فتوولتاییک در ساختمان‌های BIPV (ساختمان‌های یکپارچه با فتوولتاییک) شامل نصب روی بام، دیوارهای بیرونی و یا نماهای نیمه شفاف می‌باشد (تصویر ۲). اگرچه دیواره‌های عمودی ساختمان‌ها میزان کمتری از انرژی تابشی را دریافت می‌کنند، اما به علت میزان کمتر تغییرات در طول فصول و همچنین کاربردهای وسیع به عنوان اجزاء نمای ساختمان ها، نقش پررنگی در طراحی ساختمان‌های BIPV دارا هستند(Hofer, Groenewolt, Jayathissa, Nagy, & Schlueter, 2016).

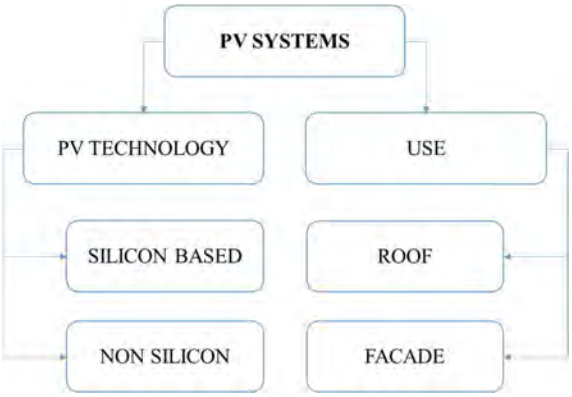

Fig. 2 BIPV systems (Biyik et al., 2017)

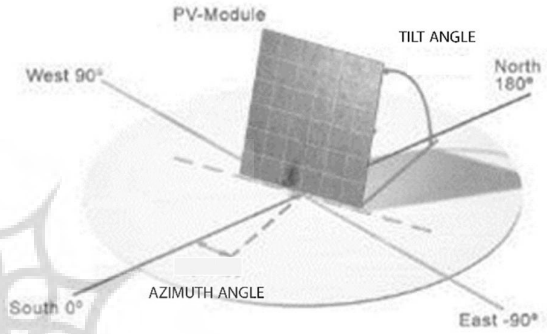

Fig. 3. Angles of PV (Prasad & Snow, 2005)

در واقع به منظور افزایش بهره وری عملکرد ساختمان‌ها بایستی به بهبود وضعیت پوسته‌های آنها پرداخت. اگرچه این امر نیازمند ابزارها و پیشرفت تکنولوژی است و وابستگی بسیاری به فناوری‌های نوین مبتنی بر حسگرها و همچنین مکانیزم‌های پیچیده دارد، اما یکی از روش‌های ساده ی بهبود عملکرد ساختمان‌ها می‌تواند تکنیک اوریگامی (تا کردن کاغذ) باشد (Kurrer, 2012; Rinaldi, 2013; Moussavi, 2009).

در این چارچوب تکنیک اوریگامی به عنوان ابزار بصری و برای عملکرد زیبایی شناسی به کار نخواهد رفت و در واقع بهره‌گیری از اصول هندسی مبتنی بر کاغذ و تا به منظور افزایش میزان بهره وری عملکرد نمای ساختمان در مقابله با شرایط محیطی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. هندسه تا کردن در واقع یک برگ از مصالح را به واحدی با عملکرد سازه ای تبدیل می کند (Chu& Keong, 2017). در این پژوهش از تکنیک اوریگامی در جهت بررسی میزان تاثیر آن در افزایش تابش خورشید به منظور تولید برق در صفحات فتوولتاییک در راستای افزایش بهره‌وری عملکرد نمای ساختمان‌های BIPV استفاده می‌شود.

۲- روش‌شناسی

در این تحقیق به منظور ارتقاء سطح عملکرد نمای ساختمان در موضوع انرژی و نهایتا ایجاد بهره وری بیشتر در کارایی کل ساختمان از تکنیک اوریگامی استفاده خواهد شد. ارتقاء عملکرد صفحات فتوولتاییکی از سه طریق امکان‌پذیر است (Hofer et al., 2016): بهبود هندسه و شیوه‌ی قرارگیری صفحات فتوولتاییک، به کارگیری مصالح نوین و فناوری‌های جدید و در نهایت بهره‌مندی از ردیاب‌های خورشیدی. این تحقیق به افزایش سطح کارایی صفحات خورشیدی از طریق تغییرات هندسی با بهره گیری از تکنیک اوریگامی می‌پردازد.

در ابتدا با بررسی تکنیک اوریگامی و شیوه‌های مختلف آن به تهیه ی جدولی از انواع شیوه‌های تا کردن کاغذ پرداخته خواهد شد. در این جدول انواع کاربردهای تکنیک اوریگامی در معماری و ساختمان، طبیعت و جانداران و همچنین بهره گیری در صنعت طراحی صنعتی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. از این میان انواع شیوه‌های تا کردن که در مسیر ارتقاء عملکرد صفحات خورشیدی در جذب تابش خورشیدی از منظر معیارهای کلی تعریف شده (ساخت‌پذیری، کنترل تابش، تحرک پذیری، آکوستیک بودن، عملکرهای حرارتی و سازه ای) شرایط بهتری داشته باشند انتخاب خواهند شد.

به منظور بررسی دقیق تر این روش‌های تا کردن از هر یک آن‌ها در نرم افزار راینو[1] (نسخه ۶) و افزونه ی گرسهاپر[2](نسخه ۰,۹,۷۶) یک نمونه مدلسازی خواهد شد و سپس به وسیله ی افزونه ی لیدی باگ[3] (نسخه ۰,۰,۶۶) (در این نرم افزار شبیه سازی صفحات فتوولتاییک و اندازه گیری میزان جذب انرژی تابشی بر روی سطح آن‌ها انجام می‌گردد) میزان جذب تابش خورشیدی بر روی آن‌ها مورد اندازه گیری قرار می‌گیرد. افزونه لیدی باگ که در بستر نرم افزار راینو و گرس هاپر عمل می کند، با بهره گیری از موتور معتبر انرژی پلاس[4] و داده های اقلیمی در قالب فایل های EPW شبیه سازی انرژی سطوح پارامتریک را انجام می‌دهد (Sadeghipour Roudsari, Pak, & Smith, 2013). حالات هر یک از شیوه‌های تا شدن در افزونه ی گالاپاگوس[5] (این نرم افزار بر اساس پارامترهای تعریف شده به بهینه سازی تابع هدف می‌پردازد) بر اساس پارامترهای شکلی آن‌ها بهینه می‌گردد و در نهایت تمام این موارد با مدول پایه ۱ متر مربعی نمای عمودی ساختمان‌ها مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

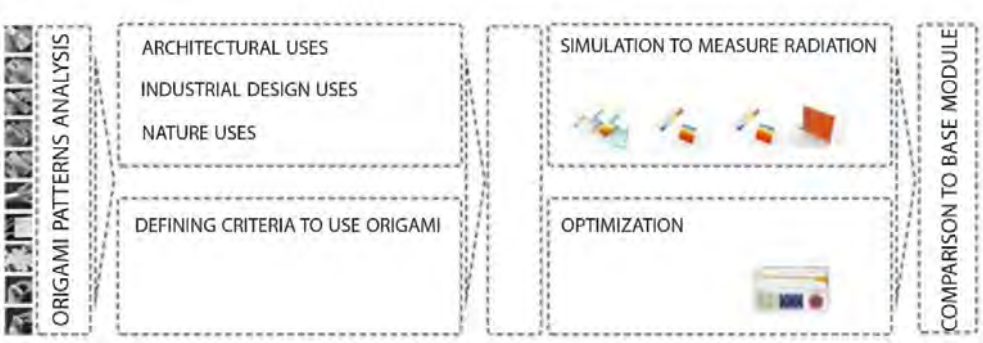

Fig. 4 Research stages

۳- بررسی تکنیک اوریگامی

انـواع شیوه‌های تا کردن کاغذ پهنه‌ی وسیعی را شامل می گردد که از تا کردن در امتداد ۱ محور تا ۴، ۵ و ۶ محور را شامل می شود. این آزادی عمل در تولید فرم باعث پدید آمدن گونه‌های متعددی از تکنیک اوریگامی گردیده است. با توجه به وضعیت این نمونه ها، در اینجا به چند نمونه از این اشکال و کاربرد آن‌ها در طبیعت و معماری پرداخته می‌شود (تصویر ۵). این نمونه‌ها حاکی از کاربرد گسـترده‌ی تکنـیک اوریگامی در صنعـت سـاختمان است. الگـوهای مختلـف اوریگـامی می‌توانند به انواع ذیل دسته بندی گـردند :

- الگـوهای V شکل
- تا شـده و چرخیده
- طرح های موزاییکی
- الگـوهای مدولار
- الگـوهای تا شدن شعاعی
- الگـوهای مبتنی بر کریگامی

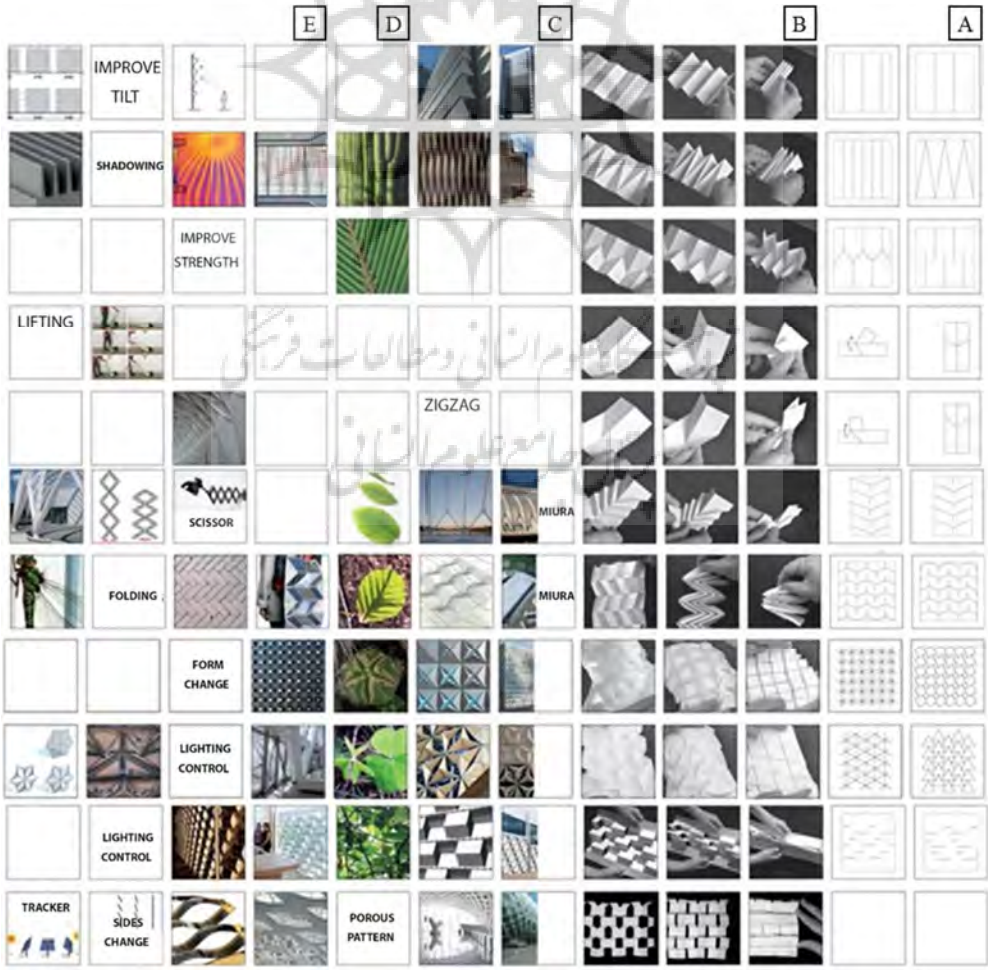

Fig. 5 Uses of origami technic

این بررسی‌ها در جهت آشکارسازی خصوصیات ویژه‌ی الگوهای مختلف و ویژگی های هندسی و مقیاس پذیری آنها برای کاربرهای متفاوت در حوزه معماری می باشد. در بخش دیگر (C) مجموعه ای از ساختمان های ساخته شده با بهره گیری از الگوهای هماهنگ با شیوه های تا شدن جمع آوری گردیده است که وضعیت فعلی کاربرد اوریگامی در معماری را نمایان می سازد. اگرچه بعضی از نمونه‌ها صرفا به الگوبرداری فرمی از شیوه های تا شدن پرداخته اند، اما به دلیل کمک کردن در تغییر مقیاس برای بهره بردن در فرآیند ساخت و ساز ساختمان های بزرگ و رویارویی با چالش های ساخت بزرگ مقیاس واجد ارزش می باشند.

هندسه‌های پیچیده‌ی موجود در گیاهان و جانوران دلیلی محکم بر خصوصیات مثبت و پتانسیل‌های موجود عملکرد آن‌ها در راستای پاسخ گویی به طبیعت و شرایط پیرامونی می‌باشد (D). طبیعت می‌تواند با بهره‌گیری از هندسه خود را با شرایط بومی تطبیق دهد. این اصول طراحی بیونیک می‌توانند به عنوان الهامات طراحی در بناهای معماری مورد استفاده قرار گیرند. اصول بهره‌گیری از تکنیک‌های تا کردن در دیگر رشته‌ها همچون هنر و طراحی صنعتی (E) نیز به چشم می‌خورد که نشان دهنده‌ی تاثیرات به کارگیری اوریگامی در عملکرد و ادراکات زیبایی شناسانه‌ی آن‌ها می‌باشد.

۱-۳- ویژگی‌های تکنیک اوریگامی در معماری

نمونه‌های مذکور در تصویر ۵ در قالب عملکردهای حرارتی، ساخت‌پذیری، آکوستیک، روشنایی روز و توانمندی‌های حرکتی در نماهای متحرک دسته‌بندی می‌شوند.

صفحات تا شده به عنوان عناصری دارای قابلیت حرارتی در گیاهان استفاده می شوند. به طور مثال در برگ های گیاه کاکتوس (تصویر ۷) که به شکل ورق های تا شده است تفاوت دمایی میان راس آن‌ها و نقاط نزدیک تر به ساقه مشاهده می شود. در حالی که این فاصله نزدیک به ۱ سانتی متر است اما سطح نزدیک به ساقه در حدود ۴ درجه کلوین از راس آن خنک‌تر است که بدین وسیله گیاه در شرایط محیطی می‌تواند حرارت را تحمل کند. این اصل در ساختمان می‌تواند به عنوان زبانه‌هایی که به علت طول بیشتر با هوای آزاد در تماس هستند و موجب خنک سازی می‌گردند، مورد استفاده قرار گیرد (Schittich, 2003).

نمونه‌ای دیگر از کارکرد تا کردن (تصویر ۸)، دیوار چوبی است که به عنوان جاذب گرما به کار می رود و کارکرد آن بر اساس مسیر حرکت خورشید و میزان تابش آن می‌باشد. زبانه های افقی که در پوسته های ساختمان قرار می گیرند با توجه به زاویه‌ی تابش آفتاب در فصول مختلف، به تعادل حرارتی فضای داخل کمک می‌کنند (Sanchez, 2011; Taschi, 2011). طبق تصویر ۹، استفاده از کاغذ تاشده به شکل زیگزاگ در لیوان‌های کاغذی، از سوختن انگشتان دست به علت حرارت جلوگیری می‌نماید که در واقع به نوعی از قابلیت عایق حرارتی بودن تاشدن استفاده می کند. شیوه ی دیگر استفاده‌های نوین از اوریگامی در صنعت هوانوردی است. این شیوه به شکلی است که کاغذ تا شده به عنوان هسته ی ساندویچ پنل قرار می‌گیرد و هوا را از طریق منافذ به هم پیوسته ای که به شکل غیر خطی - زیگزاگ - در امتداد هم قرار گرفته اند، محبوس می‌کند (تصویر ۱۰) (Peters, 2014).

Fig. 6. Zigzag

Fig. 7. Different temperature of Cactus leaf(Sanchez, 2011)

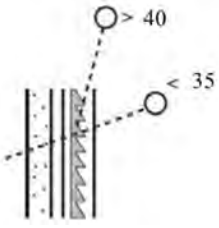

Fig. 8. Wooden wall (Sanchez, 2011)

Fig. 9. Zigzag in paper glass (Peters, 2014)

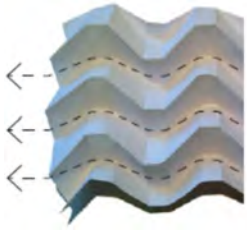

Fig. 10. One-directional transition (Peters, 2014)

اشکال تا خورده برای استفاده از مزیت‌های ساخت پذیری نیز مورد توجه می‌باشند. انواع به خصوصی از شیوه‌های تا کردن برای استفاده در فرآیند تطبیق پذیری پارامتریک که طی آن فرم‌های پیچیده به اشکال ساده تر تبدیل می‌شوند، به کار می‌رود. یکی از نمونه‌های معروف به کارگیری این شیوه، ترمینال یوکوهاما است (تصویر ۱۱) (Di Cristina, 2001). استفاده از خطوط تا در قوطی‌های نوشیدنی نیز استحکام به آنها بخشیده است (تصویر ۱۲). همچنین تا کردن صفحات تخت نیز به میزان تحمل بار آنها در مقایسه با نمونه‌های تخت اولیه می‌افزاید .این قابلیت در شکل گیاه کاکتوس ساگوارو[۶] نیزکه به شکل عمودی رشد می‌کند دیده می‌شود (تصویر ۱۳). مقاومت در برابر سرعت باد، ایجاد امکان انحراف در هنگام وزش باد و همچنین افزایش میزان نسبت ارتفاع به عرض در این گیاه می‌تواند از تبعات بهره گیری از اشکال تاشده در گیاه کاکتوس ساگوارا باشد (Schmidt & Stattmann, 2009; Deplazes, 2005, Alberti, 2006).

Fig. 11. Simplification of complex forms (Deplazes, 2005)

Fig. 12. Strengthen by fold (Deplazes, 2005)

Fig. 13. Zigzag fold in Cactus leaves (Alberti, 2006)

تاکردن همچنین می‌تواند در جهت تحقق نیازمندی‌های آکوستیک نیز ثمربخش باشد. در واقع فرمهای تاشده براساس اوریگامی قابلیت تطبیق پذیری وسیعی در جهت پاسخ گویی به احتیاجات آکوستیکی و جذب صداها با بسامدهای متنوع را دارا هستند (Schmidt & Stattmann, 2009). در پروژه‌ی محفظه‌ی رزونانس[۷] طراح گامی فراتر نهاده است و با طراحی سقف معلق با استفاده از صفحات متحرک تا خورده، قابلیت تغییر عملکرد آکوستیک فضا در تطبیق با شرایط محیط را فراهم نموده است (تصویر ۱۴) (Krimm, Techen, and Knaack, 2016; Thun et al., 2012).

سطوح زاویه دار نقش برجسته ای می‌توانند در جهت هدایت کردن نور داشته باشند. شرکت زیگزاگ سولار[۸] از صفحات افقی زیگزاگ برای افزایش کارایی پنل‌های فتوولتاییک استفاده کرده است (تصویر ۱۵) (Zigzagsolar, 2015). بخشی از نور آفتاب به طور کنترل شده از لابلای زبانه‌های سطوح تاشده وارد فضای داخلی می‌شد. در واقع زوایای خطوط تا شده باعث کنترل میزان تابش دریافتی و در نتیجه بهبود آسایش حرارتی در فضای داخلی می‌شد (Sanchez, 2011).

Fig. 14 Using origami to make acoustic, (Thun et al., 2012)

Fig. 15 Zigzag Solar, (Zigzagsolar, 2015)

متحـرک بودن امکان تطبیـق پذیری با شرایط مختـلف و نیز محقق نمودن عملکردها متنوع را به فرم می‌افزاید. صفحات تاشده به شکل زیگزاگ در راستای جهتی که تا می‌خورند، در قالب حرکت خطی می‌توانند به حالت اولیه باز گردند. حرکت این صفحات شبیه به مکانیسم موجود در قیچی می‌باشد (تصویر ۱۶) که با کشیدن لبـه‌های بیـرونی به سـمت داخل حرکت چرخشی ایجاد می‌گردد. از این الگو در طراحی سـایبان‌های خورشیدی بهره گرفته شده است (Flectofin, 2014). اشـکال پیچـیده‌تر از طریق الگـوهای اوریگـامی موزاییکی حاصـل می‌شود. یکی از ویژگی‌های اصلی این الـگوها مرتبط با ضـریب منفی پواسـون آنهاسـت. به این معنی که وقتی گوشـه‌های آن به طرفیـن کشیده می‌شود، تغییری در عرض آن‌ها به وجود نمی‌آید و بر خلاف مصالح ایزوتروپیـک متداول دچار کاهش عرض نمی‌شوند (تصویر۱۷) (Morgan et al., 2016). در الگوی کریگامی نیز حرکـت باعث تغییر زاویه‌ی وجوه مختلف سـطح تا و برش خورده می‌گـردند. این اصـل در طراحی نمونه‌ی متحـرک سـلول‌های خورشیـدی فیلم نازک به کار گرفتـه شده است. کشیده شـدن فیلـم فتوولتـاییک منجر به چرخیـده شـدن وجوه آن مختـلف می‌گردد که این امر نهایتا باعث می‌شود تا تابش خورشیـد بیشتـری توسـط آنها جـذب شود و میـزان بهره‌وری صفحات فتوولتاییک افزایش یابد (تصویر ۱۸). در این پروژه قابلیت متحرک سازی الگوی کـریگامی برای بهبـود عملکرد ردیاب خورشیـدی مـورد بررسـی قـرار گرفتـه اسـت (Lamoureux, 2015).

Fig. 16. Lifting mechanism, (Flectofin, 2014)

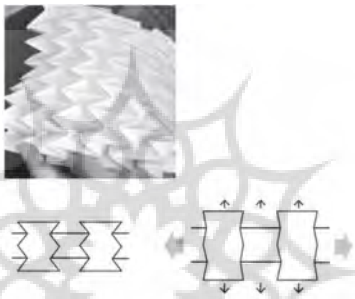

Fig. 17. Negative Poisson ratio, (Morgan et al., 2016)

Fig. 18. Krigami in PV, (Lamoureux, 2015)

۴- بررسی الگوهای مختلف اوریگامی

الگوهای متفاوت تا کردن کاغذ بر اساس اشکال گوناگونی که پدید می‌آورند دارای ویژگی‌های منحصر بفردی هستند. عمده‌ی این ویژگی‌ها در بخش قبلی معرفی شد. این خصوصیات باعث گردیده تا هر دسته از آن‌ها برای کارکرد در حوزه ی خاصی به کار گرفته شوند. با توجه به گستردگی زیاد فرم‌های اوریگامی و عدم امکان مدلسازی آنها، در این تحقیق تصمیم بر آن شـد تا پس از بررسـی ویژگـی‌های کاربردی الگوها چند نمونه که برای دریافت تابش خورشیـد مناسب تر تشخیص داده می‌شوند، انتخاب و فرایند شبیـه‌سازی بر روی آن‌ها انجـام شـود. ازین بابت در تصویر ۱۹ ویژگی‌های ذکر شده ی قبل به عنوان معیارهای تصمیم گیری برای ارزیابی عملکرد الگوهـای مختـلف به منظور جذب تابـش خورشید برای تولید برق با اسـتـفاده از صفحـات فتوولتاییک مورد مقـایسه قـرار گرفتـه‌اند.

معیارهای مورد نظر برای انتخاب تغییر جهت وجوه (متناسب با زوایای خورشیدی)، هندسه خطی و مستقیم، خودسایه اندازی، کنترل نور و ایستایی و ساخت پذیری می‌باشند. از میان گزینه‌های مختلف به علت خواص هندسی و همچنین قابلیت‌های تحرک پذیری دو نوع متفاوت الگوی میورا و تای V شکل به عنوان نمونه‌های اصلی برای بررسی‌های بیشتر انتخاب شد. دلیل اول آنکه ویژگی‌های آن‌ها باعث استحکام سازه و پایداری آن می‌گردد. بدین معنی که ساختار هندسی آن‌ها به ایستایی آنها کمک می‌کنند و نیاز کمتری به سازه‌های نگهدارنده می‌باشد. دلیل دوم آنکه با حرکت یک محوره ی آن‌ها در جهت باز شدن، تمام خطوط تا به طور همزمان شروع به باز شدن می‌کنند که این امر باعث نیاز به نیروی کمتر برای باز و یا تا شدن آن دارد و در عین حال باعث می‌گردد وجوه مختلف حجم نهایی در زوایای متفاوت و موثر قرار می‌گیرند. زاویه ی موثر در اینجا بدان معنی است که وجوه این الگوها می‌تواند در دوره زمانی خاصی به طور روزانه و یا فصلی در مقابل تابش خورشید قرار گیرد. این امر در دریافت تابش خورشید برای تولید برق به وسیله ی صفحات فتوولتایک از آن جهت که با توجه به تغییر زمانی روزانه و فصلی جهت تابش باعث دریافت میزان بیشتری از آن می‌گردد، بسیار موثر می‌باشـد. اگر چه ایجاد وجوهی با

زوایـای متفـاوت از ویژگی‌های تمام الگوهای اوریگامی است، اما باید توجه داشت که زوایای وجوه این الگوها به شکلی باشد که میزان خودسایه اندازی این احجام کمترین میزان ممکن باشـد. دلیل سوم این انتخاب هم اینست که هندسه‌ی کلی آن‌ها مستقیم و غیر منحنی است که این موضوع کاربرد این الگوها را برای نماهای ساختمان‌ها تسهیل می‌کنـد.

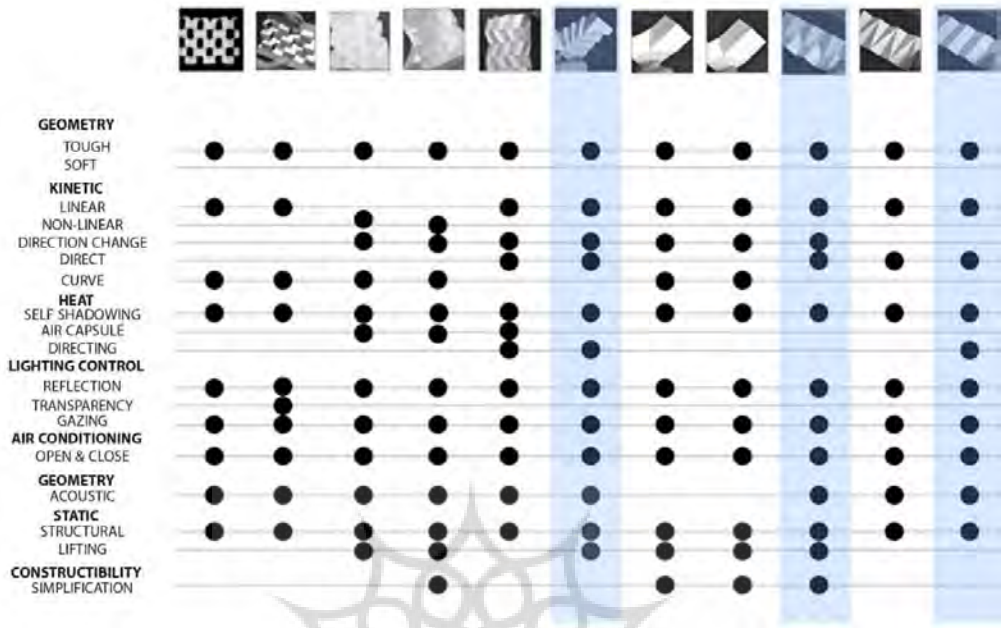

Fig. 19 Analyzing characteristics of different origami patterns

۵- شبیه سازی رایانه ای الگوهای منتخب

براساس تصویر ۱۹ و بررسی‌های ویژگی‌های مختلف انواع گوناگون روشهای تا کردن سه الگو برای شبیه‌سازی انتخاب شد. با توجه به اینکه شیوه‌ی تای V شکل قابلیت عملکرد به دو شکل افقی و عمودی را داراست، مدل‌های شبیه سازی اوریگامی به چهار الگوی مختلف محدود شدند. همانطور که روشن است با توجه به عرض جغرافیایی کشور، نمای جنوب امـکان دریافت بیشترین میزان تابـش خورشـیدی را داراست. در ایـن میـان با توجـه به محـدوده‌ی تحقیـق که نـمای ساخـتمان‌ها را دربر می‌گیـرد، بـرای مقایسـه‌ی الگـوهای مختـلف اوریگامی در شکل‌گیـری گزینه‌های متنوع و مقایسه ی آنها با یکدیگر راهکاری خاص در نظر گرفته شد. برای این منظور مدول پایه ای به مساحت ۱ متر مربع و به ابعاد یک متر در یک متر رو به سمت جنوب و به طور قائم به عنوان مدل پایه ی مطالعه انتخاب شد(تصویر ۲۰). این امر به دلیل ساده سازی مقیاس، برای اندازه گیری میزان تابش در فرآیند شبیه سازی و همچنین حذف متغیرهای مزاحم همچون بازشوهای ساختمان، سایه اندازی ساختمان‌های مجاور، تفاوت در میزان تابش دریافتی نماهای کناری و ایجاد امکان مقایسه با سایر گزینه‌ها انجام شد. در زمینه ی زاویه ی بهینه شیب پنل ثابت برای دریافت تابش حداکثری خورشید و تولید برق مطالعات بسیاری صورت گرفته است. نتایج این مطالعات در جدول ۱ آمده است.

Table 1: Optimum slope of PV in Tehran

Researcher	Optimum Slope
MOE, 2012	27.8
Saghafi, asadi & Pouyandeh, 2010	30
Farsi Mohammadipour, 2010	30

زاویه‌ی بهینه‌ی شیب صفحات فتوولتایک برای دریافت تابش حداکثری با توجه به عرض جغرافیایی تهران ۳۰ درجه می‌باشد. با توجه به محدودیت نمای ساختمان برای تامین زاویه ی شیب ۳۰ درجه برای صفحات فتووتاییک، تنها حالت ممکن تبدیل نما به مدول‌های پایه و چرخش هر یک از آنها بر اساس زاویه و شیب بهینه می‌باشد. با توجه به این مطلب یکی از گزینه‌های شبیه سازی نیز چرخش مدول‌های پایه ی ۱ متر مربعی به سمت شیب و زاویه ی بهینه دریافت تابش با توجه به سایه اندازی‌های مدول‌های همجوار انتخاب شد(تصویر ۲۱). به طور مجموع ۶ الگوی مختلف که شامل مطیف پایه برای انجام مقایسه می‌باشد برای شبیه سازی مورد نظر قرار گرفت.

در تمام گزینه‌های مورد نظر برای دستیابی به نتیجه‌ی نزدیکتر به واقعیت، مدول‌های طرفین که امکان ایجاد سایه بر روی مدول اصلی را در اوقات مختلف روز و فصل داشتند، در شبیه سازی لحاظ شدند تا میزان سایه اندازی و کاهش دریافت تابش آن‌ها محاسبه گردد. همچنین برای ایجاد امکان مقایسه بین الگوهای مختلف براساس مساحت برابر، در نمونه‌هایی که میزان مساحت آن‌ها از یک متر مربع تجاوز پیدا می‌کند، میزان تابش دریافتی بر واحد سطح در نظر گرفته می شود. در شکل زیر این نمونه‌ها قرار گرفته‌اند.

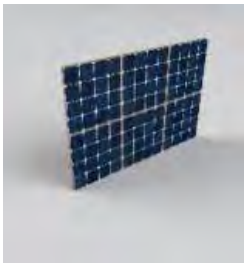

Fig. 20 Basic Module 1 m2

Fig. 21 Basic module with optimum slope

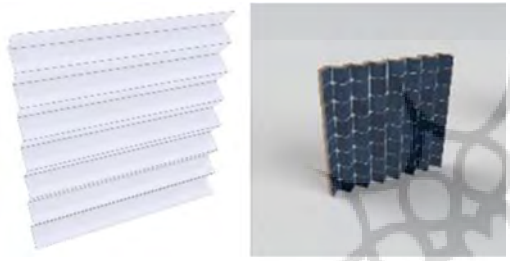

Fig. 22 Horizontal zigzag

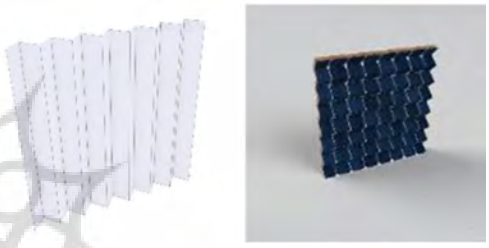

Fig. 23 Vertical zigzag

Fig. 24 Miura 1 Pattern

Fig. 25 Miura 2 (PVs are put on 2 lower sides which incline upward)

تمام مدل های مذکور در نرم‌افزار راینو و به وسیله افزونه‌ی گرسهاپر به طور پارامتریک ساخته شدند و با بهره‌گیری از افزونه‌ی لیدی باگ که مجهز به داده‌های آب و هوایی نقاط مختلف جهان می‌باشد، مورد بررسی قرار گرفتند و میزان دریافت تابش خورشید در طول یکسال بر روی سطح آن‌ها اندازه گیری شد. برای محاسبه میزان تابش دریافتی آنها داده های آب و هوایی ایستگاه هواشناسی غرب تهران (مهرآباد) استفاده شده است. بعد از آن با استفاده از افزونه ی گالاپاگوس که به منظور بهینه سازی تابع هدف (که در اینجا میزان جذب تابش دریافتی از خورشید می‌باشد) از طریق بهره گیری از الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار می‌گیرد، چیدمان بهینه‌ی مدل‌های شبیه‌سازی شده مورد بررسی قرار گرفت. در واقع برای هریک از الگوهای شبیه‌سازی شده، بر اساس پارامترهای شکل گیری آن‌ها، بی نهایت حالت به وجود خواهد آمد، که به کمک این افزونه دامنه‌ای از پاسخ‌ها که میزان تابش دریافتی خورشید در آن‌ها از سایر حالات بیشتر است، انتخاب می‌شوند. پس از شبیه‌سازی تمام مدل‌های ساخته شده و تکمیل بهینه‌سازی آن‌ها از طریق به کارگیری الگوریتم ژنتیک، نتایج ذیل به دست آمد.

Table 2: Simulation Result

Samples	KWh Radiation	KWh/m² Radiation in 1 m²	The rate of increase relative to the basic module%
Basic Module	1352,84	-	-
Basic Module with optimum Slope	1222,23	1222,23	-10 %
Horizontal Zigzag	1470,58	1445,74	6.81 %
Vertical Zigzag	1406,69	1405,42	3.44 %
Miura 1 Pattern	1369,90	1422,09	5.17 %
Miura 2 Pattern	1503,28	1506.39	11.39 %

همانطور که از نتایج شبیه سازی که در جدول ۲ نشان داده شده است، مشخص است بهره گیری از تکنیک تا می‌تواند میزان دریافت تابش خورشیدی را افزایش دهد. میزان دریافت تابش سالیانه در مدول پایه (مدول ۱ مترمربعی که به طور کاملا عمودی در سمت جنوبی ساختمان و رو به جنوب قرار گرفته است) برابر با ۱۳۵۲ کیلووات ساعت می‌باشد. در صورت چرخش این صفحه یک متر مربعی (در صورتی که به تنهایی قرار گرفته باشد) به سمت زاویه جهت و شیب بهینه میزان دریافت آن به بیش از ۲۰۰۰ کیلووات ساعت افزایش پیدا می کند، اما همانطور که که در جدول مشخص است به علت قرار گیری مدول های اطراف و بالایی و سایه اندازی آنها روی مدول اصلی، این میزان به ۱۲۲۲,۲۳ کیلووات کاهش می یابد. این موضوع نشان دهنده ی آنست که در صورت چرخش مدول ها، سایه اندازی باعث کاهش میزان تابش دریافتی پنل‌ها نسبت به حالت عمودی می‌گردد.

مدل هایی که به شکل زیگزاگ تا شده اند، در هر دو شکل عمودی و افقی تابش بیشتری نسبت به مدل پایه جذب کرده اند. این میزان افزایش بین ۳,۴۴ تا ۶,۸۱ درصد بیشتر از میزان جذب انرژی تابشی در مدول پایه است. اما نکته ی قابل توجه در این مورد، کاهش اندک میزان تابش دریافتی در واحد سطح است. در واقع در این دو گونه (افقی و عمودی) که از تای V شکل بهره برده اند، به علت تا شدن مساحت کلی بیشتری را دارا هستن که این امر نشان می‌دهد در آن‌ها میزان بیشتری از صفحات فتوولتایک به کار رفته است که این امر باعث می‌گردد، میـزان تابش دریافتی خورشید در واحد سطح کاهـش بیابد.

مدل‌های بعدی با استفاده از الگوی میورا ساخته شده اند. زوایای آن‌ها و نیز مکانیزم تا شدن‌ها تفاوت هایی را با یکدیگر ایجاد کرده که در دو مدل مجزا قرار گرفته‌اند. مدل ساخته شده با الگوی میورا ۱، به میزان ۱۳۶۹,۹۰ کیلووات ساعت انرژی سالیانه جذب کرده است. این امر با توجه به چرخش وجوه مختلف آن و افزایش مساحت این مدل باعث شده است تا میزان تابش دریافتی در واحد سطح این مدل به میزان ۱۴۲۲,۰۹ کیلووات ساعت باشد که افزایشی در حدود ۵,۱۷ درصد نسبت به مدول پایه عمودی را نشان می‌دهد. نمونه ی آخر نیز با بهره گیری از الگوی میورا ساخته شده است. نمونه میورا ۲ تابشی برابر با ۱۵۰۳,۲۸ کیلووات ساعت در سال را جذب می کند که این امر با در نظر گرفتن میزان تابش دریافتی در واحد سطح آن، باعث می‌گردد این مدل بدون افزایش مساحت پنل های فتوولتایک تا حدود ۱۱,۳۹ درصد میزان دریافت تابش خورشیدی را افزایش دهد. این موضوع موید این مطلب است که با تغییر زاویه صفحات و همچنین در نظر گرفتن الگوی چیدمان آن‌ها در کنار هم به منظور کمینه کردن میزان تابش دریافتی، می‌توان میزان انرژی بیشتری از صفحات فتوولتاییک دریافت کرد و در نهایت میزان تولید الکتریسیته از طریق خورشید را افزایش داد. این موضوع باعث کاهش هزینه‌های مرتبط با تامین انرژی ساختمان در بلند مدت خواهد شد و همچنین در کل باعث کاهش تولید کربن در نیروگاه‌های سوخت فسیلی می‌گردد.

۶- نتیجه

این پژوهش در پی پاسخ به این سـوال بود : چـگونه با بهره‌گیری از هندسه مبتنی بر تکنیک اوریگامی می‌توان میزان دریافت انرژی تابشی خورشیدی در صفحات فتوولتاییک را افزایش داد؟ یا به بیان دیگر چگونه می‌توان با تغییر هندسه‌ی چیدمان صفحات فتوولتاییک با توجه به زوایای متغیر تابش خورشید در طول روز و سال، میزان دریافت انرژی تابشی را افزایش داد. تحقیق پیش رو نشان داد افزایش میزان کارایی صفحات فتوولتاییک صرفا مبتنی بر بهره‌گیری از تکنولوژی‌های پرهزینه و ردیاب‌های خورشیدی نیست. عامل تغییر در زاویه‌ی تابش آفتاب که مهمترین دلیل در افت راندمان دریافت تابش خورشید در دوره‌های زمانی کوتاه و بلند است را می‌توان با تکنیک‌های در دسترسی همانند اوریگامی تعدیل نمود. به بیان دیگر با تغییر زوایای وجوه مختلف صفحات فتوولتاییک با بهره گیری از فناوری‌های رایانه ای که بر اساس نحوه حرکت خورشید طراحی شده اند، می‌توان در طول زمان انرژی بیشتری از خورشید دریافت کرد. بررسی‌های این تحقیق نشان می‌دهد

که با بهره گیری از روش های ارزان قیمت و تکنیک های ساده، همچون اوریگامی، می توان به نتایج درخور توجهی دست پیدا کرد. بدین منظور پس از مطالعه و بررسی الگوهای متنوع اوریگامی و کاربردهای آنها در صنعت ساختمان و طبیعت، با توجه به معیارهای عملکرد آنها در زمینه استفاده در صفحات فتوولتاییک (خود سایه اندازی، هندسه مستقیم، ساخت‌پذیری و ایستایی، ایجاد زوایای موثر در وجوه مختلف) گزینه‌هایی که در زمینه ی افزایش دریافت تابش خورشیدی نقش برجسته‌تری دارند، انتخاب شدند. در مرحله‌ی بعد این الگوهای منتخب همراه مدول پایه که در واقع نمونه‌ای از شیوه متداول کاربرد صفحات فتوولتاییک در نمای ساختمان‌ها می‌باشد، در نرم‌افزار راینو – گرسهاپر مدلسازی شدند و سپس توسط افزونه‌ی لیدی باگ در زمینه‌ی جذب انرژی تابشی مورد شبیه سازی قرار گرفتند. به منظور یافتن جهت و زاویه‌ی بهینه این مدل‌ها، از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی سود جسته شد.

نتایج این بررسی نشان می‌دهد، الگوهایی از اوریگامی که وجوه مختلف آن به سوی زوایای متفاوتی قرار می‌گیرند، می‌توانند مجموع تابش دریافتی از خورشید را در طول یک سال افزایش دهند. بر اساس این تحقیق مدل های ساخته شده بر اساس تای V شکل به دلیل بهره بردن از مساحت بیشتر صفحات فتوولتاییک می توانند میزان بیشتری از تابش دریافتی خورشید را جذب نمایند. اگر چه میزان تابش در واحد سطح آنها کاهش پیدا می کند، اما در مواردی که میزان سطح در دسترس نما محدود می باشد، بهره گیری از آنها توجیه منطقی پیدا می کند. همچنین استفاده از مدل‌های ساخته شده با کمک روش اوریگامی میورا نشان داد که می‌توان بدون استفاده از ردیاب‌های خورشیدی و یا نماهای متحرک و صرف هزینه‌های اقتصادی می‌توان تا حدی دریافت تابش را افزایش داد. این امر به آن علت است که وجوه مختلف این الگوها در طول زمان طولانی (به علت الگوی متغیر روزانه و فصلی حرکت خورشید) توانایی بیشتری در جذب انرژی تابشی دارار هستند. البته شایان توجه است که این الگوها بر اساس عرض جغرافیایی هر نقطه که منجر به زوایای تابشی متفاوت می‌باشد، متغیر است و در واقع شهرهایی که در عرض جغرافیایی متفاوتی هستند، الگوهای بهینه ی یکسانی ندارند. در واقع برای هر نقطه بایستی شبیه سازی منحصر بفردی به منظور یافتن زوایای بهینه انجام داد.

مدل ساخته شده بر طبق میورا ۲ با توجه به افزایش میزان دریافت تابش خورشیدی به میزان ۱۱,۳۹ درصد، بهینه‌ترین شکل بهره گیری از تکنیک اوریگامی در نمای جنوبی ساختمان است. نتیجه ی بهینه سازی با بهره گیری از الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد که حالت بهینه ی این الگو برای جذب بیشترین دریافت، دو وجه با زاویه ی شیب ۷۶ درجه نسبت به سطح افق می‌سازد. زاویه ی جهت وجه ۱ برابر با ۱۷۳ درجه و زاویه ی جهت وجه دو برابر با ۲۱۵ درجه می‌باشد (تصویر ۲۶). این چینش صرفا در عرض جغرافیایی تهران بیشترین میزان انرژی تابشی را دریافت می‌کند. همچنین شایان ذکر است که در این الگوها، هر مدل دارای چهار وجه است که دو وجه بالای آن‌ها به علت اینکه در جهت تابش خورشید قرار ندارند و در جذب انرژی تابشی نقش مهمی ندارند، فاقد صفحات فتوولتاییک می‌باشند. این امر باعث می‌گردد تا سطح مورد نیاز برای نصب صفحات فتولتاییک کاهش یابد.

در تحقیقات آتی می‌توان خصوصیات الگوهای اوریگامی میورا در ایجاد پوسته‌های متحرک که در زمینه‌ی شکل‌گیری ردیاب‌های خورشیدی تاثیر پررنگی می‌توانند داشته باشند، را مورد بررسی قرار داد. این ویژگی‌های می‌توانند شامل تا پذیری، انطباق پذیری و قابلیت باز و بسته شدن آن را شامل شـود.

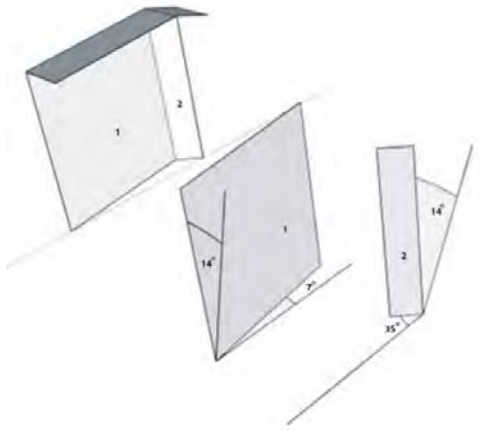

Fig. 26 Angles of miura 2 pattern

پی‌نوشت

1. Rhinoceros
2. Grasshopper
3. Ladybug
4. EnergyPlus
5. Galapagos
6. Saguaro
7. Resonant Chamber
8. Zigzagsolar

Refrences **فهرست منابع**

- Abasi M, Tahbaz M, Vafaee R (2015). Introducing an innovative variable building layers system (V.B.L.S), Naqshe Jahan, Vol. 5, No. 2, pp. 55-64.
- Alberti LT (2006). Flow around cylindrical towers: the stabilising role of vertical ribs, University of Stellenbosch.
- Biyik E, Araz M, Hepbasli A, Shahrestani M, Yao R, Shao L, Atlı YB (2017). A key review of building integrated photovoltaic (BIPV) systems, Engineering Science and Technology, An International Journal, Vol. 20, No. 3, pp. 833–858. http://doi.org/10.1016/j.jestch.2017.01.009.
- Bougdah H, Sharples S (2009). Environment, Technology and Sustainability, Taylor & Francis.
- Chu Ch, Keong CH (2017). The Review on Tessellation Origami Inspired Folded Structure, AIP Conference Proceedings, View online: https://doi.org/10.1063/1.5005656.
- Deplazes A (2005). Constructing Architecture: Materials, Processes, Structures: A Handbook: 1st (First) Edition, Springer-Verlag New York, LLC.
- Di Cristina G (2001). Architecture and Science, Chichester: Wiley-Academy.
- Farsi Mohammadipour A (2010). The Best Architectural Form for BiPV in Tehran, Enviromental Sciences, Vol. 3, pp. 55-62.
- Ficca J (2015). Building Dynamics: Exploring Architecture of Change, Routledge,
- Flectofin (2014). ITKE - Forschung. http://www.itke.uni-stuttgart.de/forschung.php?id=61.
- Hofer J, Groenewolt A, Jayathissa P, Nagy Z, Schlueter A (2016). Parametric analysis and systems design of dynamic photovoltaic shading modules, Energy Science & Engineering, n/a-n/a. http://doi.org/10.1002/ese3.115.
- Knaack U, Klein T (Eds.) (2009). The Future Envelope 2: Architecture, Climate, Skin, IOS Press, Vol. 9.
- Krimm J, Techen H, Knaack U (2016). Tuning acoustical facade designs aiming for a controlled influence on the urban soundscape, In Proceedings of the Inter-Noise 2016, 45th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Hamburg, pp. 2056–2063.
- Kurrer KE (2012). The History of the Theory of Structures: From Arch Analysis to Computational Mechanics, John Wiley & Sons.
- Lamoureux A, Lee K, Shlian M, Forrest S, Shtein M (2015). Dynamic Kirigami Structures for Integrated Solar Tracking, Nature Communications, Vol. 6, pp. 80-92.
- Loonen R (2010). Climate adaptive building shells – What can we simulate? MSc-Thesis, Eindhoven University of Technology.
- MOE (2012). Book of energy 1390, Power Ministry, Major Planning of Energy and Electricity, Tehran.
- Moloney J (2011). Designing kinetics for architectural facade: state change. Abingdon, Oxon!; New York, Routledge.
- Morgan M, Robert R, Lang J, Magleby Spencer P, Howell L (2016). Towards developing product applications of thick origami using the offset panel technique, All Faculty Publications, Vol. 7, No. 1, pp. 69–77.
- Moussavi F (2009). The Function of Form. ACTAR, Harvard Graduate School of Design,
- Peters S (2014). Material Revolution, Sustainable and Multi-Purpose Materials for Design and Architecture, Basel, Birkhäuser.
- Prasad D, Snow M (2005). Designing with Solar Power, London: Earthscan.
- Rinaldi M (2013). A as Architecture. London: Earthscan.
- Sadeghipour Roudsari M, Pak M, Smith A (2013). Ladybug: a parametric environmental plugin for grasshopper to help designers create an environmentally-conscious design, 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, pp. 3129–3135.
  Retrieved from http://www.ibpsa.org/proceedings/bs2013/p_2499.pdf
- Saghafi MJ, Asadikhalaji M, Pouyande R (2015). Optimum Slope of Solar collectors in comparison to put in south façade in Tehran, Fine arts, Architecture and urbanism, Vol. 44, pp. 57-64.
- Salehi M, Hamedi M, Nohouji HS, Arghavani J (2014). Mechanical properties identification and design optimization of nitinol shape memory alloy microactuators, Smart Materials and Structures, Vol. 23, No. 2, pp. 025001.
- Sanchez SV (2011). Solar Decathlon Europe 2010 - Towards Energy Efficient Buildings. http:// www.sdeurope.org/wp-ontent/uploads/downloads/2011/10/SOLAR-DECATHLONEUROPE- 2010.pdf.

- Schittich Ch (2003). Solar Rays: Strategies, Vision, Concept . München: Ed. Detail, Inst. For internet, Architecture Documentation.
- Schmidt P, Stattmann N (2009). Unfolded, 1 edition. Basel, Birkhäuser Verlag.
- Taschi T (2011). Rigid-Foldable Thick Origami. In Origami 5: Fifth International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education, Patsy Wang-Iverson, Robert J Lang, Mark Yim, eds, 5. Boca Raton: CRC Press, pp. 253–264.
- Thün G, Velikov K, Ripley K (2012). Soundspheres: Resonant Chamber. In ACM SIGGRAPH 2012 Art Gallery Pp. 348–357, SIGGRAPH '12. New York, NY, USA: ACM. http://doi.acm. org/10.1145/2341931.2341936ZigZagSolar.
- Tudorache T, Kreindler L (2010). Design of a solar tracker system for PV power plants, Acta Polytechnica Hungarica, pp. 23-39.
- U.S. Energy Information Administration (2011). Annual Energy Review, Retrieved 2017, Feb. 15, from https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/pdf/sec2.pdf.
- Zig Zag Solar (2015). http://zigzagsolar.com/, accessed December 12, 2017.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Scientific Article

Analyzing the Use of Origami to Increase the Solar Radiation on Photovoltaic Panels Through Software Simulation *

Amir Borzouei[1], Mahdi Zandieh[2](Corresponding Author), Shahin Heidari[3]
[1]PhD Candidate in Architecture, School of Architecture and Urbanism, International University of Imam Khomeini, Qazvin, Iran (amir.borzouei@gmail.com)
[2]Associate Professor, School of Architecture and Urbanism, International University of Imam Khomeini, Qazvin, Iran (mahdi_zandieh@yahoo.com)
[3]Professor, Department of Architecture, School of Architecture, College of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran (shheidari@ut.ac.ir)

Received	Revised	Accepted	Available Online
18/12/2018	14/04/2019	20/06/2020	21/12/2020

Objective and Background: According to statistics published in the field of energy, today, buildings are known as the largest consumers of energy. Hence, the technological advances in the field of construction increasingly focus on new solutions to reduce energy consumption in the building sector. Achieving environmentally friendly solutions in order to move towards sustainable development in the field of architecture has been considered by architects and designers. Using adaptable technologies in building shells for the use of renewable energy is an important solution. As one of the most important sources of renewable energy, the sun has a small share in producing clean energy in the building section so far. But in recent decades, scientists and designers have increasingly focused on this clean source of energy. One of the new ways to benefit from solar energy is the use of photovoltaic panels. Shells consisting of photovoltaic panels that generate electricity from sunlight are recognized as an essential solution to reduce the use of fossil fuels. The use of low-cost and effective techniques in the field of architecture has contributed significantly to the improvement of the construction process.

Methods: This study aims to investigate the effect of using folding techniques to choose the best angle of position for photovoltaic panels used on building facades to increase the solar radiation by using parametric (Grasshopper) and energy (Ladybug) simulation software. After a general analysis of different types of origami methods and the cases used in the construction industry, and the natural forms, four patterns were selected as the basic modules for further study and modeling by the Ladybug plugin in Grasshopper software. Based on the defined and conventional criteria (constructability, without shading, setting toward the sun), these samples could be used on vertical facades of buildings. The base module that can be placed on the vertical facade was modeled, and an extra module was defined based on the literature review on the optimal angle in Tehran latitude to maximize the received solar energy.

Findings: A total of 6 final samples were prepared to be simulated. The simulated modules were optimized based on a genetic algorithm using the Galapagos plugin to find the optimal position for receiving maximum solar radiation. This optimization was actually done based on the form parameters to find the most optimal form (a combination of angle and slope). This study seeks to answer the research questions:

* This article is derived from the first author`s doctoral thesis entitled " Design of Algorithmic / Parametric Shells to Increase the Efficiency of Solar Power Generation Using Photovoltaic Panels", supervised by the second and third authors, at International University Of Imam Khomeini, Qazvin.

How can the solar radiation received in photovoltaic panels be increased by using geometric patterns based on the origami technique? In other words, how can the solar radiation be increased by changing the geometric arrangement of the photovoltaic panels according to the daily and annual solar movement patterns? The present study showed that the efficiency of photovoltaic panels is not improved only by using expensive technologies and solar trackers. The factor of change in solar radiation, which is the most important factor in receiving solar radiation during short and long periods of time, can be adjusted by accessible techniques such as the origami technique. In other words, by changing the angle of photovoltaic panels using computer technologies based on the solar movement, more solar energy can be received from radiation. This study shows that changing the arrangement of different photovoltaic panels using the origami technique compared to the base module on the southern facade can increase the received solar energy. The change of forms can increase the produced electrical energy from 3.44 and 11.39%.

Conclusion: According to this research, V-shaped (zigzag) modules can absorb more solar radiation due to the larger photovoltaic panels area. Although the amount of solar radiation per unit area decreases, their use is logically justified when the available surface area is limited. Also, the use of modules made with the help of the Miura origami method showed that it is possible to receive more solar radiation to some extent without using solar trackers or moving views at an economical cost because the different sides of these patterns are more able to absorb radiation over a long period of time (due to the variable daily and seasonal solar movement patterns).

Key words:

Photovoltaic Panels, Origami Technic, Energy Simulation.

COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Journal of Iranian Architecture & Urbanism. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License. (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

نحوهٔ ارجاع به این مقاله:

برزویی، امیر؛ زندیه، مهدی و حیدری، شاهین (۱۳۹۹). بررسی به کارگیری تکنیک اوریگامی در افزایش دریافت تابش خور شیدی صفحات فتوولتاییک با استفاده از شبیه‌سازی رایانه‌ای، *نشریه علمی معماری و شهرسازی ایران*، ۱۱(۲)، ۱۸۹-۲۰۳.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Borzouei A, Zandieh M, Heidari Sh (2020). Analyzing the Use of Origami to Increase the Solar Radiation on Photovoltaic Panels Through Software Simulation, Journal of Iranian Architecture & Urbanism, 11(2): 189-203.

DOI: 10.30475/ISAU.2021.161914.1144
URL: HTTP://WWW.ISAU.IR/ARTICLE_122202.HTML