

# بررسی سرمایه‌ش هوای ورودی به کمپرسور نیروگاههای گازی با استفاده از مدلسازی ترموسینماتیکی ذرات آب پاششی

محمد اخلاقی<sup>۱</sup>، نیما منشوری<sup>۲</sup>

دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه علم و صنعت ایران

E-mail: Mohammad.Akhlaghi@iust.ac.ir

## چکیده

سرمایش هوای ورودی به کمپرسور به روش پاشش افشانه آب با فشار بالا (فاگ) از روشهای متداول برای جبران کاهش توان خروجی و بازدهی نیروگاههای گازی در نتیجه افزایش دمای محیط می باشد. از عوامل موثر در کارایی این روش سرمایشی سایز قطرات تشکیل شده توسط نازل های پاشش و یا بعبارت دیگر فرآیند اتمیزاسیون میباشد. در این مقاله رفتار ترموسینماتیکی ذرات آب پاششی در ورودی کمپرسور بوسیله برنامه کامپیوتری مدل شده است. نتایج حاصله حاکی از آن می باشد که نرخ تبخیر، نرخ کاهش دمای هوای عبوری و نیز نرخ افزایش رطوبت نسبی هوای عبوری در صورت تولید قطرات با قطر کوچک بوسیله نازل بطور قابل ملاحظه ای بیشتر از قطرات با قطر بزرگتر می باشد.

واژه‌های کلیدی: توربین گازی - پاشش افشانه آب - نرخ تبخیر - دمای ورودی به کمپرسور

## مقدمه

ساده به نظر می آید اما در واقع فاکتورهای متعددی وجود دارند که باعث میشوند فرآیند سرمایشی به روش پاشش افشانه آب کارایی رضایت بخشی داشته باشد . از موارد بسیار مهم در کارایی این سیستم ها سایز قطرات تشکیل شده توسط نازل های پاشش میباشد. به همین دلیل نقش فرآیند اتمیزاسیون در این روش سرمایش بسیار مهم و قابل توجه میباشد. سایز قطرات آب یکی از فاکتورهای کلیدی تاثیر گذار بر کارایی روش سرمایش هوای ورودی با استفاده از روش پاشش افشانه آب میباشد . هرچه ذرات تولید شده کوچکتر باشند ، کارایی سیستم بهتر خواهد بود . ذرات ریز آب پاششی بلافاصله با جریان هوا هم سرعت شده و تنها در حدود ۱ الی ۲ ثانیه به همراه

مطالعه رفتار ترموسینماتیکی ذرات آب پاششی در روش سرمایش هوای ورودی کمپرسور به روش پاشش ذرات ریز آب موضوع پیچیده ای است . دلیل اصلی پاشش ذرات آب بالا بردن رطوبت نسبی جریان هوای عبوری از کمپرسور بدلیل تبخیر قطرات ریز آب میباشد [۶]. تبخیر این قطرات ریز در نهایت باعث کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور و افزایش دبی جرمی عبوری از آن شده که در نهایت قدرت خروجی توربین را افزایش میدهد . از طرف دیگر با سرمایش هوای ورودی به کمپرسور ، کار کمپرسور نیز کاهش پیدا کرده که این امر نیز در نهایت باعث افزایش بیشتر قدرت خروجی میشود [۷]. مکانیزم ذکر شده اگرچه

۱- استادیار

۲- کارشناس ارشد

میکرونی تقسیم کرده و بار دیگر بر جرم قطره ۲۰ میکرونی تقسیم کنیم مجموع سطوح تعداد ذرات بدست آمده حاکی از آن است که سطح بدست آمده در حالت اول ۴ برابر سطح بدست آمده در حالت دوم میباشد [۲].

### عوامل فیزیکی موثر بر سایز قطرات آب :

عمده عواملی که بر سایز قطرات خروجی از نازل تاثیر میگذارند عبارتند از [۱] :

- ۱- نوع نازل مورد استفاده ( نوع سوزنی یا جت چرخشی ) .
- ۲- فشار عملکردی ( بین ۷۰ بار الی ۲۱۰ بار نسبی ) .
- ۳- ظرفیت نازل ( بین  $lit/hr$  الی  $lit/hr$  ) .

نازل های نوع جت چرخشی (Swirl Jet) افت اصطکاکی زیادی ایجاد میکنند که در نهایت باعث میشود ذراتی با قطر بالا تشکیل شوند [۵]. لذا برای تولید ذرات با قطر کمتر ، از نازل های سوزنی (Impacting Pin) استفاده میشود . شکل (۱) افشانه حاصل از این نازلها را نشان می دهد.

از طرف دیگر هرچه فشار عملکردی بالاتر باشد ، قطر ذرات تشکیل شده کوچکتر خواهد بود اما استهلاک نازل ها نیز بیشتر خواهد بود . در صورتیکه از نازل های با ظرفیت بالا استفاده گردد به تعداد کمتری نازل جهت نصب و تعمیرات احتیاج میباشد ولی از سوی دیگر تعداد نقاط پاشش کاهش پیدا کرده و لذا یکنواختی افشانه تحت تاثیر قرار میگیرد . توزیع نامناسب افشانه آب باعث اختلاط نامناسب آب با هوا شده و لذا نرخ تبخیر را کاهش میدهد . از سوی دیگر نازل های با ظرفیت بالا ذراتی با قطر بالا تولید میکنند .

افشانه پاشیده شده از نازل شامل تعداد زیادی قطره با قطرهای متفاوت میباشد . برای بررسی رفتار افشانه از روش های آماری متعددی استفاده میشود . ساده ترین روش که البته کارایی علمی دقیقی ندارد میانگین گیری از قطر قطرات میباشد . این روش چندان قابل اعتماد نمیشود ، چرا که با میانگین گیری جبری از کل قطرات به قطر کوچکی دست پیدا میکنیم که ممکن است دور از واقعیت باشد . به همین منظور از روش های خاص آماری استفاده میشود که با استفاده از آنها میتوان رفتار قطرات و یا مشخصه های افشانه را مدل کرد . عمده ترین این روش ها که برای این مکانیزم سرمایشی کاربرد دارد عبارتند از [۵] :

جریان هوا تا ورودی به کمپرسور حمل می شوند [۲] . این ذرات باید بتوانند در همین مدت کوتاه و قبل از رسیدن به ورودی کمپرسور بطور کامل تبخیر گردند . در صورتیکه اگر فرآیند اتمیزاسیون بطور صحیح عمل نکرده و قطر ذرات پاششی در حد مطلوب کاهش پیدا نکند ، مشکلات عمده ای برای مکانیزم سرمایشی مربوطه ایجاد شده که در نهایت باعث افت کارایی سیستم سرمایشی میشود . برخی از این مشکلات عمده عبارتند از :

- ۱- از آنجاییکه ذرات بزرگ به راحتی تبخیر نمیشوند ، هوای ورودی به کمپرسور به حالت اشباع نمیرسد .
- ۲- برخورد ذره های بزرگ با پره های کمپرسور باعث ایجاد تنش در پره های کمپرسور میشود .
- ۳- ذرات ریز بلافاصله با جریان هوای عبوری هم سرعت شده در حالیکه ذرات درشت از یک سو با برخورد به نقاط مختلف کانال مانند کاهنده صدا و دیگر تجهیزات موجود در مسیر عبور هوا ایجاد انباشتگی کرده و ریزش (Fall Out) را افزایش میدهند و از سوی دیگر باعث ایجاد خوردگی در مسیر کانال هوای عبوری میشوند .

۴- احتمال بهم پیوستن ذرات بزرگ بسیار بیشتر از ذرات ریز میباشد . در صورت بهم پیوستن ذرات بزرگ صفحات مایع تشکیل می شود [۵]. در صورتیکه این صفحات مایع در نزدیکی ورودی به کمپرسور تشکیل شوند بوسیله کمپرسور مکیده شده و باعث خوردگی در پره های آن و ایجاد تنش های نوسانی شده و حتی در مواردی باعث تغییر شکل در نوک پره های کمپرسور میشوند.

کارهای تجربی صورت گرفته در این زمینه نشان میدهند که بهترین قطر برای ذرات آبی که در این روش سرمایش هوای ورودی به کمپرسور بکار میروند بین ۵ الی ۱۵ میکرون میباشد [۲]. استفاده از ذرات با این قطر باعث خوردگی در پره های کمپرسور نمیشود . ذرات ریز با جریان هوا حرکت کرده و بندرت ایجاد انباشتگی کرده و یا دچار ریزش میشوند. از طرف دیگر از آنجاییکه نرخ تبخیر رابطه مستقیمی با سطح قطره دارد ، استفاده از ذرات ریز ، نرخ تبخیر را افزایش میدهد .

موضوع اخیر با ذکر یک مثال بهتر درک میشود . یک قطره ۱۰ میکرونی تنها ۱۳٪ یک قطره ۲۰ میکرونی جرم دارد . در اینصورت اگر جرم معینی را یک بار بر جرم قطره ۱۰

رطوبت، دما، فشار و ... دارد و از سوی دیگر به خواص قطره از قبیل حجم، مشخصات سیال و دمای آن بستگی دارد. در حال حاضر در این مقاله فرآیند تبخیر قطره آب مورد بررسی قرار گرفته است. در این مساله فرض بر این است که فاز پیوسته هوا بوده و رفتار ترموسینماتیکی قطره متأثر از این فاز می باشد.

با استفاده از رابطه (۱) انرژی حرارتی ذخیره شده در قطره بین لحظات  $t$  و  $t+Dt$  بدست می آید.

$$Q = m_d C p_d \left( \frac{T_{d(t+Dt)} - T_{d_t}}{\Delta t} \right) \quad (1)$$

از رابطه فوق میتوان به راحتی دمای قطره را در زمان  $t+Dt$  بدست آورد.

$$T_{d(t+Dt)} = T_{d_t} + \frac{\Delta t \times Q}{m_d C p_d} \quad (2)$$

معادله بالانس حرارتی بصورت زیر می باشد:

$$Q = Q_{conv} + Q_{lat} \quad (3)$$

رابطه فوق شامل دو بخش انتقال حرارت جابجایی و گرمای نهان می باشد.

#### انتقال حرارت جابجایی:

انتقال حرارت جابجایی بین قطره و هوای اطراف از رابطه زیر بدست می آید (زیر نویس  $a$  برای هوا و زیر نویس  $d$  برای قطره بکار رفته است):

$$Q_{conv} = h_{cv} \times S_d \times (T_a - T_d) \quad (4)$$

برای بدست آوردن  $h_{cv}$  ضریب انتقال حرارت و  $\lambda_a$  هدایت حرارتی هوا که برحسب  $\frac{W}{m.K}$  می باشد، از روابط زیر استفاده میکنیم:

$$Nu = \frac{h_{cv} D_d}{\lambda_a} \quad (5)$$

$$\lambda_a = (46.766 + 0.7143 T_a) \times 10^{-4} \quad (6)$$

در جابجایی طبیعی عدد ناسلت بصورت تابعی از عدد گراش و پرانتل تعریف میشود [۱]:

$$Nu = 2 + 0.6 Gr_t^{0.25} \times Pr^{0.33} \quad (7)$$

$$Pr = \frac{\mu_a \times C p_d}{\lambda_a} \quad (8)$$

۱- قطر متوسط ساتر (Sauter) و یا (D32, SMD).

۲- DV90

در روش اول، قطر قطره ای به عنوان معیار در نظر گرفته می شود که نسبت حجم به سطح در معرض تبخیر آن برابر با نسبت حجم به سطح در معرض تبخیر افشانه باشد. این قطر برای تمام ذرات افشانه یکسان فرض میشود. روش SMD روشی مناسب برای فرآیندهایی است که با تبخیر سر و کار دارند. هرچه نسبت حجم به سطح کمتر باشد یعنی سطح بزرگتر باشد، نرخ تبخیر بیشتر می باشد. به عبارت دیگر هرچه SMD کوچکتر باشد، نرخ تبخیر بالاتر می باشد [۵].

در روش DV90 قطر قطره معادل قطری در نظر گرفته میشود که بیش از ۹۰٪ ذرات موجود در حجم افشانه مساوی و یا کوچکتر از آن باشند. هرچه DV90 کوچکتر باشد نشان دهنده آن می باشد که ذرات با قطر بالا کمتر در افشانه موجود می باشند. DV90 کوچک احتمال ریزش قطرات و یا انباشتگی آنها را کم کرده و همچنین خطر وارد شدن نیروهای اضافی به پره های کمپرسور را کاهش میدهد [۵].

#### مدلسازی ترموسینماتیکی:

قبل از مطالعه خصوصیات پیچیده و رفتار کل آرایه قطرات که از نازل خارج میشوند لازم و مفید است تا رفتار هر ذره آب به تنهایی مورد بررسی قرار گیرد و سپس مطالعات به بررسی رفتار آرایه ای از قطرات منتهی شود تا در نهایت رفتار کل افشانه و اندرکنش آن با هوای عبوری قابل درک باشد. لذا در ابتدا قطره تنها با استفاده از فرضیات پایه و کلاسیک و فرض تقارن کروی مورد تحلیل قرار می گیرد.

در این بخش هدف اصلی محاسبه عمر یک قطره تنها در محیط ساکن و در یک حجم محدود هنگامیکه هوای اطراف آن به شعاع RA به حالت اشباع میرسد، می باشد. شعاع RA و یا شعاع فعال (Active Radius)، شعاعی فرضی است که تا آن شعاع هوای اطراف قطره بصورت اشباع در نظر گرفته می شود.

انتقال حرارت و جرم در سطح مشترک قطره و هوای اطراف آن بوسیله جابجایی و نفوذ صورت میگیرد. این تبادل جرم و حرارت از یک سو بستگی به خواص هوای اطراف از قبیل

$$\Delta C_{mass} = C_{mass_d} - C_{mass_a} \quad (17)$$

با فرض اینکه هوای اطراف قطره رفتار گاز کامل از خود نشان میدهد، غلظت جزء  $i$  از رابطه زیر بدست می آید:

$$C_{mass_i} = \frac{M \cdot p_i}{R T_i} \quad (18)$$

حال با استفاده از رابطه (۱۷) داریم:

$$\Delta C_{mass} = \frac{M}{R} \left\{ \frac{P_{vd}}{T_d} - \frac{P_{vap}}{T_a} \right\} \quad (19)$$

در رابطه فوق  $\mu$  وزن مولکولی ( $kg/mole$ )،  $R$  ثابت جهانی گازها ( $J/m.K$ )،  $P_{vap}$  و  $P_{vd}$  فشار بخار در هوا و در سطح مشترک هوا و قطره میباشد.

ضریب نفوذ جرمی با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$Df_{mass} = \frac{Sh \cdot Df_a}{D_d} \quad (20)$$

که در آن  $D_{fa}$  و  $F_a$  بصورت زیر تعریف میشوند:

$$Df_a = 2,26 \cdot 10^{-5} \left\{ \frac{101325}{P_a} \right\} \left\{ \frac{T_a}{273.15} \right\} \quad (21)$$

$$p_a = \left\{ \frac{353.15}{T_a} \right\} [1 - 0.377 \times \frac{P_{vap}}{P_a}] \quad (22)$$

$Sh$  نیز عدد شرودر می باشد که با استفاده از رابطه (۲۴) بدست می آید. در روابط (۲۱) و (۲۲)  $P_{vap}$  فشار جزئی بخار آب میباشد.  $P_a$  فشار کلی هوا می باشد و بستگی به دمای هوا دارد. از آنجاییکه بخار موجود در هوا از مقدار متناظر آن در حالت تعادل فاز بخار و مایع نمیتواند بیشتر باشد، لذا مقدار  $P_{vap}$  ماکزیمم میباشد.

با در نظر گرفتن هوا بصورت گاز کامل میتوان  $P_a$  را برحسب  $T_a$  بصورت زیر نوشت [۴]:

$$P_a = e^{77.3417 - 8.2 \times \ln(T_a - 0.15) + 5.7114 \times 10^{-3} \times T_a - \frac{7235.46}{T_a - 0.15}}$$

برای انتقال جرم بصورت طبیعی از اعداد شرودر و عدد اشمیت استفاده میشود. عدد شرودر بصورت تابعی از گراش جرمی بصورت زیر تعریف میشود [۸]:

$$Sh = 2 + 0.6 Gr_m^{0.25} Sc^{0.33} \quad (24)$$

عدهای اشمیت و گراش نیز از روابط (۲۵) و (۲۶) بدست می آیند [۸]:

در روابط فوق  $\mu_a$  ویسکوزیته دینامیک هوا برحسب  $\frac{kg}{m \cdot Sec}$  و  $Gt$  عدد گراش میباشد که از روابط زیر بدست می آیند [۳]:

$$\mu_a = (0.004823 \times T_a + 0.3976) \times 10^{-5} \quad (9)$$

$$Gr_t = \frac{p_a^2 \cdot g \cdot \beta \cdot (T_a - T_d) \cdot (D_d)^3}{\mu_a^2} \quad (10)$$

مقدار  $g$  در رابطه (۱۰)  $9.8 \frac{m}{s^2}$  فرض شده است.  $\beta$  در روابط فوق ضریب انبساط میباشد و از رابطه زیر بدست می آید:

$$\beta = \frac{1}{p_a} \left\{ \frac{\partial p_a}{\partial T} \right\}_{C,P} = \frac{1}{T_a} \quad (11)$$

با ترکیب روابط (۵)، (۷)، (۱۰) و (۱۱) ضریب انتقال حرارت جابجایی بدست می آید:

$$h_{ev} = \frac{\lambda_a}{D_d} [2 + 0.6 \times \left\{ \frac{p_a^2 \cdot g \cdot (T_a - T_d) \cdot (D_d)^3}{\mu_a^2 \cdot T_a} \right\}^{0.25} \left\{ \frac{\mu_a}{p_a Df_a} \right\}^{0.33}]$$

#### تبادل گرمای نهان:

گرمای نهان بخار آب ( $L_V$ ) از رابطه زیر بدست می آید:

$$L_V = 1000(2498 - 2.413 \times T_d) \quad (14)$$

هنگامیکه قطره شروع به تبخیر شدن می نماید، جرم آن کاهش می یابد. تغییرات جرم قطره در حال تبخیر را میتوان از رابطه زیر بدست آورد [۱]:

$$\Delta m_d = -\Delta t \times S_d \times \phi_{evap} \quad (15)$$

در رابطه فوق  $S_d$  سطح تبادل حرارت قطره و هوای اطراف آن میباشد. در محاسبات صورت گرفته فرض بر این است که قطره و محیط اطراف تشکیل یک سیستم ایزوله میدهند که دارای دمای یکنواخت  $T_d$  برای قطره و  $T_a$  برای هوا میباشد. هنگامیکه هوای اطراف قطره اشباع نباشد، قطره بصورت طبیعی شروع به تبخیر میکند. فشار جرمی تبخیر بصورت زیر نوشته میشود [۳]:

$$\phi_{evap} = Df_{mass} \cdot \Delta C_{mass} \quad (16)$$

رابطه فوق  $Df_{mass}$  ضریب نفوذ جرمی برحسب ( $\frac{m}{s}$ ) و  $\Delta C_{mass}$  تفاوت غلظت جرمی بخار آب بین جریان آزاد هوا و سطح مشترک قطره و هوا میباشد و برحسب ( $\frac{kg}{m^3}$ ) بیان میشود.

در رابطه فوق  $cp_a$  گرمای ویژه هوا در فشار ثابت برحسب  $J/kg.K$  میباشد که در بازه  $(371 < t = T_a < 373)$

از رابطه زیر بدست می آید :

$$Cp_a = 981 + 0.08.T_a \quad (35)$$

در نهایت دمای هوای اطراف قطره را میتوان از رابطه زیر بدست آورد [۱] :

$$T_{a(t+\Delta t)} = T_{a_t} + \frac{h_{cv}.S_d}{m_a.Cp_a} (T_{d(t+\Delta t)} - T_{a_t}) \quad (36)$$

تحلیل فوق برای قطره تنها در هوای ساکن صورت گرفت . هنگام پاشش افشانه آب بوسیله نازل های سوزنی و یا جت چرخشی در کانال هوای ورودی به کمپرسور توربین گازی ، ذرات ریز آب دارای سرعت های متفاوتی میباشند .

در صورتیکه سایز قطرات کوچک باشد ، از آنجاییکه در اغلب موارد عدد رینولدز بسیار کوچک میباشد  $(Re < 1)$  نیروی درگ بسیار بزرگ بوده و ذرات بلافاصله با جریان هوا هم سرعت میشوند .

سرعت نسبی بین قطرات و جریان هوا تعیین کننده نوع جابجایی می باشد. در صورتیکه سرعت نسبی بین قطره و هوای اطراف آن صفر باشد ، جابجایی طبیعی صورت گرفته است . در صورت وجود هرگونه اختلاف بین سرعت قطره و هوای اطراف آن جابجایی بصورت اجباری میباشد .

برای منظور کردن اثرات جابجایی اجباری از عدد ناسلت که بوسیله رانز و مارشال محاسبه شده است استفاده میشود [۸] :

$$Nu = 2 + 0.6 \times Re_d^{0.5} Pr^{0.33} \quad (37)$$

عدد شرودر و عدد رینولدز نیز از روابط زیر محاسبه میشوند [۸]:

$$Sh = 2 + 0.6 Re_d^{0.5} Sc^{0.33} \quad (38)$$

$$Re_d = \frac{D_d \times \Delta U \times p_a}{\mu_a} \quad (39)$$

البته دانستن این نکته جالب میباشد که اثرات سرعت فقط ممکن است در ذراتی با قطر بالا تاثیرات قابل توجهی در کارایی سیستم سرمایشی داشته باشد.

در قطرات ریز آب ، از آنجاییکه این قطرات بلافاصله با جریان هوا هم سرعت میشوند ، تاثیر سرعت بسیار ناچیز میباشد . لذا فرض قطره تنها تقریب خوبی از رفتار قطرات پاششی در کانال هوای ورودی به کمپرسور میباشد .

در نهایت براساس معادلات ارائه شده در بالا و با استفاده از برنامه کامپیوتری رفتارگذرای قطرات آب براساس قطر

$$Sc = \frac{\mu_a}{p_a Df_a} \quad (25)$$

$$Gr_{mass} = \frac{p_a^2 \cdot g \cdot \beta^* \Delta C_{mol} (D_d)^3}{\mu_a^2} \quad (26)$$

$\Delta C_{mol}$  در رابطه (۲۶) نیز بصورت زیر محاسبه میشود :

$$\Delta C_{mol} = \frac{1}{R} \left\{ \frac{P_{vap}}{T_a} - \frac{P_d}{T_d} \right\} \quad (27)$$

در رابطه فوق  $\beta^*$  ضریب انبساط جرمی بوده که بصورت زیر نوشته میشود :

$$\beta^* = -\frac{1}{p_a} \left\{ \frac{\partial p_a}{\partial C} \right\}_{T_a, P_a} = -\frac{M}{p_a} \quad (28)$$

با جایگذاری رابطه (۲۸) در رابطه (۱۶) ، عدد گرافش جرمی بدست می آید . در نهایت فشار تبخیر را میتوان از رابطه (۳۰) بدست آورد .

$$Gr_m = \frac{p_a^2 \cdot g \cdot (D_d)^3}{\mu_a^2} \left\{ \frac{P_d \cdot T_a}{P_{vap} \cdot T_d} - 1 \right\} \quad (29)$$

$$\phi_{evap} = \frac{M \cdot Sh \cdot Df_a}{R \cdot (D_d)} \left\{ \frac{P_{v_d}}{T_d} - \frac{P_{vap}}{T_a} \right\} \quad (30)$$

در نهایت با استفاده از معادلات بالا مقدار تبادل حرارت گرمای نهان از رابطه زیر بدست می آید :

$$Q_{lat} = \frac{\Delta m_d L_v}{\Delta t} \quad (31)$$

با ترکیب معادلات (۴) و (۳۰) مقدار انتقال حرارت بدست آمده از رابطه (۳) بصورت زیر تعریف میشود :

$$Q = S_d \left[ h_{cv} (T_a - T_d) - \frac{\Delta t \cdot M \cdot Sh \cdot Df_a}{R \cdot D_d} \left\{ \frac{P_{v_d}}{T_d} - \frac{P_{vap}}{T_a} \right\} \right] \quad (32)$$

از طرف دیگر میتوان با استفاده از معادله (۱) دمای قطره را در لحظه  $t+DT$  بدست می آید :

$$T_{d(t+\Delta t)} = T_{d_t} + \frac{\Delta t \cdot S_d}{m_d C_p} [h_{cv} (T_{a_t} - T_{d_t}) - L_v \phi_{evap}] \quad (33)$$

با دانستن دمای قطره در لحظه  $t+Dt$  میتوان دمای هوا در اطراف قطره را با استفاده از روابط مربوط به بالانس انرژی بدست آورد :

$$m_a Cp_a (T_{a(t+\Delta t)} - T_{a_t}) = h_{cv} \cdot S_d \cdot (T_{d(t+\Delta t)} - T_{a_t}) \quad (34)$$

قطره ، رطوبت نسبی و دمای محیط و زمان لازم برای به اشباع رساندن هوای اطراف تا شعاع فعال مدل شده است.

## نتایج :

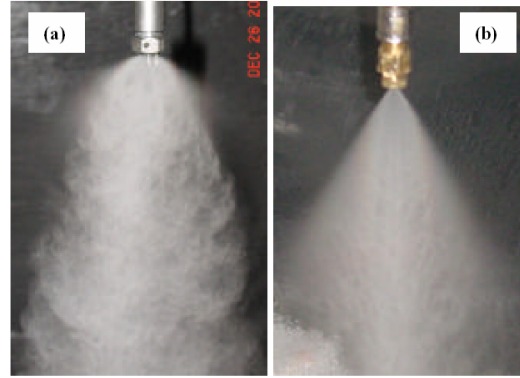
نتایج مدل سازی کامپیوتری تبخیر قطره آب تنها در هوای ساکن که بر اساس روابط ارائه شده در بخش قبل صورت گرفته در شکلهای (۲) الی (۷) نشان داده شده است. دمای هوای ورودی به کمپرسور ۳۰ درجه سانتیگراد دمای قطره آب ۱۵ درجه سانتیگراد و رطوبت نسبی محیط ۲۰٪ در نظر گرفته شده است. نتایج ارائه شده برای ۲ قطر متفاوت ۲۰ میکرون و ۵۰ میکرون و نیز شعاع فعال ۸۰ میکرون ارائه شده اند.

شکل (۲) میزان کاهش دمای هوای ورودی به کمپرسور را بر حسب زمان برای قطره با قطر ۵۰ میکرون نشان می دهد. مطابق با این شکل هوای ورودی به کمپرسور پس از حدود ۴ ثانیه به دمای مرطوب محیط نزدیک می شود در صورتیکه مطابق با شکل (۵) این مقدار برای قطره ای با قطر ۲۰ میکرون حدود ۱ ثانیه می باشد. شکل (۳) میزان کاهش قطر قطره در نتیجه تبخیر (نرخ تبخیر) را بر حسب زمان نشان میدهد در این شکل قطره به قطر ۵۰ میکرون پس از گذشت حدود ۱۱ ثانیه نیز بطور کامل تبخیر نمی شود در صورتیکه قطره به قطر ۲۰ میکرون - مطابق شکل (۶) - در کمتر از ۲ ثانیه تبخیر میشود. از طرف دیگر همانگونه که در شکلهای (۴) و (۷) دیده می شود رطوبت نسبی در هوایی که ذرات آب پاشیده شده در آن قطری معادل با ۵۰ میکرون دارند پس از گذشت ۸ ثانیه به ۱۰۰٪ می رسد در حالیکه همین مقدار در هوایی که ذرات آب پاشیده شده در آن قطری معادل با ۲۰ میکرون دارند معادل ۱٫۵ ثانیه می باشد.

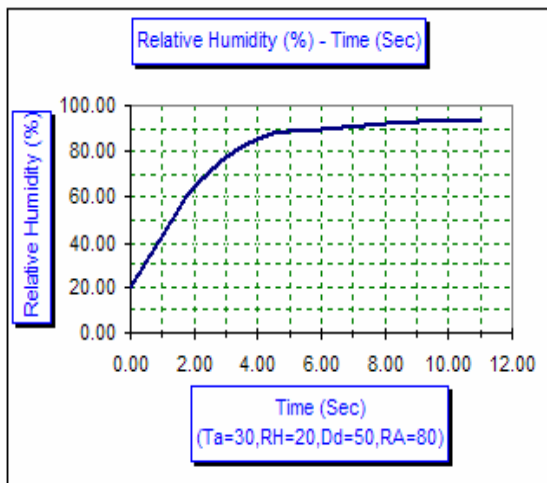
پس همانطور که قبلا نیز بدان اشاره شد به هر میزان که فرآیند اتمیزاسیون بهتر صورت گرفته و ذرات آب پاششی قطر کمتری داشته باشند تبخیر در زمان کمتری صورت گرفته دمای هوای عبوری در مدت زمان کوتاهتری کاهش می یابد و لذا اجباری در افزایش طول کانال هوای عبوری وجود نخواهد داشت.

## مراجع :

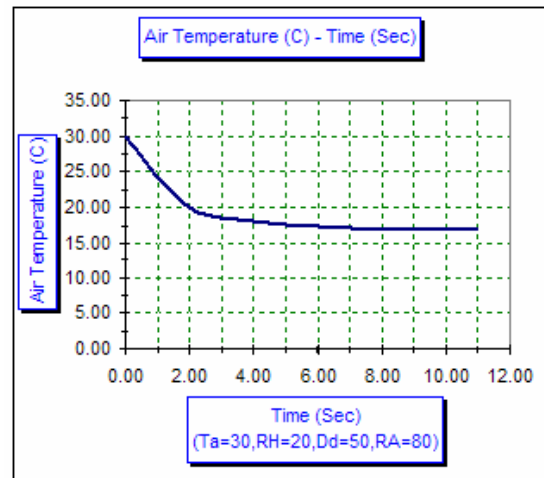
- 1-Ranz, W.E., Marshall, W.R, (1952) "Evaporation from drops, Parts I and II," Chem. Eng. Prog., 48, N° 3.
- 2-Chaker, M., Meher-Homji, C.B., Mee T.R. III, (2002) "Inlet Fogging Of Gas Turbine Engines - Part A: Fog Droplet Thermodynamics, Heat Transfer And Practical Considerations", Proceedings of ASME Turbo Expo 2002, Amsterdam, The Netherlands, June 3-6, 2002, ASME Paper No: 2002-GT-30562.
- 3- Handbook Of Chemistry, CRC Press, 58th Edition.
- 4-Wexler, A., Greenspan, L., (1971), "Vapor Pressure Equation in the Range 0-100°C," Journal of Research, N.B.S. Vol 75A., Page 213.
- 5-M.A Chaker , C. B. Meher-Homji , Thomas Mee, "Inlet Fogging of Gas Turbine Engines – Experimental and Analytical Investigation of Impacting Pin fog Nozzle Behavior" , Proceeding of ASME Turbo Expo 2003, Power For Land, Sea and Air, June 16-19, 2003, Atlanta, Goergia, USA .
- 6-Zheng, Minghong Li, Y. Sun, "Thermodynamic Performance of Wet Compression and Regenerative (WCR) Gas Turbine" , Proceeding of ASME Turbo Expo 2003, Power For Land, Sea and Air, June 16-19, 2003, Atlanta, Goergia, USA.
- 7-R.Bhargava , C. B. Meher-Homji , "Parametric Analysis of Existing Gas Turbines With Inlet Evaporative And Overspray Fogging", Proceeding of ASME Turbo Expo 2002, Power For Land, Sea and Air, June 16-19, 2003, Atlanta, Goergia, USA.
- 8-W.M Kays, M.E Crawford, "Convective Heat & Mass Transfer", Second Edition, McGraw-Hill, 1980.



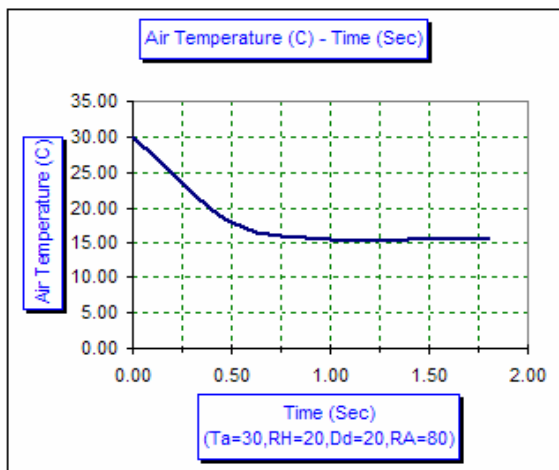
شکل ۱- نازل جت چرخشی (راست) نازل سوزنی (چپ)



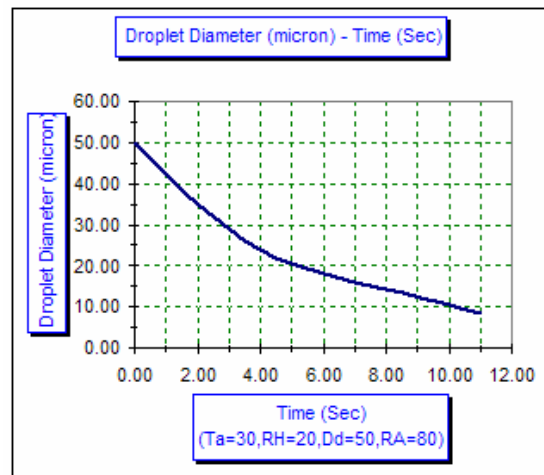
شکل ۴- تغییرات رطوبت نسبی هوا بر حسب زمان برای قطره به قطر ۵۰ میکرون



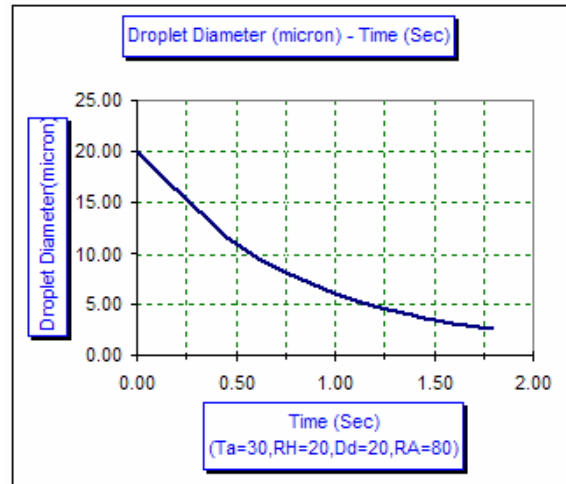
شکل ۲- تغییرات دمای هوای عبوری از کمپرسور بر حسب زمان برای قطره به قطر ۵۰ میکرون



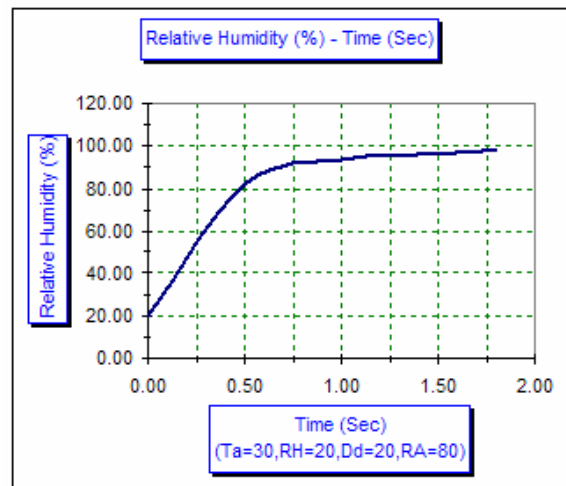
شکل ۵- تغییرات دمای هوای عبوری از کمپرسور بر حسب زمان برای قطره به قطر ۲۰ میکرون



شکل ۳- تغییرات قطر قطره بر حسب زمان برای قطره به قطر ۵۰ میکرون



شکل ۶- تغییرات قطر قطره بر حسب زمان برای قطره به قطر ۲۰ میکرون



شکل ۷- تغییرات رطوبت نسبی هوا بر حسب زمان برای قطره به قطر ۲۰ میکرون