The Effect of Cooling Water Temperature on Cooling Rate and Study of Increasing the Efficiency of Water Coolers in Poultry Housing

Farzad, A.(Ph.D)
Agricultural Machines Division, University of Mashhad

Abstract

Evaporative cooling has been known for centuries, from which various types of cooling devices have been made. But during hot summer days, when the temperature rises above some average value, the designed system may not work properly and users may seek for methods to increase its performance. In this paper the effect of cooling water temperature, entering into the pads, on the evaporative cooling is investigated. Also, the cooler efficiency is calculated and its water consumption per hour is determined. It is shown that decreasing the cooling temperature does not affect the cooling rate significantly, but using compound systems may reduce the water consumption considerably.

اثر تغییر دمای آب خنک کننده روی میزان سرمایش و بررسی افزایش بازده کولرهای آبی

(دریافت ۸۱/۹/۲۵ پذیرش ۸۲/۲/۱۵)

عبدالعلی فرزاد*

چکیده

سرمایش تبخیری، قرن‌هاست که برای بشر شناخته شده و وسایل سرمایشی متنوعی براساس آن ساخته شده است. ولی وقتی گرمای روز تابستانی از حد متوسط بالاتر می‌رود، وسیله سرمایش طراحی شده، ممکن است جوابگو نباشد و استفاده کننده در پی یافتن راهی برای افزایش بازده آن است. در این مقاله، اثر دمای آب خنک کننده ورودی به پوشال‌های هواساز در سالن‌های مرغداری، روی میزان تبخیر آب و سرمایش سالن، تعیین بازده کولر و صرفه‌جویی در آب مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است. نشان داده شده است که برخلاف تصور، کاهش دمای آب خنک کننده تأثیر محسوسی روی سرمایش بیشتر ندارد، ولی با در نظر گرفتن تمهیداتی می‌توان در مقدار آب مصرفی به مقدار قابل ملاحظه‌ای صرفه‌جویی نمود.

واژه‌های کلیدی : سرمایش تبخیری، تبخیر، بازده، پوشال.

مقدمه

بشر از قرن‌ها پیش، شاید به طور تجربی، از اثر سرمایش تبخیری برای کاهش دمای محل سکونت خود، مخصوصاً در مناطق کویری و خشک استفاده کرده است. در قرن اخیر، این استفاده با آگاهی علمی بیشتر، گسترش وسیع‌تری یافته و کولرهای آبی از جمله‌ی دستاوردهای آن به شمار می‌رود. وقتی گرمای روز تابستانی در جنوب شرقی و شرق کشور از حد معینی بیشتر می‌شود، دیده شده است که مردم برای ایجاد سرمای بیشتر به مخزن این کولرها یخ اضافه می‌کنند. در این مقاله اثر دمای آب خنک کننده ورودی به پوشال‌های هواساز در سالن‌های مرغداری، روی میزان تبخیر و سرمایش سالن مورد بررسی قرار گرفته است. بازده کولرهای آبی در منطقه مورد آزمایش محاسبه شده و میزان آب مصرفی اندازه‌گیری گردیده است.

کاربرد صنعتی سرمایش تبخیری، علاوه بر سرمایش منازل [۱و۲]، در موارد مختلفی چون برج‌های خنک کننده نیروگاه‌ها [۳]، خشک‌کن‌های صنعتی [٤]، سرمایش گلخانه‌ها [٥]، سرمایش سالن‌های مرغداری [٦]، سرمایش ساختمان‌ها از طریق پاشش آب بر روی پشت بام‌ها [۷، ۸ و ۹] و حتی برای کاهش دما در محیط‌های باز و نیمه باز[۱۰]، کاربرد فراوانی یافته است.

میزان سرمایش بستگی به میزان تبخیر آب دارد، که به ازای تبخیر واحد جرم آن، به مقدار زیادی از محیط گرما جذب می‌کند. این میزان تبخیر، به عوامل متعددی از جمله به دمای آب در سطح تماس آب و هوا، رطوبت نسبی هوای ورودی، مساحت تماس آب و هوا و دمای هوای ورودی بستگی دارد. از میان تمام عوامل موثر یاد شده، دمای آب ورودی به پوشال‌ها کمتر مورد تحقیق قرار گرفته است. به عنوان نمونه میشل سزاریک و مایک لیسی [۱۱]، در یک بررسی نه چندان جامع، نتیجه می‌گیرند که کاهش دمای آب ورودی، تأثیر محسوسی در کاهش دمای هوای خروجی ندارد.

* استادیار گروه ماشین‌های کشاورزی- دانشگاه فردوسی مشهد

فرضیات

عوامل موثر در سرمایش عبارت‌اند از : دما و مقدار هوای ورودی، سطح تبادل جرم و دما، رطوبت نسبی هوای محیط تبادل، سرعت هوای گذرنده و دمای آب ورودی به پوشال‌ها. در این تحقیق، فرض بر این است که فشار هوا، رطوبت نسبی هوای ورودی، و دمای هوای ورودی در هر دوره آزمایش ثابت باشند. تحول ترمودینامیکی کار، به دلیل سرعت زیاد انجام تحول، آدیاباتیک منظور می‌شود.

مواد و روش‌ها

دو سری آزمایش متفاوت روی کولرهای آبی یک سالن مرغداری انجام گردید. در یک سری آزمایش‌ها، با اضافه کردن یخ در مقادیر متفاوت، اثر دمای مخزن آب ورودی به پوشال‌ها روی میزان سرمایش بررسی شد. در سری دوم با اندازه‌گیری و ثبت دماهای تر و خشک ورودی و خروجی طی روزهای متعدد، و رطوبت هوای متفاوت، بازده کولرها آزمایش شد. در هر دو مورد آزمایش‌های فوق، آب مصرفی و سرعت هوا به دقت اندازه‌گیری گردید و رطوبت نسبی هوا در ورود و خروج محاسبه شد. محاسبات لازم براساس اختلاف آنتالپی هوای ورودی و خروجی انجام یافته و دلیل تغییرات و عدم تغییرات عوامل مورد انتظار تشریح گردیده است.

معادلات اساسی

اساس کار یک کولر آبی، در شکل ۱ نشان داده شده است. میزان سرمای تولید شده از موازنه جرم و حرارت به دست می‌آید. هوا به مقدار a_1[1] کیلوگرم با رطوبت Y'_1[2] (کیلوگرم هوای خشک/کیلوگرم آب به صورت رطوبت) و دمای T_{WB1}[3] و T_{DB1} وارد پوشال می‌شود. از W_1[4] کیلوگرم آب وارد شده به پوشال در دمای T_{W1}[5] به مقدار (W_1-W_2) کیلوگرم تبخیر شده و همراه هوای خروجی باعث افزایش رطوبت هوا به مقدار Y'_2 و دمای T_{WB2} و T_{DB2}[6] می‌گردد. آب خارج شده از کولر در مخزنی جمع‌آوری شده و دوباره به پوشال‌ها پمپاژ می‌شود. مقداری آب جدید، از طریق لوله ورودی، به میزان آب تبخیر شده به سیکل تزریق می‌گردد.

[1] a_1=جرم هوای خشک ورودی به کولر

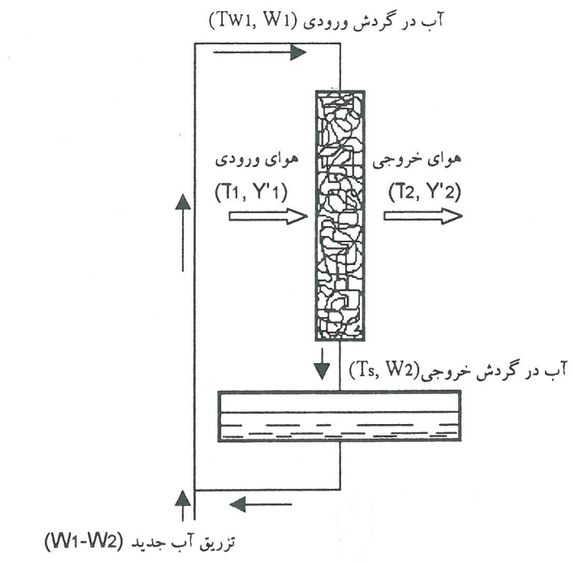
[2] Y'_1, Y'_2=رطوبت مطلق هوای ورودی و خروجی

[3] T_{WB2} و T_{DB2}= دمای حباب‌تر و حباب خشک هوای خروجی

[4] W_1 و W_2=جرم آب ورودی و خروجی

[5] T_{w2} و T_{w1}=دمای آب ورودی و خروجی

[6] T_{WB1} و T_{DB1}=دمای حباب‌تر و حباب خشک



شکل ۱- اصول کار کولرهای آبی (ایده‌آل آدیاباتیک).

در حالت کار پایدار و ایده‌آل، به فرض این که تماس کامل بین آب و هوا در داخل کولر فراهم باشد، هوا با هر رطوبتی وارد شود، به حالت اشباع از کولر خارج خواهد شد. دمای هوای خروجی، دمای اشباع آدیاباتیک T_S[1] خواهد بود.

مثلاً اگر هوا با رطوبت ۰/۰۳۰ (هوا/kg آب‌kg) در دمای ۴۵°C وارد شود، با مراجعه به چارت‌های سایکرومتری، از کولر با دمای ۳۱/۵°C خارج خواهد شد. مقدار آب تبخیر شده در این تحول برابر :

$W_1-W_2 = ۰/۰۷۰ - ۰/۰۳۰ = ۰/۰۴Kg/kg$

خواهد بود. دمای آب خروجی از کولر نیز همان دمای اشباع، یعنی ۳۱/۵°C است.

در این جا فرض گردیده است که آب با همان دمای اشباع ۳۱/۵°C وارد کولر شود. در اکثر مواقع، مقدار آب تزریق شده‌ی جدید، نسبت به آب کل سیکل، آن قدر کم است که اختلاف دمای آب جدید تأثیر قابل ملاحظه‌ای در دمای آب مخزن ندارد.

اگر رطوبت هوا تغییر نکند، ولی دمای هوا افزایش یا کاهش بیابد، هوای خروجی بدون تغییر و با همان دمای T_S خارج خواهد شد، با این تفاوت که مقدار آب تبخیر شده در حالت اول بیشتر و در حالت دوم کمتر خواهد بود. ولی اگر رطوبت هوا افزایش یابد، آب کمتری تبخیر شده و هوا از کولر با دمای گرم‌تر خارج خواهد شد. جالب توجه است که در رطوبت مزبور به هیچ عنوان به دمای کمتر از ۳۱/۵°C دست نمی‌یابیم، مگر آن که به وسیله‌ای ابتدا رطوبت هوا را کاهش دهیم.

پس، دمای هوای خروجی در حالت آدیاباتیک ایده‌آل، بستگی به رطوبت هوای ورودی دارد. با رطوبت اولیه کمتر، هوای خروجی سردتر و با رطوبت اولیه بیشتر هوای گرمتری از کولر خارج خواهد شد. به این دلیل است که در مناطق مرطوب کولرهای آبی کارایی ندارند.

در حالت ناپایدار و غیر آدیاباتیک، مطابق شکل ۲، به طوری که آب ورودی با دمایی غیر از دمای اشباع هوا وارد شود، مقدار حرارت انتقال یافته از آب به هوای گذرنده ΔQ (یا برعکس آن) برابر است با :

$$\Delta Q=\alpha A\Delta T+(W_1-W_2)\lambda \qquad (۱)$$

Q- گرمای مبادله شده بین آب و هوا

α- ضریب تبادل گرما بین آب و هوا

λ- گرمای نهان آب در دمای T_S

A- مساحت سطح تبادل گرما بین آب و هوا

در این رابطه از انتقال حرارت به آب خروجی صرفنظر شده است. اگر آنتالپی هوای ورودی را i_1 و آنتالپی هوای خروجی را به i_2 نمایش دهیم با فرض آدیاباتیک بودن جریان (به دلیل مدت زمان کوتاه تماس هوا با آب خنک کننده)، با استفاده از جداول ترمودینامیکی می‌توان نوشت :

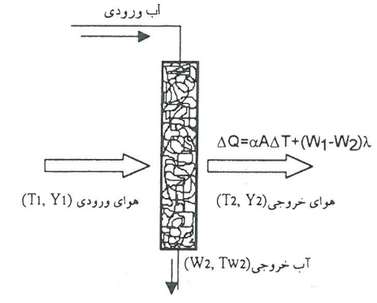
$$\Delta Q=i_2-i_1 \qquad (۲)$$

i_1 و i_2- آنتالپی هوای ورودی و خروجی

در رابطه (۱) تعیین میزان عبارت $\alpha A\Delta T$ در کولرهای پوشالی به صورت نظری بسیار مشکل است. زیرا، ضریب α اصولاً بستگی به سرعت هوای گذرنده و اختلاف دمای بین آب و هوا، و عوامل متعدد دیگر دارد. هم‌چنین، تعیین سطح تماس A آب و هوا در داخل پوشال عملاً غیر ممکن است. بنابراین، نتایج تجربی بسیار سودمند می‌باشد.

اگر ΔT مثبت باشد، حرارت از آب به هوا منتقل شده و باعث ایجاد سرمای بیشتر خواهد شد. ولی اگر ΔT منفی باشد، چنان که در برج‌های خنک‌کن اتفاق می‌افتد، آب خنک‌تر و هوا گرم‌تر خواهد شد.

[1] T_{S2} و T_{S1} نقطه اشباع هوای ورودی و خروجی



شکل ۲- کولر آبی غیر آدیاباتیک.

جدول ۱- رطوبت نسبی RH=٪۳۸.

آب مصرفی Lit/hr.m²	خروجی			ورودی		
	RH%	T_{WB}	T_{DB}	RH%	T_{WB}	T_{DB}
۲۰/۱	٦۲	۱۵	۱۹	۳۷	۱۸	۲۷
۲۹/۳	٦۹	۱۸/۵	۲۲	۳۸	۲۰/۵	۳۰
٤۱/۷	٦۹	۲۲/۵	۲٦/۵	۳۹	۲٤/۵	۳۵
٤۸/۳	٦۸	۲٦	۳۰/۵	۳۷	۲٦/۵	۳۸
۵۷/۷	٦۸	۳۰	۳۵	۳۹	۳۰	٤۲

جدول ۲- رطوبت نسبی RH=٪٤٦.

آب مصرفی Lit/hr.m²	خروجی			ورودی		
	RH%	T_{WB}	T_{DB}	RH%	T_{WB}	T_{DB}
۲۱	۷۳	۱۸/۵	۲۱/۵	٤٦	۱۹/۵	۲۷
۲٤/٤	۷۱	۲۰	۲۳/۵	٤٦	۲۲	۳۰
۳۱/۳	۷۱	۲۵	۲۹	٤٦	۲٦	۳۵
۳۹	۷۲	۲۸	۳۲	٤٦	۲۸/۵	۳۸
٤۸	۷۱	۳۱	۳۵/۵	٤۷	۳۲	٤۲

جدول ۳- رطوبت نسبی RH=٪۵۰.

آب مصرفی Lit/hr.m²	خروجی			ورودی		
	RH%	T_{WB}	T_{DB}	RH%	T_{WB}	T_{DB}
۱۷/۲	۷۳	۱۸/۵	۲۱/۵	٤۹	۲۰	۲۷
۲۲/٤	۷۲	۲۱/۵	۲۵	٤۹	۲۲/۵	۳۰
۳۱/۳	۷٤	۲٦	۲۹/۵	۵۱	۲۷	۳۵
۳٦/٦	۷۲	۲۸	۳۲	۵۱	۲۹/۵	۳۸
۳۹	۷٤	۳۲/۵	۳٦/۵	۵۰	۳۲/۵	٤۲

نتایج

طی روزهای گرم تابستان ۱۳۸۱، در دماهای بین ۲۷°C تا ٤۲°C هوای محیط، دماهای T_{DB} و T_{WB} در ورود و خروج از کولر، اندازه‌گیری شد. محاسبات به عمل آمده نشان داد که، حداقل رطوبت نسبی RH برابر ۳۷٪ و حداکثر آن ۵۰٪ در طی روزهای اندازه‌گیری شده بوده و بیشترین تمرکز در حدود ٤٦٪ بوده است. به این دلیل، دماهای مربوط به این سه مقدار از رطوبت نسبی، در جداول ۱، ۲ و ۳ آورده شده است. رطوبت نسبی با استفاده از منبع [۱۲]، محاسبه گردیده است. سرعت هوای گذرنده از پوشال، تقریباً برابر ۰/۸٦m/sec از اندازه‌گیری به دست آمد. مقدار مصرف آب در هر ساعت بر حسب m^2 از پوشال نیز، از اندازه‌گیری کل آب مصرفی و تقسیم بر کل مساحت پوشال محاسبه شده است.

همان طور که انتظار می‌رود، حداکثر آب مصرفی در دمای ٤۲°C و RH=٪۳۸ و کمترین مقدار آن مربوط به دمای ۲۷°C و RH=٪۵۰ می‌باشد.

در آزمایش دیگری، در دمای ٤۲°C و RH=٪۵۰، به مخزن آب خروجی (آب ورودی مجدد به کولر)، به طور مرتب یخ اضافه می‌شد تا دمای آن را به دلخواه تغییر دهد. تغییرات دمای خروجی از کولر در شکل ۳ نشان داده شده است. به طوری که ملاحظه می‌شود، تغییر دمای آب ورودی به کولر تغییر محسوسی روی دمای هوای خروجی ندارد. این آزمایش در دماهای ۳۵°C و ۳۰°C نیز تکرار شد

و نتایج مشابهی به دست آمد . شاید این بدان دلیل است که اگر چه دمای آب برای تبخیر شدن، باید به دمای اشباع برسد و کمبود دما باید از هوای ورودی جبران گردد، ولی کاهش دمای هوای ورودی باعث کاهش تبخیر آب گردیده و اثر آن را خنثی می‌کند.

در واقع، توصیه می‌شود که به ازای هر مترطول پوشال، ٤ لیتر در هر دقیقه آب تأمین گردد [١]. مازاد بر آن، باعث پخش قطرات آب به طرف داخلی کولر خواهد شد. بنابراین اگر دمای هوای ورودی را ٤٢°C در نظر بگیریم، مقدار حرارتی که از هوا باید گرفته شود (به فرض کامل بودن مبادله گرمایی)، معادل تبخیر ٠/٠٣٨kg آب در هر دقیقه خواهد شد. اگر راندمان سرمایش ٥٠٪ در نظر گرفته شود، این گرما برابر تبخیر ٠/٠١٩kg آب در دقیقه می‌شود. ولی کاهش دمای آب از ٤٢°C به ٣٦/٥°C، باعث کاهش توانایی تبخیر آب به مقدار ٠/٠٢٠kg در دقیقه می‌شود. یعنی این دو عدد تقریباً معادل هم هستند. به این دلیل است که افزایش یخ کارایی کولر را، بر خلاف تصور عمومی، بالا نمی‌برد. اما اگر هوا را بعد از کولر آبی در معرض لوله‌هایی که آب سرد شده در آنها جریان دارد قرار دهیم، یک سیکل ترکیبی کولر آبی و کویل سرد موثر و مفید خواهیم داشت.

در مرغداری‌ها، که آب مصرفی معمولاً از چاه با دمای حدود ١٠°C تأمین می‌شود، می‌تواند در لوله‌های مبرد مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از لوله‌های مبرد در دماهای پایین‌تر نیز باعث صرفه‌جویی در آب مصرفی کولر خواهد شد.

بازده کولر برای هر یک از مقادیر اندازه‌گیری شده از رابطه زیر محاسبه شده است [٢] :

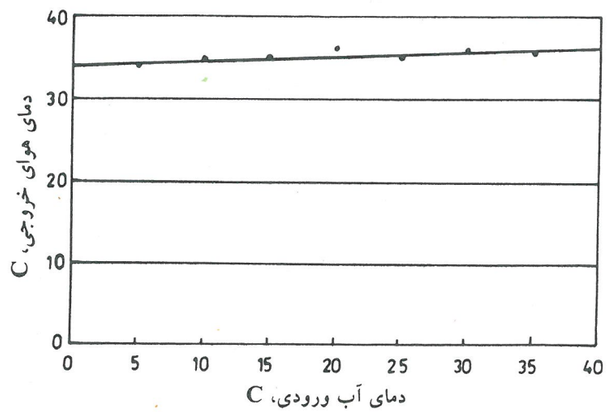
$$\eta = \frac{T_{DB1} - T_{DB2}}{T_{DB1} - T_S} \times ١٠٠ \qquad (٣)$$

این محاسبات نشان می‌دهد که، متوسط بازده کولر مورد نظر، حدود ٤٨٪ است که با مقادیر داده شده در منابع خارجی (تا ٨٥٪) [٥]، تفاوت دارد. به این منظور پوشال‌های سلولزی با خارشتر تعویض گردید و ضخامت آن‌ها به ١/٥ برابر افزایش داده شد (حدود ٨mm)، بازده آن به حدود ٦٠٪ افزایش یافت ولی آب مصرفی به همان میزان زیادتر گردید.

پیشنهادها

- یک کولر آبی با ظرفیت ٥٠٠٠CFM[1]، به طور متوسط ٥٨/٥ لیتر در ساعت آب مصرف می‌کند. تعداد کولرهای آبی نصب شده در شهری مانند مشهد، بیش از ٣٧٢٠٠٠ دستگاه تخمین زده می‌شود که در هر ساعت کار، حدود $22000m^3$ آب مصرف می‌کنند. با نصب ترموستات کنترل دمای هوا و تنظیم آن، می‌توان ٢ تا ٥ ساعت در شبانه‌روز کار کولر را کاهش داد. اگر ترموستات باعث ٢ ساعت کاهش در شبانه روز بشود، سالانه ٥/٣ میلیون مترمکعب و اگر ٥ ساعت در شبانه‌روز کاهش یابد، سالانه بیش از١٣/٢ میلیون مترمکعب آب صرفه‌جویی خواهد شد.

[1] CFM =(ft^3/min) ظرفیت هوادهی کولر، فوت مکعب در دقیقه



شکل ٣- منحنی نمایش تغییرات دمای هوای خروجی به ازای تغییرات آب ورودی.

- در دمای بیش از ٣٥°C، کولرهای آبی هوای مساعد و راحتی را تولید نمی‌کنند. به طوری که در جدول ٣ نشان داده شده است در دمای ٤٢°C و رطوبت نسبی ٥٠٪، دمای خروجی ٣٦/٥°C داریم. لذا اضافه کردن کولرهای زیادتر از ظرفیت لازم هم، نمی‌تواند دمای هوا را حداکثر از دمای حباب‌تر پایین‌تر بیاورد. بنابراین، سیستم ترکیبی اشاره شده می‌تواند مفید باشد. در دماهای پایین‌تر هم استفاده از سیستم ترکیبی باعث صرفه‌جویی در آب مصرفی خواهد گردید.

منابع و مراجع

1- Stroble, B.R., Stowell, R.R., and Short, T.H. (2000). *"Evaporative Cooling Pads : Use in Lowering Indoor air Temperature"*, Ohio State University, Fact Sheet, AEX-127-99. http:Ohioline. osuedu/aex-fact/0127.html

2- Otterbein, R. (1996). *"Evaporative Coolers"*, Home Energy Magazine, http://homeenrgy.org/archive/hem.dis.anl.gov/eehem/96/960511.html

3- Treybal, R.E. (1990). *"Mass-Transfer Operations"*, 3rd ed., Mc-Graw-Hill.

4- Masters, K. (1991). *"Spray Drying Handbook"*, 5th ed., Longman.

5- Bucklin, R.A. (1993). *" Fan and Pad Green House Evaporative Cooling Systems"*, University of Florida. http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_AE069.

6- Anderson, K.E., and Carter, T.A. (1993). *"Hot Weather Management of Poultry"*, Poultry Science and Technology. http://www.ces.ncsu.edu/depst/poulsci/techninfo/4pst30.htm

7- Somasundaram, S. (1987). *"An Experimental and Numerical Modelling of a Roof-Spray Cooling System"*, ASHRAE Transactions. http://www.sprinkool.com/articles.html

8- Houdghton, F.C., et al. (1940). *"Summer Cooling Load as Affected by Heat Gain Through Dry, Sprinkled and Water Covered Roofs"*, ASHRAE Transactions. http://www.sprinkool.com/articles.html

9- Gandhidasan, P. (1989). *"Simplified Model for the Behavior of a Roof-Spray Cooling System"*, Applied Energy 34. http://www.sprinkool.com/articles.html

10- Pearrl mutter, D., et al. (1996). *"Refining the use of Evaporation in an Experimental Down-Draft Cool Tower"*, Energy and Buildings 23. http://www.bgu.ac.il/CDAUP/evaporative/evapol.html

11- Czarick, M. and Lacy, M. (1994). *"Using Cold Water in Evaporative Cooling Systems"*, Poultry Housing tips 6, No.9. http://www.engr.uga.edu/service/extension/ventilation/v6n9.html

12- Anonymous (2002). *"Humidity Formulas"*, *Gannett co. inc., USA today.* http://www.usatoday.com/weather/whumcalc.htm