

## شبیه‌سازی جریان هوا در خشک‌کن گلخانه‌ای مجهز به کلکتور سهموی خورشیدی به روش دینامیک سیالات محاسباتی

عباس حیدری وزنامخواستی<sup>۱</sup> و حسن غفوری ورزنده<sup>۲\*</sup>

### چکیده

خشک‌کن‌های گلخانه‌ای، نور خورشید را مستقیماً از طریق پوشش شفاف روی سقف سازه گلخانه جذب می‌کنند. جذب تابش خورشید در این خشک‌کن‌ها فقط از سمتی که تابش خورشید وجود دارد، انجام می‌شود و امکان جذب تابش خورشید از سمت مقابل وجود ندارد. هدف از این تحقیق، استفاده از کلکتور سهموی خورشیدی برای انعکاس نور خورشید در طرف دیگر خشک‌کن است تا بازده خشک‌کن افزایش یابد. برای این منظور، اثر استفاده از کلکتور خورشیدی سهموی خطی و سهموی نقطه‌ای و اثر شدت تابش خورشید، به نمایندگی از ساعات مختلف روز و ماه در شهر اصفهان، روی سرعت و دمای هوای داخل محفظه چهار نوع خشک‌کن گلخانه‌ای متداول به روش دینامیک سیالات محاسباتی ارزیابی گردید. رفتار جریان هوای گرم داخل خشک‌کن با استفاده از نرم‌افزار تجاری ANSYS fluent 18 شبیه‌سازی شد. خلاصه نتایج بدست آمده نشان داد که استفاده از کلکتور خورشیدی در خشک‌کن‌های گلخانه‌ای، باعث افزایش سرعت و دمای هوای داخل خشک‌کن شد. اگر چه کلکتور سهموی نقطه‌ای نسبت به کلکتور سهموی خطی، نقاط داغ موضعی بیشتری در خشک‌کن ایجاد کرد ولی کلکتور سهموی خطی نسبت به کلکتور سهموی نقطه‌ای، سرعت و دمای یکنواخت‌تری ایجاد کرد. در مجموع در بین خشک‌کن‌های شبیه‌سازی شده، خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی خطی، بهترین عملکرد را داشت.

**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی، خشک‌کن گلخانه‌ای، دینامیک سیالات محاسباتی، کلکتور خورشیدی سهموی.

**ارجاع:** حیدری وزنامخواستی ع. و غفوری ورزنده ح. ۱۴۰۱. شبیه‌سازی جریان هوا در خشک‌کن گلخانه‌ای مجهز به کلکتور سهموی خورشیدی به روش دینامیک سیالات محاسباتی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۳: ۹۵-۱۰۷. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10106.545>

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.  
۲- استادیار گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

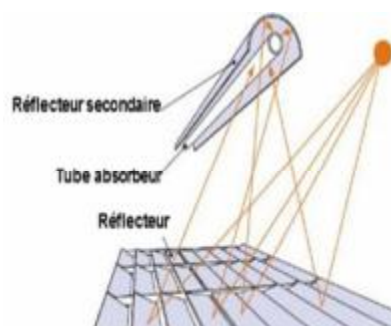
\* نویسنده مسئول: [hasangh28@gmail.com](mailto:hasangh28@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۱۰

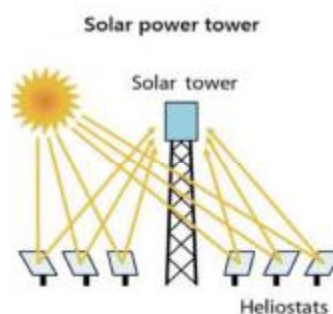
## مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر است که پتانسیل بهره‌برداری از آن در بیشتر نقاط کره زمین وجود دارد. در کشورهای کمتر توسعه‌یافته، پتانسیل استفاده از این انرژی بیشتر است، زیرا همگی در نقاط آفتاب‌خیز جهان واقع هستند (N'Tsoukpoe *et al.*, 2016). استفاده از این انرژی پاک در کشور ایران به دلیل اینکه دارای شدت تابش خورشیدی خوبی است، مورد توجه بوده و در نیروگاه‌ها، آبگرمکن‌ها و خشک‌کن‌های محصولات غذایی و کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

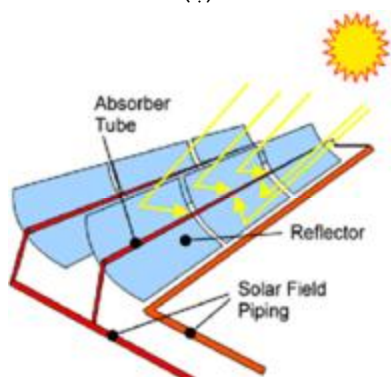
برای استفاده از انرژی خورشیدی در دمای نسبتاً بالا، احتیاج به تجهیزاتی به نام متمرکز کننده‌های خورشیدی (کلکتور خورشیدی) است که شامل برج‌های خورشیدی، کلکتور فرنل خطی، کلکتور سهموی نقطه‌ای و کلکتور سهموی خطی است (شکل ۱). این تجهیزات بر اساس بازتابش نور خورشید و متمرکز کردن نور در یک نقطه یا یک خط و سپس جذب آن توسط یک دریافت‌کننده عمل می‌کنند (Serag & Kandil, 2018; N'Tsoukpoe *et al.*, 2016; Chaanaoui *et al.*, 2016; Lertsatitthanakorn *et al.*, 2014).



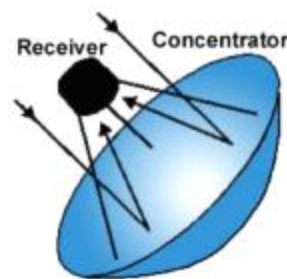
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۱ انواع متمرکز کننده‌های خورشیدی

الف برج خورشیدی، ب کلکتور فرنل خطی، ج کلکتور سهموی نقطه‌ای، د کلکتور سهموی خطی

(Serag & Kandil, 2018; N'Tsoukpoe *et al.*, 2016; Chaanaoui *et al.*, 2016; Lertsatitthanakorn *et al.*, 2014)

استفاده از جمع‌کننده‌های فرنل خطی مناسب‌تر است (Cau & Cocco, 2014).

ساخت یک جمع‌کننده سهموی خطی با دریافت‌کننده V شکل و مقایسه آن با دریافت‌کننده‌های مرسوم نشان داد که دمای سیال خروجی از این جمع‌کننده بیشتر از نوع دریافت‌کننده مرسوم است (Xiao *et al.*, 2014; Chen *et al.*, 2015).

نتایج عملکرد حرارتی خشک‌کن خورشیدی گلخانه‌ای حالت مخلوط با تهویه فتوولتائیک نشان داد که میزان خشک شدن در داخل خشک‌کن خورشیدی گلخانه‌ای بیشتر از خشک شدن سنتی در برابر آفتاب است (Vengsungnle *et al.*, 2020).

نتایج تحقیق روی کلکتورهای فرنل خطی و سهموی خطی نشان داد که در زمینی با ابعاد و مساحت یکسان

کردن محصولات غذایی و کشاورزی در حجم زیاد است. با این وجود یکی از بزرگترین مشکلات این خشک‌کن‌ها بار حرارتی کم است. لذا هدف از این تحقیق بهبود فرآیند تولید هوای گرم در داخل خشک‌کن خورشیدی گلخانه‌ای است که برای جذب بیشتر انرژی خورشیدی، استفاده همزمان پوشش شفاف گلخانه‌ای و کلکتورهای خورشیدی سهموی مورد ارزیابی قرار گرفت.

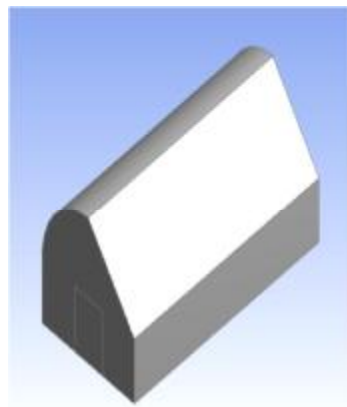
### مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی اثر انواع هندسه خشک‌کن‌های گلخانه‌ای خورشیدی (شکل ۲) مجهز به کلکتورهای خورشیدی سهموی روی ویژگی‌های جریان هوای گرم داخل گلخانه پرداخته شده است.

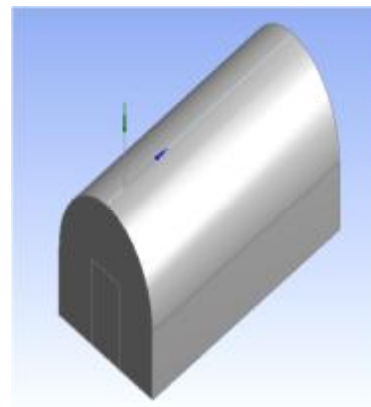
در مطالعه‌ای که روی جمع‌کننده فرنل خطی و سهموی خطی انجام گرفت، مشخص شد که در هنگامی که سیستم دارای دریافت‌کننده چند لوله‌ای بدون خلأ و بازتابنده دوم باشد، جمع‌کننده سهموی خطی دارای بازده بالاتری نسبت به جمع‌کننده فرنل خطی است (Abbas et al., 2016).

در تحقیقی اثر پارامترهای مختلف روی کیفیت خشک‌کن‌های خورشیدی مورد ارزیابی قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که شرایط محیطی، استفاده از دمنده هوا و نوع کلکتور خورشیدی روی پارامترهای خشک شدن تأثیر مستقیم دارد (Tomar et al., 2017).

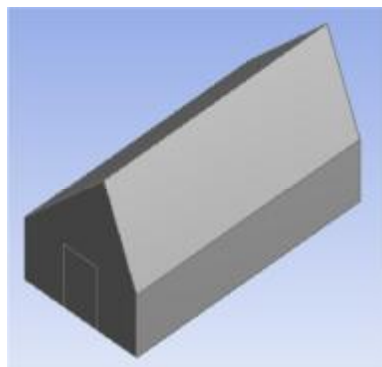
بررسی تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از خشک‌کن خورشیدی گلخانه‌ای روش مناسبی برای خشک



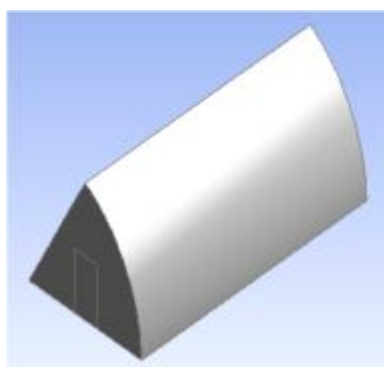
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۲ هندسه‌های مختلف خشک‌کن گلخانه‌ای مورد بررسی

الف هندسه خشک‌کن نوع اول، ب هندسه خشک‌کن نوع دوم، ج هندسه خشک‌کن نوع سوم، د هندسه خشک‌کن نوع چهارم

این تحقیق از شبیه‌سازی به روش دینامیک سیالات محاسباتی استفاده شد. پیش‌بینی رفتار جریان هوای گرم

از آنجایی که احداث انواع خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی و نصب کلکتورهای خورشیدی، هزینه‌بر و زمان‌بر است، در

نقطه‌ای استفاده شد. کلکتور سهموی خطی با قطر ۱ متر و طول ۱۰ متر در بیرون گلخانه و دریافت‌کننده آن با قطر ۱۰ سانتی‌متر و طول ۱۰ متر در داخل گلخانه قرار گرفت. کلکتورهای سهموی نقطه‌ای با قطر ۱ متر در بیرون گلخانه و دریافت‌کننده آن به قطر ۱۰ سانتی‌متر در داخل گلخانه قرار گرفتند.

معادلات حاکم بر سیال انتقالی شامل معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی به ترتیب مطابق معادلات (۱)، (۲) و (۴) است.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho v) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \nabla \cdot (\bar{\tau}) + \rho g + F \quad (2)$$

$\rho$ : جرم حجمی (Kg<sup>m</sup><sup>3</sup>)

$v$ : سرعت متوسط (ms<sup>-1</sup>)

$p$ : فشار استاتیکی (Pa)

$\tau$ : تانشر تنش (Pa)

$g$ : شتاب ثقل (ms<sup>-2</sup>)

$F$ : نیروی خارجی احتمالی وارد بر بدنه (N)

$$\bar{\tau} = \mu \left[ (\nabla v + \nabla v^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot v \mathbf{1} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot [v(\rho E + p)] = \nabla \cdot [k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j z_j + (\bar{\tau}_{eff} \cdot v)] + S_h \quad (4)$$

$E$ : ویسکوزیته دینامیکی (Kg m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>)

$E$ : انرژی جنبشی (J)

$k_{eff}$ : هدایت گرمایی موثر (Wm<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>);  $j$ : شار انتشار (Wm<sup>2</sup>)

$h$ : آنتالپی (J)

$T$ : دما (K)

$S_h$ : منبع حرارتی (Wm<sup>2</sup>)

### نتایج و بحث

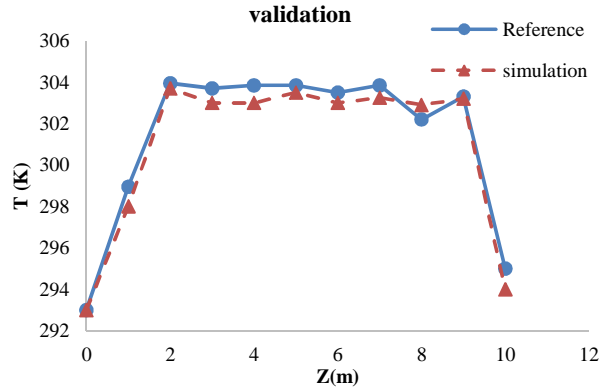
برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی انجام شده، نتایج شبیه‌سازی دمای داخل خشک‌کن در ارتفاع مختلف مربوط به گلخانه نوع اول با داده‌های تجربی به دست آمده از سایر محققین بر روی همین گلخانه مقایسه گردید (Fudholi et al., 2010) (شکل ۴).

در داخل محفظه خشک‌کن‌ها با استفاده از نرم‌افزار تجاری ANSYS fluent 18 انجام شد. به همین منظور اثر هندسه محفظه گلخانه در چهار سطح (شکل ۲)، هندسه کلکتور خورشیدی در سه سطح (بدون کلکتور، کلکتور سهموی خطی و کلکتور سهموی نقطه‌ای) و شدت تابش خورشید در پنج سطح به نمایندگی از ساعات مختلف روز و ماه در شهر اصفهان (۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع) روی سرعت و دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن ارزیابی شد. هندسه گلخانه متناسب با اندازه واقعی (طول ۱۰ متر، عرض ۵ متر و ارتفاع ۴ متر) در نظر گرفته شد. نحوه قرارگیری گلخانه به گونه‌ای است که یک وجه آن در معرض تابش مستقیم خورشید بوده و انرژی تابشی از طریق پوشش شفاف روی سقف گلخانه به داخل هدایت می‌گردد و طرف دیگر گلخانه که در معرض مستقیم نور خورشید قرار ندارد، توسط کلکتور سهموی خطی یا کلکتور سهموی نقطه‌ای انرژی تابش را دریافت می‌کند (شکل ۳).



شکل ۳ طرحواره قرارگیری گلخانه و کلکتورهای خورشیدی

با توجه به اینکه کلکتور سهموی خطی بصورت طولی قابل نصب است، از یک عدد کلکتور خطی در طول گلخانه استفاده شد. از آنجایی که کلکتورهای سهموی نقطه‌ای، باعث گرم شدن هوا بصورت محلی می‌شود، برای انجام عمل گرم کردن در کل طول گلخانه، از شش عدد کلکتور



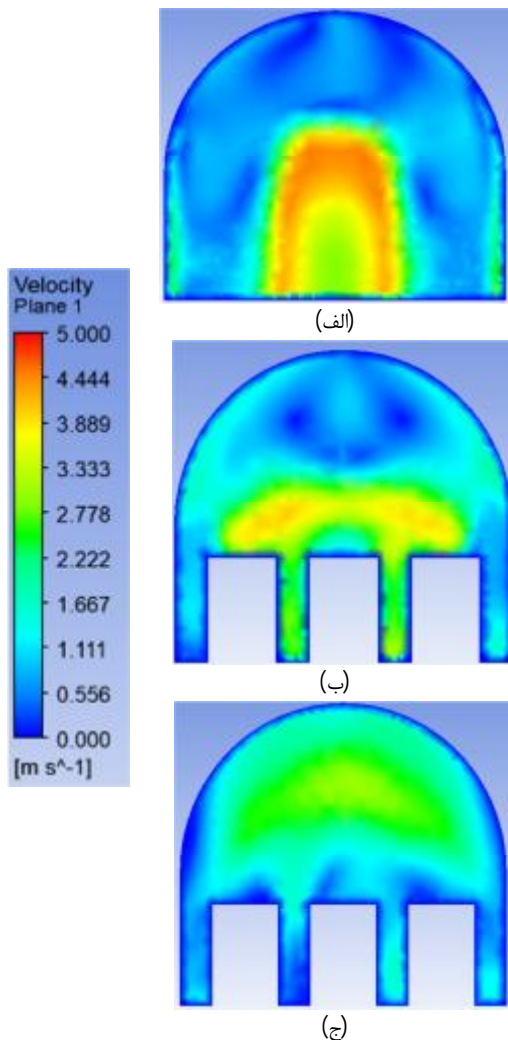
شکل ۴ اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی با نتایج تجربی (Fudholi et al., 2010)

### بررسی سرعت هوای گرم در طول خشک‌کن

کانتور سرعت هوای محفظه خشک‌کن نوع اول در شدت تابش نور خورشید ۴۰۰ وات بر متر مربع در شکل ۵ نشان داده شده است. برای مقایسه بهتر نتایج، کانتورهای سرعت هوا در ۳ فاصله مختلف از ورودی هوا به خشک‌کن (فواصل ۱، ۵ و ۹ متر) ترسیم شده است.

مشاهده می‌شود که کانتور سرعت هوا در فاصله ۱ متری، تحت تأثیر جریان هوای ورودی به گلخانه است و فقط ناحیه وسط را تحت تأثیر قرار داده است. در برش میانی (فاصله ۵ متر) مشاهده می‌شود که گردش هوای مناسبی به خصوص در ناحیه قرارگیری مواد خشک‌شدنی ایجاد شده است. سرعت جریان هوا در این ناحیه یکنواخت و نزدیک به ۳ متر بر ثانیه است. سرعت جریان هوا در کانتور مربوط به فاصله ۹ متر نشان می‌دهد که سرعت هوا در قسمت فوقانی گلخانه یکنواخت شده است ولی از سرعت آن کاسته شده است.

همچنین گردش هوا در نزدیکی میز قرارگیری محصولات خشک‌شدنی کاهش یافته است که این امر موجب خشک شدن دیرتر محصولات می‌گردد. لذا با توجه به اینکه در برش میانی (فاصله ۵ متر)، اثر جریان هوای ورودی و خروجی از دریچه‌ها وجود ندارد، کانتورهای مربوط به برش میانی در ادامه بحث مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.



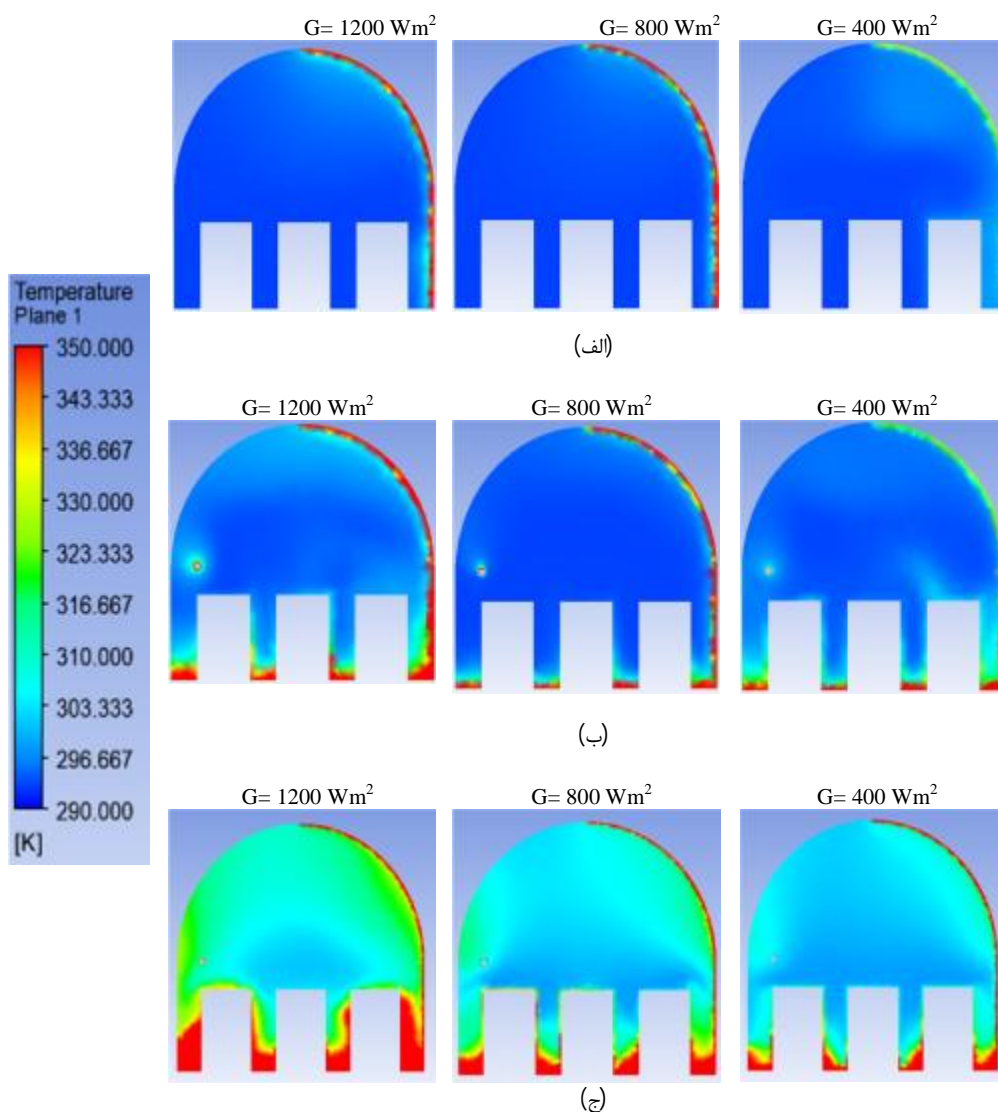
شکل ۵ برش عرضی کانتور سرعت هوای در فواصل طولی خشک‌کن

الف فاصله ۱ متری از دهانه ورودی، ب فاصله ۵ متری از دهانه ورودی، ج فاصله ۹ متری از دهانه ورودی

۶ب) باعث افزایش دمای خشک‌کن به اندازه ۱۵ تا ۲۰ درجه سلسیوس گردیده است. استفاده از کلکتور سهموی نقطه‌ای (شکل ۶ج)، به دلیل متمرکز کردن کل تابش در یک نقطه، باعث گردش بیشتر هوا در خشک‌کن گردیده است. دما هوای داخل خشک‌کن نیز در حدود ۱۰ درجه سلسیوس نسبت به نوع کلکتور سهموی خطی افزایش داشته است. لازم به ذکر است که با افزایش شدت تابش در تمامی حالات (با و بدون کلکتور) دما نیز افزایش یافته است.

### بررسی دمای هوای داخل محفظه در شدت تابش‌های مختلف

کانتور دمای هوای محفظه خشک‌کن نوع اول در شدت تابش‌های مختلف نور خورشید در شکل ۶ نشان داده شده است. کانتورها در سه شدت تابش ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع نشان داده شده است. همانطور که در شکل ۶الف مشخص است، با افزایش شدت تابش، دمای ناحیه نزدیک به سطح تابش گیرنده افزایش یافته است و منطقه مقابل این ناحیه دارای دمای پایین‌تری است. قرار گرفتن دریافت‌کننده سهموی خطی در خشک‌کن (شکل

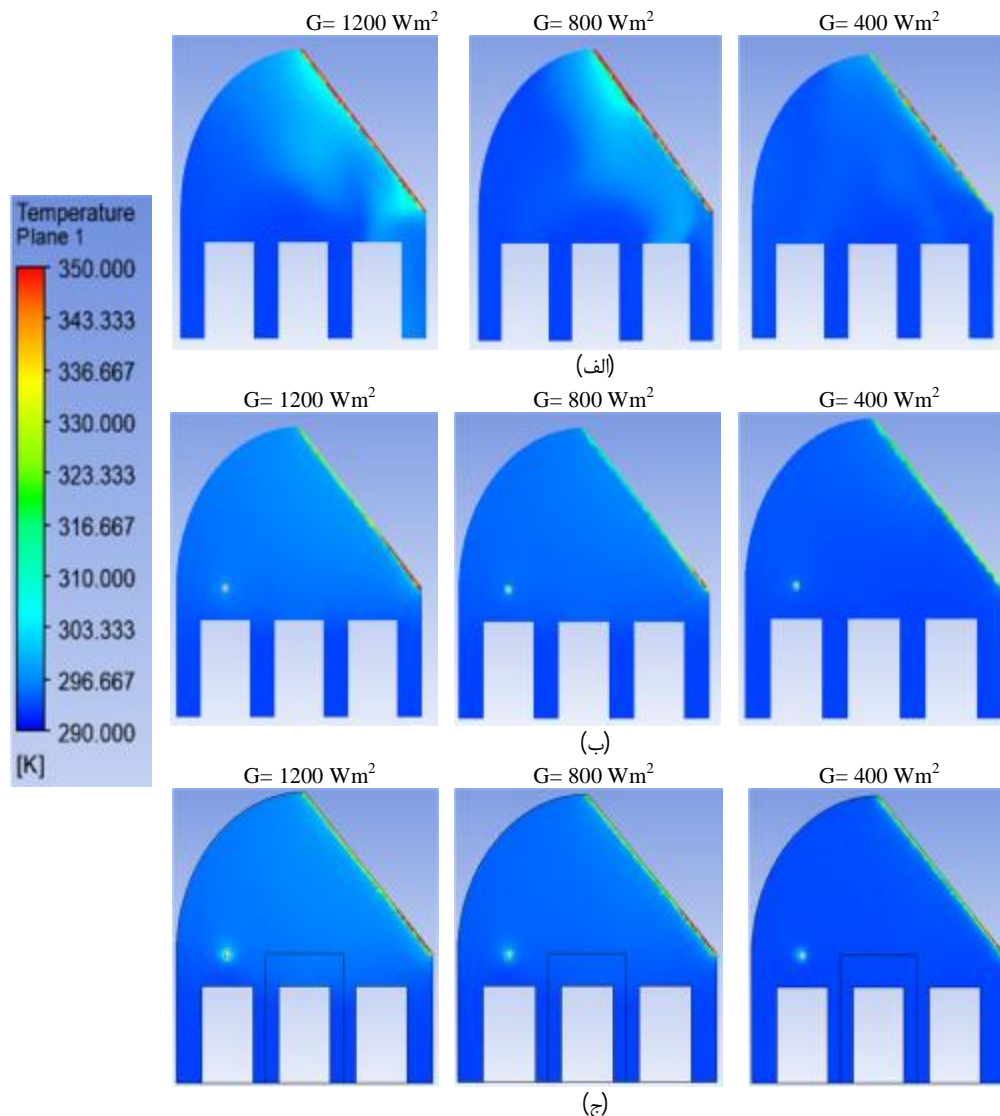


شکل ۶ کانتور دمای هوای داخل خشک‌کن نوع اول در شدت تابش‌های مختلف

الف خشک‌کن نوع اول بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع اول با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع اول با کلکتور سهموی نقطه‌ای

سلسیوس و در قسمت مقابل، ۱۷ درجه سلسیوس است. استفاده از دریافت‌کننده سهموی خطی در خشک‌کن (شکل ۷ب) باعث افزایش دمای خشک‌کن به اندازه ۳ تا ۵ درجه سلسیوس گردیده است همچنین خشک‌کن سهموی نقطه‌ای (شکل ۷ج) باعث یکپارچه‌تر شدن دما در خشک‌کن گردیده است و افزایش دمایی نسبت به سهموی خطی مشاهده نشده است.

کانتور دمای هوای محفظه خشک‌کن نوع دوم در شدت تابش ۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع در شکل ۷ نشان داده شده است. مقایسه شکل ۷الف و شکل ۶الف نشان می‌دهد که با افزایش شدت تابش، دمای ناحیه نزدیک به سطح تابش گیرنده در هر دو خشک‌کن افزایش یافته است و منطقه مخالف این ناحیه نسبت به حالت مشابه در خشک‌کن نوع اول دارای دمای بالاتری است. دما در مناطق نزدیک به سطح تابش گیرنده، ۲۷ درجه



شکل ۷ کانتور دمای هوای داخل خشک‌کن نوع دوم در شدت تابش‌های مختلف

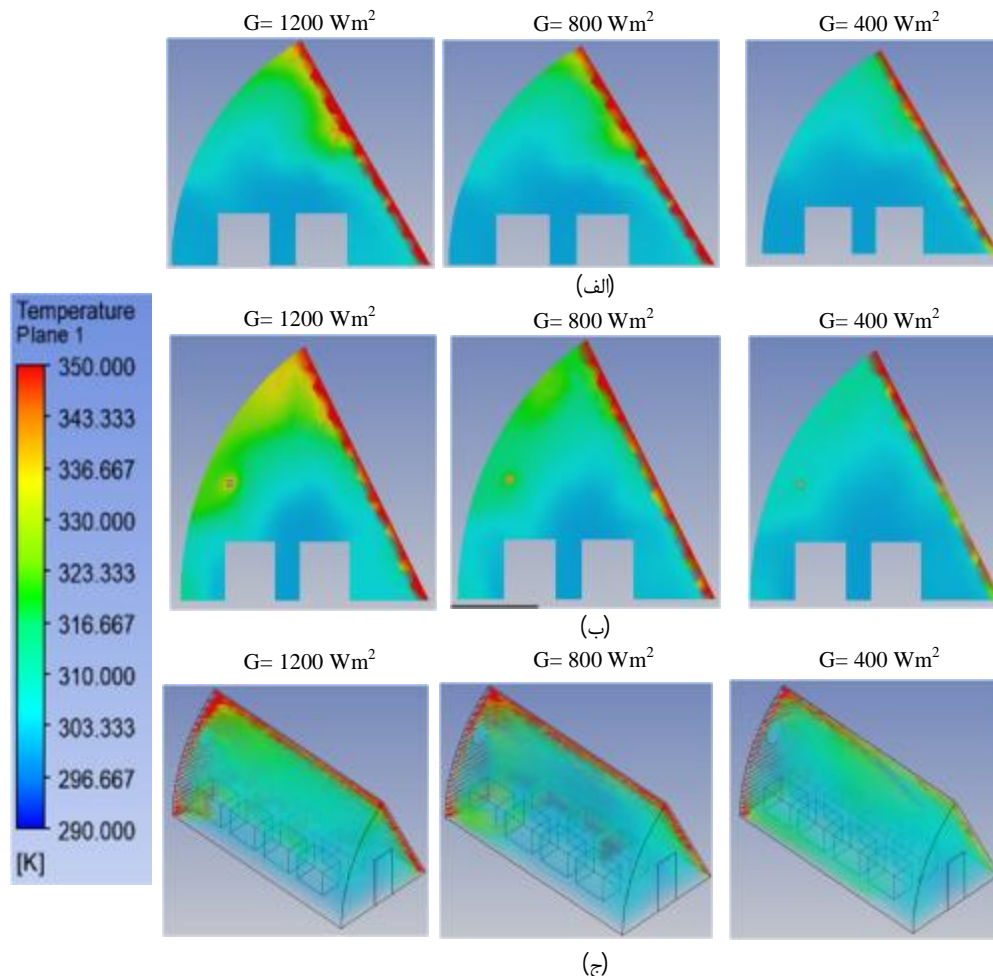
الف خشک‌کن نوع دوم بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع دوم با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع دوم با کلکتور سهموی نقطه‌ای

تابش، دمای ناحیه نزدیک به سطح تابش گیرنده به ۵۰ درجه سلسیوس رسیده است و منطقه مقابل این ناحیه نسبت به حالت مشابه در خشک‌کن‌های نوع اول و دوم

کانتور دمای هوای محفظه خشک‌کن نوع سوم در شدت تابش مختلف نور خورشید در شکل ۸ نشان داده شده است. از شکل ۸الف مشخص است که با افزایش شدت

۸ب)، باعث افزایش دمای خشک‌کن در دامنه ۵۰ تا ۶۳ درجه سلسیوس گردیده است و استفاده از کلکتور سهموی نقطه‌ای (شکل ۸ج)، باعث یکپارچه‌تر شدن دما در خشک‌کن گردیده است.

دارای دمای بالاتری است. دما در مناطق نزدیک به سطح تابش گیرنده در دامنه ۴۳ تا ۵۰ درجه سلسیوس و در قسمت مقابل در دامنه ۳۷ تا ۴۲ درجه سلسیوس است. استفاده از کلکتور سهموی خطی در این خشک‌کن (شکل



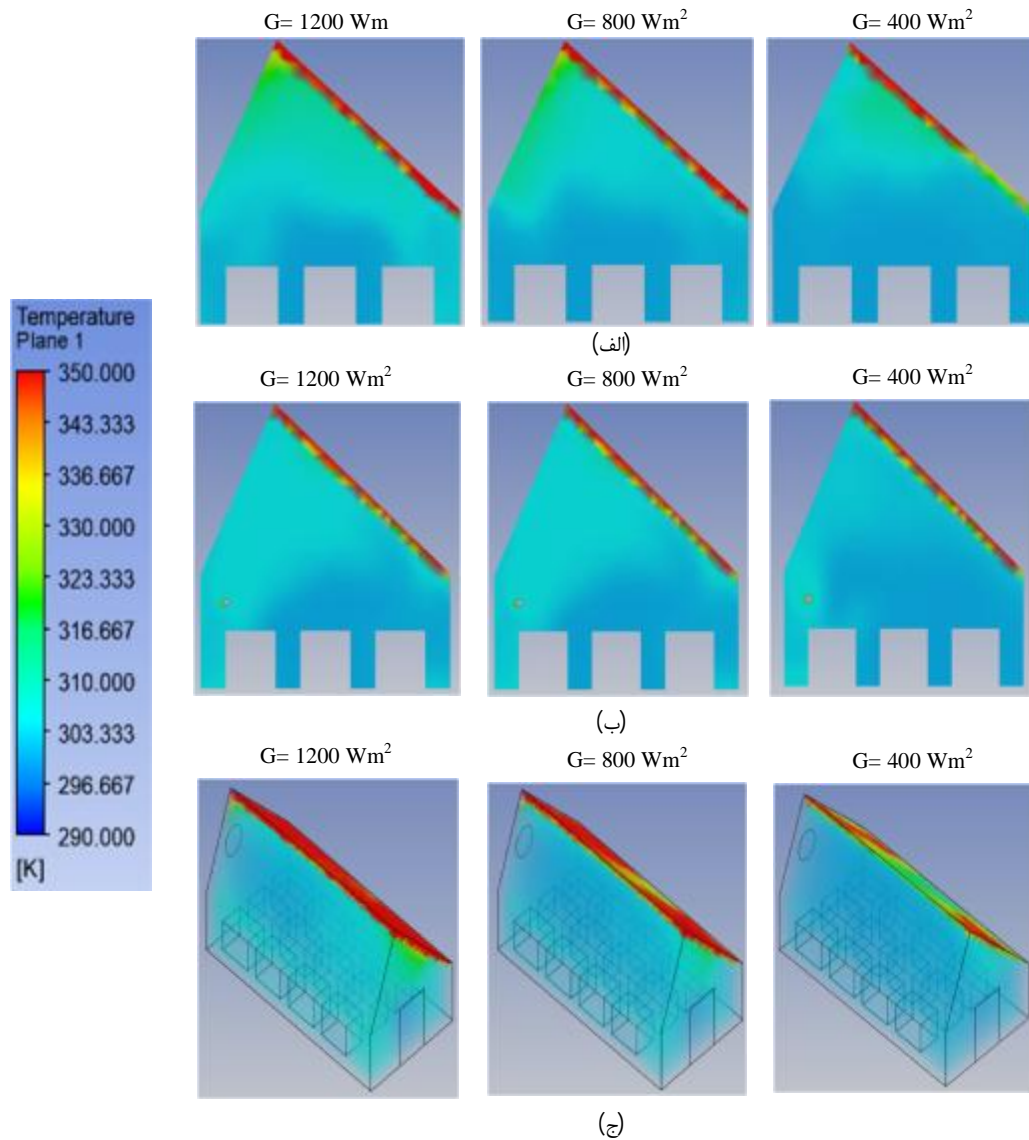
شکل ۸ کانتور دمای هوای داخل خشک‌کن نوع سوم در شدت تابش‌های مختلف

الف خشک‌کن نوع سوم بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع سوم با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع سوم با کلکتور سهموی نقطه‌ای

یکنواختی دمای خشک‌کن شده و دمای مناطقی که در شکل ۹الف برابر ۳۰ درجه سلسیوس بوده است را به ۴۲ درجه سلسیوس رسانده است. این نوع خشک‌کن، یکنواختی بیشتری در توزیع دمای داخل خشک‌کن داشته است. در شکل ۹ج، خشک‌کن با کلکتور سهموی نقطه‌ای نیز نتایج مشابه با حالت قبل داشته است و یکنواختی دما در این نوع خشک‌کن هم مشاهده می‌شود.

کانتور دمای هوای محفظه خشک‌کن نوع چهارم در شدت تابش مختلف نور خورشید در شکل ۹ نشان داده شده است. در شکل ۹الف، با افزایش شدت تابش، دمای فضای داخلی خشک‌کن بصورت یکنواخت افزایش یافته است و منطقه بیشتری به دمای ۴۲ درجه سلسیوس رسیده است. در شکل ۹ب مشاهده می‌شود که قرار گرفتن دریافت‌کننده سهموی خطی در خشک‌کن باعث افزایش



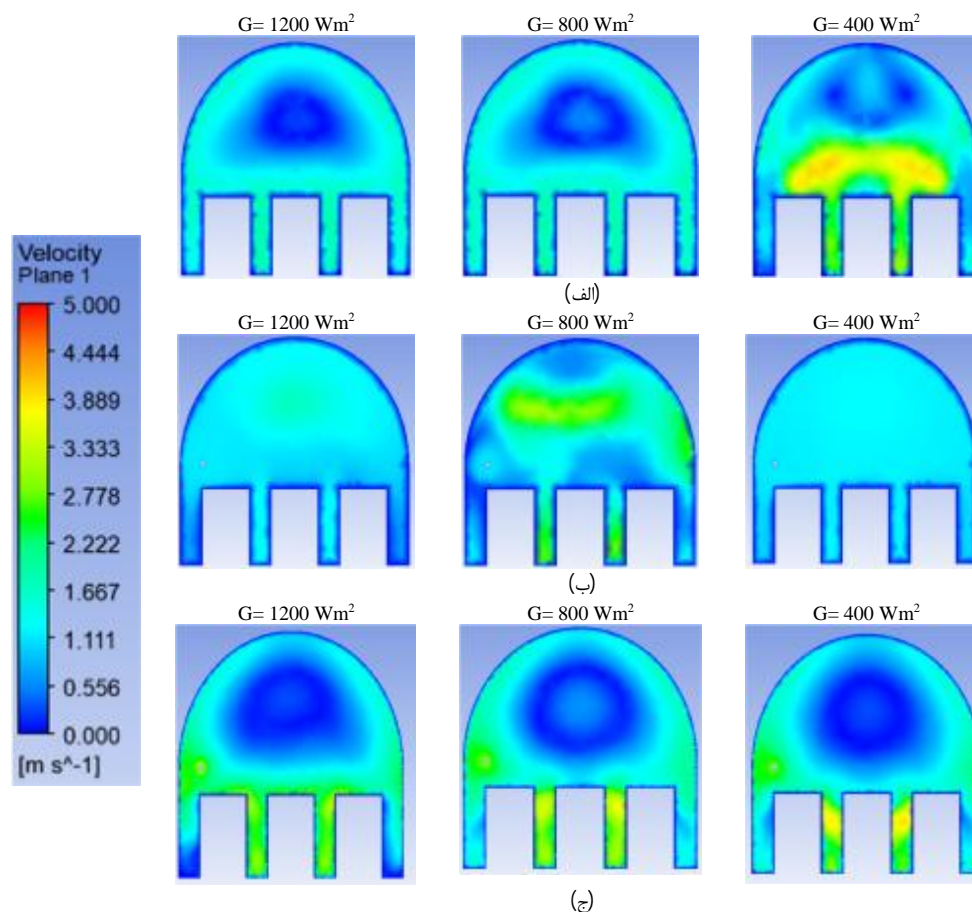


شکل ۹ کانتور دمای هوای داخل خشک‌کن نوع چهارم در شدت تابش‌های مختلف  
الف خشک‌کن نوع چهارم بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی نقطه‌ای

توجه به محرک دمایی به سمت اطراف حرکت کند. وجود کلکتور سهموی خطی در شکل ۱۰ ب منجر به یکپارچه‌تر شدن سرعت گردیده است و سرعت هوا به  $1/7$  متر بر ثانیه رسیده است که این یکپارچه شدن سرعت به خاطر وجود دریافت‌کننده سهموی خطی که لوله‌ای یکپارچه با دمای بالا است. در کلکتور سهموی نقطه‌ای (شکل ۱۰ ج) به دلیل وجود نقاط فوق داغ در داخل خشک‌کن، هوا پس از ورود به سمت این نقاط و منطقه تابش گیرنده متمایل گردیده است و به همین دلیل یک ناحیه با سرعت صفر در ناحیه مرکزی ایجاد شده است.

#### بررسی سرعت هوای داخل محفظه در شدت تابش‌های مختلف

کانتور سرعت هوا در داخل محفظه خشک‌کن نوع اول در شدت تابش مختلف ( $400$ ،  $800$  و  $1200$  وات بر متر مربع) در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مقایسه کانتورهای شکل ۱۰ الف نشان می‌دهد که شدت تابش  $400$  وات بر متر مربع، به دلیل اینکه میزان انرژی ورودی مقدار کمی بوده است، هوا پس از ورود به خشک‌کن با پتانسیل گرمایی ضعیفی روبرو بوده است، بنابراین هوای ورودی به سمت اطراف حرکت نکرده است. با افزایش شدت تابش، هوا توانسته است پس از ورود به خشک‌کن با



شکل ۱۰ کانتور سرعت هوای داخل خشک‌کن نوع اول در شدت تابش‌های مختلف  
الف خشک‌کن نوع اول بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع اول با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع اول با کلکتور سهموی نقطه‌ای

شکل ۱۱، کانتور سرعت هوا در داخل محفظه خشک‌کن نوع دوم در شدت تابش مختلف (۴۰۰، ۸۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع) را نشان می‌دهد. با افزایش شدت تابش در این خشک‌کن (شکل ۱۱ الف)، سرعت هوا تنها در روی میزها بیشینه بوده است و به سرعت ۳/۵ تا ۵ متر بر ثانیه رسیده است و در بقیه مناطق از سرعت ۱ متر بر ثانیه فراتر نرفته است. وجود کلکتور سهموی خطی در شکل ۱۱ ب باعث گردیده است تا هوا پس از ورود به سمت محرک‌های دمایی یعنی سطح تابش گیرنده و دریافت‌کننده کلکتور حرکت کند و سرعت در بیشتر مناطق به ۲/۷۵ متر بر ثانیه (شدت تابش‌های ۸۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع) برسد. در کلکتور سهموی نقطه‌ای (شکل ۱۱ ج) همانند شکل ۱۰ ج، به دلیل وجود نقاط فوق داغ در داخل خشک‌کن، هوا پس از ورود به سمت این نقاط و منطقه تابش گیرنده متمایل گردیده است و به همین دلیل در اکثر مناطق سرعت هوای داخل خشک‌کن به ۲/۷۵ متر بر ثانیه رسیده است.

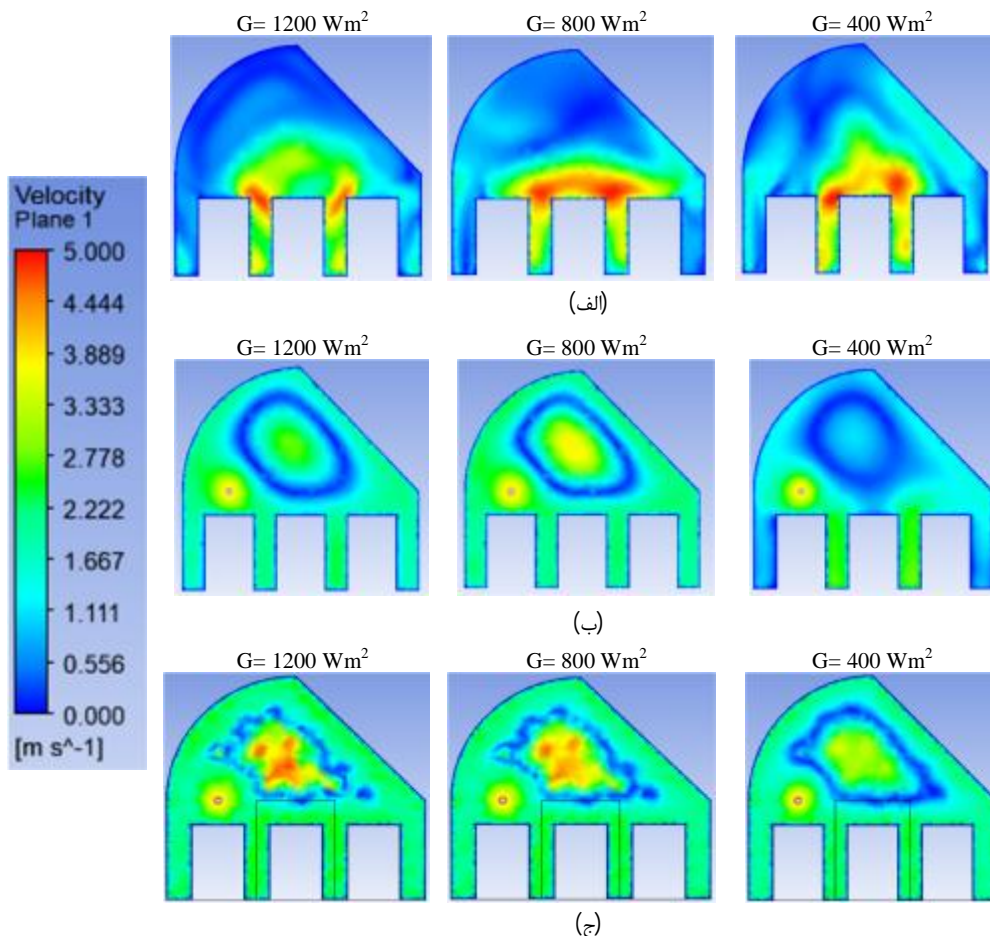
شکل ۱۲، کانتور سرعت هوا در داخل محفظه خشک‌کن نوع چهارم را نشان می‌دهد. بررسی کانتورهای شکل ۱۲ الف نشان می‌دهد که در شدت تابش ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ وات بر متر مربع، سرعت بر روی میز خشک‌کن، ۳ متر بر ثانیه بوده است و با افزایش شدت تابش، به دلیل ورود انرژی

شکل ۱۳، کانتور سرعت هوا در داخل محفظه خشک‌کن نوع پنجم را نشان می‌دهد. بررسی کانتورهای شکل ۱۳ الف نشان می‌دهد که در شدت تابش ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ وات بر متر مربع، سرعت بر روی میز خشک‌کن، ۳ متر بر ثانیه بوده است و با افزایش شدت تابش، به دلیل ورود انرژی

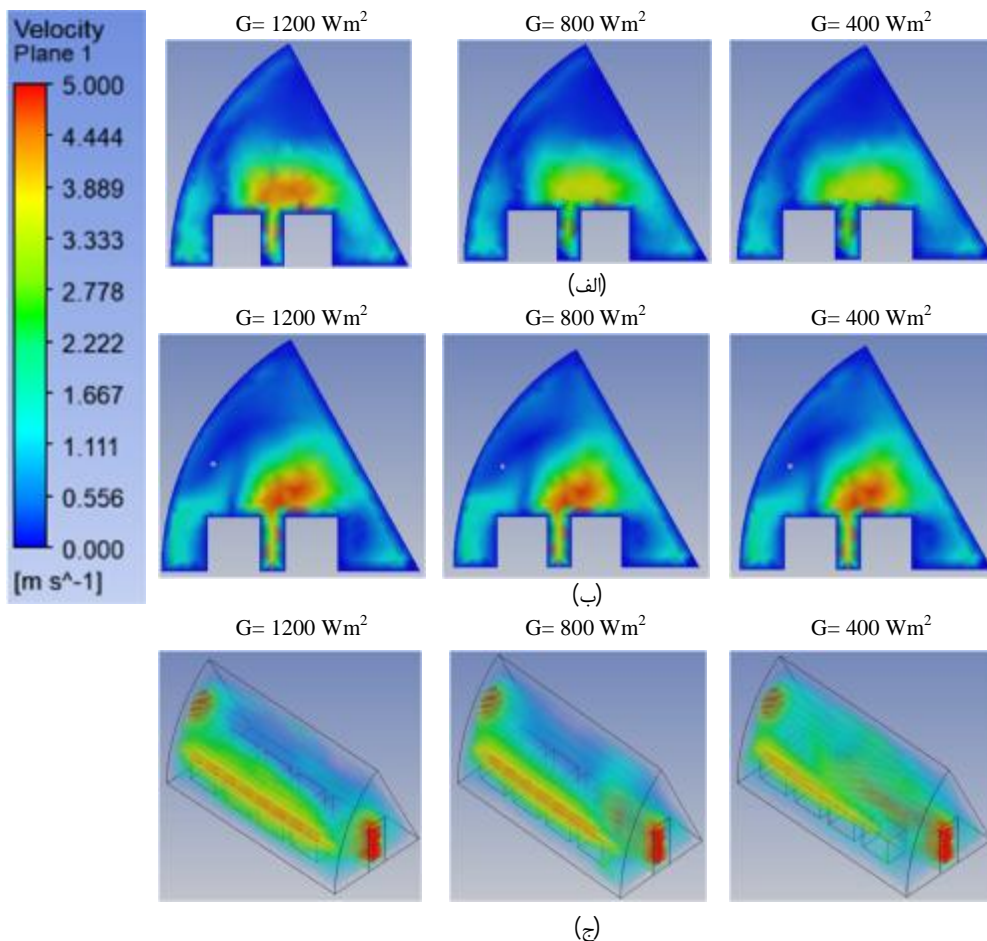
## نتیجه‌گیری

خلاصه نتایج بدست آمده نشان داد که دمای هوا در خشک‌کن نوع چهارم نسبت به انواع دیگر یکنواخت‌تر است و گردش هوا در این خشک‌کن بهتر انجام شده است. وجود کلکتور در خشک‌کن‌های گلخانه‌ای باعث یکنواخت‌تر شدن دما و گردش بهتر هوای داخل خشک‌کن شده است. کلکتور سهموی خطی نسبت به کلکتور سهموی نقطه‌ای، سرعت و دمای یکنواخت‌تری ایجاد کرده است. کلکتور سهموی نقطه‌ای نسبت به کلکتور سهموی خطی، نقاط داغ موضعی بیشتری در خشک‌کن ایجاد کرده است. خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی خطی، بهترین عملکرد را در بین خشک‌کن‌های شبیه‌سازی شده داشت.

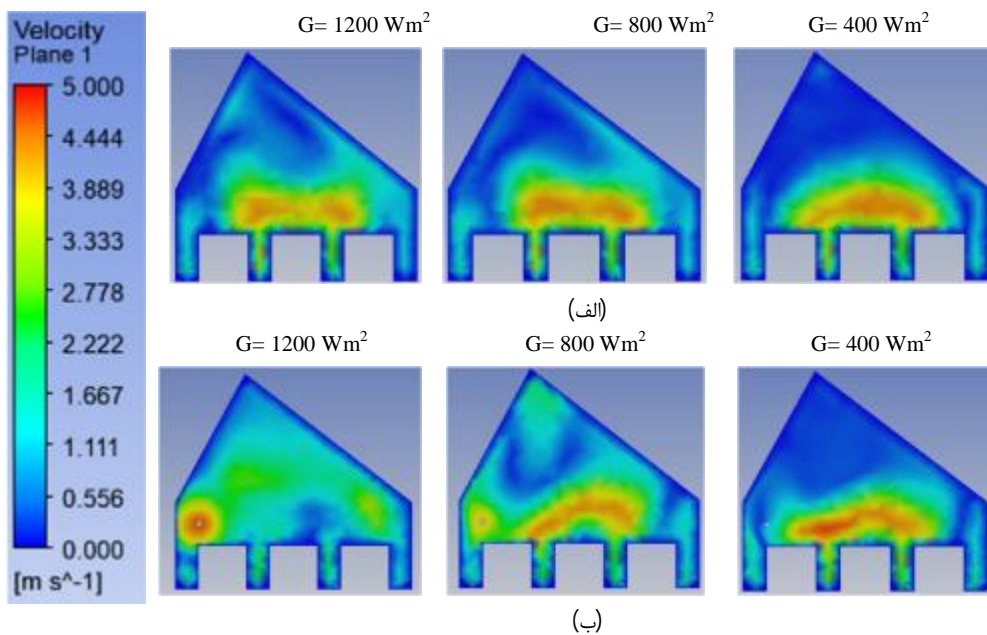
بیشتر، سرعت در مناطق بالای خشک‌کن افزایش یافته است. وجود کلکتور سهموی خطی (شکل ۱۳ ب) در شدت تابش‌های بالا، سرعت یکپارچه ۲ تا ۲/۵ متر بر ثانیه را نشان می‌دهد و منجر به یکپارچگی بیشتر سرعت هوا گردیده است. این نوع خشک‌کن یکنواختی بیشتری در سرعت هوای داخل خشک‌کن ایجاد نموده است. وجود کلکتور سهموی نقطه‌ای (شکل ۱۳ ج) همچنان به دلیل وجود نقاط فوق داغ، باعث افزایش سرعت هوا (۳/۵ متر بر ثانیه) در سمت کلکتور شده است و سرعت در ناحیه مرکزی به صورت یکنواخت برابر ۲ متر بر ثانیه است.



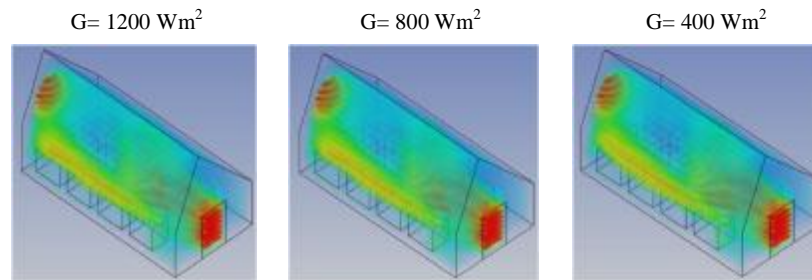
شکل ۱۱ کانتور سرعت هوای داخل خشک‌کن نوع دوم در شدت تابش‌های مختلف  
الف خشک‌کن نوع دوم بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع دوم با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع دوم با کلکتور سهموی نقطه‌ای



شکل ۱۲ کانتور سرعت هوای داخل خشک‌کن نوع سوم در شدت تابش‌های مختلف ای‌کن نوع سوم با کلکتور سهموی نقطه خشک‌کن نوع سوم با کلکتور سهموی خطی، ج خشک‌کن نوع سوم بدون کلکتور، ب خشک‌الف



شکل ۱۳ کانتور سرعت هوای داخل خشک‌کن نوع چهارم در شدت تابش‌های مختلف الف خشک‌کن نوع چهارم بدون کلکتور، ب خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی خطی



(ج)

ادامه شکل ۱۴ کانتور سرعت هوای داخل خشک‌کن نوع چهارم در شدت تابش‌های مختلف

ج خشک‌کن نوع چهارم با کلکتور سهموی نقطه‌ای

Tomar, V., Tiwari, G. N., &amp; Norton, B. (2017).

Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar Energy*, 154: 213.

Vengsungnle, P., Jongpluempiti, J., Srichat, A., Wiriyasart, S., &amp; Naphon, P. (2020).

Thermal performance of the photovoltaic-ventilated mixed mode greenhouse solar dryer with automatic closed loop control for Ganoderma drying. *Case Studies in Thermal Engineering*, 21, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100659>.Xiao, X., Zhang, P., Shao, D. D., & Li, M. (2014). Experimental and numerical heat transfer analysis of a Vcavity absorber for linear parabolic trough solar collector. *Energy Conversion and Management*, 86: 49-59.

## منابع

Abbas, R., Montes, M. J., &amp; Rovira, A. (2016).

Parabolic trough collector or linear Fresnel collector? A comparison of optical features including thermal quality based on commercial solutions. *Solar Energy*, 124: 198215.Cau, G., & Cocco, D. (2014). Comparison of mediumsize concentrating solar power plants based on parabolic trough and linear Fresnel collectors. *Energy Procedia*, 45: 101-110.Chaanaoui, M., Vaudreuil, S., & Bounahmidi, T. (2016). Benchmark of Concentrating Solar Power plants: Historical, Current and Future Technical and Economic Development. *Procedia Computer Science*, 83: 782789.Chen, F., Li, M., Zhang, P., & Luo, X. (2015). Thermal performance of a novel linear cavity absorber for parabolic trough solar concentrator. *Energy Conversion and Management*, 90: 292299.Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2010). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): 1-30.Lertsatitthanakorn, C., Jamradloedluk, J., & Rungsiyopas, M. (2014). Electricity generation from a solar parabolic concentrator coupled to a thermoelectric module. *Energy Procedia*, 52, 150-158.N'Tsoukpoe, K. E., Azoumah, K. Y., Ramde, E., Fiagbe, A. K. Y., Neveu, P., Py, X., Gaye, M., & Jourdan, A. (2016). Integrated design and construction of a microcentral tower power plant. *Energy for Sustainable Development*, 31: 1-13.Serag, Z., & Kandil, H. A., (2018). An innovative solution to the overheating problem of PV panels. *Energy Conversion and Management*, 157: 452459.

