مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد نوزدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۱
http://jwfst.gau.ac.ir

بررسی تأثیر محیط تبخیر سلولزی ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز و مقایسه آن با نمونه‌های موجود در بازار

مهسا برزگر[۱]، *محمد لایقی[۲]، قنبر ابراهیمی[۳]، یحیی همزه[۴] و منوچهر خراسانی[۵]

[۱]کارشناس‌ارشد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۲]استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۳]استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۴]دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، [۵]استادیار پژوهشکده رنگ و پلیمر، دانشگاه امیرکبیر

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱٤

چکیده

هدف از این پژوهش، مقایسه کارآیی خنک‌کنی محیط تبخیر سلولزی ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز و محیط‌های تبخیر سلولزی موجود در بازار (CELdek ۵۰×۹۰ و CELdek ۷۰×۹۰) می‌باشد. کاغذهای دست‌ساز با کمک دستگاه کاغذ دست‌ساز نیمه‌صنعتی موجود در گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران ساخته و در کارخانه کارتن پارس با ارتفاع B کنگره‌ای شدند. کاغذهای کنگره‌ای پس از برش، با کمک چسب کرافت و با زاویه کنگره‌ای ۹۰ درجه نسبت به هم روی یکدیگر قرار گرفتند. سپس این محیط‌ها در رزین NS-۸۸ غوطه‌ور و در هوای گرم ۲±۳۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. کارآیی خنک‌کنی و مصرف آب به‌صورت تابعی از سرعت جریان هوا اندازه‌گیری شدند. محیط‌های تبخیر سلولزی در تونل باد و با سه سرعت متفاوت باد (۱/۸، ۲/۲۵ و ۲/٦۷ متر بر ثانیه) مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد، محیط تبخیر سلولزی ساخته شده از کاغذ کرافت دست‌ساز کارآیی بیش‌تری را نسبت به محیط تبخیر سلولزی موجود در بازار (CELdek ۵۰×۹۰ و CELdek ۷۰×۹۰) دارد. همچنین مشخص گردید، با افزایش سرعت باد، کارآیی خشک‌کنی کاهش و مصرف آب افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: محیط تبخیر سلولزی، کارآیی خنک‌کنی، مصرف آب، سرعت باد

* مسئول مکاتبه: mlayeghi@ut.ac.ir

مقدمه

فرآیند خنک‌کنی تبخیری یکی از ارزان‌ترین و ساده‌ترین روش‌ها برای فراهم کردن آسایش بشر از گذشته تاکنون بوده است. این فرایند به‌طور گسترده در بسیاری از صنایع مانند کارخانجات صنعتی، گل‌خانه‌ها، توربین‌های گازی، آشپزخانه‌های تجاری و حتی در منازل در مناطق گرم و خشک جهان به‌کار گرفته می‌شود. اصول خنک‌کننده تبخیری بر انتقال گرما و رطوبت استوار است. یعنی پمپ، آب را به محیط تبخیر منتقل می‌کند و دمنده، هوای گرم و خشک بیرون را به داخل محیط تبخیر مرطوب می‌کشاند. عبور هوا سبب تبخیر آب و کاهش دمای خروجی می‌شود. با تبخیر آب، درجه حرارت هوای عبوری از داخل محیط تبخیر مرطوب، کاهش می‌یابد. بنابراین مصرف انرژی در این روش کم است. با توجه به بحران انرژی و مشکلات زیست‌محیطی ایجاد شده به‌وسیله مطبوع‌کننده‌های هوای معمولی، اهمیت خنک‌کنی تبخیری و افزایش کارآیی آن‌ها بیش‌تر شده است. یکی از راه‌های افزایش کارآیی در خنک‌کننده‌ها، تغییر در ساختار هندسی، جنس و ضخامت محیط تبخیر است. محیط تبخیر سلولزی یکی از اجزای خنک‌کننده تبخیری است که به‌علت وجود کاغذهای کنگره‌ای با سطح تبخیر بیش‌تر در ساختار آن شرایط مناسبی را برای تبخیر آب فراهم می‌کند. محیط تبخیر شامل کاغذهای کنگره‌ای ضخیمی هستند که می‌توان این کاغذها را با مواد ضدقارچ، رزین‌های گرماسخت، مواد افزودنی برای افزایش جذب آب و... تیمار کرد تا کارایی محیط تبخیر برای مدت طولانی ثابت باقی بماند.

تقریباً همه خنک‌کننده‌های آبی ساخته شده تا دهه ۱۹٦۰ از پوشال رنده‌ای صنوبر به‌عنوان محیط تبخیر استفاده می‌کردند، اما در دهه ۱۹٦۰ شرکت Munters محیط صلبی معرفی کرد که شامل ورقه‌های فایبرگلاس یا کاغذهای کنگره‌ای سلولزی بودند. پسکاد (۱۹٦۸) خنک‌کننده تبخیری مستقیمی طراحی کرد که در آن از صفحات نازک پلاستیکی به‌عنوان سطوح خنک‌کننده تبخیری استفاده شده است و به این نتیجه رسید که کاهش ۱۰ درجه سانتی‌گراد دما با این دستگاه به‌دست می‌آید. جانسون (۱۹۸۸) تئوری خنک‌کنی تبخیری را مورد بحث قرار داد و کاربرد محیط صلب مرطوب را در خنک‌کننده‌های تبخیری مورد استفاده در توربین گازی توصیف کرد و از محاسبه متغیرها برای پیش‌بینی عملکرد خنک‌کننده تبخیری استفاده کرد. کوکا و همکاران (۱۹۹۱) به‌منظور آزمایش پوشال خنک‌کننده‌های تبخیری روشی را ارایه دادند. نتایج نشان داد، عملکرد پوشال از متغیرهایی مانند ضخامت پوشال، زاویه پوشال، سرعت سطحی هوا و افت فشار استاتیکی تأثیر می‌پذیرد. طاها و همکاران (۱۹۹٤) خنک‌کننده تبخیری مخصوصی را طراحی و مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها خنک‌کننده را از ورقه‌های

روی گالوانیزه شده مستطیلی شکل تهیه و از دانه‌های زغال چوب به‌عنوان پوشال استفاده کردند. نتایج نشان داد، این نوع خنک‌کننده درجه حرارت پیرامون را ۱۳-۱۰ درجه سانتی‌گراد کاهش داده است و دستگاه خوبی برای نگه‌داری برخی سبزیجات می‌باشد. لیائو و همکاران (۱۹۹۸) اثر سرعت هوا و ضخامت پوشال را بر کارایی و افت فشار مورد بررسی قرار دادند و از دو نوع پوشال فیبر نارگیل و نسوج بافته نشده مجوف در کار خود استفاده کردند و به این نتیجه رسیدندکه پوشال نارگیل کارایی بالایی (۸۵ درصد) را ایجاد می‌کند. زیواما و همکاران (۱۹۹۹) موزاییک‌های اسفنجی ساخته شده از پوست درختان، الیاف کتان هندی، اسفنج ground و زغال چوب را به‌عنوان پوشال با یکدیگر مقایسه نمودند و به نتیجه رسیدند که موزاییک‌های اسفنجی ساخته شده از پوست درختان در مقایسه با موارد دیگر از کیفیت بهتری برخوردار است. لیائو و چیو (۲۰۰۲) اثرات اسفنج پی‌وی‌سی با تخلخل کم و زیاد را به‌عنوان محیط متخلخل مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که کارایی اسفنج پی‌وی‌سی با تخلخل کم بیش از اسفنج پی‌وی‌سی با تخلخل زیاد است. دای و سوواماتی (۲۰۰۲) جریان متقاطع را در خنک‌کننده تبخیری مستقیم و در کاغذهای لانه زنبوری مورد مطالعه قرار دادند، نتایج آنالیز آن‌ها نشان داد، عملکرد سیستم می‌تواند با بهینه‌سازی متغیرهای عملیاتی مانند دبی آب تغذیه‌شونده، سرعت هوا و نیز ابعاد مختلف کاغذ لانه زنبوری بهبود یابد. کینی (۲۰۰٤) به‌جای الیاف صنوبر از سلولزهای اندود شده با پلاستیک به‌عنوان محیط تبخیر استفاده نمود و به این نتیجه رسید که محیط تبخیر ضخیم‌تر باعث افت بیش‌تر دما می‌گردد. آنیانوو (۲۰۰٤) طراحی، ساخت و عملکرد پوشال نارگیل را در خنک‌کننده تبخیری- برای حفاظت میوه‌ها و سبزیجات- مورد مطالعه قرار داد. نتایج، عملکرد خوب خنک‌کننده را در حفاظت میوه‌ها و سبزیجات نشان داد. بشکنی و حسینی (۲۰۰٦) عملکرد محیط صلب را در خنک‌کننده تبخیری مجهز شده با کاغذ کنگره‌ای به‌صورت ریاضی مدل‌بندی کردند. آنالیز نتایج آن‌ها نشان داد، کارایی با کاهش سرعت و افزایش عمق محیط بهبود می‌یابد. گونهان و همکاران (۲۰۰۷) از سنگ‌پا، سنگ آتشفشانی و توری‌های ایجادکننده سایه در گل‌خانه به‌عنوان پوشال استفاده کردند و آزمایش‌هایی در ٤ سطح از سرعت هوا و جریان آب و ۳ نوع ضخامت پوشال انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که سنگ آتشفشانی می‌تواند جایگزین خوبی برای پوشال CELdek باشد. وو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر سرعت جبهه‌ای هوای ورودی، ضخامت نمونه پوشال و درجه حرارت خشک و تر هوای ورودی را بر کارایی خنک‌کنی تبخیری محاسبه و آنالیز کرده‌اند تا نتایج این بررسی را در نواحی مختلف چین استفاده کنند. وو و همکاران (۲۰۰۹) تأثیر

سرعت جبهه‌ای هوا و ضخامت پوشال را بر کارایی خنک‌کنی خنک‌کننده تبخیری مورد بررسی قرار دادند و سرعت ۲/۵ متر بر ثانیه را به‌عنوان سرعت بهینه جبهه هوا پیشنهاد دادند.

هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر محیط تبخیر سلولزی ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز و مقایسه آن با محیط تبخیر سلولزی موجود در بازار بر کارآیی خنک‌کنی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد: کاغذهای مورد نیاز این پژوهش با کمک دستگاه کاغذ دست‌ساز نیمه‌صنعتی موجود در گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران ساخته شدند. ماده اولیه مورد استفاده برای ساخت این کاغذها، صفحات خمیرکاغذ کرافت سوزنی‌برگان روسی بود که به تعداد لازم از کارخانه چوب و کاغذ مازندران تهیه شد. برخی از خصوصیات فیزیکی محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- برخی از خصوصیات فیزیکی محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز.

ماده	ضخامت محیط تبخیر (میلی‌متر)	وزن پایه کاغذ (گرم بر مترمکعب)	ارتفاع کنگره (میلی‌متر)
محیط تبخیر ساخته شده از کاغذ کرافت دست‌ساز	۷۵	۱٤۰	۲/۵

در این پژوهش از رزین برای افزایش مقاومت کاغذ در برابر آب استفاده شد. رزین‌های مختلفی بر روی کاغذ آزمایش شدند، اما در نهایت رزینی با نام تجاری NS-۸۸ مناسب تشخیص داده شد. این رزین در حالت تر و خشک مقاومت و پایداری گرمایی، نوری و مکانیکی خوبی را در آزمایش‌های متوالی از خود نشان داد.

برای روی هم قرار گرفتن کاغذهای کنگره‌ای از چسب استفاده شد. برای این منظور از چندین چسب برای روی هم قرار گرفتن کاغذها استفاده شد. کاغذهای چسب‌زنی شده تحت شرایط آزمایش قرار گرفتند که از بین آن‌ها، چسب کرافت ۳۰۰۰ رازی به‌دلیل مقاومت در برابر آب مناسب تشخیص داده شد.

دو محیط تبخیر سلولزی با نام‌های تجاری CELdek ۵۰×۹۰ و CELdek ۷۰×۹۰ از بازار تهیه شدند که دارای جنس و شکل هندسی مشابه اما از نظر فاصله بین لایه‌ها متفاوت بودند. برخی از خصوصیات فیزیکی محیط‌های تبخیر سلولزی در جدول ۲ ارایه شده است.

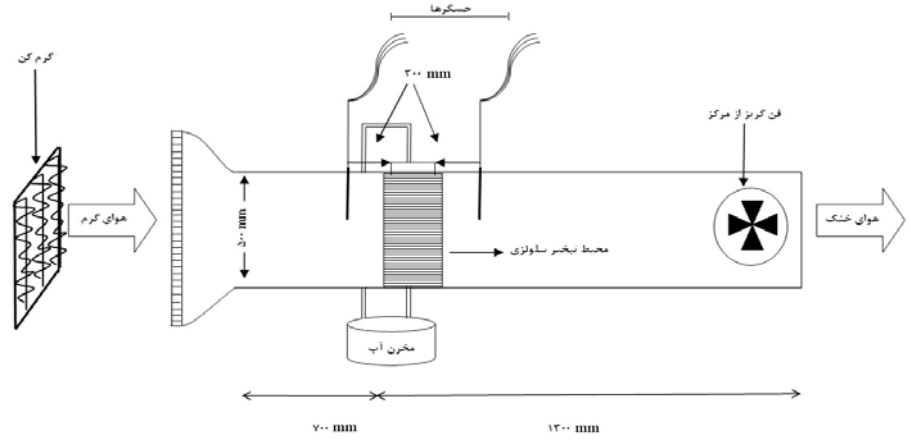
جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی محیط‌های تبخیر سلولزی.

نوع محیط تبخیر (میلی‌متر)	ضخامت محیط تبخیر (میلی‌متر)	ارتفاع کنگره (میلی‌متر)
محیط تبخیر ساخته شده از کاغذ کرافت دست‌ساز	۷۵	۲/۵
CELdek ۵۰×۹۰	۷۵	۵
CELdek ۷۰×۹۰	۷۵	۷

روش‌ها: کاغذهای دست‌ساز پس از ساخت در کارخانه کارتن پارس واقع در استان قزوین با ارتفاع B کنگره‌ای شدند. کاغذهای کنگره‌ای به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر با کمک تیغه برش و با زاویه ٤٥ درجه بریده شدند. برای قرار گرفتن کاغذها بر روی یکدیگر باید یک سطح از هر دو کاغذ کنگره‌ای چسب‌زنی شود. به این منظور، با کمک قلم‌مو بر روی ارتفاع کاغذهای کنگره‌ای چسب زده شد، ۱۰ دقیقه پس از چسب‌زنی، کاغذهای کنگره‌ای با زاویه کنگره‌ای ۹۰ درجه نسبت به هم روی یکدیگر قرار گرفتند تا محیط تبخیر سلولزی را تشکیل دهند. محیط‌های تبخیر سلولزی ساخته شده به‌مدت ۲ دقیقه در رزین NS-۸۸ غوطه‌ور و سپس با استفاده از هوای گرم ۲±۳۵ درجه سانتی‌گراد در مدت زمان ٤ ساعت خشک شدند.

برای تعیین کارآیی خنک‌کنی، محیط‌های تبخیر سلولزی در تونل باد آزمایشگاهی متعلق به پژوهشگاه مواد و انرژی تحت شرایط ماندگار مورد آزمایش قرار گرفتند. تونل باد مورد استفاده یک کانال باز از جنس پلی‌اتیلن با سطح مقطع مربع به ابعاد ۵۰×۵۰ سانتی‌متر و طول ۲ متر بود. برای برقراری جریان هوا در تونل باد از یک دمنده گریز از مرکز با قدرت ۷۵۰ کیلووات استفاده شد. دبی هوای ورودی با تغییر سرعت دمنده و سرعت دمنده توسط تغییر ولتاژ و جریان ورودی یک پتانسیومتر[۲] EVAC تنظیم می‌شد. آرایش تونل باد در شکل ۱ نشان داده شده است.

۱- (Potentiometer) دستگاه کنترل‌کننده ولتاژ، اختلاف ولتاژ و جریان ورودی



شکل ۱- آرایش تونل باد مورد استفاده برای تعیین کارآیی خنک‌کنی محیط‌های تبخیر سلولزی.

در این پژوهش، محیط‌های تبخیر سلولزی با ضخامت ۷۵ میلی‌متر در فاصله ۷۰ سانتی‌متری از ابتدای کانال و در محفظه آزمون نصب شدند. برای پاشش آب بر روی محیط تبخیر از دو لوله که با فاصله ۲ سانتی‌متر از هم قرار داشتند، استفاده شد و بر روی هر یک از این لوله‌ها سوراخ‌های ریزی به فاصله ۲ سانتی‌متر از یکدیگر تعبیه شده بود. مخزن آب در زیر کانال باد تعبیه شده بود تا آب خروجی از محیط تبخیر در آن قرار گیرد. برای گردش آب از پمپ آب خنک‌کن‌های معمولی استفاده شد. لازم به ذکر است برای گرم کردن هوای خروجی از یک گرم‌کن استفاده شد.

در این پژوهش ۳ متغیر کارآیی، مصرف آب و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دما ۳ ترموکوپل (Model TC-4Y, AUTONICS, Korea) به‌کار گرفته شد. همچنین، از یک دماسنج تر برای اندازه‌گیری دمای تر استفاده شد. دقت این حس‌گر ۰/۱± درجه سانتی‌گراد بود. سرعت باد با کمک بادسنج (Model AN-200, EXTECH, USA) با دقت ۱/۵ درصد اندازه‌گیری شد. از دو رطوبت‌سنج (Model SU-503R, SAMWON, Korea) با دقت ۰/۵ درصد برای اندازه‌گیری رطوبت نسبی استفاده شد. حس‌گرها در طرفین محیط تبخیر سلولزی و در فاصله ۳۰ سانتی‌متری قرار داشتند. همه حس‌گرها قبل از شروع آزمایش تنظیم شده بودند. دمای آب ۲±۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای هوای خشک ورودی برای همه آزمایش‌ها ۲±۳٦ درجه سانتی‌گراد بود. میزان مصرف آب از اختلاف ارتفاع آب موجود در مخزن، ۵ دقیقه قبل از آزمایش و ۵ دقیقه بعد از اتمام آزمایش اندازه‌گیری شد. با داشتن ارتفاع آب تبخیر شده و طول و عرض ظرف، حجم آب مصرفی به‌دست آمد. مدت زمان آزمایش ۲۰ دقیقه بود.

روش کار: کارآیی خنک‌کنی، مصرف آب و رطوبت نسبی محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز و محیط‌های تبخیر موجود در بازار در سه سرعت باد مختلف (۱/۸، ۲/۲۵ و ۲/٦۷ متر بر ثانیه) اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شد.

کارآیی خنک‌کنی با استفاده از رابطه ۱ به‌دست آمد (گونهان و همکاران، ۲۰۰۷):

$$\text{کارایی} = \frac{\text{دمای خشک هوای خروجی} - \text{دمای خشک هوای ورودی}}{\text{دمای تر} - \text{دمای خشک هوای ورودی}} \quad (۱)$$

از تجزیه واریانس برای بررسی معنی‌داری اثر مستقل جنس کاغذ و اثر متقابل جنس کاغذ، سرعت باد بر کارآیی خنک‌کنی استفاده شد و سپس آزمون دانکن برای بررسی مقایسه میانگین داده‌ها انجام شد.

نتایج و بحث

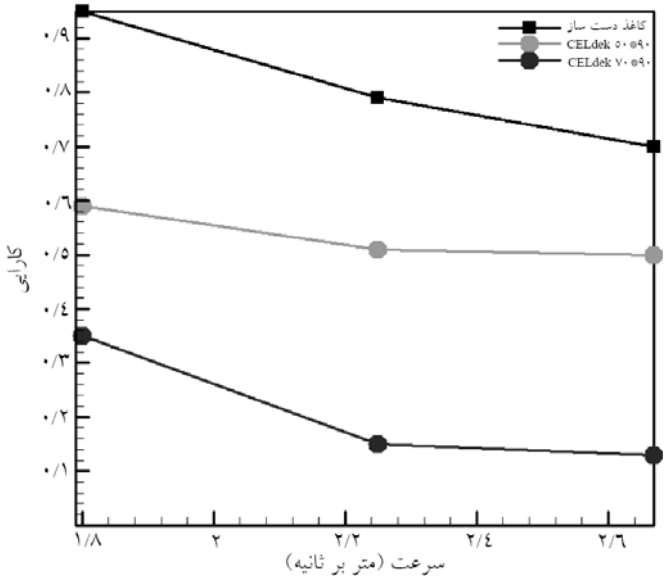
اثر سرعت باد بر کارآیی خنک‌کنی: با توجه به شکل ۲ می‌توان دریافت، کارآیی خنک‌کنی با افزایش سرعت باد کاهش می‌یابد. چون با افزایش سرعت باد زمان برای انتقال گرما و رطوبت بین آب و هوا کم می‌شود. این نتیجه با نتایج پژوهش‌های پیشین که توسط بشکنی و حسینی (۲۰۰٦)، گونهان و همکاران (۲۰۰۷) و وو و همکاران (۲۰۰۸) انجام شده است، مطابقت دارد.

نتایج تجزیه واریانس در جدول ۳ نشان داده شده است. مطابق این نتایج، اثر سرعت باد بر کارآیی خنک‌کنی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است.

با توجه به نتایج می‌توان بیان کرد، بیش‌ترین کارآیی خنک‌کنی هر یک از محیط‌های تبخیر سلولزی مورد بررسی، مربوط به سرعت ۱/۸ متر بر ثانیه است.

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس کارآیی خنک‌کنی.

منابع تغییرات	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Sig.
کاغذ	۱٦٤۰۸/٦٦۷	۲	۸۲۰٤/۳۳۳	۱/۰٤۰۳	۰/۰۰۰
سرعت	۱۷۳۸/٦٦۷	۲	۸٦۹/۳۳۳	۱۱۰/۱۹۷	۰/۰۰۰
کاغذ × سرعت	۲۵۷/۳۳۳	٤	٦٤/۳۳۳	۸/۱۵۵	۰/۰۰۱
خطا	۱٤۲/۰۰۰	۱۸	۷/۸۸۹		
کل	۱۸۵٤٦/٦٦۷	۲٦			



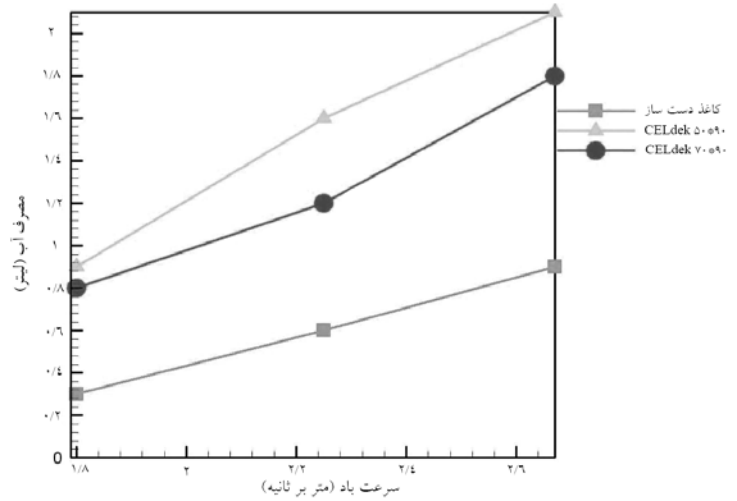
شکل ۲- اثر سرعت باد بر کارآیی محیط تبخیر ساخته شده و محیط‌های تبخیر موجود در بازار.

اثر سرعت باد بر مصرف آب: شکل ۳ مقایسه مصرف آب را در محیط تبخیر ساخته شده با محیط‌های تبخیر موجود در بازار نشان می‌دهد. با مشاهده نمودارها می‌توان دریافت، با افزایش سرعت باد مصرف آب افزایش می‌یابد. چون افزایش سرعت باد سبب افزایش میزان تبخیر سطحی شده و در نتیجه مصرف آب افزایش می‌یابد. میزان مصرف آب در محیط تبخیر سلولزی CELdek ۵۰×۹۰، در سرعت ۲/٦۷ متر بر ثانیه معادل ۲/۱ لیتر است که این میزان مصرف آب بیشتر از میزان مصرف آب در دو محیط تبخیر دیگر است.

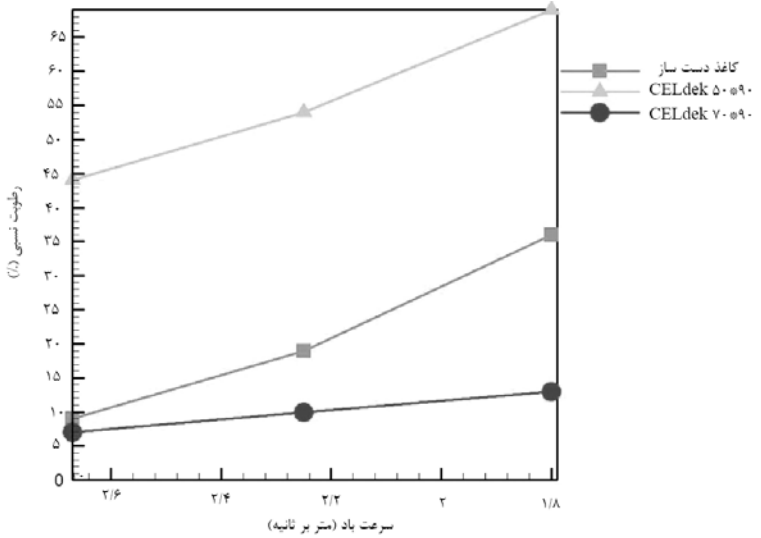
اثر سرعت باد بر تغییرات رطوبت نسبی: همان‌طورکه در شکل ٤ مشخص است، با افزایش سرعت باد تغییرات رطوبت نسبی کاهش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد با افزایش سرعت هوای عبوری، میزان تبخیر سطحی افزایش می‌یابد، باید توجه کرد با افزایش سرعت باد، میزان دبی هوای ورودی نیز افزایش یافته است و با توجه به این‌که افزایش دبی هوای عبوری از میزان افزایش مولکول‌های بخار آب بیش‌تر است، میزان تغییرات رطوبت نسبی با افزایش سرعت باد کاهش می‌یابد.

دلیل دیگر این افزایش مربوط، شرایط ورودی هوا می‌باشد زیرا برای رسیدن به شرایط آب و هوایی گرم و خشک از یک گرم‌کن برقی با توان ثابت استفاده شده است. با در نظر گرفتن توان ثابت

گرم‌کن و میزان دبی هوای عبوری از محیط تبخیر، با کاهش سرعت باد دما افزایش و رطوبت هوای ورودی کاهش می‌یابد، که این افزایش دما و کاهش رطوبت نسبی سبب افزایش میزان تبخیر سطحی و افزایش تغییرات رطوبت نسبی می‌شود.



شکل ۳- اثر سرعت باد بر مصرف آب در محیط تبخیر ساخته شده و محیط‌های تبخیر موجود در بازار در مدت ۲۰ دقیقه.



شکل ٤- اثر سرعت باد بر تغییرات رطوبت نسبی در محیط تبخیر ساخته شده و محیط‌های تبخیر موجود در بازار.

اثر کاغذ کرافت بر کارآیی خنک‌کنی: مطابق نتایج تجزیه واریانس می‌توان بیان کرد، تأثیر کاغذ کرافت بر کارآیی خنک‌کنی در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار است. نتایج آزمون دانکن نیز در جدول‌های ٤ و ٥ ارایه شده است. با مشاهده نتایج می‌توان تشخیص داد که کاغذ کرافت دست‌ساز، بیش‌ترین تأثیر را بر کارآیی خنک‌کنی نسبت به دو کاغذ دیگر داشته است و کارآیی محیط تبخیر ساخته شده با این کاغذ در سرعت ۱/۸ متر بر ثانیه، ۹۵ درصد است.

جدول ٤- اثر کاغذ کرافت بر کارآیی خنک‌کنی.

	محیط تبخیر ساخته شده از کاغذ کرافت دست‌ساز	CELdek ٥٠×٩٠	CELdek ٧٠×٩٠
کارآیی (درصد)	۸۱/۳۳[a]	٥۳/۳۳[b]	۲۱[c]

جدول ٥- اثر کاغذ کرافت و سرعت باد بر کارآیی خنک‌کنی.

سرعت باد (متر بر ثانیه)	کارآیی خنک‌کنی (درصد)		
	محیط تبخیر ساخته شده از کاغذ کرافت دست‌ساز	CELdek ٥٠×٩٠	CELdek ٧٠×٩٠
۱/۸	۹٥[a]	٥۹[d]	۳٥[g]
۲/۲٥	۷۹[b]	٥۱[e]	۱٥[h]
۲/٦۷	۷۰[c]	٥۰[f]	۱۳[h]

بحث

همان‌طورکه در شکل ۲ مشاهده می‌شود، کارآیی محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز در محدوده سرعت‌های مورد بررسی بیش از محیط‌های تبخیر موجود در بازار است و در بهترین وضعیت (سرعت ۱/۸ متر بر ثانیه) حدود ۱٦ درصد بیش‌تر از (٥۰×۹۰) CELdek است. یکی از دلایل این افزایش این است، ارتفاع کنگره در محیط‌های تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز کم‌تر از دو محیط تبخیر دیگر است. زیرا ارتفاع کم کنگره سبب کاهش اندازه منافذ عبور هوا در محیط تبخیر می‌گردد و زمان عبور هوا را افزایش می‌دهد. بنابراین تبادل گرما بین آب و هوا بیش‌تر انجام

می‌شود و کارآیی خنک‌کنی بهبود می‌یابد. این نتیجه با پژوهش‌های گونهان و همکاران (۲۰۰۷) و لیائو و شیو (۲۰۰۲) مطابقت دارد. علت دیگر افزایش کارآیی در محیط‌های تبخیر با ارتفاع کم کنگره، وجود تعداد بیش‌تری منفذ در واحد سطح است که سبب افزایش سطح تماس هوای گرم با محیط مرطوب می‌شود. بنابراین تبادل حرارتی بیش‌تری صورت می‌گیرد که سبب افزایش کارآیی می‌شود. علاوه‌بر ارتفاع کم کنگره، وجود الیاف بلند در محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ دست‌ساز علت دیگر افزایش کارآیی در محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز است (جدول ٦).

جدول ٦- میانگین طول و قطر الیاف در کاغذهای مورد استفاده در محیط تبخیر.

	میانگین طول الیاف (میلی‌متر)	میانگین قطر الیاف (میکرو)
کاغذ کرافت دست ساز	۰/۸۲	۳۲
کاغذ محیط تبخیر موجود در بازار	۰/٦۱	۲۷

الیاف بلند به‌علت ایجاد تخلخل بیش‌تر در محیط تبخیر سبب افزایش جذب آب در کاغذ می‌شوند. عوامل دیگر افزایش جذب آب در محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز این است که در ساخت آن به‌جز رزین از مواد افزودنی دیگری استفاده نشده است و کاغذهای مورد استفاده در ساخت این محیط تبخیر پرس نشده‌اند، زیرا پرس سبب کاهش تخلخل می‌شود. در سرعت‌های کم، به‌طور عام هرچه قابلیت جذب آب در محیط تبخیر بیش‌تر و اندازه ارتفاع کنگره کم‌تر باشد، کارآیی محیط تبخیر بیش‌تر می‌گردد.

میزان مصرف آب در محیط تبخیر سلولزی CELdek (۹۰×۵۰) در محدوده سرعت‌های مورد بررسی بیش از CELdek (۹۰×۷۰) و محیط تبخیر ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز است. ارتفاع کنگره در محیط‌های تبخیر موجود در بازار بیش‌تر از محیط تبخیر سلولزی ساخته شده با کاغذ کرافت دست‌ساز است و این امر سبب افزایش ضریب انتقال جرم و افزایش سرعت عبوری می‌شود. علت تفاوت مصرف آب در محیط‌های تبخیر موجود در بازار، افزایش سطح تبخیر در محیط تبخیر با ارتفاع کنگره ۵ میلی‌متر است. لازم به ذکر است، ارتفاع کم کنگره نیز سبب افزایش تبخیر می‌شود.

منابع

1.Anyanwu, E.E. 2004. Design and measured performance of a porous evaporative cooler for preservation of fruits and vegetables, Energy conversion and management, 45: 2187-219.
2.Beshkani, A. and Hosseini, R. 2006. Numerical modeling of rigid media evaporative coolers, Applied Thermal Engineering, 26: 636-643.
3.Characteristics of CELdek and GLASdek6560/15, Division Humicool Munters company, Available from:<www.Munters.com>.
4.Dai, Y.J. and Sumathy, K. 2002. Theoretical study an a cross flow direct evaporative cooler using honeycomb paper as packing material, Applied Thermal Engineering, 22: 1417-1430.
5.Dzivama, A.U., Binder, U.B. and Aboaba, F.O. 1999. Evaluation of pad material in construction of active evaporative cooler for storage of fruits and vegetables in arid environments. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, AMA, 30: 3. 51-55.
6.Gunhan, T., Demir, V. and Yaciogl, A. 2007. Evaluation of the suitability of some local materials as cooling pad, Bio systems Engineering, 96: 3. 369-377.
7.Johnson, R.S. 1988. The Theory and Operation of Evaporative Coolers for Industrial Gas Turbine Installation, ASME Report, No. 88.GT.41.
8.Kinney, L. 2004. Modern evaporative cooler, Home energy, 1: 24-30.
9.Koca, R.W., Hughes, W.C. and Christianson, L.L. 1991. Evaporative cooling pads: test, procedure and evaluation, Applied Engineering in Agriculture, 107: 4. 90-485.
10.Liao, C.M. and Chiu, K.H. 2002. Wind tunnel modeling the system performance of alternative cooling pads in Taiwan region, Build. Environ. 37: 177-187.
11.Liao, C.M., Singh, S. and Wang, T.S. 1998. Characterizing the performance of alternative evaporative cooling pad media in thermal environmental control application, J. Environ. Sci. Health. 33: 7. 1391-1417.
12.Pescod, D. 1968. Unit air cooler using plate heat exchanger with evaporative cooled plates, Aust. Refrig. Air Cond. Heat. 22: 22-26.
13.Taha, A.Z., Rahim, A.A.A. and Eltam, O.M.M. 1994. Evaporative cooler using a porous material to be used for reservation of food, Renewable Energy, 5: 474-476.
14.Wu, J.M., Huang, X. and Zhang, H. 2009. Numerical investigation on the heat and mass transfer in a direct evaporative cooler, Applied Thermal Engineering, 29: 195-201.
15.Wu, J.M., Huang, X. and Zhang, H. 2009. Theoretical analysis on heat and mass transfer in a direct evaporative cooler, Applied Thermal Engineering, 29: 980-984.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 19 (4), 2013
http://jwfst.gau.ac.ir

Investigation on The Effect of Cellulosic Pads Made of Kraft Hand Sheet Papers and Comparison with Commercial Cellulosic Pads

M. Barzegar[1], *M. Layeghi[2], Gh. Ebrahimi[3], Y. Hamzeh[4] and M. Khorasani[5]

[1]M.Sc. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, [2]Assistant Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, [3]Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, [4]Associate Prof., Faculty of Natural Resources, University of Tehran, [5]Assistant Prof. of Technology Color and Research Center, Amir Kabir University

Received: 05/04/2011; Accepted: 02/02/2013

Abstract

The purpose of this study was to compare the performance of cellulosic pad made of kraft hand sheet papers and commercial cellulosic pads (CELdek 50×90 and CELdek 70×90). Hand sheet papers were made by the use of a large hand sheet maker at available at pulp and paper laboratory of Wood and Paper Science and Technology department at the University of Tehran and then corrugated with B flute size in Pars carton factory. After cutting, corrugated papers were cross-laminated by kraft adhesive and with 90 degree flute angle. Then, pads were soaked in NS-88 resin and dried at 35±2 ^{o}C. Cooling efficiency and water consumption of experiments were measured as a function of air velocity. Cellulosic pads were tested in a wind tunnel at three different levels of air velocity (1.8, 2.25 and 2.67 ms^{-1}). The results showed that cellulosic pads made of kraft hand sheet papers had the highest efficiency compared to the commercial cellulosic pads (CELdek 50×90 and CELdek 70×90). It has also been found that by increasing the air velocity, the cooling efficiency decreased and water consumption increased.

Keywords: Cellulosic pad, Cooling efficiency, Water consumption, Air velocity

* Corresponding Author; Email: mlayeghi@ut.ac.ir