



مروری بر تحقیقات انجام شده در زمینه سرمایه‌ش تبخیری

علی آقایی^۱، نادر رهبر^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

۲- *استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران

* سمنان، صندوق پستی ۳۵۱۹۶۹۷۹۵۱، پست الکترونیکی: rahbar@semnaniau.ac.ir

چکیده

مشکل کم‌آبی در کشور و استفاده کولرآبی به عنوان سیستم سرمایه‌ش در مناطق وسیعی از کشور دلایلی بود که مروری بر تحقیقات انجام شده بر روی سیستم های سرمایه‌ش تبخیری داشته باشیم. سیستم‌های سرمایه‌ش تبخیری سیستم‌هایی هستند که در آنها آب و هوا در تماس مستقیم با یکدیگر قرار می‌گیرند و هوا در سیستم سرمایه‌ش تبخیری همراه با افزایش رطوبت خنک می‌گردد. سیستم‌های سرمایه‌ش تبخیری مستقیم متداول ارزان دارای ساختار ساده و مصرف انرژی کم می‌باشند. به منظور بررسی عملکرد سیستم های سرمایه‌ش تبخیری، تحلیل قوانین اول و دوم ترمودینامیک نسبت به تحلیل انرژی می‌تواند مفیدتر باشد چراکه دید و پیشینه بهتری نسبت به فرایندهای انجام شده درون سیستم می‌دهد. پارامترهای تاثیر گذار در سیستم های سرمایه‌ش تبخیری می‌تواند به دمای هوای ورودی، دمای آب ورودی، سرعت هوای خروجی و رطوبت نسبی که باتوجه به شرایط آب هوایی همبستگی تجربی دارند اشاره کرد. در این میان می‌توان با توجه به سیستم و شرایط آب و هوایی سیستم بهینه ای را انتخاب کرد؛ که توانایی ایجاد آسایش حرارتی را داشته باشند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۸ تیر ۱۳۹۷

پذیرش: ۲۳ مرداد ۱۳۹۷

ارائه در سایت: ۱۵ آبان ۱۳۹۷

کلیدواژگان

رطوبت نسبی

سرمایش تبخیری

آسایش حرارتی

A review of research on evaporative cooling

Ali aghaie¹, Nader rahbar^{2*}

1- Department of mechanical engineering, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran.

2- Strategic Center for Energy and Sustainable Development, Semnan Branch, Islamic Azad University, Semnan, Iran

*P.O.B. 3519697951 Semnan, Iran, rahbar@semnaniau.ac.ir

Article Information

Original Research Paper

Received 29 June 2018

Accepted 14 August 2018

Available Online 6 November 2018

Keywords

Relative humidity
evaporative cooling
thermal comfort

ABSTRACT

Evaporative cooling systems are systems in which the weather is in direct contact with each other and the air is cooled using the principle of evaporative cooling with increasing humidity. Cheap, straightforward direct evaporative cooling systems have a simple structure and low energy consumption. In order to evaluate the performance of evaporative cooling systems, the analysis of the first and second thermodynamic rules for energy analysis can be more useful because it provides a better view and process than the processes performed within the system. The parameters that influence the evaporative cooling systems can be indicated by the temperature of the inlet air, the water temperature, the outlet air velocity and relative humidity, which are empirically correlated with the weather conditions. In this regard, it is possible to choose the optimal system according to the system and the weather conditions; they can provide the comfort of heat.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

A. aghaie¹, N. rahbar, A review of research on evaporative cooling, Journal of Mechanical Engineering and Vibration, Vol. 9, No. 3, pp. 34-42, 2018 (In Persian)

۱- مقدمه

سرمایش تبخیری یک فرایند بسیار قدیمی است که منشأ آن به بادگیرها برمی‌گردد؛ که با پیشرفت صنعت به کولر تبخیری تبدیل شده است. خنک کننده تبخیری براساس یک قانون علمی ساده پایه ریزی شده است. وقتی آب تبخیر می‌شود، گرمای نهان تبخیر را از توده خود آب و هوای محیط اطراف جذب می‌کند.

هوا نیز از طریق جابجایی انرژی گرمایی خود را به آب منتقل می‌کند در سرمایه‌ش هوا به روش تبخیری مستقیم، آب در داخل جریان هوا تبخیر می‌شود. در شرایط پایا و با فرض بی‌دررو بودن سامانه از نظر انرژی درجه حرارت تعادل آبی که به طور مداوم گردش می‌کند، برابر با درجه حرارت حباب ترورودی خواهد بود. امروزه مصرف بالای انرژی در ساختمان‌ها و کمبود منابع تامین انرژی لزوم توجه به استفاده از سیستم‌های با کارایی بالاتر را در ساختمان‌ها پیش از پیش‌ضروری می‌سازد. و همواره در فصول گرم در همه جای دنیا سیستم سرمایه‌ش و تهویه مطبوع مصرف انرژی بسیار زیادی داشته و بالطبع اثرات زیست محیطی ناشی از تامین این انرژی محیط زیست را تهدید می‌کند.

با شروع بحث صرفه جویی در مصرف انرژی در سال ۱۸۷۰ دیدگاه جدیدی در زمینه استفاده از سامانه‌های تهویه مطبوع ایجاد گردید. این دیدگاه سبب بروز تغییراتی در تفکر مهندسان تهویه مطبوع گردید؛ که البته برخی از این تغییرات مثبت و بعضی دیگر منفی بود. از جمله تغییرات مثبت می‌توان به بهبود عایق سازی حرارتی و پیشرفت‌های چشمگیر در طراحی سامانه‌های تهویه مطبوع اشاره نمود. تغییرات منفی عبارتند از کیفیت بد هوای داخل که به علت افزایش غلظت الاینده‌ها و کم بودن درصد هوای تغذیه شده از خارج ایجاد می‌گردد. در دهه اخیر با رشد ساخت و ساز و همچنین استفاده هر چه بیشتر از تجهیزات تاسیسات سرمایه‌ش و گرمایشی ساختمان می‌توان تاثیر این رشد را در مصرف هر چه بیشتر انرژی‌های فسیلی و الکتریکی توسط تاسیسات ساختمان به خصوص تاسیسات سرمایه‌ش و تهویه مطبوع احساس کرد. با توجه به میانگین‌های مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی به طور

متوسط مصرف انرژی الکتریکی در فصول گرم تقریباً دو برابر مصرف در فصول سرد است؛ و از آنجایی که بخش بزرگ برق تولیدی در کشور ایران توسط نیروگاه‌های حرارتی تامین می‌شود، مصرف بالای انرژی الکتریکی به معنای مصرف زیاد سوخت

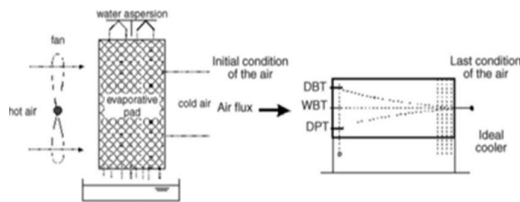
های غیر قابل تجدید فسیلی می‌باشد. در کشور ما نزدیک به ۳۵ درصد انرژی مصرفی سالانه در بخش ساختمان‌های مسکونی و اداری مصرف می‌شود از آنجایی که هزینه نه صرف تولید بلکه تنها در بخش مصرف استفاده می‌شود، کاهش هزینه‌های انرژی می‌تواند نقش مهمی در توسعه داشته باشد. در همین راستا استفاده بهینه از انرژی و به کارگیری فناوری‌های جدید سامانه‌های مدیریت هوشمند ساختمان در دوده‌ها اخیر توسعه یافته است. یکی از مهم‌ترین اهداف این سامانه مدیریت مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد که در مجموع صرفه جویی انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد که در مجموع صرفه جویی انرژی را دربر خواهد داشت. بخش زیادی از وسایل و مصرف‌کننده‌های انرژی در خانه‌ها یا فضاهایی با کاربری اداری و تجاری دستگاه‌های گرمایش و تهویه مطبوع هستند. بیشتر انرژی از نوع سوخت‌های فسیلی و همچنین برق مصرف شده در تاسیسات گرمایش و سرمایه‌ش و روشنایی ساختمان است. در همین راستا در پیمانی بین‌المللی به منظور کاهش صدور گازهای گلخانه‌ای، که عامل اصلی گرم شدن زمین در دهه‌های اخیر محسوب می‌شوند، صادر شده است. این پیمان که پیمان نامه ریو را تکمیل و ترمیم می‌کند در چارچوب سازمان ملل متحد شکل گرفت. طی سالهای اخیر با افزایش گازهای گلخانه‌ای نظیر متان، دی اکسید کربن، بخار آب و اکسید نیتروژن در جو زمین، دمای کره در حال افزایش می‌باشد که این امر باعث ایجاد تغییرات ناخوشایند در محیط زیست خواهد شد. از این رو در سال ۱۹۹۷ طی پیمانی معروف به کیوتو کشورهای صنعتی متعهد شدند که ظرف ده سال آینده میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را ۵٪ کاهش دهند و به کشورهای در حال توسعه کمک‌های مالی برای افزایش ضریب نفوذ استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر نظیر انرژی خورشیدی و بادی، اعطا نمایند. البته CFC که از گازهای صنعتی می‌باشد نیز از جمله گازهای گلخانه‌ای محسوب می‌شود، این گاز در گذشته بطور وسیع در کندانسورهای یخچال و بمنظور خنک کردن درون یخچال بکار می‌رفت، اما امروزه به دلیل ایجاد اثر گلخانه‌ای، استفاده از آن در بسیاری از کشورها ممنوع شده است.

متأسفانه علی‌رغم مشکلات فوق و از طرفی در بیشتر وسعت کشور ایران آب و هوای خشک و گرم حاکم می‌باشد و کمبود بارندگی نیز برهمگان پوشیده نیست. کماکان از سرمایه‌ش تبخیری از نوع مستقیم و غیر مستقیم به عنوان وسیله خنک کن خصوصاً کاربرد مسکونی و صنعتی در فصول گرم استفاده

داخلی در کویت ارائه می دهد؛ و میزان صرفه جویی انرژی در مقایسه با کاربرد یک سیستم تهویه مطبوع تبریدی ارائه کرده است. نتایج برای ماههای مختلف و موقعیتهای ساحلی و داخلی این کشور مورد ارزیابی قرار گرفت.

مونروه^۶ [۵] در سال ۲۰۰۲ در یک ثبت اختراع در امریکا سیستم پیش سرد کن ترموالکتریک را در مسیر برگشت آب کولر به مخزن پیشنهاد داده است. در این طرح به توصیف عملکرد کولر تبخیری و طرحهای پیشین برای پیش سرد کن آب و توضیح طرح فوق پرداخته شده است. عنوان شده کاربرد کولر آبی بجای کولر تبریدی بسته به شرایط محیطی می تواند تا چهار برابر کارا تر بوده و در عین حال در شرایطی محیطی دیگر ناکارا باشد و نمونه گیری تجربی این نیز برای آن بیان نشده است. محل تحقیق مشخص نیست.

کامارگو^۷ و ابینوما^۸ [۶] در سال ۲۰۰۵ به بررسی اصول اساسی فرآیند تبخیری خنک کننده برای اسایش حرارتی، اصول عملیات برای سیستم خنک کننده مستقیم و توسعه ریاضی معادلات تبادل حرارتی را ارائه داده اند.



شکل ۱ شکل شماتیک خنک کننده تبخیر مستقیم (DEC) مورد مطالعه کامارگو^۷ و ابینوما^۸.

بشکانی^{۱۲} و حسینی^{۱۳} [۷] در سال ۲۰۰۶ کارایی کولر تبخیری مستقیم مجهز به مبدل حرارتی متشکل از صفحات موج و مرطوب با روش عددی را بررسی کرده اند و در این تحقیق به منظور حل معادلات از تحلیل المان محدود استفاده شده است و معادلات حاکم بر هوا با استفاده از تجزیه و تحلیل اختلاف محدود و الگوریتم Projection حل شد. بازده اشباع و افت فشار به عنوان عملکرد سرعت هوا و عمق پوشش های میانی پوشال محاسبه شد؛ و نتایج در این بررسی نشان می دهد که بهره وری با کاهش سرعت و افزایش عمق پوشش های میانی

می شود نیاز به بررسی بیشتر بر روی کارکرد این کولر می باشد.

تا به امروز تحقیقات فراوانی در زمینه سرمایش تبخیری انجام شده است. تحقیقات صورت گرفته بر روی سیستم های سرمایش را می توان به گروه های زیر تقسیم نمود.

۱.۱. شبیه سازی عددی

۱.۲. تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی

هرچند مطالعات تجربی روش های پرهزینه ای جهت بررسی رفتار و تحلیل سیستم های ترمودینامیکی است، اما این روش به دلیل دقت بالا و قابل استناد بودن نتایج همواره مورد توجه بوده است. [۱]

۲- شبیه سازی عددی

با توجه به هزینه بر بودن تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی بسیاری از محققان ترجیح می دهند به جای استفاده از روش های تجربی، از مدل سازی ریاضی جهت تحلیل سیستم های سرمایشی استفاده کنند. در مدل سازی و تحلیل ریاضی سیستم های سرمایشی از معادلات ترمودینامیکی حاکم بر سیستم استفاده شده است

ژائو^۱ و گو^۲ [۲] در سال ۱۹۹۸ عملکرد حرارتی یک کولر هوای تبخیری غیرمستقیم را به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اثرات طیف وسیعی از پارامترهای مانند سرعت جریان اولیه و ثانویه هوا، عرض کانال، رطوبت نسبی ورودی و مرطوب بودن صفحه بر روی عملکرد حرارتی آن بررسی شده است. نتایج نشان داده شده است که یک عرض کانال کوچکتر، رطوبت نسبی ورودی پایین تر جریان هوای ثانویه، مرطوب تر بودن صفحه و یک نسبت بالاتری نسبت به هوا ثانویه به جریان هوای اولیه، اثربخشی بالاتری را دارد.

خالد^۳ و صلاح^۴ [۳] در سال ۲۰۰۰ در تحقیقات خود نشان دادند که با بکارگیری کولر تبخیری غیر مستقیم ایجاد شرایط اسایش حرارتی در اکثر شبانه روز امکان پذیر است نتایج این تحقیق نشان داد که چون در این سامانه تنها از فن و پمپ آب استفاده می شود مصرف انرژی بسیار پایین است

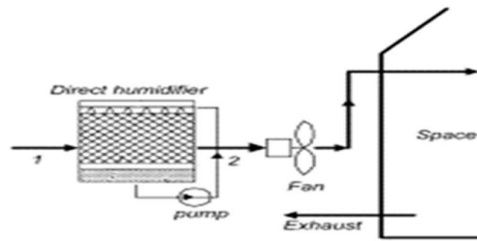
ماهشواری^۵ [۴] در سال ۲۰۰۱ ارزیابی تحلیلی با استفاده از نتایج میدانی عملکرد یک کولر آبی در مکان های ساحلی و

۶. Monroee
7. Gamargo
8. Ebinuma
9. Direct Evaporative Cooler
10. Gamargo
11. Ebinuma
12. Beshkani
13. Hosseini

1. Zhao
2. Guo
3. Khalid
4. Salah
5. Maheshwari

جعفری نصر^۵ و بهفر^۶ [۱۱] در سال ۲۰۱۰ در تحقیق حاضر روش جدید بر اساس الگوریتم طراحی سریع (RDA) برای طراحی بهینه مبدلهای حرارتی تبخیری در EFCs و برج های خنک کننده مدار بسته ارائه شده است. در این مطالعه، ایجاد رابطه بین ضریب انتقال حرارت و جرم، افت فشار، سطح انتقال حرارت می باشد.

ملیکیان^۷ و فودا^۸ [۱۲] در سال ۲۰۱۱ بر روی انتقال حرارت و جرم، فرآیند درون کولر تبخیر مستقیم مورد بحث قرار داده اند. و یک مدل ریاضی ساده برای توصیف انتقال گرما و جرم بین هوا و آب در یک کولر تبخیر مستقیم ارائه کرده اند؛ و این مدل شامل معادلات حاکم با شرایط مرزی و برخی معادلات جبری مرتبط است. و گرما وابسته به حرارت تبخیر شده به عنوان یک منبع گرما در معادله انرژی به دست می آید و جرم آب تبخیر شده به عنوان منبع جرم در معادله جرم محسوب می باشد. تأثیرات سرعت هوای ورودی، ضخامت پد، دمای هوای خنک کننده ورودی هوا در بازده خنک کننده کولر تبخیری محاسبه و آنالیز شده است.



شکل ۳ شماتیک کولر مورد مطالعه ملیکیان^{۱۲}

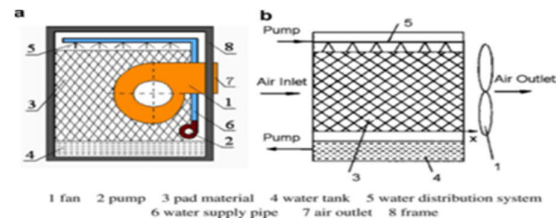
و فودا^{۱۳}

چنگوانگ شنگ^۹ و همکاران [۱۳] در سال ۲۰۱۲ در پژوهشی ارتباط تجربی بین سه پارامتر و تأثیر آن در بهروری را مورد ارزیابی قرار دادند این سه پارامتر مهم از جمله دمای هوا واب ورودی و سرعت هوای ورودی می باشد که با انجام تست های متعدد برای هر پارامتر با استفاده از سرعت های افزایشی مشخص میکند که میان این سه پارامتر همبستگی تجربی وجود دارد که با تغییر هر پارامتر کارایی خنک کننده تغییر می کند.

پوشال بهبود می یابد؛ و در نتیجه در این تحقیق می توان به بهبود کارایی ۴۰ درصد اشاره کرد.

رن^۱ و یانگ^۲ [۸] در سال ۲۰۰۶ با هدف توسعه یک مدل تحلیلی برای فرآیند انتقال گرما و جرم همراه در خنک کننده تبخیر غیر مستقیم در شرایط عملیاتی واقعی با تنظیمات موازی / ضد جریان ارائه نموده است؛ و اثرات تبخیر آب اسپری، تغییرات دمای آب اسپری و تغییر آنتالپی آب اسپری در امتداد سطح مبدل حرارتی در معادلات مدل در نظر گرفته و نتایج حاصل را مقایسه نموده است.

وو^۳ و همکاران [۹] در سال ۲۰۰۹ در مطالعه عددی انتقال حرارت و رطوبت میان آب و هوا در یک سیستم تبخیری مستقیم پرداختند؛ و تأثیر پارامترهای مختلف بر روی عملکرد آن را مورد مطالعه قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده عملکرد سیستم نسبت به تغییرات سرعت هوای خروجی و ضخامت پد در مقایسه با سایر پارامترهای موثر کلیدی در کارایی کولر تبخیری مستقیم می باشد و سرعت بهینه در این نوع کولر مدل شده ۲٫۵ متر بر ثانیه می باشد



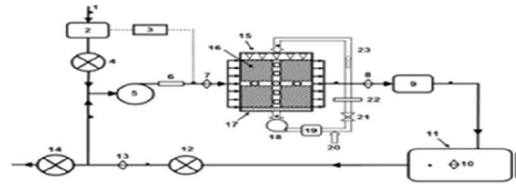
شکل ۲ شماتیک کولر مورد مطالعه وو^{۱۶}

وو^۴ و همکاران [۱۰] در تحقیق دیگر در سال ۲۰۰۹ با ساده سازی معادلات انتقال جرم و انرژی به صورت تئوری و روابط ساده ای برای انتقال حرارت و رطوبت در سیستم های سرمایشی تبخیری مستقیم استخراج کرده اند؛ و به صورت عددی و با کد نویسی و استفاده از الگوریتم simpler و با طرح های گسسته سازی quick و تفاضل مرکزی حل نموده است و با مقایسه با شرایط آب و هوایی چهار استان چین نتایج نشان دهنده این است که این سیستم در آب هوای مرطوب قادر به ایجاد آسایش حرارتی نیست.

۵. Jafari Nasr
۶. Behfar
۷. Melikyan
۸. Fouda
۹. Changwang Sheng

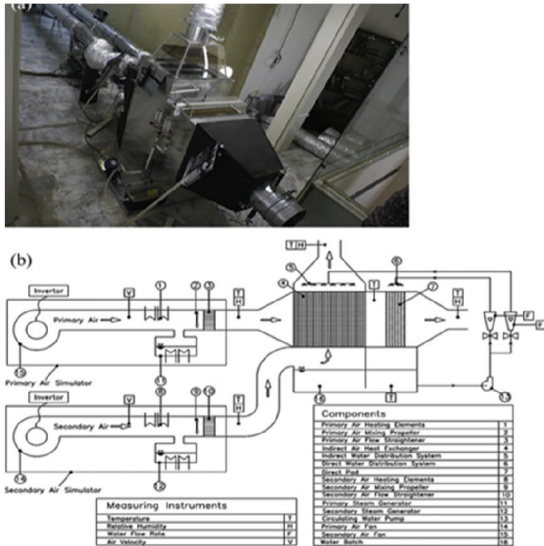
۱. Ren
۲. Young
۳. Wu
۴. Wu

اند و معادلات حاصل را با روش تفاضل محدود fdm گسسته و روش های تکرار شونده حل کرده و نتایج عددی مدل شده را با نتایج تجربی مقایسه نموده و خطای محاسبه شده حدود ۳ درصد می باشد و نتایج نشان می دهد که اثر حباب مرطوب حدود ۶۰ درصد بالاتر از یک مرحله ای است سیستم ارایه شده دو مرحله ای مستقیم و غیر مستقیم به عنوان یک انتخاب جایگزین در چهار شهرستان ایران معرفی کرده اند



شکل ۳ شماتیک سیستم مورد بررسی آقای چنگوانگ شنگ^۶

حسینی و همکاران [۱۴] در سال ۱۳۹۲ با استفاده از سیستم سرمایش ترکیبی جهت ایجاد آسایش حرارتی در شهرهای مختلف ایران را مورد بررسی قرار دادند این سیستم تلفیقی از خنک کننده تبخیری مستقیم با سرمایش تبخیری غیر مستقیم شامل برج خنک کننده و کویل سرمایشی می باشد که هر یک از اجزای سیستم به صورت عددی مدل شده و به طور جداگانه با نتایج آزمایشگاهی اعتبار سنجی شده اند و نتایج به دست آمده ضریب عملکرد سیستم سرمایشی ترکیبی شامل سرمایش تبخیری مستقیم همراه با پیش سرمایش هوای ورودی حدود ۱۰-۲۰ درصد به خنک کننده تبخیری مستقیم افزایش یافته است و لازم به ذکر است با به کارگیری سیستم پیش سرمایش هوای ورودی به خنک کننده تبخیری سیستم پتانسیل سرمایشی و امکان برقراری آسایش حرارتی بهتری را می دهد ولی منجر به افزایش میزان آب اتلافی می شود و این سیستم قابلیت ایجاد دمای هوای کمتر از دمای مرطوب هوا را نیز دارد.



شکل ۴ شماتیک و دستگاه مورد مطالعه حیدری نژاد و مشیری

معرفت^۴ و همکاران [۱۷] نیز در سال ۲۰۱۵، سیستم سرمایش ترکیبی و سرمایش تبخیری مستقیم را مورد مطالعه قرار دادند و گزارش کردند که راندمان این سیستم ترکیبی سازگار با محیط زیست در مقایسه با سیستم مستقیم تنها، تا ۴۵ درصد بیشتر است.

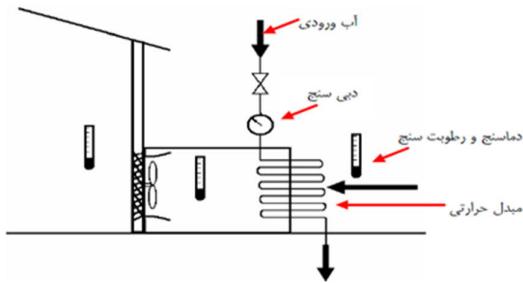
علی سوهانی [۱۸] در سال ۱۳۹۵ و همکاران در پژوهش انجام شده با استفاده از معادلات پیشین موجود برای پیشبینی افت فشار ایجاد شده توسط پد و دمای هوای خروجی از سیستم سرمایش تبخیری با پد سلولوزی، یک روش ساده و دقیق به منظور تعیین مشخصات آن ارائه گردیده است و کاربرد این روش ساده و قابل استفاده توسط همه در تعیین مشخصات سیستم برای یک ساختمان نمونه ۹۷،۱ متری در اقلیمهای مختلف آب و هوایی ایران که سرمایش تبخیری در آنها قابل بررسی است به عنوان مطالعه موردی، بررسی شده است. با استفاده از این

بهزاد امید کاشانی [۱۵] در سال ۱۳۹۴ در پژوهش انجام داده به صورت تئوری پارامترهای مهم کولر آبی تبخیری را در ۹ ساعت به طور منظم آزمایش کرده و از جمله اثرپذیری دمای خشک خروجی از کولر. ضرایب انتقال حرارت را با نتایج آزمایش شده در شهر بیرجند را مقایسه نموده است. و با توجه نتایج مشخص شد که دمای آب سیرکولاسیون تا حد زیادی به دمای خشک هوای خروجی از کولر نزدیک است و این پدیده به علت وجود دبی آب سیرکولاسیون و تماس مداوم با آب و هوای عبوری است.

حیدری نژاد^۱ و مشیری^۲ [۱۶] در سال ۲۰۱۵ یک مدل جدید از یک سیستم خنک کننده تبخیری غیر مستقیم^۳ IEC دو مرحله ای با در نظر گرفتن دیوار انتقال حرارتی طولی lac و اثر اسپری تغییرات درجه حرارت اب در طول مبدل ارایه کرده

1. Heidarinejad
2. Moshari
3. Indirect evaporative cooler

4. Marefat



شکل ۵ شکل شماتیک مورد مطالعه عبدالعی فرزاد و مهدی خجسته پور

تانگ رنهنگ^۳ و اتریون^۴ [۲۱] در سال ۲۰۰۳ بصورت آزمایشگاهی و تحلیلی سرمایش تبخیری و تشعشعی را در حوضچه ای که سطح آب با نوعی پارچه ضخیم (گونی) پوشانده شده باشد را مورد بررسی قرار دادند.

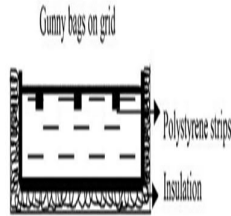


Fig. 1. Schematic section of the suggested pond.

شکل ۶ شکل شماتیک و مورد مطالعه تانگ رنهنگ ۷ و اتریون ۷

در سال ۲۰۰۴ الدوکسی^۵ و همکاران [۲۲] در کویت یک دستگاه آزمایشی واحد خنک کننده دو مرحله ای تبخیری ساخته و آزمایش کردند؛ و این واحد خنک کننده به دو قسمت تبخیر غیر مستقیم^۶ (IEC) و یک واحد خنک کننده تبخیر مستقیم^۷ (DEC) شامل می باشد. در کویت میانگین حساب خشک هوا (دمای محیط) بالای ۴۵ درجه و با شرایط محیطی گرم و خشک می باشد. ونتایج کارکرد این دستگاه نشان می دهد که پارامترهای تاثیر گذار در این سیستم جریان آب می باشد؛ و کارایی این دستگاه IEC / DEC در حدود ۹۰-۱۲۰٪ متغیر است و به طور مشابه، بهره وری واحد IEC در حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد متغیر است.

روش و تعیین ضخامت پد مناسب در هر شهر، میتوان یک خانواده محصول مشخص را در تمام شهرها به صورتی که شرایط آسایش حرارتی را تامین نماید، قابل استفاده نمود و در بسیاری از شهرها در مصرف پد و هزینه های اولیه و جاری صرفه جویی نمود.

مارتینز^۱ و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۱۶ بر روی مطالعه تجربی عملکرد یک سیستم تهویه هوا به همراه کندانسورپرداخته اند و تاثیر ضخامت پد خنک کننده را بررسی و عملکرد سیستم را در بهترین بهره وری^۲ COP را بدست آورده اند و در آزمایشات تجربی نشان می دهد که با اضافه کردن یک ضخامت پد در حدود ۱۰۰ میلی متر در مصرف برق کمپرسور ۱۱،۴ درصد کاهش و ظرفیت خنک کنندگی ۱،۸ درصد افزایش و در نهایت COP کلی ۱۰،۶ درصد افزایش می یابد.

۳- تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی

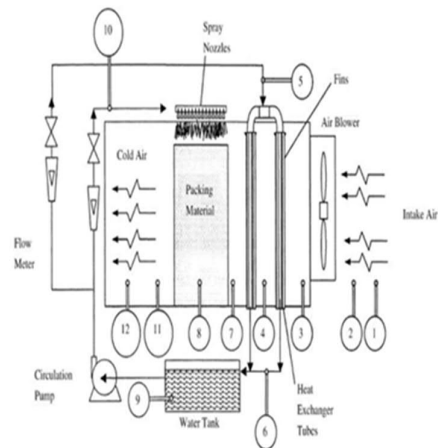
تحقیق تجربی یا آزمایشی یکی از دقیق ترین و کارآمدترین روش های تحقیق است که برای آزمون فرضیه ها مورد استفاده قرار می گیرد هدف این تحقیق بررسی تاثیر محرک ها، روش ها و یا شرایط خاص محیطی بر روی یک گروه آزمودنی می باشد. از خصوصیات روش تجربی این است که ضمن دست کاری یا مداخله در متغیرها و کنترل شرایط نتایج به دست آمده را، مورد مشاهده قرار می دهد.

عبدالعی فرزاد و مهدی خجسته پور [۲۰] در سال ۱۳۸۲ در مورد افزایش راندمان سرمایش هوا در دام پروری سرمایش مرکب تحقیق نموده اند و روشی کم هزینه و ساده ای برای خنک کاری هوا بیرون قبا از ورود به سالن و راندمان کولر تبخیری ارایه کرده اند و آنچه مشاهده می شود میانگین راندمان سرمایش در حالت استفاده کولر بدون مبدل سرد کننده ۶۵،۵ درصد است که در صورت استفاده از مبدل این مقدار ۸۰ درصد افزایش می یابد و هیچ گونه مصرف اب اضافی لازم نمی باشد زیرا همان مصرف روزانه از چاه اب موجود در مرغداری از لوله های مبدل عبور کرده و دمای هوای ورودی به سالن را کاهش می دهد.

۳. Tang Runsheng
۴. Etzion
۵. I-Dessouky
۶. Indirect evaporative cooler
۷. Direct Evaporative Cooler

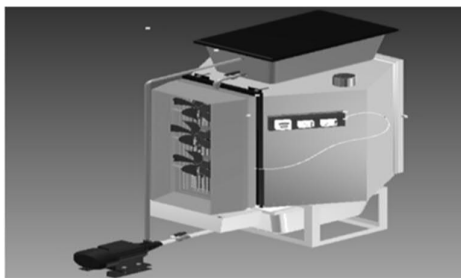
۱. Martinez
۲. Efficiency

اندوکا^۳ و همکارانش [۲۴] در سال ۲۰۱۳ به توسعه یک مدل ریاضی ساده برای اعتبار سنجی عملکرد سیستم خنک کننده تبخیری کوچک در آب و هوای گرمسیری پرداخته اند. بازده های سرمایشی (با تعریف درصد تبخیر) تئوری و تجربی را در یک کولر تبخیری آبی مستقیم در طی ساعات مختلف شبانه روز که دمای خشک و رطوبت نسبی هوای (ورودی به کولر) تغییر می کنند، به دست آورده اند. علاوه بر عایق بودن کامل کولر، فرض شده که آب تغذیه شده به کولر باید دارای دمایی برابر با دمای خشک هوای خروجی از کولر باشد ولی در شرایط واقعی کولر عایق بوده و دمای آب تغذیه شده به کولر برابر دمای مرطوب هوای ورودی می بایست باشد. این مدل دارای دقت ۹۶ تا ۹۹٫۲٪ می باشد.



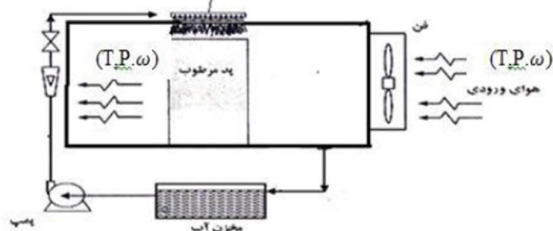
شکل ۷ شماتیک مدل مورد مطالعه الدوسکی^۱

جاین^۲ [۲۳] در سال ۲۰۰۷ یک کولر تبخیری اصلاح شده به نام کولر تبخیری دو مرحله ای (TSEC) برای بهبود بهره وری از خنک کننده تبخیری با رطوبت بالا و دمای پایین توسعه داده شده بررسی نمود. عملکرد خنک کننده از لحاظ افت دما، کارایی خنک کننده تبخیری و کارایی TSEC در برابر تبخیر منحصر به فرد مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان می دهد که استفاده از این سامانه می توان درجه حرارت هوا را تا درجه حرارت حباب تر هوای محیط کاهش داد جاین نشان داد که راندمان این سامانه ۱٫۲-۱٫۱ برابر راندمان یک کولر تبخیری مستقیم است و در صورت استفاده از آن به منظور تهویه و سرمایش فضای داخل ساختمان می توان شرایط دمایی و رطوبتی هوای داخل را به ترتیب در محدوده ۲۵-۱۷ درجه سانتیگراد و ۷۰٪-۵۰٪ (شرایط اسایش حرارتی) رساند.



شکل ۹ سیستم تست خنک کننده و سیستم تبخیری مورد مطالعه اندوکا^۳

امان الله تک زاده و همکاران [۲۵] در سال ۱۳۹۲ یک سامانه خنک کننده تبخیری را به صورت آزمایشگاهی و تئوری مورد تجزیه و تحلیل قرار داده اند و اثر نسبت رطوبت و دمای هوای ورودی بر کارایی اشباع و بازده قانون دوم و تخریب اکسرژی را بررسی کرده اند و نتایج حاصل نشان می دهد بیشترین افت دما در درون سامانه وقتی رخ می دهد که هوا خشک تر باشد درچنین روندی تخریب اکسرژی در مقدار بیشینه خود است و بازده قانون دوم به کمترین مقدار خود رسیده است.



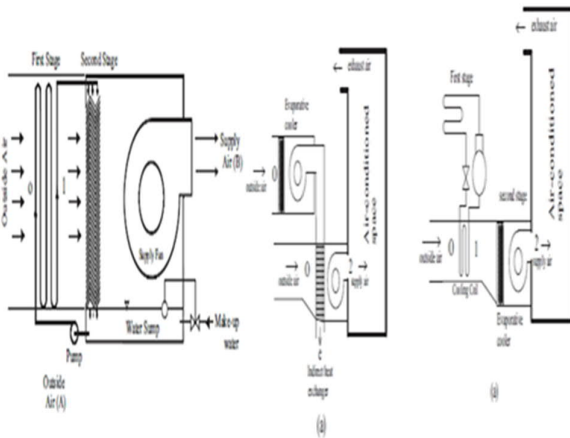
شکل ۱۰ شماتیک سامانه آزمایشگاهی مورد مطالعه امان الله تک زاده



شکل ۸ کولر تبخیری دو مرحله ای مورد مطالعه جاین^۲

۳. Ndukwa

۱. I-Dessouky
۲. jain



شکل ۱۲ شماتیک مورد مطالعه آلکلیبی^۳

۴- نتیجه‌گیری

در مدل‌سازی ریاضی با توجه به آزمایش تجربی با تغییر ضخامت پد به ۱۰۰ میلی‌متر ظرفیت خنک‌کنندگی ۱٫۸ درصد و میزان COP^۳ ۱۰٫۶ درصد افزایش می‌یابد.

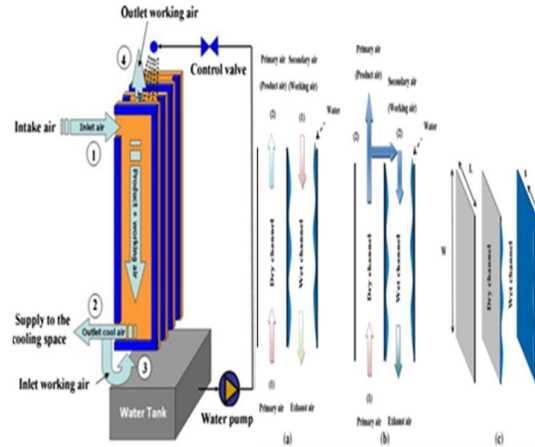
در کویت میانگین حباب خشک هوا بالای ۴۵ درجه‌گراد و با شرایط محیطی گرم و خشک می‌باشد؛ که پارامترهای تأثیرگذار در این سیستم جریان آب می‌باشد؛ و در کارایی این نمونه از دستگاه IEC / DEC در حدود ۹۰-۱۲۰٪ قابل متغیر است.

در سیستمی مشابه که با استفاده از سیستم سرمایه‌ش ترکیبی که به صورت عددی مدل شده و با توجه به نتایج آزمایشگاهی که در شهرهای مختلف ایران را مورد بررسی قرار گرفته است نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از سیستم پیش سرمایه‌ش دمای هوای خروجی از کولر حدود ۱۰-۲۰ درصد نسبت به خنک‌کننده تبخیری مستقیم کاهش یافته است.

۵- منابع و مراجع:

- [1] M F AS Heydari, "Review of Solar Aircraft Researches", Journal of Mechanical Engineering and Vibrations, University of Semnan, vol. Volume 8, Number 1 March 25,1395. (InPersian)
- [2] X. Guo and T.-S. Zhao, "A parametric study of an indirect evaporative air cooler," International communications in heat and mass transfer, vol. 25, pp. 217-226, 1998.
- [3] K. A. Joudi and S. M. Mehdi, "Application of indirect evaporative cooling to variable domestic cooling load," Energy Conversion and Management, vol. 41, pp. 1931-1951, 2000.

مشیری^۱ و همکاران [۲۶] در سال ۲۰۱۶ بر روی کولر تبخیری دو مرحله مستقیم و غیر مستقیم مطالعه کرده‌اند و کارایی و ابعاد بهینه کولر را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. در این تحقیق با در نظر گرفتن کولرهای دو مرحله‌ای مستقیم و غیرمستقیم و تغییر پارامترهای ثابت کارایی بهینه گزارش شده و کارایی کولر نسبت به کولرهای دیگر بهبود یافته است.



شکل ۱۱ مدل مورد مطالعه مشیری

آلکلیبی^۲ [۲۷] در سال ۲۰۱۵ در پژوهشی بروی کولر تبخیری دو مرحله ای داخلی و کولر تبخیری مستقیم و غیر مستقیم با استفاده از نتایج تجربی و از لحاظ تئوری مورد ارزیابی قرار داده‌اند. این نتایج نشان می‌دهد که کارایی کولر تبخیری دو مرحله ای داخلی بالاتر از جریان مستقیم است. کولر تبخیری، اما نمی‌تواند بیش از ۱۰٪ افزایش یابد. همچنین نشان داده شده است که کارایی داخلی نوع خنک‌کننده تبخیری نسبت به نوع مستقیم حساس به سرعت هوا است. کارایی تبخیر مستقیم کولر با ۱۲٪ و کولر تبخیر داخلی تنها با سرعت ۵٪ افزایش می‌یابد.

^۳ A.M. Alkilaibi
3. Efficiency

^۱ Moshari
^۲ A.M. Alkilaibi

- Applied Thermal Engineering, vol. 89, pp. 669-683, 2015
- [17] M. Maerefat, S. Ahmadi, and A. H. Poshtiri, "Investigation and performance analysis of a hybrid cooling system of air underground channel and direct evaporative cooler," Modares Mechanical Engineering, vol. 15, 2015.
- [18] Sohani, Sayyadi, and Fred, "A Simple and Precise Method for Determining Specifications of a Direct Evaporative Cooling System with Cellulosic Pad," Modares Mechanical Engineering, Vol. 16, pp. 104-108, 2016. (InPersian)
- [19] Martinez F. J. R., Gomez E. V., 2004, Comparative study of two different evaporative systems: an indirect evaporative cooler and a semi-indirect ceramic evaporative cooler, Energy and Buildings 36 (2004) 696-708
- [20] Farzad and Abdolali, "The effect of changing the temperature of cooling water on the rate of cooling and increasing the efficiency of water coolers," Water and Wastewater, 2003. (InPersian)
- [21] T. Runsheng, Y. Etzion, and E. Erell, "Experimental studies on a novel roof pond configuration for the cooling of buildings," Renewable Energy, vol. 28, pp. 1513-1522, 2003.
- [22] H. El-Dessouky, H. Ettouney, A. Al-Zeefari, Performance analysis of two-stage evaporative coolers, Chemical Engineering Journal, Vol. 102, No. 3, pp. 255-266, 2004
- [23] D. Jain, "Development and testing of two-stage evaporative cooler," Building and Environment, vol. 42, pp. 2549-2554, 2007.
- [24] M. Ndukwu, S. Manuwa, O. Olukunle, and I. Oluwalana, "Mathematical Model for Direct Evaporative Space Cooling Systems," Nigerian Journal of Technology, vol. 32, pp. 403-409, 2013.
- [25] Takzadeh, Amanollah; Touraj Tavakoli Ghinani and Davood Azhari, 2013, Exergy and Energy Analysis in Evaporative Cooling System in Isfahan, First Conference on Environmental, Energy and Clean Industry, Tehran, University of Tehran. (InPersian)
- [26] S. Moshari, G. Heidarinejad, A. Fathipour, Numerical investigation of wet-bulb effectiveness and water consumption in one-and two-stage indirect evaporative coolers, Energy Conversion and Management, Vol. 108, pp. 309-321, 2016
- [27] A. Alkhalabi, "Experimental and theoretical investigation of internal two-stage evaporative cooler," Energy Conversion and Management, vol. 95, pp. 140-148, 2015.
- [4] G. Maheshwari, F. Al-Ragom, and R. Suri, "Energy-saving potential of an indirect evaporative cooler," Applied Energy, vol. 69, pp. 69-76, 2001.
- [5] J. Monroe, "Thermoelectric water pre-cooling for an evaporative cooler," ed: Google Patents, 2002.
- [6] J. R. Camargo, C. D. Ebinuma, and J. L. Silveira, "Experimental performance of a direct evaporative cooler operating during summer in a Brazilian city," International Journal of Refrigeration, vol. 28, pp. 1124-1132, 2005.
- [7] A. BESHKANI and R. HOSSEINI, "NUMERICAL MODELING OF RIGID MEDIA EVAPORATIVE COOLER," 2005.
- [8] R. Chengqin and Y. Hongxing, "An analytical model for the heat and mass transfer processes in indirect evaporative cooling with parallel/counter flow configurations," International journal of heat and mass transfer, vol. 49, pp. 617-627, 2006.
- [9] Wu J. M., Huang X., Zhang X., 2009, Theoretical analysis on heat and mass transfer in a direct evaporative cooler, Applied Thermal Engineering 29 (2009) 980-984
- [10] Wu J. M., Huang X., Zhang H., 2009, Numerical investigation on the heat and mass transfer in a direct evaporative cooler Applied Thermal Engineering 29 (2009) 195-201
- [11] M. J. Nasr and R. Behfar, "A novel design for evaporative fluid coolers," Applied Thermal Engineering, vol. 30, pp. 2746-2752, 2010.
- [12] The Alex Foundation, "Alex the African grey parrot and subject of landmark studies of bird intelligence dies at 31," ed. Waltham, MA: The Alex Foundation, 2007.
- [13] C. Sheng and A. A. Nnanna, "Empirical correlation of cooling efficiency and transport phenomena of direct evaporative cooler," Applied Thermal Engineering, vol. 40, pp. 48-55, 2012.
- [14] Hosseini Sana; Ghasem Heydarinejad and Hadi Pasargar Shahri, 1392, Effect of Cooling Tower Efficiency on the Performance of the Cooling System of the Cooling Tower and Direct Evaporative Cooling, The 15th Dynamic Fluid Conference (Fluid), Bandar Abbas, Iran Physical Society, University Hormozgan. (InPersian)
- [15] Omid Kashani, Behzad, 1394, Experimental Investigation and Heat Transfer and Heat Transfer Efficiency Theory in Iran's First Evaporative Evaporative Cooler, The First International Conference on Air Conditioning and Thermal and Refrigerating Equipment, Tehran, Kimia Energy Conservatives, Thermal Engineering Scientific Association And cold weather Iran. (InPersian)
- [16] S. Moshari and G. Heidarinejad, "Numerical study of regenerative evaporative coolers for sub-wet bulb cooling with cross-and counter-flow configuration,"