



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان نامه‌ی دوره کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – تبدیل انرژی

## ارزیابی قابلیت خنک‌کاری سیستم مه‌آب فوق ریز در محیط‌های بسته

توسط:

امیر حسین مهدوی

اساتید راهنما:

دکتر رضا مهریار

دکتر امیر امیدوار

بهمن ۱۳۹۰

صلى الله عليه وسلم

## تقدیم به مادر عزیزم،

ای روح مهربان هرتی ام، تو رنگ شادی ندیم شدی و لحظه های غم را با تمام وجود از من دور کردی، عمری

خستگی ها را به جان خریدی تا اگر دلم توانی طعم خوش موفقیّت را به من برسانی.

تقدیم به پدر که ای صبر قویل بوده و تمام تجربه های یک تا و زیبای زندگی من درون حضور زبر او است.

تقدیم به خواهر مهربانم که سایه می مهربانش سایه ساز زندگی من و وجودش مایه می آرایش من است.

و تقدیم به برادرانم که هر واژه در طول رسیدن من به حالتم بودند.

## تشکر و قدردانی

ریاس بی‌کمران پروردگار یکبارگه برقی مان بنفشید و به طریق علم و دانش رهبر و نشان شد و به بر نشینی رهروان علم و دانش ممتحنان و ده.

از استاد عزیزم جناب آقای دکتر امیدوار که در کمال سعه صدر، با حزن خلق و فروتنی، از پنج گلی در این عرصه بر من درخشنده و نذو  
زحمت راهنای این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر را دارم.

از استاد گرامی جناب آقای دکتر میریاریار بسیار سپاسگزارم، چرا که بدون راهنمایی ایشان انجام این پایان نامه بسیار مشکل می‌وزود.

همچنین از تمام اساتید موصی لازم که در کتابه این مرحله به اس کردند سپاسگزارم.

## چکیده

### ارزیابی قابلیت خنک کاری سیستم مه آب فوق ریز در محیط‌های بسته

توسط:

امیرحسین مهدوی

با توجه به خسارات ناشی از آتش‌سوزی، همواره نیاز به بهبود عملکرد سیستم‌های اطفاء حریق احساس شده است. سیستم مه آب پرفشار بعنوان یکی از جدیدترین سیستم‌های اطفاء حریق، با تولید قطرات بسیار ریز آب (مه) علاوه بر ظرفیت خنک‌کنندگی بالا، بدلیل تبخیر سریع قطرات باعث کاهش کسر حجمی اکسیژن در محل آتش و همچنین کاهش اثرات تشعشعی می‌شود. در این پژوهش عملکرد تبخیری سیستم مه آب مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا یک کد صفر بعدی به منظور مطالعه‌ی روند تبخیر قطرات آب در محیط گرم توسعه یافته است. با کمک توابع توزیع احتمال کد مذکور به اسپری تعمیم یافته است. مطالعات مقدماتی به منظور بهبود کیفیت کد مذکور انجام شده است. در ادامه اثر رطوبت نسبی بر عملکرد سیستم مه آب مطالعه شده است. اثرات قطر متوسط قطرات بر روی عملکرد سیستم مه آب مورد بررسی قرار گرفته است. انواع نازل‌های معمول در سیستم مه آب مدل‌سازی شده و عملکرد تبخیری و الگوی پاشش آنها مقایسه شده است. در پایان به منظور بهبود عملکرد تبخیری سیستم مه آب اثر پیش‌گرم کردن قطرات اسپری بررسی شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهد که اسپری آب با قطرات ریزتر کارایی بهتری دارد. همچنین نازل اسپری توخالی عملکرد بسیار بهتری نسبت به اسپری مخروط توپر داشته و همچنین پیش‌گرم کردن قطرات کارایی سیستم را به مراتب افزایش می‌دهد. در انتها نشان داده شده است که با کاهش کشش سطحی آب عملکرد سیستم مه آب بطور چشمگیری بهبود می‌یابد.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۳	فهرست جدول‌ها.....
۴	فهرست شکل‌ها.....
۸	فصل ۱- مقدمه .....
۱۰	۱-۱- آب و مزایای آن در اطفاء حریق.....
۱۰	۱-۲- سیستم مه آب و بررسی عملکرد آن.....
۱۱	۱-۲-۱- اثرخنک کاری.....
۱۲	۱-۲-۲- اثر خفه کردن.....
۱۲	۱-۲-۳- کاهش اثرات نامطلوب تشعشعی.....
۱۵	۱-۳- مروری بر پژوهش‌های انجام شده.....
۱۸	۱-۴- هدف از انجام پایان نامه.....
۲۰	فصل ۲- مفاهیم مقدماتی.....
۲۱	۲-۱- نگاهی اجمالی بر اسپری.....
۲۳	۲-۲- قطر متوسط قطرات.....
۲۴	۲-۳- انواع نازل‌های مرسوم در سیستم مه آب:.....
۲۴	۲-۳-۱- نازل اسپری مخروط توپر.....
۲۵	۲-۳-۲- نازل اسپری مخروط توخالی.....
۲۶	۲-۴- شکست اولیه قطرات.....
۲۷	۲-۵- شکست ثانویه قطرات.....
۲۸	۲-۶- تبخیر قطرات.....
۳۰	فصل ۳- مدل عددی.....
۳۱	۳-۱- معادلات حاکم.....
۳۱	۳-۱-۱- معادله بقای مومنتوم برای قطره آب.....
۳۳	۳-۱-۲- معادله بقای جرم برای قطره آب.....
۳۴	۳-۱-۳- معادله بقای انرژی برای قطره آب.....
۳۵	۳-۲- اعتبارسنجی مدل عددی برای یک قطره.....
۳۸	۳-۳- شرایط اولیه.....
۳۸	۳-۳-۱- اسپری مخروط توپر.....

۳۸.....	اسپری مخروط توخالی ..... ۲-۳-۳
۴۰.....	مدل شکست ثانویه قطرات..... ۴-۳
۴۱.....	نمایی از اسپری شبیه سازی شده..... ۵-۳
۴۱.....	اسپری مخروط توپر ..... ۱-۵-۳
۴۴.....	اسپری مخروط توخالی ..... ۲-۵-۳
۴۷.....	<b>فصل ۴ - بحث و نتایج.....</b>
۴۸.....	اهمیت گام زمانی در حل معادلات حاکم بر تبخیر قطرات..... ۱-۴
۵۳.....	بررسی مدل‌های تبخیری هیدرودینامیکی در شبیه سازی سیستم مه آب..... ۲-۴
۵۶.....	ارزیابی صحت فرض عدد لوئیس واحد ( $Le=1$ ) در معادلات تبخیری..... ۳-۴
۵۶.....	نفوذ جرمی بخار در هوا..... ۱-۳-۴
۵۷.....	فرض عدد لوئیس واحد..... ۲-۳-۴
۶۲.....	اثر پدیده وزش بر روی عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۴-۴
۶۷.....	اثر رطوبت نسبی محیط بر عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۵-۴
۷۰.....	بررسی اثر قطر متوسط قطرات بر روی عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۶-۴
۷۴.....	بررسی عملکرد تبخیری نازل‌های معمول در سیستم مه آب..... ۷-۴
۷۸.....	بررسی تأثیر الگوی پاشش بر عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۸-۴
۷۹.....	بررسی اثر پیش گرم کردن بر عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۹-۴
۸۳.....	تأثیر کشش سطحی آب بر عملکرد تبخیری سیستم مه آب..... ۱۰-۴
۸۷.....	<b>فصل ۵ - نتیجه گیری.....</b>
۸۸.....	نتیجه گیری..... ۱-۵
۹۰.....	پیشنهادها..... ۲-۵
۹۱.....	<b>فهرست مراجع.....</b>

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۰	جدول ۱-۱- مقایسه سطح موثر قطرات با اندازه های متفاوت قطرات.....
۱۵	جدول ۲-۱- مقایسه سیستم مه آب پرفشار با روشهای مرسوم دیگر.....
۵۶	جدول ۱-۴- مقادیر نفوذ بخار آب در هوا در دماهای مختلف.....
۶۱	جدول ۲-۴- مقادیر آزمایشگاهی دمای حباب تر هوا بر حسب دمای هوا.....



## فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل (۱-۱) - کاهش دمای محیط آتش با فعالسازی سیستم مه آب.....	۱۳
شکل (۲-۱) - کاهش درصد اکسیژن در محیط آتش با فعالسازی سیستم مه آب.....	۱۳
شکل (۳-۱) - مقایسه عملکرد سیستم مه آب با سیستم اسپرینکلر.....	۱۴
شکل (۱-۲) - نمایی از نازل اسپری مخروط توپر.....	۲۴
شکل (۲-۲) - نمایی از نازل مخروط توخالی فشار-چرخان.....	۲۵
شکل (۳-۲) - نمایی از نازل مخروط توخالی بیرونی.....	۲۶
شکل (۴-۲) - رژیمهای مختلف شکست قطرات.....	۲۷
شکل (۵-۲) - نمایی از روند تبخیر قطره.....	۲۹
شکل (۱-۳) - مقایسه مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی ارائه شده توسط نومورا و همکاران [30] برای یک قطره n-Heptane در دماهای مختلف در (الف) فشار ۰/۱ MPa ، (ب) فشار ۰/۵ MPa و (ج) فشار ۱ MPa	۳۶
شکل (۲-۳) - مقایسه مدل عددی با نتایج عددی ارائه شده توسط لی و چو [36] برای یک قطره آب در دماهای ۳۳۳ و ۳۸۳ کلوین در فشار ۰/۱ MPa.....	۳۷
شکل (۳-۳) - مقایسه تابع توزیع روزین-راملر و $\chi^2$ برای اسپری مخروط توخالی.....	۳۹
شکل (۴-۳) - نماهایی از اسپری مخروط توپر در زمان پاشش اسپری.....	۴۲
شکل (۵-۳) - نماهایی از اسپری مخروط توپر در زمان های پس از پاشش.....	۴۳
شکل (۶-۳) - نماهایی از اسپری مخروط توخالی در زمان پاشش.....	۴۵
شکل (۷-۳) - نماهایی از اسپری مخروط توخالی در زمان های پس از پاشش.....	۴۶
شکل (۱-۴) - تغییرات زمانی $(d/d_0)^2$ برای گامهای زمانی متفاوت در (الف) فشار ۰/۱ MPa و (ب) فشار ۱ MPa.....	۴۹
شکل (۲-۴) - تغییرات زمانی دمای قطره برای گامهای زمانی متفاوت در (الف) فشار ۰/۱ MPa و (ب) فشار ۱MPa.....	۵۰
شکل (۳-۴) - تغییرات زمانی عدد بی بعد $\Delta t/\tau$ مربوط به معادله جرم در فشار ۰/۱ MPa (الف) در دمای ۴۷۱ کلوین و (ب) در دمای ۷۴۱ کلوین.....	۵۱
شکل (۴-۴) - تغییرات زمانی عدد بی بعد $\Delta t/\tau$ مربوط به معادله جرم در فشار ۱ MPa (الف) در دمای ۴۶۶ کلوین و (ب) در دمای ۶۶۹ کلوین.....	۵۱
شکل (۵-۴) - تغییرات زمانی عدد بی بعد $\Delta t/\tau$ مربوط به معادله انرژی در فشار ۰/۱ MPa (الف) در دمای ۴۷۱ کلوین و (ب) در دمای ۷۴۱ کلوین.....	۵۲

- شکل (۶-۴) - تغییرات زمانی عدد بی بعد  $\Delta t/\tau$  مربوط به معادله انرژی در فشار ۱ MPa (الف) در دمای ۴۶۶ کلوین و (ب) در دمای ۶۶۹ کلوین..... ۵۲
- شکل (۷-۴) - تغییرات  $(d/d_0)^2$  بر حسب زمان برای دو مدل کلاسیک و آبرامزون در دماهای مختلف محیط در فشار ۰/۱ MPa..... ۵۴
- شکل (۸-۴) - تغییرات دمای قطره بر حسب زمان برای دو مدل کلاسیک و آبرامزون در دماهای مختلف محیط در فشار ۰/۱ MPa..... ۵۴
- شکل (۹-۴) - تغییرات  $(d/d_0)^2$  بر حسب زمان برای دو مدل کلاسیک و آبرامزون در دماهای مختلف محیط در فشار ۰/۵ MPa..... ۵۵
- شکل (۱۰-۴) - تغییرات  $(d/d_0)^2$  بر حسب زمان برای دو مدل کلاسیک و آبرامزون در دماهای مختلف محیط در فشار ۱ MPa..... ۵۵
- شکل (۱۱-۴) - مقایسه تغییرات زمانی قطر محاسبه شده برای قطره n-Heptane با در نظر گرفتن فرض عدد لوئیس واحد و بدون آن در فشار ۰/۱ MPa (الف) در دمای هوای ۴۷۱ K و (ب) در دمای هوای K ۷۴۱..... ۵۸
- شکل (۱۲-۴) - مقایسه تغییرات زمانی قطر محاسبه شده برای قطره n-Heptane با در نظر گرفتن فرض عدد لوئیس واحد و بدون آن در فشار ۰/۵ MPa (الف) در دمای هوای ۴۶۸ K و (ب) در دمای هوای K ۷۴۹..... ۵۸
- شکل (۱۳-۴) - مقایسه تغییرات زمانی قطر محاسبه شده برای قطره n-Heptane با در نظر گرفتن فرض عدد لوئیس واحد و بدون آن در فشار ۱ MPa (الف) در دمای هوای ۴۶۶ K و (ب) در دمای هوای K ۶۶۹..... ۵۹
- شکل (۱۴-۴) - مقایسه تغییرات زمانی قطر محاسبه شده برای آب با در نظر گرفتن فرض عدد لوئیس واحد و بدون آن در دماهای مختلف (الف) در فشار ۰/۱ MPa (ب) در فشار ۰/۵ MPa و (ج) در فشار ۱ MPa ۶۰
- شکل (۱۵-۴) - مقایسه تغییرات زمانی دمای محاسبه شده برای قطره آب بر حسب کلوین با در نظر گرفتن فرض عدد لوئیس واحد و بدون آن در فشار ۰/۱ MPa (الف) برای دمای هوای ۴۷۱ K و (ب) برای دمای هوای K ۷۴۱..... ۶۱
- شکل (۱۶-۴) - تغییرات زمانی SMD در دهانه نازل برای دماهای مختلف (الف)  $\Delta P=10$  MPa و (ب)  $\Delta P=0.1$  MPa..... ۶۴
- شکل (۱۷-۴) - تغییرات زمانی WVMF در دماهای مختلف (الف)  $\Delta P=10$  MPa و (ب)  $\Delta P=0.1$  MPa..... ۶۵
- شکل (۱۸-۴) - تغییرات زمانی حرارت گرفته شده از محیط در دماهای مختلف (الف)  $\Delta P=10$  MPa و (ب)  $\Delta P=0.1$  MPa..... ۶۶
- شکل (۱۹-۴) - تغییرات زمانی WVMF برای اسپری آب در رطوبت نسبی متفاوت..... ۶۷
- شکل (۲۰-۴) - حرارت گرفته شده از محیط بواسطه تبخیر قطرات در رطوبت نسبی متفاوت..... ۶۸
- شکل (۲۱-۴) - حرارت گرفته شده کل از محیط در رطوبت نسبی متفاوت..... ۶۸

- شکل (۴-۲۲) - عملکرد سیستم مه آب در رطوبت نسبی متفاوت نسبت به رطوبت نسبی مرجع ..... ۶۹
- شکل (۴-۲۳) - تغییرات زمانی SMD قطرات اسپری در دهانه نازل ..... ۷۰
- شکل (۴-۲۴) - تغییرات زمانی WVMF برای اسپری با SMD اولیه مختلف ..... ۷۱
- شکل (۴-۲۵) - میزان حرارت جذب شده از محیط بواسطه تبخیر قطرات برای اسپری آب با SMD اولیه متفاوت ..... ۷۲
- شکل (۴-۲۶) - میزان حرارت جذب شده کل از محیط برای اسپری آب با SMD اولیه متفاوت ..... ۷۲
- شکل (۴-۲۷) - عملکرد تبخیری سیستم مه آب با SMD اولیه متفاوت ..... ۷۳
- شکل (۴-۲۸) - تغییرات زمانی SMD در دهانه نازل بر حسب زمان برای (الف) نازل مخروط توخالی و (ب) نازل مخروط توپر ..... ۷۴
- شکل (۴-۲۹) - تغییرات زمانی WVMF برای دو نازل مخروط توپر و مخروط توخالی ..... ۷۵
- شکل (۴-۳۰) - میزان حرارت جذب شده بواسطه تبخیر بر حسب زمان برای دو نازل مخروط توخالی و مخروط توپر ..... ۷۶
- شکل (۴-۳۱) - میزان کل حرارت جذب شده بر حسب زمان برای دو نازل مخروط توپر و مخروط توخالی ..... ۷۶
- شکل (۴-۳۲) - عملکرد تبخیری دو نازل مخروط توخالی و مخروط توپر ..... ۷۷
- شکل (۴-۳۳) - تغییرات زمانی SMD در دهانه نازل برای دو نازل مخروط توپر و مخروط توخالی با SMD اولیه یکسان ..... ۷۸
- شکل (۴-۳۴) - تغییرات SMD اولیه بر حسب دمای اولیه قطرات اسپری ..... ۷۹
- شکل (۴-۳۵) - تغییرات زمانی SMD قطرات در دهانه نازل در دماهای اولیه مختلف ..... ۸۰
- شکل (۴-۳۶) - تغییرات زمانی WVMF برای قطرات با دمای اولیه مختلف ..... ۸۰
- شکل (۴-۳۷) - زمان تبخیر نسبی بر حسب دمای اولیه قطرات ..... ۸۱
- شکل (۴-۳۸) - تغییرات زمانی مقدار حرارت جذب شده بواسطه تبخیر قطرات از محیط در دماهای اولیه مختلف ..... ۸۲
- شکل (۴-۳۹) - عملکرد تبخیری سیستم مه آب پیش گرم شده ..... ۸۲
- شکل (۴-۴۰) - SMD اولیه قطرات بر حسب درصد کاهش کشش سطحی آب ..... ۸۳
- شکل (۴-۴۱) - تغییرات زمانی WVMF بر حسب درصد کاهش کشش سطحی آب ..... ۸۴
- شکل (۴-۴۲) - تغییرات زمانی حرارت گرفته شده بواسطه تبخیر بر حسب درصد کاهش کشش سطحی ..... ۸۵
- شکل (۴-۴۳) - تغییرات زمانی حرارت گرفته شده کل بر حسب درصد کاهش کشش سطحی ..... ۸۵
- شکل (۴-۴۴) - عملکرد تبخیری سیستم مه آب در کشش سطحی متفاوت ..... ۸۶

## فهرست علائم و نشانه‌ها

علائم اختصاری	عنوان
$C_P$ .....	ظرفیت مخصوص حرارتی.....
$h_{fg}$ .....	گرمای ویژه نهان.....
$\mu$ .....	ویسکوزیته دینامیکی.....
$\rho$ .....	چگالی.....
$D_{ab}$ .....	نفوذ جرمی.....
$\alpha$ .....	نفوذ حرارتی.....
$k$ .....	ضریب گرمای هدایتی.....
$\sigma$ .....	کشش سطحی.....
$P$ .....	فشار.....
$P_{sat}$ .....	فشار اشباع.....
$T$ .....	دما.....
$d$ .....	قطر قطره.....
$d_{inj}$ .....	قطر نازل.....
$Y$ .....	کسر جرمی.....
$C_D$ .....	ضریب درگ.....
$B_M$ .....	عدد جرمی اسپالدینگ.....
$B_T$ .....	عدد حرارتی اسپالدینگ.....
<b>اعداد بی بعد</b>	
$Nu$ .....	عدد ناسلت.....
$Sh$ .....	عدد شروود.....
$Sc$ .....	عدد اشمیت.....
$Pr$ .....	عدد پرائتل.....
$Re$ .....	عدد رینولدز.....
$Le$ .....	عدد لوئیس.....
<b>اندیس‌ها</b>	
$l$ .....	مایع.....
$v$ .....	بخار.....
$g$ .....	گاز.....
$a$ .....	هوا.....

## مقدمه

### خلاصه‌ی فصل:

در این فصل در ابتدا یک تعریف جامع از سیدیمه آب الاءه می‌شود. پس از تالیف ایچو تهر از سیدیمه های اطفاء هریق توسط امشانه های آب، مکلنرم های اصلی اطفاء هریق توسط سیدیمه مه آب برسق شده و مزایای این سیدیمه نسبت به خاموش کننده های دیگر مورد برسق قرار می‌گیرد. سپس به هروری کوتاه بر تحقیقات انجام شده در زمینه ی کلای و پهنین بهر و عملکرد این سیدیمه پرداخته می‌شود. اگر چه پژوهش های ریاری در زمینه ی عملکرد سیدیمه مه آب و کاربرد های ریاری آن در فرآیند های مهندس انجام شده اما در این بخش سعی شده است که تنها بر تحقیقات مرتبط با موضوع تحقیق پرداخته شود. همچنین در این راستا تلاش شده است به برخی از پژوهش های انجام شده در زمینه ی رفتار هریق قطره اشاره شود. در پایان فصل نیز هدف از انجام این پایان نامه و همچنین مطالعات انجام شده در این پایان نامه الاءه شده است.

با توجه به خسارات مالی و جانی ناشی از آتش‌سوزی، همواره نیاز به بهبود عملکرد سیستم‌های اطفاء حریق احساس شده است. آب، پودر، کف و دی‌اکسیدکربن از جمله مهم‌ترین و مرسوم‌ترین موادی هستند که بعنوان خاموش‌کننده‌های آتش مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به مسائل زیست محیطی، محدودیت‌های اقتصادی و همچنین سمی بودن، میزان استفاده از برخی خاموش‌کننده‌ها مثل هیدروکربن-های هالوژنه و پودرهای شیمیایی رو به کاهش است. در این میان، صرفه‌ی اقتصادی، دسترسی آسان، ضریب اثربخشی بالا در اطفاء حریق و همچنین غیر سمی بودن از جمله مهم‌ترین عواملی هستند که آب را بعنوان بهترین خاموش‌کننده تبدیل کرده‌اند. در این راستا استفاده از افشانه‌های آب یکی از ساده‌ترین و در عین حال موثرترین روش‌هایی است که تاکنون مورد استفاده قرار گرفته و مطالعات زیادی نیز در دهه‌های اخیر برای افزایش کارایی آن انجام شده است.

هدف اصلی در این سیستم‌ها این است که آب با مقادیر زیاد به گونه‌ای روی آتش پاشیده شود که مقدار گرمای جذب شده بوسیله آب، بیشتر از مقدار گرمای تولید شده بوسیله آتش گردد. از مرسوم‌ترین سیستم‌های افشانه‌ی آب، سیستم‌های اسپرینکلر<sup>۱</sup> و مه‌آب<sup>۲</sup> می‌باشد که تفاوت آنها در اندازه‌ی قطرات آب تولیدی توسط نازل‌های مختلف می‌باشد. اولین اقدامات جدی به منظور استفاده از سیستم اسپرینکلر توسط بویل<sup>۳</sup> در سال ۱۸۷۳ در کشور آمریکا انجام شد. با توجه به میزان مصرف آب بالا و اثرات تخریبی که سیستم اسپرینکلر می‌توانست بر محیط و تجهیزات داخلی داشته باشد، با پیشرفت سیستم‌های افشانه‌ی آب، سیستم مه‌آب مورد توجه بیشتری قرار گرفت. در سال ۱۹۵۵ برایدچ و همکاران<sup>۴</sup> [۱] و همچنین راسباش و همکاران<sup>۵</sup> [۲] در سال ۱۹۵۷ قوانین اصلی کنترل حریق‌های ناشی از سوخت‌های مایع و جامد توسط سیستم مه‌آب را ارائه دادند. آنها خنک‌کاری و کاهش کسر حجمی اکسیژن را دو مکانیزم اصلی سیستم مه‌آب در اطفاء حریق معرفی کردند. ویگوس<sup>۶</sup> [۳و۴] در سال ۱۹۹۳ و ۱۹۹۵ کاهش تبخیر ماده سوختنی و رقیق کردن بخارات قابل اشتعال را بعنوان عوامل دیگر اطفاء حریق توسط این سیستم ارائه داد. ماهینی و همکاران<sup>۷</sup> [۵] در سال ۱۹۹۴ کاهش اثرات تشعشعی توسط سیستم مه‌آب را مورد بررسی قرار داد. در سال‌های بعد تحقیقات وسیعی به منظور بهبود عملکرد این سیستم صورت گرفت که در بخش مربوطه به مرور آنها خواهیم پرداخت.

سیستم مه‌آب پرفشار به عنوان یکی از موثرترین سیستم‌های اطفاء حریق، با تولید قطرات بسیار ریز آب<sup>۸</sup> (مه) علاوه بر ایجاد ظرفیت خنک‌کنندگی بالا، به دلیل تبخیر سریع و اشغال فضای اطراف آتش مانع رسیدن اکسیژن به آتش می‌شود. همچنین سیستم مه‌آب علاوه بر کاهش اثرات تابشی نامطلوب ناشی از

<sup>1</sup> Sprinkler

<sup>2</sup> Water Mist

<sup>3</sup> Buell

<sup>4</sup> Braidech and et al.

<sup>5</sup> Rasbash et al.

<sup>6</sup> Wighus

<sup>7</sup> Mawhinney et al.

<sup>8</sup> Ultra Fine Mist

آتش سوزی، کمینه‌ی میزان تخریب محیطی را به دنبال دارد. هم‌اکنون در نقاط مختلف دنیا از این سیستم در کتابخانه‌ها، موزه‌ها، تونل‌های مترو، و همچنین در سکوه‌های نفتی و کشتی‌ها به دلیل استاندارد ایمنی بالای مورد نیاز بطور وسیع استفاده می‌شود. در ادامه به معرفی و بررسی نحوه‌ی عملکرد سیستم مه‌آب و همچنین مقایسه‌ی این سیستم با روش‌های معمول دیگر می‌پردازیم.

## ۱-۱- آب و مزایای آن در اطفاء حریق

همانطور که اشاره شد، آب با داشتن خواص فیزیکی مناسب قابلیت خوبی در اطفاء حریق دارد. با توجه به ظرفیت حرارتی مخصوص بالای آب ( $4200 \text{ J/kg.K}$ ) و همچنین گرمای نهان تبخیر بالای آن ( $\text{kJ/kg}$ ) (۲۴۴۲) می‌تواند گرمای زیادی را از محیط آتش و ماده‌ی سوختنی جذب کند. همچنین با تبخیر آب حجم آن تقریباً به ۱۷۰۰ برابر حجم اولیه‌اش می‌رسد که این باعث کاهش کسر حجمی اکسیژن و رقیق شدن بخارات قابل اشتعال می‌شود. با تبدیل آب به قطرات ریز سطح موثر آن افزایش یافته که این باعث افزایش سطح تماس قطرات با محیط گرم می‌شود. در جدول ۱-۱ تعداد قطرات تولید شده با یک قطر مشخص و همچنین سطح موثر آنها را به ازای  $1 \text{ mm}^3$  آب مقایسه شده است.

جدول ۱-۱- مقایسه سطح موثر قطرات با اندازه‌های متفاوت قطرات

اندازه‌ی قطرات (mm)	۶	۱	۰/۱
تعداد قطرات تولید شده	$8/8 \times 10^3$	$1/9 \times 10^6$	$1/9 \times 10^9$
سطح موثر قطرات ( $\text{m}^2$ )	۱	۶	۶۰

## ۱-۲- سیستم مه‌آب و بررسی عملکرد آن

سیستم مه‌آب، سیستمی است که از آب خالص تبدیل شده به قطرات خیلی ریز (مه) تحت فشار بالا استفاده می‌کند. نه تنها این سیستم ۱۰۰٪ سازگار با محیط زیست است، بلکه نسبت به سایر روش‌های اطفاء حریق از جمله پاشش قطرات آب توسط اسپرینکلر یا استفاده از گازهای خاموش‌کننده بسیار موثرتر است. اساس کار سیستم مه‌آب بر مبنای تولید قطرات بسیار ریز آب استوار است؛ بطوریکه استفاده از قطرات بسیار ریز سیستم مه‌آب را بسیار موثرتر کرده و مصرف آب مورد نیاز را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. حداکثر کارایی این سیستم هنگامی به دست می‌آید که تمامی قطرات توانایی تبخیر را داشته باشند. در این حالت هر قطره توانایی جذب سریع گرما از محیط آتش را خواهد داشت. برای قطرات کوچک نیروی آیرودینامیکی اهمیت خاصی پیدا می‌کند. نتیجه‌ی تأثیر این نیرو پخش مه (قطرات ریز آب) بصورت معلق در محیط بسته می‌باشد. در نتیجه حجم وسیعی از محیط تحت پوشش مه قرار می‌گیرد.

لازم به ذکر است که توزیع مناسب اندازه‌ی قطرات و همچنین راهنمای نصب و استفاده از سیستم مه-آب در استاندارد NFPA 750 بیان گردیده است. این استاندارد برای سیستم‌های اطفاء حریق به روش مه-آب می‌باشد که بعنوان جامع‌ترین استاندارد موجود در امریکا شناخته شده است و بسیاری از کشورها نیز از آن استفاده می‌نمایند.

سیستم مه‌آب به دو دسته‌ی مه‌آب کم‌فشار و مه‌آب پرفشار تقسیم می‌شود. در سیستم مه‌آب کم‌فشار قطر متوسط قطرات در حدود ۵۰۰ میکرومتر بوده و فشار این سیستم در حدود ۱۲ بار می‌باشد. بنابراین کارایی بهتری نسبت به سیستم اسپرینکلر دارد، اما عیوب سیستم اسپرینکلر را بطور کامل حل نمی‌کند. ذکر این نکته قابل اهمیت است که قطر قطرات سیستم اسپرینکلر بیشتر از ۱ میلی‌متر بوده و فشار این سیستم در مقایسه با سیستم مه‌آب ناچیز می‌باشد. قطر متوسط قطرات در سیستم مه‌آب پرفشار در حدود ۵۰ میکرومتر می‌باشد که این به معنی بالا بودن سطح قطره نسبت به حجم آن و به عبارت دیگر ظرفیت تبخیر بالای این روش است. فشار سیستم مه‌آب پرفشار بالاتر از ۳۴/۵ بار می‌باشد که در برخی کاربردها به ۲۰۰ بار هم می‌رسد.

بطور کلی مکانیزم اصلی اطفاء حریق توسط سیستم مه‌آب به دو دسته‌ی اصلی و فرعی تقسیم‌بندی می‌شود. دسته‌ی اصلی شامل خنک‌کاری سیستم و کاهش کسر حجمی اکسیژن<sup>۱</sup> در محل آتش بوده و مکانیزم فرعی آن کاهش اثرات نامطلوب تشعشعی می‌باشد که در ادامه به تفصیل آنها می‌پردازیم.

## ۱-۲-۱- اثر خنک‌کاری

مکانیزم خنک‌کاری سیستم مه‌آب در اطفاء حریق از طریق خنک‌کاری فضای گرم و همچنین خنک‌کاری سطح ماده‌ی سوختنی انجام می‌گیرد. در نتیجه‌ی پاشش آب در فشار بالا، سطح مؤثر قطرات موجود برای سرد کردن محیط آتش نسبت به روش فشار پایین بسیار افزایش می‌یابد. این بدین معنی است که سیستم مه‌آب انرژی (گرما) را بسیار سریع‌تر و موثرتر از آتش استخراج می‌کند. این اثر قوی سردکنندگی نه تنها برای مقابله با آتش، بلکه برای محافظت اشخاص و تجهیزات موجود در محل آتش‌سوزی در مقابل اثرات تشعشعی نیز موثر است. این سیستم همچنین از تجهیزات ساختمانی همچون دیوارها، راهروها و نظایر آن به خوبی محافظت می‌کند.

سطح مؤثر تبخیری قطرات در روش مه‌آب ۶۰ برابر بیشتر از سیستم‌های فشار پایین در یک حجم مشخص آب می‌باشد که این نشان از برتری این روش در خنک‌کنندگی می‌باشد. شکل ۱-۱ نتایج آزمایشات انجام شده توسط شرکت FOGTEC آلمان در یک محیط بسته را نشان می‌دهد. در این آزمایش دمای چهار نقطه از محیط آتش بررسی شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با فعال‌سازی سیستم مه-آب پرفشار دمای نقاط در مدت زمانی کمتر از یک دقیقه به میزان چشمگیری کاهش می‌یابد و در ادامه به اطفاء کامل آتش منجر می‌شود.

<sup>1</sup> Oxygen Displacement



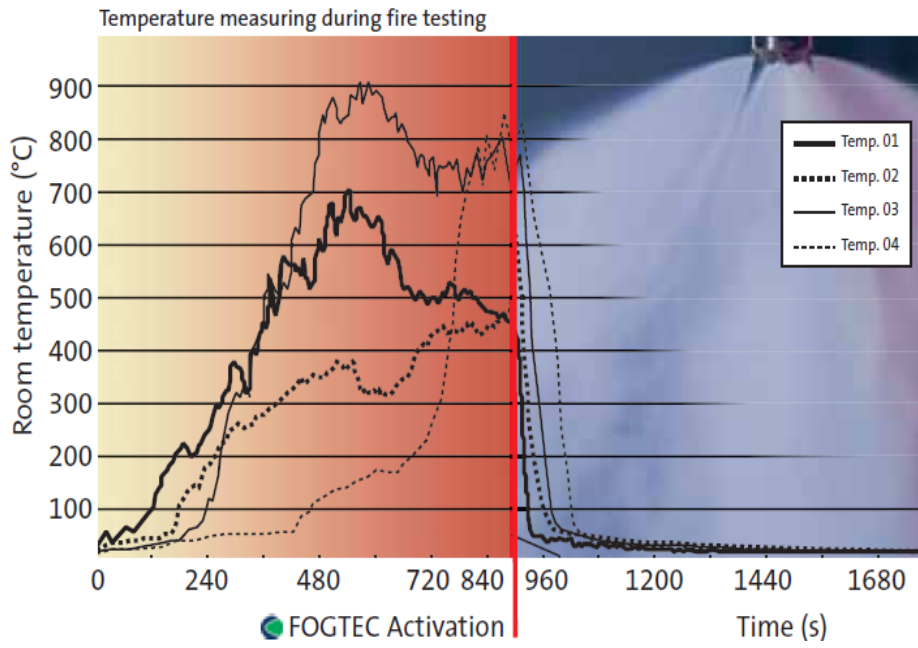
### ۱-۲-۲- اثر خفه کردن

در اثر پاشش قطرات ریز، این قطرات به سرعت در محل آتش تبخیر می‌شوند. در واقع تبخیر در محلی که دمای بالایی دارد اتفاق می‌افتد و در محل‌های با دمای پایین تولید بخار صورت نمی‌گیرد. این بخار حجمی معادل ۱۷۰۰ برابر حجم آب اولیه را داراست که موجب کاهش کسر حجمی اکسیژن موجود در محل آتش (پلوم آتش) می‌شود. در نتیجه در محیط آتش این بخارات نقش گازهای خاموش‌کننده را ایفا می‌کند، با این تفاوت که هنگام استفاده از گازهای خاموش‌کننده برای تأثیرگذاری بیشتر بایستی اکسیژن موجود در هوا در تمام محیط کاهش یابد که خطرات زیادی برای ساکنین در محل ایجاد می‌نماید. قطرات بزرگ تولید شده توسط سیستم‌های اسپرینکلر و مه‌آب کم‌فشار، با نرخ خیلی آرام‌تری تبدیل به بخار می‌شود و حتی در این میان قطراتی وجود خواهند داشت که اصلاً تبخیر نمی‌شوند. با توجه به قابلیت بالای تبخیر قطرات در سیستم مه‌آب پرفشار، کاهش کسر حجمی اکسیژن در محل آتش یکی از مهمترین مزایای این روش محسوب می‌شود. در شکل ۱-۲ درصد اکسیژن موجود در محیط آتش در زمان فعال-سازی سیستم مه‌آب نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به منبع آتش میزان اکسیژن کاهش می‌یابد.

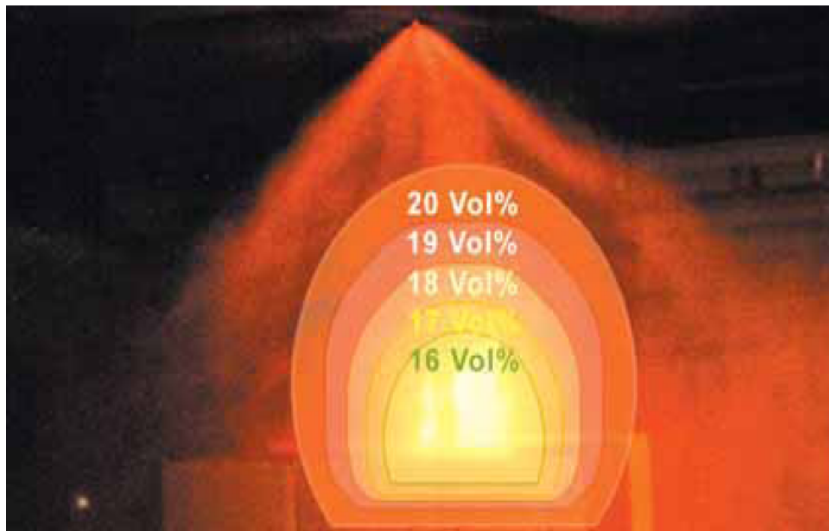
### ۱-۲-۳- کاهش اثرات نامطلوب تشعشی

هنگامی که قطرات ریز آب به سطح ماده سوختنی می‌رسند، می‌توانند همانند یک مانع حرارتی در مقابل تشعشع سطح در حال سوزش عمل کنند. همچنین بخار آب بالای سطح در حال سوزش مانند یک جسم خاکستری عمل می‌کند. در این حالت تشعشعات ساطع شده توسط قطرات جذب شده و با شدت کمتری به سطح باز می‌گردد. کاهش اثرات تشعشی توسط سیستم مه‌آب علاوه بر جلوگیری از انتشار آتش به محیط اطراف باعث کاهش تبخیر سوخت و همچنین کاهش پیرولیز<sup>۱</sup> از سطح سوخت می‌شود. در این راستا نتایج آزمایشگاهی انجام شده توسط انجمن ملی تحقیقات کانادا نشان می‌دهد که فعال‌سازی سیستم مه‌آب می‌تواند تا ۷۰٪ از اثرات تابشی را کاهش دهد.

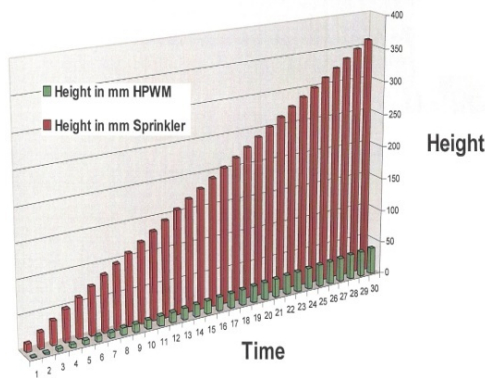
<sup>۱</sup> Pyrolysis



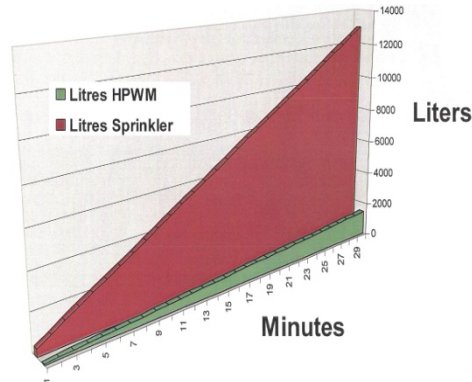
شکل ۱-۱- کاهش دمای محیط آتش با فعال سازی سیستم مه آب



شکل ۲-۱- کاهش درصد اکسیژن در محیط آتش با فعال سازی سیستم مه آب



(ب) - میزان آب جمع شده روی زمین



(الف) - میزان آب مصرفی

شکل ۳-۱ - مقایسه عملکرد سیستم مه آب با سیستم اسپرینکلر

همانطور که ملاحظه می شود روش مه آب پرفشار به دلیل افزایش سطح موثر تبخیری قطرات می تواند اثر خنک کنندگی زیادی را ایجاد نماید و با توزیع مناسب قطرات آب بر روی پلوم آتش از اثرات مخرب تشعشعی آن بکاهد. مزیت مهم دیگر روش مه آب پرفشار نسبت به سایر روش ها کاهش موضعی درصد اکسیژن فقط در ناحیه آتش می باشد که برخلاف سایر روش ها خطری برای ساکنین ایجاد نمی کند. به علت ریز بودن قطرات آب مورد استفاده در روش مه آب پرفشار، میزان تخریب به مقدار چشمگیری نسبت به روش اسپرینکلر و مه آب کم فشار کاهش یافته است. علاوه بر این مطابق شکل ۳-۱ میزان مصرف آب و ارتفاع آب جمع شده بر روی زمین نیز به مقدار قابل توجهی کاهش روی زمین نیز به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. همچنین اثرات خوردگی در این روش ناچیز بوده و نیازی به تجهیزات جانبی در محفظه های بسته، به منظور جریان خطرات ناشی از کمبود اکسیژن نمی باشد. در جدول ۲-۱ یک مقایسه ی کلی بین سیستم مه آب با روش های دیگر اطفاء حریق توسط شرکت FOGTEC آلمان صورت گرفته است.

بدین ترتیب مزایای استفاده از این سیستم در فشار بالا را می توان بصورت زیر خلاصه نمود:

- تاثیر زیاد خنک کنندگی
- کاهش اثرات تشعشعی
- صرفه جویی در مصرف آب به میزان قابل توجه نسبت به روش های معمولی
- سازگار با محیط زیست
- حداقل میزان تخریب
- بی خطر برای افراد و عدم نیاز به زنگ خطر قبل از فعال سازی و تخلیه هوای محیط پس از اطفاء

جدول ۲-۱- مقایسه سیستم مه آب پرفشار با روش‌های مرسوم دیگر

سیستم مه آب (پرفشار)	سیستم اسپرینکلر	سیستم مه آب (کم فشار)	گازهای نفوذکننده (مثل CO <sub>2</sub> )	گازهای شیمیایی
زیاد (کاهش اثرات تشعشعی)	کم	محدود	ناچیز	ناچیز
فقط در ناحیه آتش	ناچیز	محدود	در کل محیط	در کل محیط
ناچیز (مطمئن)	مصرف بالای آب	ناچیز (مطمئن)	خطر خفگی- اثر گلخانه‌ای	تاثیر روی لایه اوزون- اثر گلخانه‌ای
قابل صرف نظر	زیاد	کم	قابل صرف نظر	اثرات خوردگی زیاد
نیاز نیست	نیاز نیست	نیاز نیست	ضروری	ضروری
کم	زیاد	زیاد	کم	اثرات خوردگی زیاد
نیاز نیست	نیاز نیست	نیاز نیست	ضروری	ضروری

### ۳-۱- مروری بر پژوهش‌های انجام شده

در طی دهه‌های اخیر سیستم مه‌آب بطور گسترده در بسیاری از کاربردهای مهندسی مرتبط با اطفاء حریق به کار گرفته شده است. در ابتدا این سیستم تنها بصورت دستی و قابل حمل مورد استفاده قرار می‌گرفت. اما با توجه به کارایی بالای این سیستم، جایگزین مناسبی برای خاموش‌کننده‌های معمول همچون هیدروکربن‌های هالوژنه (هالون) شناخته شد. این امر پس از پروتکل مونترال در سال ۱۹۸۷ و در ادامه با تصویب این پروتکل توسط ۱۵۱ کشور به منظور منع استفاده از هالون‌ها بخصوص در صنایع نظامی و هوایی و همچنین کاربردهای هسته‌ای شدت یافت. با تأسیس انجمن بین‌المللی سیستم مه‌آب<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۸ مطالعات وسیعی در زمینه‌ی عملکرد سیستم مه‌آب و کاربردهای آن و همچنین رفتار دینامیکی و حرارتی این سیستم صورت گرفته است. در این راستا با توجه به ظرفیت خنک‌کاری بالا و تأثیرات مخرب محیطی ناچیز این سیستم نسبت به سایر سیستم‌های خاموش‌کننده‌ی آتش، تلاش برای بهبود و افزایش هر چه بیشتر این سیستم ادامه دارد. کیم و ریو<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۳ [۶] اطفاء حریق توسط سیستم مه‌آب را در محفظه‌های بسته بصورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار دادند. در این بررسی مشخص شد که

<sup>1</sup> International Water Mist Association (IWMA)

<sup>2</sup> Kim and Ryou