

نشریه علمی-تخصصی

پژوهش‌های نوین مهندسی

ISSN: 2538-3809

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی
سال چهارم، تابستان ۱۳۹۷، شماره ۲۵

**تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های ریسک بر پروژه‌های
خطوط انتقال آب با استفاده از روش تصمیمگیری چند
معیاره TOPSIS**
سبحان الله داوودی، محمدجواد طاهری امیری

**شبیه‌سازی ایرودینامیکی نیروی هوا در اسکی به روش
دینامیک سیالات محاسباتی**
ایمان مبرز، محمد افتخاری یزدی

**ارزیابی و تحلیل شبکه‌های حسگر مبتنی بر رویکرد
الگوی سازی**
محمدجواد صفائی، سیدعلی رضوی ابراهیمی، زهرا جورمند

**بهینه‌سازی تخلیه ساکنین در برج‌های بلند در شرایط
اضطراری، با استفاده از پل‌های هوایی بین برج‌ها**
علیرضا مشبکی اصفهانی، یعقوب شهبازی، محمدرضا مشبکی
اصفهانی

**مروری بر طراحی انواع شمارنده‌ها در سیستم‌های
دیجیتالی و معرفی شمارنده‌های دیکدری و مالتی
پلکسری**
آنیثا شکوری، مائده آربونی، سید عمیدالدین موسوی

**بررسی متغیرهای مؤثر بر لپنکاری تخت قطعه کارهای
آلومینیومی**
جمال‌الدین زارعی، حسین امیرآبادی

**شبیه‌سازی چتر پاشش و بررسی پروفیل قطر قطرات
اسپری در انژکتور موتور موشک سوخت مایع**
میلاد رضایی، محمد مهدی اسماعیلی

**اصلاح سطحی غشاهای الیاف توخالی پلی سولفون
توسط پلی دی متیل سیلوکسان بروش پوشش‌دهی
غوطه‌وری**
بنفشه نوری دمیه، ابوطالب قدمی جدول قدم

پژوهش‌های نوین علوم مهندسی

فصلنامه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی،
سال چهارم، شماره ۳ (پیاپی: ۲۵)، تابستان ۱۳۹۸
ISSN: 2538-3809

صاحب امتیاز و مدیر مسئول:
امیرحسین یوسفی
سردبیر: میلاد فتاحی
مدیر داخلی: منیژه ملائی

اعضای شورای علمی نشریه:

جناب آقای دکتر محمدعلی ارجمند، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
جناب آقای دکتر شهروز اسدی، دانشگاه شهید بهشتی
جناب آقای دکتر رضا افضل، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر علی جباری، دانشگاه اراک
سرکارخانم دکتر ساغر جارچی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر چنگیز دهقانپان، دانشگاه تهران
جناب آقای دکتر نعمت حسینی، دانشگاه شهید بهشتی
سرکارخانم دکتر راحله خادمیان، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی
جناب آقای دکتر علی رحمانی، دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی
سرکارخانم دکتر فائزه رحمانی، دانشگاه خواجه نصرالدین طوسی
جناب آقای دکتر قدرت الله رودینی، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محبعلی رهدار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر مرتضی زیودار، دانشگاه سیستان و بلوچستان
جناب آقای دکتر محمدحسین کاظمی، دانشگاه شاهد
جناب آقای دکتر علی فروغی، دانشگاه تبریز
جناب آقای دکتر علی لکی روحانی، دانشگاه زنجان
جناب آقای دکتر سیدحمید هاشمی، دانشگاه اراک

دفتر نشریه:

۰۲۱ ۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷ ۰۲۱ ۴۳ ۸۵ ۷۱ ۲۴
۰۲۶ ۳۲ ۷۲ ۴۷۸۷ ۰۲۶ ۳۲ ۷۴ ۷۱ ۵۸
تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲

انتشارات هنر و علوم دانشگاهی

تهران، افسریه، ۱۵ متری اول، کوچه ۲۸، پلاک ۲۹۳
تلفن: ۰۲۱ ۳۳ ۸۴ ۵۷ ۹۲

۰۲۱

فراخوان پذیرش مقاله

توسعه پرشتاب و گسترده علوم به ویژه در حوزه فنی و مهندسی، انجام اقدامات علمی برای معرفی دستاوردهای علمی را بیش از پیش ضروری کرده است. توسعه پایدار ایران اسلامی، مستلزم ایجاد زیرساخت‌های علمی به ویژه در حوزه علوم مهندسی است. موسسه مدیریت دانش شباک با همکاری اساتید برجسته دانشگاهی با هدف معرفی پژوهش‌های علوم مهندسی و ایجاد فرصتی برای تبادل مطالعات و تجارب در این حوزه، نشریه پژوهش‌های نوین علوم مهندسی را منتشر می‌کند.

تحریریه به منظور انتشار گسترده پژوهش‌های روزآمد از اساتید، صاحب‌نظران، مهندسان، دانشجویان، کارشناسان، پژوهشگران و علاقه‌مندان علوم مهندسی، دعوت می‌کند تا با ارائه مقالات علمی ارزشمند خود، از طریق وبسایت نشریه به نشانی www.nres.ir ضمن مشارکت فعال به غنای این نشریه کمک نمایند. برای ارسال مقاله به نشریه کافی است تا در وبسایت نشریه ثبت‌نام نموده و با ورود به پنل کاربری، مقاله خود را ثبت کنید. پس از بررسی اولیه و داوری علمی از طرف تحریریه جهت انتشار مقاله با نویسنده مسئول تماس گرفته می‌شود.

موضوعات نشریه پژوهش نوین علوم مهندسی:

- مهندسی صنایع
- مهندسی عمران
- مهندسی مکانیک
- مهندسی معدن
- مهندسی هوا فضا
- مهندسی مواد و متالورژی
- مهندسی برق و الکترونیک
- مهندسی انرژی و فیزیک
- مهندسی شیمی، نفت و پلیمر
- مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات
- مبانی علوم مهندسی
- مدیریت دانش در علوم مهندسی

فهرست مقالات

صفحه	عنوان مقاله
۱	تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های ریسک بر پروژه‌های خطوط انتقال آب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS سبحان الله داوودی، محمدجواد طاهری امیری
۱۵	شبیه‌سازی ایرودینامیکی نیروی هوا در اسکی به روش دینامیک سیالات محاسباتی ایمان مبرز، محمد افتخاری یزدی
۲۳	ارزیابی و تحلیل شبکه‌های حسگر مبتنی بر رویکرد الگوی‌سازی محمدجواد صفائی، سیدعلی رضوی ابراهیمی، زهرا جورمند
۳۵	بهینه‌سازی تخلیه ساکنین در برج‌های بلند در شرایط اضطراری، با استفاده از پل‌های هوایی بین برج‌ها علیرضا مشبکی اصفهانی، یعقوب شهبازی، محمدرضا مشبکی اصفهانی
۴۳	مروری بر طراحی انواع شمارنده‌ها در سیستم‌های دیجیتال و معرفی شمارنده‌های دیکدری و مالتی پلکسری آنیتا شکوری، مائده آربونی، سید عمیدالدین موسوی
۵۱	بررسی متغیرهای مؤثر بر لپن‌کاری تخت قطعه کارهای آلومینیومی جمال‌الدین زارعی، حسین امیرآبادی
۵۷	شبیه‌سازی چتر پاشش و بررسی پروفیل قطر قطرات اسپری در انژکتور موتور موشک سوخت مایع میلاد رضایی، محمد مهدی اسماعیلی
۶۵	اصلاح سطحی غشاهای الیاف توخالی پلی سولفون توسط پلی دی متیل سیلوکسان بروش پوشش‌دهی غوطه‌وری بنفشه نوری دمیه، ابوطالب قدمی جدول قدم

تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های ریسک بر پروژه‌های خطوط انتقال آب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۹

کد مقاله: ۲۳۴۵۰

سبحان الله داوودی^۱، محمدجواد طاهری امیری^{۲*}

چکیده

در تحلیلی واقع‌بینانه از وضعیت پروژه‌های عمرانی در کشور ایران روشن می‌گردد که وضعیت صنعت ساخت‌وساز از منظر کیفیت و ریسک‌های بالقوه جای تأمل و تفکر دارد. به همین جهت بررسی تحلیلی دو مؤلفه نام برده، در صورتی راهگشا است که رویکردهای صحیحی نسبت به مسیر حرکت صنعت ساخت تعیین گردد. تامین آب سالم، انتقال آن، تصفیه و نهایتاً توزیع آن فرآیند دقیقی است که اختلال در آن موجب اختلال قابل توجه در زندگی مردم و نهایتاً بروز بحران می‌گردد. از این رو سامانه‌های تامین و انتقال آب نقش بسزایی در ادامه حیات جامعه دارند و با توجه به شرایط فزاینده تهدیدات در دنیای کنونی، کشورهای مختلف نسبت به اعمال اصول و ملاحظات پدافند غیر عامل و مدیریت بحران در طراحی و ساخت این زیرساختها گام‌های اساسی را دنبال کرده‌اند. در این پژوهش پس از شناسایی ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب با استفاده از روش استخوان ماهی و اولویت‌بندی و ارزیابی ریسک‌ها با روش FMEA، ساختار سلسله مراتبی از ریسک‌های بحرانی پروژه‌های خطوط انتقال آب ارائه خواهد گردید و در نهایت با استفاده از روش TOPSIS ریسک‌ها اولویت‌بندی خواهند شد. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که افزایش قیمت‌ها و تورم‌ها و ریزشی بودن کانال‌های حفاری به عنوان مهم‌ترین ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب در کشور ایران می‌باشد و در انتها نیز راهکارهایی در جهت مقابله با این ریسک‌ها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: ریسک، پروژه‌های انتقال آب، روش استخوان ماهی، روش FMEA، روش TOPSIS.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه آزاد اسلامی، واحد ساری

۲- استادیار گروه عمران موسسه آموزش عالی پردیسان فریدونکنار (نویسنده مسئول) jvd.taheri@gmail.com

۱- مقدمه

آب حیاتی‌ترین نیاز انسان است. برخی معتقدند که جنگ‌های آینده و خشونت‌های مدنی و اجتماعی عمدتاً از کمبود منابع آب و مواد غذایی ناشی خواهد شد. کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل معتقد است بحران آب در دنیا یک بحران حکمرانی است نه بحران کمبود آب. در سال ۱۹۹۵ نایب رییس بانک جهانی نیز اعلام داشت که جنگ‌های آینده بر سر آب خواهد بود، نه نفت (ظفرنژاد، ۱۳۹۱). با وجود رشد روز افزون فن‌آوری در صنعت‌های گوناگون، همواره با افزایش خطرات و ریسک‌های ناشی از کار مواجه هستیم. کنترل این خطرات نیازمند نوعی سیستم مدیریتی است که منجر به کاهش این خطرات و حصول اطمینان از افزایش ایمنی، رفاه کارکنان و همچنین حفاظت از محیط‌زیست می‌گردد. ارزیابی ریسک به عنوان یک ابزار بسیار ارزشمند برای بهبود ایمنی در عملیات خط لوله شناخته شده است. هدف از انجام این تحقیق، شناسایی ریسک‌ها و معرفی روش‌های ارزیابی ریسک در پروژه‌ها و خطوط انتقال آب می‌باشد. بطور کلی هر تلاش و حرکتی بشری ریسک‌هایی را در بردارد. در زندگی روزانه بعضاً با موقعیت‌هایی روبرو می‌شویم که اغلب دربرگیرنده فاکتورهای ناشناخته، غیرمنتظره، خوشایند، ناخوشایند و غالباً غیرقابل پیش‌بینی می‌باشند. ریسک پروژه در صورتی که وجود خارجی پیدا کند باعث تأخیر، توقف و یا شکست پروژه خواهد شد. همچنین بر کیفیت و هزینه پروژه تأثیر خواهد داشت. ریسک‌ها بصورت استاتیک و دینامیک هستند که ریسک‌های دینامیک خصوصیتشان در طول چرخه حیات پروژه تغییر می‌کند. از آنجایی که پروژه‌های خطوط انتقال آب مانند احداث راه‌های غیر ایستگاهی و سیال بوده و همواره با چالش‌های جدید روبرو می‌باشند، لذا شناسایی، تحلیل، برنامه‌ریزی و کنترل مدیریت ریسک‌ها و مواجهه با آن بسیار حایز اهمیت می‌باشد. با بررسی نقشه‌های طراحی، اسناد و مدارک پیمان این پروژه‌ها و سوابق مستند جمع‌آوری شده مشاهده می‌شود که بسیاری از فاکتورهای اثرگذار بر اهداف پروژه مانند زمان اجرا، هزینه تمام شده، محدوده کار و کیفیت بررسی نشده و به صورت سنتی و سطحی نسبت به طرح و اجرای آن اقدام می‌گردد. این در حالی است که به نظر می‌رسد با بررسی مؤلفه‌های تأثیرگذار از جمله پارامترهای ریسک شاید بتوان با تعیین میزان تأثیر هر مؤلفه بر پارامترهای اساسی زمان، هزینه، کیفیت و محدوده اثرات این پارامترها را معین و در جهت بهینه نمودن اهداف این پروژه در مراحل مختلف طراحی و اجرا بکار گرفت.

۲- ادبیات موضوع

ونگ و همکاران، یک مدل تصمیم‌گیری گروهی فازی برای ارزیابی ریسک‌های ساخت پل با استفاده از متغیرهای احتمال وقوع و شدت اثر ریسک ارائه نمودند (Wang & Elhang, 2007). گورکانلی و مونگن، با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و نظریه مجموعه فازی، ریسک‌های ایمنی در محیط‌های کاری را تجربه و تحلیل و رتبه‌بندی نمودند (Gurcanli & Mungen, 2009). لیو و تسای، برای کاهش یا جلوگیری از خطرات شغلی در صنعت ساخت‌وساز، روش ارزیابی خطر فازی دو مرحله‌ای پیشنهاد نمودند. مرحله اول دربرگیرنده فرایند تجزیه و تحلیل شبکه‌ای فازی برای شناسایی انواع ریسک‌های پرحخطر است و در مرحله دوم، بر اساس روش تحلیل حالات شکس و آثار، ارزیابی ارزش ریسک‌های پرحخطر انجام شد (Liu & Tsai, 2012). پاتریک زو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در مقاله خود اقدام به شناسایی ۲۵ ریسک کلیدی و مهم در پروژه‌های ساخت در چین کردند (Patinck et al. 2007). در پژوهشی که توسط یلین^۱ و همکارانش انجام شد، در اولین مرحله تحقیقات از طریق بررسی جامع ادبیات، سی و چهار عامل خطر را شناسایی کردند (Yelin et al. 2010). در مقاله‌ای که سدالله ابراهیم نژاد^۲ و همکارانش ارائه داده است، ریسک‌های عمومی در پروژه‌های ساخت، بهره‌برداری و انتقال^۳ (BOT) را شناسایی و سپس پنج معیار مؤثر احتمال، اثر، سرعت در پاسخ به ریسک، هزینه پاسخ به ریسک و توانایی رخداد که از تقسیم خروجی تهدیدها به خروجی فرصت‌ها بدست می‌آید، برای اولویت‌بندی آن‌ها معرفی می‌کند (Ebrahimnejad et al. 2010). در مقاله‌ای دیگر با استفاده از روش^۴ CBR، از دانش استفاده شده از فرم‌های شناسایی مخاطرات جدید استفاده شده است (Goh et al. 2010). لیو و گایو^۵ در سال ۲۰۱۱، در مقاله خود با استفاده از مدل مالی به نام BT^۶، پنج فاکتور مهم مؤثر در ریسک‌های مالی پروژه را شناسایی و پرسش‌نامه‌هایی تنظیم کرده و مقدار فاکتورهای مورد نظر را به صورت کمی بدست آورد. این مدل با استفاده از یک فرآیند استانداردسازی و سپس کمی کردن داده‌ها، ارزش ریسک‌ها را طبقه‌بندی کرده و بین سطوح ریسک‌ها، دآوری می‌کند (Luo & Gao, 2011). نیتو و راز^۷ در سال ۲۰۱۱، در مقاله خود یکی از مشکلات اصلی در آنالیز ریسک را ترتیب داده‌های کمی و کیفی

1- Yelin

2- Sadoullah Ebrahimnejad

3- build-operate-transfer

4- case- Based Reasoning

5 - Zhou

6 - Building Technique

7 - Nieto Morote

می‌دانند و معتقد هستند داده‌های کمی نیز به تنهایی برای آنالیز ریسک مناسب نمی‌باشند، لذا یک روش ارزیابی ریسک مبتنی بر تئوری فازی ارائه می‌دهد که ابزاری مؤثر برای قضاوت فردی بر اهداف و بر مبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی^۱ (AHP) است و برای ساختاردهی به شمار زیادی از ریسک‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Nieto & Ruz, 2011). در مقاله‌ی محمد مجتهدی و همکاران از روش اولویت‌بندی براساس شباهت به راه حل ایده‌آل^۲ (TOPSIS) برای شناسایی و ارزیابی همزمان ریسک‌ها استفاده می‌کنند (Mojtahedi et al. 2010). چیترا و گوپتا در مقاله خود به بررسی روش ارزیابی ریسک در یک سد فرضی پرداخته‌اند. در این مقاله گام‌های ارزیابی ریسک را بصورت شناخت تهدید مینا، آنالیز ریسک، ارزیابی ریسک و در نهایت مدیریت ریسک و تصمیم‌گیری نهایی دسته‌بندی کرده‌اند. در این مقاله ضمن بررسی روش کلی ارزیابی ریسک به موارد جزئی کار نیز پرداخته شده است. نویسنده معتقد است ابتدای هر ریسک، مجموعه‌ای از داشته‌ها و خطرات می‌باشد (Chitra & Gupta, 2016). چانگژی و هانگ با رویکرد تاکید بر یک تهدید طبیعی و شکست سد، میزان ریسک ناشی از سیل ایجاد شده را در یک محدوده مشخص تجزیه و تحلیل نموده‌اند. با بررسی این مقاله نیز میتوان گام‌های ارزیابی ریسک را به خوبی مشخص نمود. نتایج نشان می‌دهد ارزیابی تهدیدات یکی از مهم‌ترین گام‌های ارزیابی ریسک می‌باشد که می‌بایست به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Changzhi & Hong, 2014).

۳- روش شناسی

۳-۱- روش آنالیز حالات خرابی و اثرات آن^۱

در چارچوب FMEA، تحلیل ریسک از مرحله جزئی سیستم شروع و یک لیست از حالات خرابی مرتب شده و تأثیر آن حالات خرابی با محاسبه یک شاخص به نام عدد اولویت ریسک مورد تحلیل قرار می‌گیرد. از این روش برای شناسایی ریسک‌های به وجود آمده در روند خرید یک بیمارستان عمومی استفاده شده است که در نهایت منجر به بهبود روند خرید این بیمارستان عمومی گشته است (حق نویس، ۱۳۸۵). همچنین از این روش در زمینه مدیریت پروژه‌ها نیز بهره گرفته شده است که در نهایت استفاده از این روش منجر به کم شدن هزینه‌های پروژه شده است (Ming et al, 2003). FMEA را می‌توان در سه مرحله زیر بکار گرفت (Covello & Mumpower, 2010):

۳-۱-۱. شناسایی حالات خرابی سیستم

در این مرحله به شناسایی حالات خرابی در سیستم پرداخته و دلایل مختلف بروز این خرابی‌ها و اثراتشان بر روی سیستم تعیین می‌شود.

۳-۱-۲. محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN)

در روش FMEA، درجه وضعیت بحرانی با محاسبه عدد اولویت ریسک (RPN) که محدوده بین ۱ تا ۱۰۰۰ را دارد تعیین می‌شود. RPN از حاصل ضرب سه فاکتور شدت اثر ریسک (S)^۲، وقوع (O)^۴ و درجه شناسایی (D)^۵ بدست می‌آید. شدت اثر ریسک (S)، میزان جدیت تأثیر خرابی را منعکس می‌کند تا اثر بالقوه حالات خرابی مشخص شود. وقوع (O)، از احتمال رخ دادن خرابی و علت بروز خرابی سرچشمه می‌گیرد و درجه شناسایی (D)، به عنوان مقیاسی از قابلیت کنترل‌های فعلی برای یافتن علت و مکانیزم شکست تعریف می‌شود. هر سه فاکتور در محدوده ۱ تا ۱۰ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۱-۳. کاهش حالات خرابی

در این مرحله بر اساس RPN محاسبه شده اعضای تیم برای کاهش خرابی‌های شناخته شده تلاش می‌کنند. FMEA، در کنار مزیت‌هایی همچون فراهم نمودن اطلاعات ارزشمند برای تحلیل درخت خطا و حمایت از شناسایی حالات خرابی ممکن، محدودیت‌هایی نیز دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود (Covello & Mumpower, 2010):

- هیچ دلیلی وجود ندارد که S، D و O ضرب شوند تا RPN بدست آید.
- وجود نقص در مورد روش اجرای محاسبات با استفاده از عمل ضرب و همچنین روش تفسیر نتایج

1- Analytical Hierarchy process

2 - Technique of Order Preference by Similarity to Ideal Solution

به عنوان مثال RPN دو حالت خرابی با شدت اثر، وقوع و شناسایی به ترتیب (۹، ۵، ۵) و (۶، ۷، ۶) برابر ۲۲۵ و ۲۵۲ می‌باشد. در صورتی که اولین خرابی به دلیل شدت بالاتر باید اولویت بالاتری برای عملیات اصلاحی داشته باشد. - تمایز قائل نشدن بین اهمیت متغیرهای ورودی یعنی شدت، وقوع و شناسایی به هنگام محاسبه RPN - فقدان دستور العمل‌های رسمی برای ارتباط RPN محاسبه شده با عملیات اصلاحی مورد نیاز

۳-۲- روش TOPSIS

تکنیک TOPSIS، یکی از تکنیک‌های معروف روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کلاسیک می‌باشد که اولین بار توسط هوانگ و یون^۱ (Hwang & Zadeh, 1970). معرفی گردید. منطق اصولی TOPSIS، تعریف حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل می‌باشد. حل ایده‌آل حلی است که معیارهای سود را ماکزیم و معیارهای هزینه را مینیمم می‌نماید. به طور خلاصه، حل ایده‌آل شامل تمام بهترین مقادیر معیارهای در دسترس می‌باشد در حالی که حل ضد ایده‌آل، ترکیبی از بدترین مقادیر معیارهای در دسترس می‌باشد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کوتاه‌ترین فاصله از حد ایده‌آل و بیشترین فاصله را از حد ضد ایده‌آل دارد. واقعیات زیربنائی از این روش بدین قرار است:

الف- مطلوبیت هر شاخص باید به طور یکنواخت، افزایشی یا کاهشی باشد. بهترین ارزش موجود از یک شاخص، نشان‌دهنده ایده‌آل مثبت آن بوده و بدترین ارزش موجود از آن، مشخص‌کننده ایده‌آل منفی برای آن خواهد بود. ب- فاصله یک گزینه از ایده‌آل مثبت و یا از ایده‌آل منفی ممکن است بصورت فاصله اقلیدسی و یا بصورت مجموع قدرمطلق از فواصل خطی معروف به فواصل بلوکی^۲ محاسبه گردد که این امر بستگی به نرخ تبادل و جایگزینی در بین شاخص‌ها دارد.

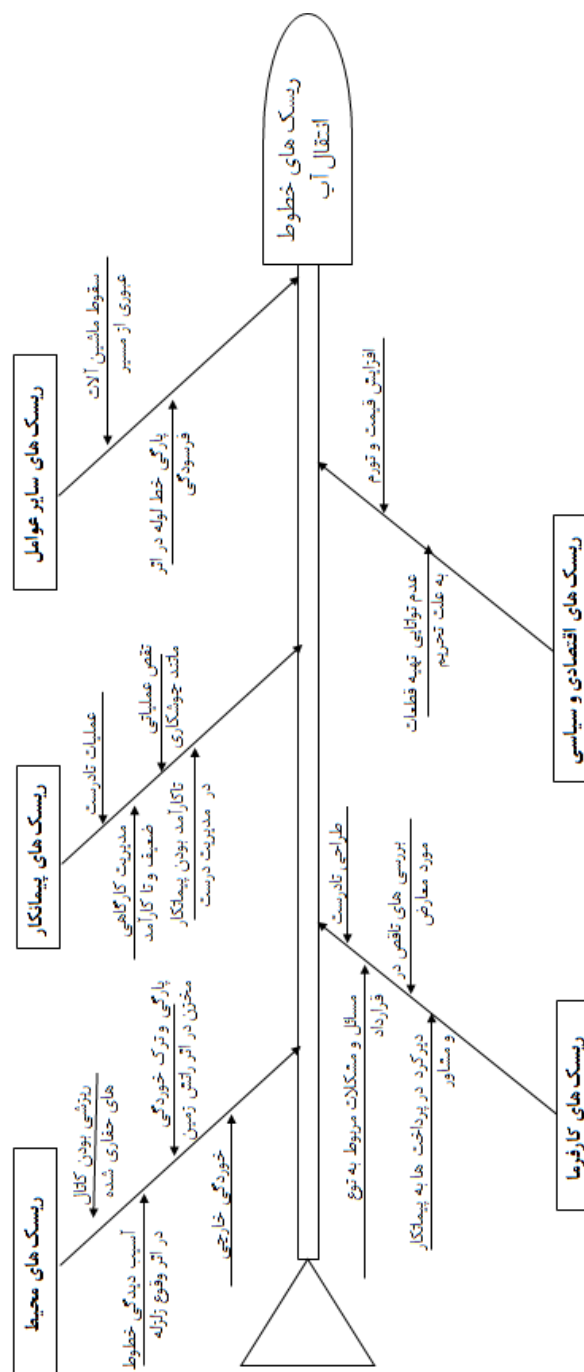
۴- تحلیل نتایج

در مرحله نخست، هدف یافتن ریسک‌ها در پروژه‌های لوله‌های انتقال آب در کشور ایران است. بدین منظور در ابتدا از طریق استفاده از تجربیات کارشناسان و خبرگان امر در این حوزه و همچنین مطالعه منابع موجود کلیه ریسک‌های ممکن استخراج گردید و به صورت نمودار استخوان ماهی نشان داده خواهد شد. در مرحله دوم تحقیق، فرآیند مقایسه ۱۷ علت منتخب مرحله اول تحقیق با هدف یافتن اهم ریسک‌ها با استفاده از نظر کارشناسان امر طی پرسشنامه‌هایی تنظیم و بین مدیران و کارشناسان مشغول در پروژه‌های خطوط انتقال آب توزیع شد. برای یافتن اهمیت یا بزرگی هر علت از مجموعه ریسک‌ها سه فاکتور "احتمال وقوع"، "شدت خرابی" و "میزان کنترل و مهار" مورد ارزیابی قرار گرفت تا مهمترین ریسک‌ها شناسایی شوند و در مرحله سوم با تشکیل ساختار سلسله مراتبی مهمترین ریسک شناسایی خواهد شد:

۴-۱- شناسایی ریسک به روش استخوان ماهی

هنگامی که مسأله و علل آن ثبت می‌شود، نموداری تشکیل می‌گردد که شبیه به اسکلت ماهی است. مسأله در داخل دایره و درست راست برگه‌ی کاغذ نوشته می‌شود. یک خط مستقیم به سمت چپ کشیده می‌شود که بیشتر شبیه به ستون فقرات ماهی است. گام بعدی ترسیم ساقه‌ها یا به عبارتی تیغ‌های ماهی با زاویه ۴۵ درجه متصل به خط ستون فقرات است. در پایان هر یک از این ساقه‌ها علل مسأله نام برده می‌شود که می‌توان از طریق طوفان فکری به آن پرداخت. در صورت لزوم می‌توان ساقه‌های اضافی به آن افزود. برای تحلیل بیشتر هر علت می‌توان به هر ساقه، شاخه‌هایی را افزود. عللی که دارای حداقل پیچیدگی هستند باید با کمترین فاصله نسبت به سر ماهی و عللی که دارای بیشترین پیچیدگی هستند در قسمت دم ماهی و علت‌هایی، که بینابین هستند به صورت یک زنجیره‌ی پیوسته و از کمترین پیچیدگی به بالاترین پیچیدگی از سر ماهی تا دم ماهی نوشته می‌شوند. پس از بررسی تحقیقات پیشین، ریسک‌های شناسایی شده در پروژه‌های خطوط انتقال آب بر اساس روش استخوان ماهی، مطابق شکل ۱ مشخص شده است.

1 - Hwang and Yoon
2 - City block distance



شکل ۱- نمودار استخوان ماهی مربوط به ریسک پروژه‌های خطوط انتقال آب

۴-۲- دسته‌بندی ریسک‌ها به روش FMEA

پس از شناسایی ریسک‌ها، با توجه به نظرات متخصصان و جستجو در مقالات علمی مختلف به اولویت‌بندی ریسک‌های مربوطه مطابق جدول ۱ پرداخته شده است. بدین صورت که برای هر ریسک میزان احتمال وقوع تشخیص داده شده است. هر چه احتمال وقوع ریسک بیشتر باشد از اعداد ۱ تا ۱۰ عدد بزرگتری را به خود اختصاص می‌دهد. پس از مشخص شدن احتمال وقوع یک ریسک، شدت خرابی آن ریسک مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هر چه میزان تأثیر منفی یک ریسک در پروژه بالاتر باشد از اعداد ۱ تا ۱۰ عدد بزرگتری را به خود اختصاص خواهد داد. سپس برای ریسک مورد نظر باید میزان کنترل و مهار مشخص شود. هر چه در پروژه بتوانیم ریسک مورد نظر را کنترل کنیم عدد کوچکتری را به خود اختصاص خواهد داد.

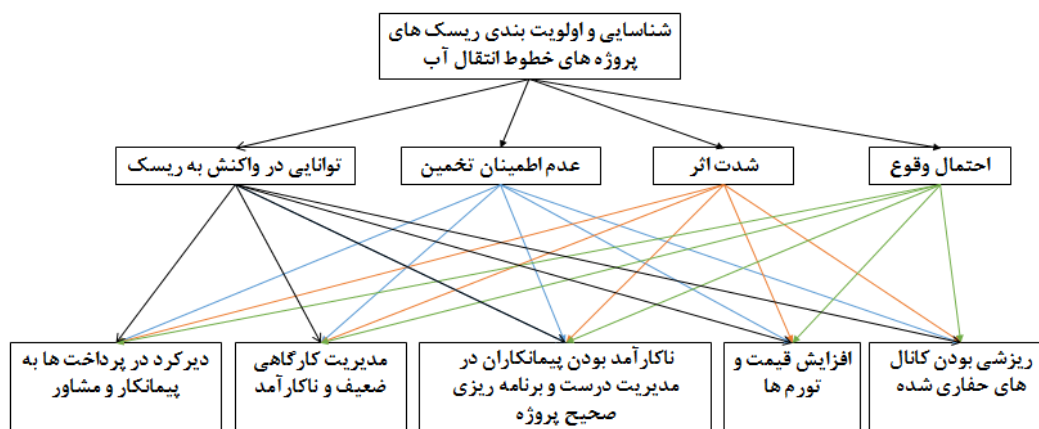
جدول ۱- اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب استان گلستان

ریسک	احتمال وقوع	شدت خرابی	میزان کنترل و مهار	عدد RPN
۱ ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده	۵	۸	۶	۲۴۰
۲ طراحی نادرست	۵	۵	۲	۵۰
۳ عملیات نادرست (کمبود تعمیر و نگهداری، اطلاعات و کنترل ناکافی)	۴	۶	۶	۱۴۴
۴ افزایش قیمت و تورم‌ها	۸	۹	۵	۳۶۰
۵ نقص عملیاتی مانند نقص جوشکاری	۴	۷	۵	۱۴۰
۶ مسائل و مشکلات مربوط به نوع قرارداد	۵	۴	۷	۱۴۰
۷ آسیب‌دیدگی خطوط در اثر وقوع زلزله	۵	۷	۴	۱۴۰
۸ بررسی‌های نقص در مورد معارض و بروز اختلافات در واگذاری معارض	۶	۵	۴	۱۲۰
۹ ناکارآمدی پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه	۶	۸	۵	۲۴۰
۱۰ خوردنگی خاک	۴	۹	۳	۱۰۸
۱۱ سقوط ماشین‌آلات عبوری از مسیر	۴	۷	۳	۸۴
۱۲ عدم توانایی تهیه قطعات به علت تحریم	۷	۵	۳	۱۰۵
۱۳ مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد	۶	۹	۴	۲۱۶
۱۴ پارگی و شکست خط لوله در اثر فرسودگی	۴	۶	۴	۹۶
۱۵ پارگی یا ترک خوردگی مخزن در اثر رانش زمین	۶	۵	۵	۱۵۰
۱۶ خوردگی خارجی مانند کاهش ضخامت پوشش لوله شکست حفاظت کاتدیک	۶	۳	۵	۹۰
۱۷ دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور	۷	۸	۶	۳۳۶

همانطوری که از جدول ۱ مشخص است، به ترتیب زیر به عنوان مهم‌ترین ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب محسوب می‌گردند که به منظور بهبود شرایط استفاده از این پروژه‌ها مناسب است تا راهکارهایی در جهت حذف یا کاهش این ریسک‌ها در پروژه‌ها صورت گیرد.

- ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده
- افزایش قیمت و تورم‌ها
- ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
- مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
- دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور

پس از مشخص شدن مؤثرترین ریسک‌ها برای اولویت‌بندی این ریسک‌ها ساختار سلسله مراتبی مطابق شکل ۲ با توجه به معیارها و گزینه‌های مربوطه تشکیل خواهد شد.



شکل ۲- ساختار سلسله مراتبی اولویت‌بندی ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب

پس از مشخص شدن گزینه‌های موجود در رابطه با شناسایی ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب، ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار احتمال وقوع مطابق جدول شماره ۲ بدست خواهد آمد.

جدول ۲-ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با معیار احتمال وقوع

دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد	ریزشی بودن کانال های حفاری شده	افزایش قیمت و تورم ها	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه	
۱/۳	۱/۵	۵	۳	۱	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۱/۵	۱/۷	۳	۱	۱/۳	افزایش قیمت و تورم ها
۱/۷	۱/۹	۱	۱/۳	۱/۵	ریزشی بودن کانال های حفاری شده
۳	۱	۹	۷	۵	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۲	۱/۳	۷	۵	۳	دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار میزان تأثیر جدول شماره ۳ بدست خواهد آمد.

جدول ۳-ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با معیار شدت اثر

دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد	ریزشی بودن کانال های حفاری شده	افزایش قیمت و تورم ها	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه	
۵	۷	۳	۹	۱	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۱/۵	۱/۳	۱/۷	۱	۱/۹	افزایش قیمت و تورم ها
۳	۵	۱	۷	۱/۳	ریزشی بودن کانال های حفاری شده
۳	۱	۱/۵	۳	۱/۷	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱	۱/۳	۱/۳	۵	۱/۵	دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار عدم اطمینان تخمین مطابق جدول شماره ۴ بدست خواهد آمد.

جدول ۴-ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با معیار عدم اطمینان تخمین

دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد	ریزشی بودن کانال های حفاری شده	افزایش قیمت و تورم ها	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه	
۵	۷	۳	۱/۳	۱	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۷	۹	۵	۱	۳	افزایش قیمت و تورم ها
۳	۵	۱	۱/۵	۱/۳	ریزشی بودن کانال های حفاری شده
۱/۳	۱	۱/۵	۱/۹	۱/۷	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱	۳	۱/۳	۱/۷	۱/۵	دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار توانایی در واکنش به ریسک مطابق جدول شماره ۵ بدست خواهد آمد.

جدول ۵- ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با معیار توانایی در واکنش به ریسک

دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد	ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده	افزایش قیمت و تورم‌ها	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه	
۱/۵	۱/۷	۱/۹	۱/۳	۱	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۱/۳	۱/۵	۱/۷	۱	۳	افزایش قیمت و تورم‌ها
۵	۳	۱	۷	۹	ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده
۳	۱	۱/۳	۵	۷	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱	۱/۳	۱/۵	۳	۵	دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور

جدول ۶- وزن‌دهی ماتریس معیارها نسبت به هم

توانایی در واکنش به ریسک	عدم اطمینان تخمین	شدت اثر	احتمال وقوع	
۱/۵	۱/۷	۳	۱	احتمال وقوع
۱/۷	۱/۹	۱	۱/۳	شدت اثر
۳	۱	۹	۷	عدم اطمینان تخمین
۱	۱/۳	۷	۵	توانایی در واکنش به ریسک

پس از مشخص شدن وزن‌های گزینه‌ها نسبت به معیارهای مختلف، در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری باید به ماتریس بی-مقیاس شده تبدیل شود. ابتدا باید میانگین هر سطر ماتریس را محاسبه کرده و بر اساس هر معیار ماتریسی مطابق جدول ۷ زیر تشکیل می‌شود.

جدول ۷- ماتریس میانگین هر سطر از ماتریس با توجه به معیار مربوطه

توانایی در واکنش به ریسک	عدم اطمینان تخمین	شدت اثر	احتمال وقوع	
۰,۳۵۷۴	۳,۲۶۶۶	۵	۱,۹۰۶۶	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۰,۹۳۵۲	۵	۰,۳۵۷۴	۰,۹۳۵۲	افزایش قیمت و تورم‌ها
۵	۱,۹۰۶۶	۳,۲۶۶۶	۰,۳۵۷۴	ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده
۳,۲۶۶۶	۰,۳۵۷۴	۱,۴۶۸۵	۵	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱,۹۰۶۶	۰,۹۳۵۲	۱,۳۷۲۳	۳,۲۶۶۶	دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور

در ادامه ماتریس نرمال شده بی‌مقیاس وزین با توجه به جدول ۸ تشکیل خواهد شد.

جدول ۸- ماتریس نرمال شده بی‌مقیاس وزین

توانایی در واکنش به ریسک	عدم اطمینان تخمین	شدت اثر	احتمال وقوع	
۰,۱۸۷۶۶۶	۲,۵۷۲۶۱	۰,۳۱۴۳۴۱	۰,۳۲۶۰۵۱	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۰,۴۹۱۰۱	۳,۹۳۷۷	۰,۰۲۲۴۷۲	۰,۱۵۹۹۶	افزایش قیمت و تورم‌ها
۲,۶۲۵۱۱	۱,۵۰۱۵۵	۰,۰۲۲۴۷	۰,۰۶۱۱۳	ریزشی بودن کانال‌های حفاری شده
۱,۷۱۵۰۲۶	۰,۲۸۱۵	۰,۰۹۲۳۳	۰,۸۵۵۰۴	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱,۰۰۱۰۲	۰,۷۳۶۵	۰,۰۸۶۳۴	۰,۵۵۸۶۲	دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور

سپس گزینه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی مشخص خواهند شد.

جدول ۹- گزینه‌های ایده‌آل مثبت و ایده‌آل منفی

توانایی در واکنش به ریسک	عدم اطمینان تخمین	شدت اثر	احتمال وقوع	
۲,۶۲۵۱۱	۳,۹۳۷۷	۰,۳۱۴۳۴۱	۰,۸۵۵۰۴	A ⁺
۰,۱۸۷۶۶۶	۰,۲۸۱۵	۰,۰۲۲۴۷	۰,۰۶۱۱۳	A ⁻

در ادامه باید میزان اندازه جدایی برای هر گزینه محاسبه خواهد شد.

جدول ۱۰- میزان اندازه جدایی با توجه به هر گزینه

d_i^-	d_i^+	
۲,۳۲۴۶۵۴	۲,۸۴۳۲۲	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۳,۶۷۰۰۹۲	۲,۲۶۳۳۵	افزایش قیمت و تورم ها
۲,۷۲۵۷۴۵	۲,۵۷۸۸۲	ریزشی بودن کانال های حفاری شده
۱,۷۲۲۷۹۴	۳,۷۷۴۳	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۱,۰۵۸۳۷۴	۳,۶۰۹۰۴	دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

در ادامه نزدیکی نسبی A_i به راه‌حل ایده‌آل منفی و مثبت ۷ محاسبه خواهد شد.

جدول ۱۱- محاسبه نزدیکی نسبی

اولویت	cl_i	
۳	۰,۴۴۹۸۲	ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
۱	۰,۶۱۸۵۴	افزایش قیمت و تورم ها
۲	۰,۵۱۳۸۵	ریزشی بودن کانال های حفاری شده
۴	۰,۳۱۳۴۰۱	مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
۵	۰,۲۲۶۷۵۸	دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

با توجه به جدول ۱۱، اولویت ریسک‌های پروژه‌های خطوط انتقال آب مشخص شده و به ترتیب زیر می‌باشند:

- افزایش قیمت‌ها و تورم‌ها
- ریزشی بودن کانال های حفاری شده
- ناکارآمد بودن پیمانکاران در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه
- مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد
- دیرکرد در پرداخت ها به پیمانکار و مشاور

۳-۴- برنامه‌ریزی واکنش به ریسک‌های بحرانی و ارائه راهکارهای مؤثر

در این بخش برنامه‌های واکنشی جهت مواجهه با ریسک‌های بحرانی و نحوه کنترل و پیگیری برنامه‌های مذکور و در حد امکان نیازمندی‌ها و ساز و کارهای اجرایی نمودن بر اساس استراتژی‌های متداول در سیستم‌های اجرا شده مدیریت ریسک ارائه شده است. پاسخگویی به ریسک‌ها در قالب چهار استراتژی کلی اجتناب، انتقال، کاهش و پذیرش در مورد تهدیدها و چهار استراتژی کلی بهره‌مندی، شراکت، ارتقا و پذیرش در مورد فرصت‌ها تعریف می‌شوند. استراتژی‌های اجتناب و بهره‌گیری به دنبال حذف عدم قطعیت در پروژه هستند تا بتوانند تهدیدها را از میان برداشته و وقوع فرصت‌ها را قطعی کنند. استراتژی‌های انتقال و شراکت به دنبال تعیین فرد یا گروهی برای تخصیص ریسک‌ها به وی می‌باشند. استراتژی‌های کاهش و ارتقا به دنبال اصلاح کردن ریسک در معرض پروژه هستند، که برای تهدیدها به صورت انجام اقداماتی برای کاهش احتمال وقوع ریسک یا کم کردن تأثیر آن بوده و برای فرصت‌ها به صورت عکس است. استراتژی‌های پذیرش، ریسک‌های باقی‌مانده (تهدیدها و فرصت‌ها) را بدون آنکه اقدامات صریحی برای آنها انجام دهد مورد پذیرش قرار می‌دهد.

الف- افزایش قیمت‌ها و تورم

تورم عبارت است از افزایش بی‌رویه و مداوم سطح عمومی قیمت‌ها، چنانچه رشد نقدینگی بیشتر از تولید باشد. این امر منجر به کاهش قدرت خرید پول ملی شده، باعث افزایش قیمت‌ها و تورم می‌شود. تورم یکی از حادترین مشکلات اقتصادی هم برای کشورهای توسعه یافته و هم برای کشورهای در حال توسعه است. عوامل مؤثر در پیدایش تورم عبارتند از: کسر بودجه و تأمین آن از طریق استقراض از بانک مرکزی، افزایش دارایی‌های خارجی ناشی از افزایش سطح قیمت حامل‌های انرژی فسیلی (سخت، بنزین، برق و ...)، عدم هماهنگی بخشی، تنگنای زیرساختی و چسبندگی عرضه در بخش‌های کلیدی مانند صنعت و کشاورزی موجب تورم می‌شود، بطوری که در چنین شرایطی با رشد سریع تقاضا عرضه همزمان و در هماهنگی با آن رشد نمی‌یابد. ذکر این نکته ضروری است که آثار و تبعات تورم در بنگاه‌های مختلف اقتصادی متفاوت است. برای حفظ زیرساخت‌های توسعه و اجرای طرح‌های عمرانی کشور می‌بایستی در مقابل افزایش بی‌رویه قیمت‌ها، از ساز و کارهای تعدیل متکی بر آمارهای دقیق و روزآمد به‌ویژه برای واقعی کردن قیمت‌ها در اجرای پروژه‌های عمرانی حتما استفاده کرد. قراردادهایی که بر اساس مبانی قیمت‌های نیمه دوم سال ۸۹ و به بعد بسته شده است، چه آنهایی که مشمول تعدیل باشند یا نباشند، اعتبار خود را از دست داده‌اند، اکثر آیت‌های قراردادی نیمه‌تمام دچار افزایش قیمت غیرمتعارفی شده‌اند و اجرای هر کدام از آنها ضرر و زیان‌های جبران‌ناپذیر و هنگفتی را به دنبال خواهد داشت. مقایسه جمع مابه‌التفاوت افزایش قیمت کارهای باقیمانده و هزینه‌های به‌روز شده آنها، اختلاف چشمگیری را در مقایسه با مبلغ ضمانت‌نامه‌های انجام تعهدات نشان می‌دهد و این همان مفهوم بی‌اعتبار شدن قراردادهای می‌رساند. در این صورت تنها اصول حاکم بر قراردادهای مفاهیمی نظیر اخلاق حرفه‌ای، مشتری‌مداری و منافع دراز مدت سازمان‌ها خواهد بود و بدیهی است حد آن هم دوام یا اضمحلال شرکت خواهد بود. تورم در زمان اجرای پروژه‌های خطوط انتقال آب مورد مطالعه به علت افزایش هزینه‌های مربوط به مصالح (۴۰ الی ۵۰ درصد)، نیروی انسانی (۲۵ الی ۳۰ درصد)، ماشین‌آلات (۲۰ الی ۳۵ درصد) و زمان‌بر بودن پروژه‌ها، تورم و تعدیل در این پروژه‌ها دیده می‌شود. شاخص دستمزد کارگران هر سال در اسفند ماه توسط اتحادیه کاری، شاخص مصالح با توجه بازار و شاخص ماشین‌آلات با توجه به بازار ولی به روش خاص خود تعیین می‌شود. پیش‌بینی هزینه‌های اجرایی در طول زمان در ابتدای کار امری غیر ممکن است و یا لااقل توأم با تقریب در محاسبات است. لذا باید به‌گونه‌ای قیمت‌ها را در طول زمان اجرای کار تغییر داد که هزینه‌های تورم را شامل شود. برای حل مشکل تورم در پروژه‌های خطوط انتقال آب راهکارهای متفاوتی وجود دارد. یک روش به صورت تعدیل این است که پیمانکار در ابتدای کار تمام مصالح مورد نیاز را تأمین کند. در این صورت نیازی به در نظر گرفتن تورم در مورد هزینه مصالح نیست. معمولاً پیمانکاران به این شیوه عمل نمی‌کنند زیرا تمایلی به پرداخت پول زیاد در ابتدای کار ندارند. روش دوم این است که در ابتدای کار تورم سال‌های بعد را پیش‌بینی کرده و به این ترتیب هزینه کل پروژه حساب شود. از آنجا که تورم در کشور ماقابل پیش‌بینی نیست، از این روش نمی‌توان استفاده کرد. بسته به نوع پیمان (پیمان غیر رسمی، پیمان رسمی و پیمان بین‌المللی) روش برخورد با تورم متفاوت است. بطور کلی برای قراردادهای کمتر از یک سال تورم دیده نمی‌شود. در مورد تورم‌های کمتر از ۵ درصد بسته به حجم پروژه نحوه برخورد متفاوت است، در قراردادهای کوچک تورم در نظر گرفته نمی‌شود ولی در قراردادهای بزرگ چون ریسک بالا است تورم در چند گزینه وجود دارد:

- ممکن است تورم دیده نشود.
 - بانک مرکزی شاخص‌هایی روزانه، ماهانه و یا سالانه را برای کل کالاها و خدمات و مصالح خاص در پروژه‌های عمرانی، اعلام می‌کند. بسته به توافق طرفین از شاخص‌های روزانه، ماهانه و یا سالانه استفاده می‌شود.
 - سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی برای کارهای مختلف نظیر عملیات خاکی، عملیات بتن‌ریزی و قالب‌بندی، چوبی و غیره شاخص‌هایی تعیین می‌کند. این شاخص‌ها برای هر دوره سه ماهه تعیین می‌شوند: سه ماهه اول (بهار)، سه ماهه دوم (تابستان)، سه ماهه سوم (پاییز) و سه ماهه چهارم (زمستان).
 - شاخص‌هایی مانند تورم، نرخ تعدیل ارز و بهره بانکی در خود قرارداد تعریف می‌شوند و درصدی از تغییرات قیمت از طریق کارفرما و بقیه توسط بیمه به پیمانکاران پرداخت می‌شود. در قراردادهای مشاوره‌ای نیز سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی شاخص‌های قراردادهای مشاوره را می‌دهد.
- در نتیجه بهترین نوع واکنش به این ریسک، پذیرش ریسک می‌باشد. بدین صورت که بانک مرکزی شاخص‌هایی روزانه، ماهانه و یا سالانه را برای کل کالاها و خدمات و مصالح خاص در پروژه‌های عمرانی اعلام می‌کند. بسته به توافق طرفین از شاخص‌های روزانه، ماهانه و یا سالانه استفاده می‌کنند.

ب- ریزشی بودن کانال حفاری شده

یکی از پرریسک‌ترین عملیات اجرایی که در خلال اجرای خطوط انتقال آب وجود دارد، عملیات گودبرداری است. متأسفانه در پروژه‌ها بی‌توجهی و عدم وجود اطلاعات کافی در خصوص نحوه کار در محل‌های حفاری و عدم رعایت موازین ایمنی و بهداشتی موجب بروز حوادث دلخراش و صدمات جبران‌ناپذیر به منابع انسانی مجرب و کارآموده گردیده است که باعث تأخیر پروژه نیز شده است. مهمترین و پرریسک‌ترین خطر در محیط‌های حفاری ریزش دیواره‌ها و سقوط آوار می‌باشد. بدین منظور جهت‌دهی مطالب عمدتاً به سوی ارائه راهکارهای پیشگیرانه جهت جلوگیری از بروز این گونه حوادث می‌باشد. تغییر شکل‌های گوناگونی می‌تواند درون یک کانال روی دهد. به عنوان مثال کاهش یا افزایش میزان رطوبت محل و یا رفت‌وآمد وسایل سنگین اطراف کانال می‌تواند به شکل خطرناکی پایداری کانال را تحت تأثیر قرار دهد. عمومی‌ترین علل ریزش کانال‌ها که تا به حال شناسایی شده به شرح زیر می‌باشد:

- لغزش
- واژگون شدن
- برآمدگی (فرونشینی و تورم)
- بالا آمدگی و یا فشردگی
- جوشش

راهکارهایی برای مقابله با ریزش کانال بصورت اصل ده‌گانه موازین ایمنی:

- در خلال حفاری و کار در کانال‌ها مسئول HSE و مسئول اجرای کار و یا ناظر مستقر در محل بایستی با موازین ایمنی کار در چنین محیط‌های اجرایی آشنایی کامل داشته باشند. متعاقباً می‌بایست خطرات احتمالی ناشی از شرایط و بافت‌های گوناگون خاک، وضع آب و هوا، لرزش‌ها و تنش‌های خارجی و ... را شناسایی و مورد ارزیابی قرار داده و هدایت امور را بدست گیرد.
- یکی از اقدامات اساسی که فرد مسئول بایستی انجام دهد موضوع بررسی بافت زمین و خاک محل حفاری است. با توجه به نتایج بررسی بافت زمین و خاک و امکان اتخاذ تدابیر مناسب و درخور فراهم می‌گردد و بدین ترتیب روش‌ها و مکانیزم‌های به شرح ذیل جهت جلوگیری از ریزش کانال تعیین خواهد شد:
- الف) شیب‌دادن، ب) پله‌ای کردن، ج) شمع‌بندی،
- دیپوی خاک در اطراف کانال بایستی بطور مناسب صورت پذیرد.
- موارد ذیل به هنگام وارد شدن کارگران به داخل کانال و یا خارج شدن آنها بایستی رعایت گردد:
- الف) کانال‌هایی با عمق ۱،۲ متر و یا بیشتر می‌بایست دارای یک وسیله ثابت برای ورود و خروج باشند.
- ب) فاصله بین کارگران و وسیله خروج می‌بایست از ۷،۵ متر کمتر باشد.
- ج) نردبان‌های فلزی می‌بایست به همراه هشدار استفاده شوند به خصوص زمانی که تجهیزات الکتریکی در محل وجود دارد.
- در ارتباط با وجود آب در کانال می‌بایست تدابیر ویژه ایمنی اندیشیده شود.
- در محل‌هایی که سایر تأسیسات زیرزمینی از جمله خطوط و کابل‌های برق، مخابرات، گاز و ... وجود دارد، می‌بایست قبل از هر گونه حفاری موقعیت و عمق تقریبی هر یک از آنها معلوم شده و به اطلاع کلیه کارکنان مرتبط با عملیات حفاری رسانده شود.
- در تمامی ساعات شب می‌بایست محل‌های تردد و حریم کانال‌ها با فانوس قرمز و یا مشعل و محوطه‌های ممنوعه با لامپ‌های قرمز مشخص گردند تا به عابرین و خودروها آگاهی لازم داده شود.
- در هنگام کار در محل‌های حفاری شده خصوصاً با عمق بیش از ۱،۲ متر می‌بایست کارکنان مجهز به کلاه ایمنی باشند.
- لوازم و اسبابی که برای تقویت لبه‌های کانال استفاده می‌شود بایستی در شرایط مطلوب و قابل قبولی باشند.
- در نتیجه بهترین نوع واکنش به این ریسک، پذیرش ریسک می‌باشد. بدین صورت که با رعایت اصول از قبل ذکر شده به میزان زیادی از خطرات احتمالی کاست.

ج- ناکارآمد بودن پیمانکار در مدیریت درست و برنامه‌ریزی صحیح پروژه

کنترل پروژه، کاهش هزینه و زمان را به‌همراه خواهد داشت و کاهش زمان نیز خود منجر به کاهش هزینه می‌شود. قبل از شروع پروژه زمان‌بندی انجام می‌شود، منابع ماشین‌آلات و مصالح مورد نیاز پیش‌بینی شده و روی آنها برنامه‌ریزی می‌شود و از

برنامه‌های از قبل تنظیم شده هنگام اجرای پروژه استفاده بهینه خواهد شد. با کمک برنامه‌ریزی از تلف شدن زمان جلوگیری شده و پرت زمانی از بین می‌رود. هدف و وظیفه اصلی سیستم برنامه‌ریزی و کنترل پروژه عبارت است از تهیه، گردآوری، ثبت و نگهداری اطلاعات و گزارشات لازم برای مدیر پروژه. برنامه‌ریزی عملیات اجرایی در دو مرحله انجام می‌شود: مرحله اول برنامه‌ریزی شامل بررسی ابعاد پروژه، مشخص کردن بخش‌های اصلی و تهیه برنامه سطح یک مقدماتی، به منظور مشخص شدن نقاط ابهام و ایجاد توانایی در مدیریت پروژه به منظور تعیین چارت سازمانی پروژه و تعیین سطح توان فنی، اجرایی مدیران و کارشناسانی که پروژه به آنها نیاز دارد، می‌باشد. در این مرحله ضمن بکارگیری کارشناس خبره در امر برنامه‌ریزی و روش اجرا لازم است مدیر پروژه خود راسا بعنوان مسئول اصلی برنامه‌ریزی، این مرحله را هدایت و راهبری نماید تا توانایی‌های وی در انتخاب همکاران و شروع پیگیری‌ها برای تجهیز کارگاه و راه‌اندازی پروژه با شناخت و تسلط کافی همراه باشد. مرحله دوم برنامه‌ریزی پس از استقرار تیم فنی و مدیران میانی پروژه شامل مسئول برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، معاونت فنی کارگاه، معاونت اجرایی، معاونت پشتیبانی، کارشناس متره و برآورد شروع می‌شود. در صورتی برنامه‌ریزی محقق می‌شود که کلیه افراد سازمان در یک همکاری تنگاتنگ فعالیت نمایند تعلل یا عکس‌العمل‌های نامناسب فرد یا گروهی از پرسنل می‌تواند هدف را از دسترس خارج نموده و در مواردی نیز آن را غیر قابل دسترس جلوه نماید، همچنین می‌توان با تشکیل جلساتی به بررسی برنامه زمان‌بندی در حضور مسئولین واحدهای سازمانی و با مشارکت آنها به منظور بررسی برنامه زمان‌بندی و علل تأخر و تقدم فعالیت‌ها و اثرگذاری آنها بر کل پروژه و راهکارهای حل یا کاهش مشکلات با حضور مسئولین واحدهای اجرایی تشکیل گردد. در این جلسه مسئول کنترل پروژه وضعیت پروژه را از نظر درصد پیشرفت فیزیکی و مالی، تأخر و تقدم فعالیت‌ها، مقایسه تخصیص منابع اولیه با وضعیت موجود، همراه با تحلیل علل ارائه می‌نماید. حاصل این جلسه آگاهی از نظرات مسئولین واحدهای اجرایی و همچنین آگاهی آنها از وضعیت کل پروژه و روند این همکاری گروهی می‌باشد. پس از تهیه و ارائه گزارشات کنترل پروژه در جلسات مسئولین پروژه، ضروری است تصمیماتی جهت کنترل تأخیرات با هدف کاهش روند تأخیرات یا جبران آنها اتخاذ گردد. این تصمیمات مکتوب شده و جهت اطلاع کلیه واحدهای مؤثر ارسال و بصورت منظم عملکرد واحدها پیگیری و به مدیریت پروژه گزارش گردد. همچنین در تعیین روابط پیش‌نیازی هر فعالیت می‌بایست سوابق قبلی پروژه‌ها و نیز تجربه کارشناسان هر فن بکار گرفته شود تا در حد امکان از ایجاد وابستگی‌های اضافی و یا نادیده گرفتن این روابط اجتناب گردد.

در نتیجه بهترین نوع واکنش به این ریسک، تعدیل ریسک می‌باشد. استفاده از سوابق پروژه‌هایی با مناطق جغرافیایی و وضعیت جهت اجرای پروژه بهترین راهکار می‌باشد.

د- مدیریت کارگاهی ضعیف و ناکارآمد

نقش مدیریت کارگاهی در شکل‌دهی سازمان پروژه و در جهت‌دهی استراتژیک به فرآیندهای مدیریت پروژه کاملاً ملموس و تعیین کننده است و چه بسا ضعف مدیریت کارگاهی در احصاء یک یا چند مورد از فرآیندهای پروژه، موجب نقصان هر روند تحصیل محصول نهایی پروژه شود. عدم اجرای مطلوب پروژه‌های عمرانی کشور از بعد منابع، هزینه و کیفیت ارتباط بسیار مؤثری با رعایت یا عدم رعایت استانداردهای مدیریت اجرای پروژه‌های مذکور دارند. عدم استفاده و الزام کارگاه‌های عمرانی کشور به استفاده از استاندارد تأیید شده بومی در حوزه مدیریت پروژه عامل اصلی در اتلاف زمان و منابع کشور در اکثر پروژه‌های عمرانی شده است. وظیفه مدیریت کارگاهی اجرای صحیح پروژه در مدت معین، با منبع مالی محدود و کیفیت تعیین شده می‌باشد. لذا به منظور ساخت پروژه شناخت اولویت‌های آن الزامی است. مدیریت کارگاهی بعنوان رکن اصلی پروژه همواره با تیم فنی، پروژه را مطالعه نموده و از ابعاد پروژه آگاه می‌شود. لذا برنامه‌ریزی با مسئولیت مدیر به وسیله واحد برنامه‌ریزی و کنترل پروژه و با همکاری کلیه واحدهای فنی، اجرایی و ستادهای پروژه در ابتدا و در جریان ساخت پروژه انجام می‌شود. مدیریت کارگاهی همواره در معرض اتخاذ تصمیمات اجرایی و هزینه‌زایی پروژه قرار دارد و هر گونه عملیات اجرایی با صرف هزینه همراه است. تا زمان تدوین استاندارد مدیریت پروژه، استفاده یکی از استانداردهای معتبر جهانی که حداکثر تطابق را با شرایط کلی حاکم بر فضای عمومی کشور دارد مینا قرار گرفته و رعایت آن در پروژه‌ها الزامی شود. همچنین تدوین استاندارد مدیریت پروژه به عنوان یک ضرورت در راستای استفاده از منابع کشور در دستور کار قرار گیرد. مؤلفه‌های فرآیند ارتباطات پروژه که شامل مستندسازی پروژه، ارائه گزارشات پیشرفت کار و رفع موانع و تنظیم صورت مجالس و مستندات مکتوب کارگاهی ارائه شود، ضعف در این بخش عدم انتقال تجربیات که سهم مهمی در اجرای مطلوب پروژه‌های بعدی خواهد داشت را به دنبال دارد. توصیه می‌شود تشکیل تیم مستندسازی که اشراف کامل به جوانب و عملیات پروژه داشته باشد بکار گرفته شود. با مشارکت کارفرما و مشاور در مدیریت فعالیت‌های اجرایی و هماهنگی بین پیمانکاران نیز می‌توان مدیریت کارگاهی را افزایش داد.

در نتیجه بهترین نوع واکنش به این ریسک، انتقال ریسک می‌باشد. بدین صورت که با مشارکت کارفرما و مشاور در مدیریت فعالیت‌های اجرایی و هماهنگی بین پیمانکاران می‌توان مدیریت کارگاهی را افزایش داد.

ه- دیرکرد در پرداخت‌ها به پیمانکار و مشاور

بر اساس اطلاعات کارشناسی و اعلام انجمن‌های صنفی و تخصصی و مدیران دولتی، حجم مطالبات معوقه پیمانکاران طرح‌های عمرانی رقم قابل توجهی است. کاهش بی‌سابقه تخصیص اعتبارات بودجه سال ۹۶ و ادامه این روند در سال ۹۷ موجب تضعیف توانایی مالی و اجرایی پیمانکاران و اختلال در گردش نقدینگی آنها شده است و مدیریت گردش نقدینگی را به عنوان یکی از چالش‌های مهم شرکت‌های پیمانکاری و مشاور تبدیل نموده است و مدیران شرکت‌ها و پروژه‌ها وقت زیادی را صرف ترمیم اختلال به وجود آمده در این زمینه می‌کنند. انباشته شدن بدهی‌های شرکت‌ها و پیمانکاران دست دوم، تأمین‌کنندگان کالا و خدمات، کارگران و کارکنان پروژه‌ها و بانک‌ها و تعهدات قراردادی به نوبه خود این فرآیند معیوب را تشدید کرده و مشکل را به یک عامل فشار شکننده برای مدیران شرکت‌ها تبدیل کرده است. در صورت تداوم این مشکل و عدم حل و فصل آن، توقف اجرای پروژه‌ها و ورشکستگی حداقل عاقبت مورد انتظاری است که برای این شرکت‌ها و پروژه‌ها می‌توان پیش‌بینی نمود. چنانچه در طول پروژه تأخیر در پرداخت‌های پیمانکار رخ دهد موجب پذیرش ریسک می‌گردد که راهکار مواجه با آن به‌صورت زیر بیان می‌شود:

در صورت تأخیر در پرداخت‌های مالی از سوی کارفرما، پیمانکاران و مشاوران با مشکلات مالی مواجه خواهند شد و بالتبع پروژه‌ها دچار تأخیر می‌شوند. پیمانکار در آخر هر ماه، کارهای انجام شده را بر اساس فهرست‌بهای منضم به پیمان (صورت وضعیت ماهیانه) به مهندس ناظر تسلیم می‌نماید. مهندس مشاور صورت وضعیت را تطبیق و کنترل کرده و ظرف مدت ۱۰ روز برای کارفرما ارسال می‌کند و کارفرما صورت وضعیت را کنترل و رسیدگی کرده و پس از کسر وجوهای قبلی پیمانکار، مبلغ قابل پرداخت را ظرف مدت ۱۰ روز به صورت چک در وجه پیمانکار صادر می‌کند. در صورتی که این پرداخت صورت نگیرد، پیمانکار ادعای خسارت تأخیر در پرداخت صورت وضعیت را می‌کند. چنانچه از راهکار انتقال استفاده شود، می‌بایست جریان نقدی در فاز مقدماتی و اخذ تعهد کارفرمایان در التزام به پرداخت‌ها ذکر شود.

در نتیجه بهترین نوع واکنش به این ریسک، انتقال ریسک می‌باشد. بدین صورت که می‌بایست جریان نقدی پروژه در فاز مقدماتی و اخذ تعهد کارفرما و پیمانکاران در التزام به پرداخت‌ها ذکر شود.

نتیجه‌گیری

از دیرباز در اغلب پروژه‌های عمرانی عملیات شناسایی، ارزیابی و ارائه روش‌های کاهنده ریسک به طور خودکار و بعضاً ناخودآگاه توسط تیم‌های مدیریتی و فنی پروژه‌ها انجام می‌شد. اما سیستماتیک کردن کار تحلیل ریسک، به دلایل مختلف از جمله: جامع کردن کار شناسایی ریسک‌های پروژه، استفاده بهینه از خرد جمعی، مستندکردن دانش کسب شده در پروژه و امکان ارزیابی میزان اثرگذاری مجموعه ریسک‌ها در کل پروژه از نظر زمان و هزینه، در سالهای اخیر اهمیت ویژه‌ای پیدا کرده است. شناسایی ریسک‌ها، اولین مرحله از مدیریت ریسک است که پایه‌ای برای دیگر مراحل خواهد بود. در این پژوهش با استفاده از مطالعات انجام شده در زمینه پروژه‌های خطوط انتقال آب و جمع‌آوری دیدگاه‌های متخصصان و کارفرمایان داخلی، ساختاری برای شناسایی و طبقه‌بندی ریسک‌ها ارائه شده است. پس از بررسی و آنالیز مقادیر با استفاده از روش FMEA، ۶ ریسک به عنوان مهمترین ریسک‌ها شناسایی شدند و پس از تشکیل ساختار سلسله مراتبی و حل مسئله با استفاده از روش TOPSIS، از بین ۶ ریسک شناسایی شده در مرحله قبل، ریسک افزایش قیمت‌ها و تورم‌ها در اولویت اول قرار گرفته است.

مراجع

- ۱- توسعه پایدار و مدیریت آب، فاطمه ظفرنژاد، جهاد دانشگاهی مشهد مقدس، ۱۳۹۱
- ۲- حق‌نویس، معید و ساجدی، همایون، "مهندسی ریسک برای مدیران پروژه، مدل‌ها و ابزارها"، چاپ دوم، انتشارات رسا، ۱۳۸۵.
6. A. Nieto-Morote, F. Ruz-Vila, (2011), 'A fuzzy approach to construction project risk assessment' International Journal of Project Management 29,220-231.
7. changzhi, li. Hong, w. (2014), *Dam Break Flood Risk Assessment for Laiyang City*, Journal of Geological Resource and Engineering 4, 189-199.
8. chitra, R. Gupta, M. (2016), *Risk Assessment and Safety Evaluation of Distress Dams*, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
9. Covello V.T; Mumpower, J.(2010), "Risk analysis and Risk Management: An historical perspective". Risk analysis.

10. Gürcanli, G.E. and U. Müngen(2009), *An occupational safety risk analysis method at construction sites using fuzzy sets*. International Journal of Industrial Ergonomics. 39(2): p. 371-387.
11. Hwang .C.L., Zadeh L.A.(1970), *Decision-making in a fuzzy environment*, Management Sciences 17, 141-164.
12. Liu, H.-T. and Y.-l. Tsai,(2012), *A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry*. Safety science. 50(4): p. 1067-1078.
13. Luo Fu-zhou, Gao Hong-yuan,(2011), *'The risk assessment model of 'BT' construction engineering project financing*, Systems Engineering Procedia, Pages 169-173, 2011.
14. Ming-Tah Wang, M.ASCE and Hui-Yu Chou,(2003), *"Risk Allocation and Risk Handing of Highway Project in Taiwan"*, J.Mgmt. in Engrg Volume 19, Issue 2, PP. 60-68.
15. Patrick X. W. Zou, Guomin Zhang, Jiayuan Wang, (2007),*"Understanding the key risks in construction project in China"*, Energy Procedia 13, 2726-2733.
16. Sadoullah Ebrahimnejad, Seyed Meysam Mousavi, Hamed Seyrafiapour, (2010),*"Risk identification and assessment for build-operate-transfer projects: A fuzzy multi attribute decision making model"*, Expert System with Application s 37, 575-586.
17. S. Mohammad H. Mojtahedi, S. Meysam Mousavi, Ahmad Makui,(2010), *'Project risk identification and assessment simultaneously using multi-attribute group decision making technique'*, Safety Science 48,499-507.
18. Wang, Y.-M. and T.M. Elhag, (2007), *A fuzzy group decision making approach for bridge risk assessment*. Computers & Industrial Engineering. 53(1): p. 137-148.
19. Yelin Xu, John F.Y.Yeung. Albert P.C. Chan , Daniel W.M. Chan, Shou Qing Wang,Yongjian Ke,(2010), *"Developing a risk assessment model for PPP projects in China-A fuzzy synthetic"*,Journal of Elsevier, Automation in Construction 19, 929-943.
20. Y. M. Goh and D.K.H. Chua, M.ASCE,(2010),*"Case-Based Reasoning Approach to Construction Safety Hazard Identification: Adaptation and Utilization "*, Journal of Construction Engineering and Management, Vol . 136, No. 2, February 2010.

شبیه‌سازی ایرودینامیکی نیروی هوا در اسکی به روش دینامیک سیالات محاسباتی

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۱۰

کد مقاله: ۳۳۰۶۳

ایمان مبرزی^۱، محمد افتخاری یزدی^{۲*}

چکیده

ورزشکاران در اسکی کوهستان، اغلب از سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت عبور می‌کنند و مقاومت هوا به‌طور فراوانی در نتیجه مسابقه تأثیر می‌گذارد. در مطالعه حاضر مطالعه در مورد مقاومت هوا در اسکی آلپاین به روش عددی صورت گرفته است. علاوه بر آن نتایج شبیه‌سازی با نتایج اندازه‌گیری از تونل‌های باد و اسکی‌بازان واقعی اعتبار سنجی شده است. از نتایج این مطالعه برای مشخص نمودن توزیع سرعت جریان و ساختار گرداب اطراف اسکی‌باز استفاده شده است. در مطالعه حاضر، با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی برای به دست آوردن دینامیک سیالات محاسباتی استفاده شده است. به‌منظور مطالعه نیروهای اعمال شده بر اسکی‌باز، برحسب میزان سرعت ورزشکار، مقدار نیروهای ایرودینامیکی محاسبه شدند. برای حل میدان جریان از روش حجم محدود در آن استفاده شد. در این تحقیق، جریان سیال در اطراف اسکی‌باز به روش عددی حجم محدود شبیه‌سازی گردید. میدان جریان با فرض جریان آشفته و جریان پایا مدل‌سازی و حل شد. نتایج این مطالعه با تحقیقات قبلی مقایسه و اعتبار سنجی شد. پس از اعتبار سنجی نتایج رابطه بین سرعت جریان و نیروهای پسا و برآ مشخص شد. با بررسی ساختار گردابه نقاط اصلی افت فشار مشخص شد. نتایج نشان می‌دهد که نیروی مقاوم ایرودینامیکی در سرعت حداکثر ورزشکار برابر با ۱۸۰ نیوتن است.

واژگان کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، اسکی، نیروهای ایرودینامیکی، پسا، برآ

۱- دانشجوی دکتری تخصصی تبدیل انرژی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی
۲- استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، EftekhariYazdi@Yahoo.com

نیروی مقاومت در هوا محدودکننده سرعت نهایی اسکی در پرش‌های بلند است. بهبود عملکرد ورزشکار با استفاده از علم بیومکانیک را می‌توان به بهبود سه عامل افزایش نیروی پیشران، کاهش نیروهای مقاوم و بهبود کارایی تقسیم نمود. با توجه به اینکه نیروی پیشران در پرش اسکی وجود ندارد، عمده بهبود در این زمینه محدود به کاهش نیروی مقاوم از سمت هوا بر بدن و تجهیزات ورزشکار است. در مسابقات اسکی آلپاین ورزشکاران اغلب از سرعت ۱۲۰ کیلومتر در ساعت عبور می‌کنند [۱]. مقاومت هوایی به‌طور قابل توجهی بر زمان‌های رقابت تأثیر می‌گذارد. تا به امروز، تحقیقات قابل توجهی در مورد مقاومت هوا در اسکی آلپاین انجام گرفته است. بیشتر مطالعات با استفاده از تونل‌های باد برای بررسی ارتباط بین نیروهای ایرودینامیکی و نحوه قرارگیری ورزشکار و همین‌طور طراحی تجهیزات اسکی متمرکز بوده‌اند [۲-۳]. اگرچه مطالعات را می‌توان با آزمایشات تونل باد انجام داد، اما طول کشیدن هر آزمایش و تأمین هزینه این دست مطالعات بسیار دشوار است.

یک‌راه مؤثر برای تجسم جریان در اطراف بدن اسکی‌باز و بررسی ویژگی‌های ایرودینامیکی استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است [۴]. با انجام شبیه‌سازی می‌توان توزیع فشار در هر قسمت از بدن اسکی‌باز را مشخص نمود و در راستای کاهش میزان نیروهای پسا راهکار ارائه نمود. به‌طور خاص، توزیع نیروی پسا یا درگ برای هر قسمت از بدن اسکی‌باز در حین پرش قابل برآورد است، همچنین علاوه بر مشخص شدن توزیع نیروی پسا میدان جریان در اطراف ورزشکار مشخص خواهد شد که بر اساس آن می‌توان به عنوان پایه‌ای برای نحوه قرارگیری بدن ورزشکار و همین‌طور طرح‌های جدید برای تجهیزات اسکی استفاده کرد. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی عددی می‌توان ابزارهای مربوط به ورزشکار را نیز بهبود بخشید. برونلی و همکاران [۵] با بررسی ایده استفاده از تولیدکننده گردابه به این نتیجه رسیدند که به این روش با کاهش نیروی پسا می‌توان زمان مسابقه را در حدود صدم ثانیه بهبود بخشید که در مسابقات حرفه‌ای گاهی باعث پیروزی یا شکست می‌شود. البته در کنار شبیه‌سازی روش‌های تجربی و تصویر سازی نیز به‌منظور اعتبار سنجی به کار گرفته می‌شوند، به عنوان نمونه ترا و همکاران [۶] با تزریق ذرات و تحلیل تصاویر به روش PIV ضریب پسا در اجسام با توجه به کاربردهای ورزشی را بررسی نمودند.

ورزشکار در حین اسکی تجهیزاتی از قبیل چوب اسکی، میله اسکی، چکمه و کلاه ایمنی را همراه دارد. در مدل کامپیوتری که در نرم افزار گمبیت تولید شد، این جزئیات بر اساس نمونه واقعی مدلسازی شدند.

شبکه محاسباتی در این مطالعه بر اساس آتالیز استقلال از شبکه تولید شد، به این ترتیب که سه شبکه مختلف با تعداد سلول. این شبکه ساختار به‌طور کامل نمیتواند ساختارهای پیچیده را نشان دهد اما به دلیل محدودیت ها منابع محاسباتی به کار گرفته شد، در مطالعات قبلی نیز چنین شبکه‌هایی مورد استفاده قرار گرفته است [۷-۸]. سرعت جریان در ورودی سرعت به از ۱۰ تا ۴۰ متر بر ثانیه تنظیم شده است. خروجی فشار ثابت و برابر با فشار سطح دریا تعریف شده است. فرض بر این بود که بر روی بدن ورزشکار سیال شرط عدم لغزش را دارا است. سایر ابعاد غیر از ورودی سرعت و خروجی فشار، از نوع شرط مرزی تقارن اعمال شدند. در این مطالعه، شبیه‌سازی‌های ایرودینامیکی با استفاده از نرم افزار تجاری فلوئنت انجام گرفت. پارامترهای مربوط به شرایط مرزی و ثوابت مربوط به مدل آشفتگی بر اساس مطالعات پیشین اعمال شدند [۹]. به دلیل اینکه عدد رینولدز حاکی از آشفته بودن جریان دارد، مدلسازی آشفتگی بر اساس مدل کی-پسیلون انجام شد [۱۰]. بررسی عددی نحوه شکل گیری گردابه‌ها و مباحث مربوط به آن در منابع مورد توجه قرار گرفته است [۱۱-۱۴]. آسای و همکاران [۱۳] به بررسی مقاومت هوا در ورزش اسکی پرداختند. آنها به دو روش تجربی و عددی این موضوع را بررسی نمودند. از نتایج تجربی مقاله فوق به‌منظور اعتبار سنجی مطالعه حاضر استفاده شده است. علاوه بر این در مطالعه اولفمارک [۱۵] نیز ضریب درگ ورزشکار گزارش شده است که مقدار آن در حدود ۰.۵ است، که از این مقدار نیز جهت اعتبار سنجی استفاده خواهد شد.

در مطالعه حاضر رابطه بین سرعت مسابقه و نیروهای ایرودینامیکی



شکل ۱. هندسه میدان جریان و اسکی‌باز [۱۳]

در حالت پرش در اسکی کوهستان با استفاده از شبیه‌سازی عددی بررسی شده است. هندسه ورزشکار مشابه با یکی از مطالعات قبلی که با استفاده از تونل باد انجام گرفته است طراحی شده است. از نتایج مطالعه مورد اشاره جهت صحت سنجی نیز استفاده شده است. هدف دیگر مطالعه بررسی توزیع نیروی پسا در هر قسمت از بدن ورزشکار و همچنین مطالعه ساختار گردابه در میدان جریان حول ورزشکار است. در شکل ۱ ورزشکار واقعی در تونل باد نمایش داده شده است. اگر بدن اسکی‌باز به عنوان ایرفویل در نظر گرفته شود، با مطالعه جریان سیال، نیروهای برا و پسا قابل محاسبه می‌باشند و از برآیند آنها مقدار نیروی مقاوم به دست می‌آید.

۲- تئوری

ناویر و استوکس روابط حاکم بر حرکت سیالات دارای لزجت را برای اولین بار پایه ریزی نمودند. معادله ناویر-استوکس یکی از پیچیده‌ترین مسائل ریاضی است که هنوز جواب عمومی برای آن یافت نشده است. تاکنون حتی از یکتا بودن جواب این معادله دیفرانسیل پاره‌ای غیرخطی نیز نمی‌توان مطمئن بود. به همین علت به غیر از تعدادی مسائل ساده، برای توصیف جریان سیال از روابط شبه تجربی و یا روش‌های عددی استفاده می‌شود. یک تفاوت عمده در مفهوم اصطکاک بین سیالات و جامدات وجود دارد. در جامدات گفته می‌شود که نیروی اصطکاک متناسب با نیروی به هم فشرده شدن دو سطح است. اما در سیالات اصطکاک از چسبیدن لایه بسیار نازک سیال به سطح جسم غوطه‌ور پدید می‌آید. صرف نظر از مقدار لزجت سیال، همواره چنین لایه‌ای وجود دارد که سیال با سرعت جسم غوطه‌ور حرکت خواهد کرد. هر دو مولفه عمودی و مماسی سرعت سیال نسبت به سطح جسم جامد برابر صفر می‌شوند که به این پدیده شرط عدم لغزش گفته می‌شود. اگر عبارات فیزیکی موجود در معادله ناویر-استوکس بر مقادیر شاخص فیزیکی تقسیم شوند، معادله بدون بعد ناویر-استوکس حاصل می‌شود. در مکانیک سیالات به نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجی عدد رینولدز گفته می‌شود، که مقدار آن مفهوم مهمی در بررسی مکانیک سیالاتی یک میدان جریان دارد. رابطه ۱ تعریف عدد رینولدز را بیان می‌کند.

$$Re = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (1)$$

شکل بدون بعد معادله ناویر-استوکس اهمیت عدد رینولدز در جریان سیال را نشان می‌دهد. با مشاهده رابطه ۲ می‌توان نتیجه‌گیری نمود که در دو مساله مشابه از لحاظ هندسی، اگر اعداد رینولدز برابر باشند، میدان جریان در دو حالت مشابه است.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v = -\nabla p + \frac{1}{Re} \Delta v \quad (2)$$

آزمایش‌های تجربی نشان می‌دهند که جریان می‌تواند دو رژیم کاملاً متفاوت داشته باشد، در سرعت‌های پایین خطوط جریان بسیار هموار و بدون تلاطم هستند، اما با افزایش سرعت و رسیدن به یک سرعت مشخص شکل هموار خطوط جریان دیگر وجود نخواهند داشت و ذرات به شکل آشفته حرکت می‌کنند. عدد رینولدز در هر هندسه خاص نمایانگر وجود جریان آرام و لایه‌ای و یا جریان آشفته است. صرف نظر از مقدار لزجت و عدد رینولدز، شرط عدم لغزش همواره برقرار است. در جریان پشت سر ورزشکار در اسکی و یا جریان پشت یک استوانه، ذرات سیال در داخل لایه مرزی سرعت بسیار کمتری نسبت به جریان سیال در خارج از لایه مرزی دارند. به خاطر وجود اختلاف فشار معکوس سیال دیگر قادر به پیشروی نیست و به سمت عقب و در جهت جریان با سرعت بالا کشیده می‌شود. بنابراین وقتی فشار در راستای جریان افزایش پیدا می‌کند و مقدار این افزایش زیاد است، در نتیجه به احتمال زیاد جدایش قابل توجه در سطح جسم جامد اتفاق می‌افتد. هر چه جسم دارای شکل هموار و منطبق بر خطوط جریان باشد، نیروی پسای کمتری به آن وارد خواهد شد. در نتیجه هزاران سال تکامل در موجودات آبی یا پرندگان در مرتبه دوم اهمیت، شکل بدن آنها به شکل دوکی و هموار در آمده است [۱۶]. همین موضوع علت حرکت سریع آنها است، با نیروی پیشروی کم دارای شتاب زیادی هستند و هنگامی که حرکت می‌کنند سرعت آنها به آسانی کاهش نمی‌یابد. نیروهای ایرودینامیکی به‌طور سنتی و بر اساس قوانین نیمه تجربی به صورت توابعی از سرعت نسبی سیال، سطح مقطع و چگالی سیال تعریف می‌شوند.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d S \rho v^2 \quad (3)$$

$$F_l = \frac{1}{2} C_l S \rho v^2 \quad (4)$$

در روابط فوق S ، سطح جسم در معرض جریان، v سرعت جریان و ρ چگالی سیال است، C_d ضریب پسا و C_l ضریب برا می‌باشند. ضرایب نیروی برا و پسا توابعی از زاویه حمله و نحوه قرارگیری ورزشکار هستند. در اکثر مطالعات پیشین در حوزه ورزش اسکی عموماً تحقیقات تجربی و ضرایب نیروهای برا و پسا در تونل باد مشخص می‌شوند. روش‌های تجربی دارای مشکلاتی هستند که یا به صورت ذاتی یا به صورت عملی بر نتایج تحمیل می‌شوند، به همین دلیل یافتن راه حل جایگزین دارای اهمیت است. استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی می‌تواند برای محاسبه ضرایب نیرویی مورد استفاده قرار گیرد. با فرض اینکه ورزشکار قرارگیری ثابت دارد و آن را در طول پرش تغییر نمی‌دهد می‌توان فرض کرد جریان هوا پایا است، البته می‌توان این قضیه را تعمیم داد و با تقسیم زمان پرش به مراحل مختلف، فرض کرد که جریان در هر مرحله در شرایط پایا است، یعنی شرط شبه پایا برقرار است. مقایسه نتایج محاسبات مبتنی بر روش شبه تعادلی با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش‌های مستقیم نشان داده است که

روش شبه تعادلی مقادیری کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده را تخمین می‌زند. به نظر می‌رسد بزرگتر بودن اندازه نیرو در نتیجه مشخصه‌های ناپایایی جریان حول ورزشکار باشد [۱۷].

۳- شبیه‌سازی عددی

آزمایش روش کارآمدی برای اندازه‌گیری پارامترهای عمومی جریان است، مانند نیروی پسا، نیروی برآ، افت فشار و یا ضرایب انتقال حرارت، در بسیاری از موارد جزئیات هم دارای اهمیت هستند، برای مثال مهم است که بدانیم جدایش جریان کجا صورت می‌گیرد و یا اینکه در کدام نقطه، دمای دیواره از یک حد معین دما تجاوز می‌کند. در جایی که پیشرفت‌های تکنولوژی و رقابت نیاز به بهینه‌سازی طراحی دارد و یا در یک کاربرد با تکنولوژی بالا نیازمند دانستن رفتار جریان هستیم. استفاده از آزمایش ممکن است وقتگیر یا هزینه‌بر باشد، در نتیجه یافتن راه حل جایگزین اهمیت بسیار دارد. معادلات حاکم بر دینامیک سیالات از چند قرن پیش شناخته شده‌اند، اما این معادلات به جز در موارد معدودی حل تحلیلی ندارند. جواب‌های تحلیلی موجود در درک اصول جریان سیال بسیار سودمند هستند، اما به ندرت در کاربردهای مهندسی قابل استفاده هستند. به همین دلیل مهندسان به‌طور سنتی به استفاده از روش‌هایی غیر از روش حل تحلیلی روی آورده‌اند.

جریان و پدیده‌های مرتبط را می‌توان با معادلات دیفرانسیل پاره‌ای توصیف نمود. برای این معادلات به جز در موارد خاص جواب تحلیلی وجود ندارد. برای محاسبه جواب تقریبی به صورت عددی باید از تقریب‌های گسسته‌سازی و تبدیل معادلات دیفرانسیل به دستگاه معادلات جبری استفاده کنیم. تقریب‌ها در حوزه‌های کوچک از مکان و زمان اعمال می‌شوند و نتایج حل عددی هم در نقاط گسسته از فضا و زمان ارائه خواهند گردید. همانند آزمایش تجربی که کیفیت ابزارهای اندازه‌گیری دقت جواب را تعیین می‌کنند، در روش حل عددی کیفیت گسسته‌سازی دقت جواب را تعیین خواهد نمود. تعدادی از مشکلات مربوط به روش‌های تجربی در بررسی نیروی ایرودینامیکی در ورزش اسکی بیان شدند. برخی از این مسائل به راحتی توسط روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی قابل حل هستند. تغییر دادن شرایط مرزی هم در روش عددی بسیار آسانتر از تغییر پارامترهای آزمایش تجربی است. به عنوان مثال تغییر سرعت پس از تولید شبکه محاسباتی چندان ایجاد مشکل نخواهد کرد. علاوه بر آن در حل عددی میدان جریان، اگر بخواهیم معادله ناویر استوکس سه بعدی را به صورت دقیق حل کنیم، مجموعه‌ای از داده‌ها را به دست خواهیم آورد که می‌توان هر کمیت فیزیکی مهم را از آنها استخراج کرد. در حالی که در آزمایش‌های تجربی اندازه‌گیری هر پارامتر دلخواه مستلزم داشتن ابزار مستقل است.

۳-۱ روش حجم محدود

در روش حجم محدود از شکل انتگرالی معادلات بقا استفاده می‌شود. دامنه جواب به تعداد متناهی از حجم‌های کنترل همسایه تقسیم می‌شود و معادلات بقا به هر کدام از حجم‌های کنترل اعمال می‌شوند. در مرکز هر حجم کنترل یک نقطه محاسباتی قرار دارد که مقادیر متغیر در آن محاسبه می‌شوند. برای محاسبه مقادیر متغیر در سطوح حجم کنترل از میانبایی بین نقاط استفاده می‌شود. انتگرال‌های سطحی و حجمی با تقریب مناسب محاسبه می‌شوند. در نتیجه برای هر حجم کنترل یک معادله جبری به دست می‌آید، که تعدادی از مقادیر نقاط همسایه هم در آن وجود دارد. روش حجم محدود می‌تواند در هر نوع شبکه‌ای به کار برده شود، بنابراین برای هندسه‌های پیچیده مناسب است. شبکه تنها مرزهای حجم کنترل را نشان می‌دهد و نیازی نیست وابسته به مختصات باشد. تا زمانی که انتگرال سطحی (نشان دهنده شار جابه جایی و نفوذ) در حجم‌های کنترل با مرز مشترک یکسان باشند، این روش در ذات پایستار است.

روش حجم محدود احتمالاً ساده‌ترین و قابل فهم‌ترین روش برای برنامه‌نویسی است [۱۸]. تمام عبارت‌هایی که باید تقریب زده شوند معنای فیزیکی دارند. به همین علت مهندسان به این روش علاقه مند هستند. عیب این روش در مقایسه با روش تفاضل محدود، مشکل بودن توسعه روش‌های بالاتر از مرتبه دوم در سه بعد است. مشکل از آنجا ناشی می‌شود که در روش حجم محدود از سه مرحله تقریب میانبایی، مشتق‌گیری و انتگرال‌گیری استفاده می‌شود.

در روش حجم محدود از شکل انتگرالی معادلات پیوستگی استفاده می‌شود. اگر معادله کلی پایستگی برای کمیت ϕ را بررسی و فرض شود که میدان سرعت و تمام خواص سیال معلوم هستند. معادله ۵ پیوستگی را تضمین می‌کند.

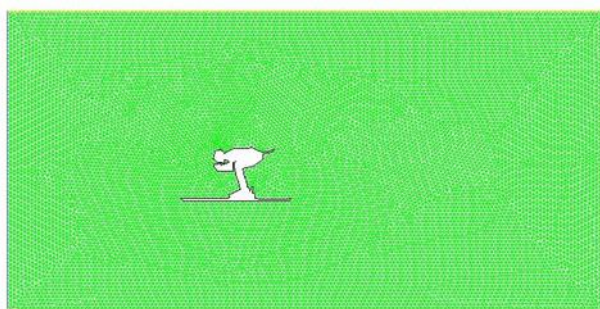
$$\int_S \rho \phi v \cdot n dS = \int_S \Gamma \text{grad} \phi \cdot n dS + \int_{\Omega} q_{\phi} d\Omega \quad (5)$$

که ϕ کمیت فیزیکی، n بردار یک‌ه عمود بر سطح، Γ ضریب نفوذ، q شار مرزی و Ω مرز دامنه می‌باشند. معادله پایستگی انتگرالی به هر کدام از حجم‌های کنترل در دامنه جواب اعمال می‌شود. اگر معادلات مربوط به کل حجم‌های کنترل را جمع کنیم،

با از بین رفتن انتگرال‌های سطح در حجم‌های کنترل داخلی، یک معادله کلی پابستگی به دست می‌آید. بنابراین پابستگی کلی در داخل خود روش حجم محدود ایجاد می‌شود و این یک مزیت اساسی برای روش حجم محدود است. برای به دست آوردن معادله جبری برای یک حجم کنترل خاص، باید تقریب انتگرال‌های سطح و حجم را محاسبه کرد.

۳-۲ مدل‌سازی

ابتدا ورزشکار با استفاده از نرم افزار طراحی مهندسی سالید ورکز^۱ و با استفاده از اندازه‌گیری ابعاد به‌طور دستی ایجاد گردید. اصلاحاتی در جزئیات ریز صورت پذیرفت، با این وجود مشخصه‌های اصلی حفظ شدند. مدل‌سازی با اندازه‌گیری مستقیم از ورزشکار اسکی طراحی به صورت دستی انجام پذیرفت. مدل هندسی و شبکه محاسباتی در شکل ۲ ارائه شده است. پس از طراحی اولیه، تغییرات نهایی در مدل در نرم افزار گمبیت^۲، که پیش پردازنده نرم افزار حل است و شبکه محاسباتی را تولید می‌کند، صورت پذیرفت. روند تولید شبکه محاسباتی در دینامیک سیالات محاسباتی به‌طور معمول عبارت است از شبکه بندی ریز در ناحیه اطراف جسم که شامل لایه مرزی می‌شود و شبکه بندی درشت تر در نواحی دور از دیواره‌ها که گرادیان سرعت ناچیز و در نتیجه لزجت سیال اهمیت کمتری دارد.



شکل ۲- شبکه محاسباتی میدان جریان حول ورزشکار

فضای اطراف ورزشکار نیز با استفاده از نرم افزار پیش پردازنده ایجاد شد. میدان جریان سیال با حذف ورزشکار از میدان خارجی، با تولید یک فضای هندسی مستطیلی شکل که در داخل آن حفره‌ای به شکل انسان قرار دارد، به دست آمد. فضای هندسی حاصل به‌منظور استفاده برای حل دینامیک سیالات محاسباتی باید شبکه بندی شود. به خاطر پیچیدگی شکل، شبکه غیر ساختار یافته با سلول‌های هرمی شکل مورد استفاده قرار گرفت.

۴- نتایج

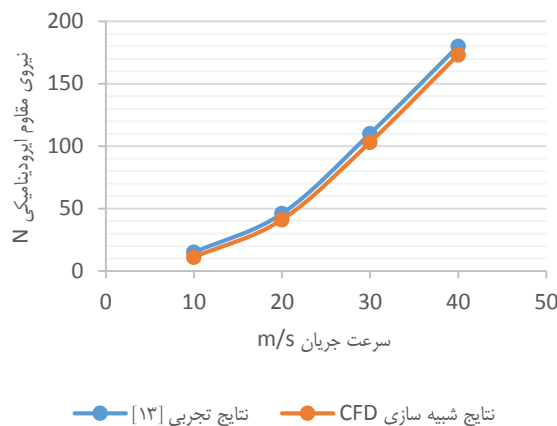
هوا با خواص ثابت در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد بعنوان سیال فرض شد. فرض تراکم ناپذیری در شرایط موجود کاملاً معقول است. چون تغییرات دما قابل صرف نظر هستند، از معادله انرژی صرف نظر کرده و تنها معادلات پیوستگی، مومنتوم و آشفتنگی حل می‌شوند. معادلات مومنتوم در مختصات مکانی دارای دقت از مرتبه دوم هستند. شبکه محاسباتی شامل حدود یک میلیون سلول بود. برای حل از نرم افزار فلوئنت^۳ استفاده شد [۱۹]. یوسفی و همکاران [۲۰] و همین‌طور وفادوست و همکاران [۲۱].

برای محاسبه ضرایب نیرویی، ابتدا نیروی وارده از طرف سیال توسط انتگرال گیری فشار روی سطح محاسبه شد، سپس با استفاده از روابط ۳ و ۴ و با جایگذاری مقادیر مرجع ضرایب نیرو محاسبه شدند. به‌منظور اعتبار سنجی نتایج مطالعه حاضر، نیروی ایرودینامیکی مقاومت هوا در این تحقیق که بر اساس شبیه‌سازی عدد محاسبه شد و یک مطالعه تجربی در شکل ۳ نمایش داده شده‌اند.

1 Solid works

2 Gambit

3 Fluent



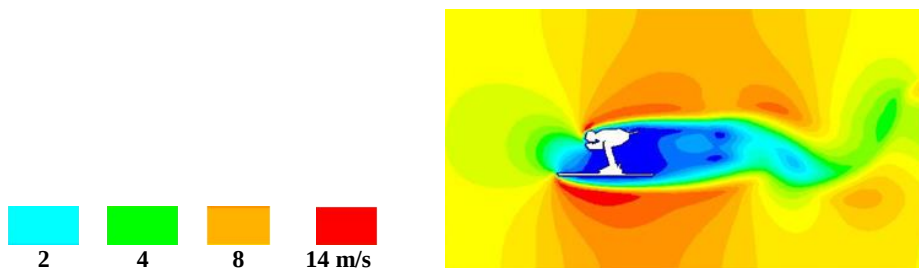
شکل ۳. اعتبار سنجی نتایج شبیه سازی عددی

حداکثر مقدار نیروی پسا در سرعت ۴۰ متر بر ثانیه اتفاق می افتد و برابر با ۱۸۰ نیوتن است. نتایج تجربی و نتایج حاصل از شبیه سازی در سرعت های پایین قدری اختلاف دارند که در محدوده دقت مهندسی است و می توان با دقت مدلسازی آشفتگی آن را توجیه نمود. با افزایش سرعت جریان میزان اختلاف بین دو روش نیز کاهش پیدا می کند. میدان فشار در اطراف ورزشکار در شکل ۴ نمایش داده شده است. گردابه های جدا شده از روی بدن ورزشکار نیز در ادامه جریان قابل مشاهده هستند. لازم به ذکر است که شکل های میدان جریان که در ادامه ارائه شده اند در جریان با سرعت ۱۰ m/s هستند



شکل ۴. میدان فشار در اطراف ورزشکار در سرعت 10 m/s

وجود گردابه ها در میدان سرعت قابل توجه است. گردابه ها جدا شده در پشت سر اسکی بعلت گرادیان سرعت بالا در کناره ایجاد می شوند گردابه ها با تبدیل انرژی سیال به سرعت بر اساس قانون برنولی به کاهش فشار کمک می کند. در نتیجه باعث افزایش نیروی پسای تولید شده می گردد. گردابه های تولید شده با گذشت زمان شروع به حرکت می کنند باعث به وجود آمدن یک جریان جت سیال می شوند، که عکس العمل نیروی جریان جت، به ورزشکار وارد می آید. شکل ۵ به طور مشابه میدان سرعت اطراف ورزشکار را نمایش می دهد. بین شکل ۴ و شکل ۵ می توان به این نکته پی برد که هر جا سرعت کاهش یافته است، مقدار فشار افزایش پیدا کرده است که این مساله با قانون برنولی قابل توجیه است. به همین ترتیب، در اطراف گردابه ها نیز به دلیل افزایش سرعت چرخش، فشار کاهش پیدا می کند. توابع جریان در اطراف ورزشکار نیز در شکل ۶ ارائه شده است.



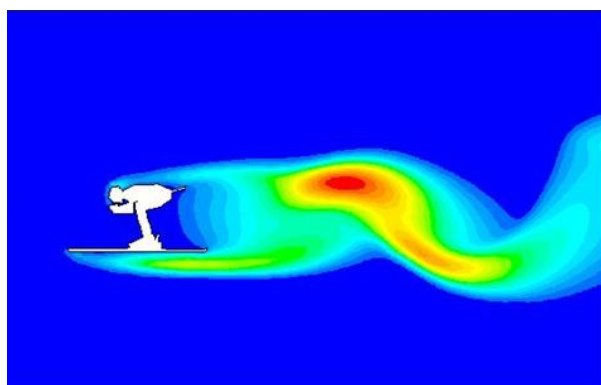
شکل ۵. میدان سرعت در اطراف ورزشکار در سرعت 10 m/s



شکل ۶ توابع جریان در اطراف ورزشکار در سرعت 10 m/s

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مشخص گردید که استفاده از روش‌های دینامیک سیالات محاسباتی کاملاً قابل اجرا و دارای کاربرد در بررسی حرکت و نیروهای وارد بر ورزشکار در ورزش اسکی است. البته در صورت حرکت ورزشکار، به‌منظور شبیه‌سازی دقیق جریان به روش دینامیک سیالات محاسباتی، تهیه فیلم از حرکت ورزشکار و دانستن مشخصات سینماتیکی اعضا بدن لازم است. ملاحظات در مورد مشخصات میدان جریان و به ویژه بررسی صحت فرض پایا بودن جریان صورت پذیرفت. وجود گردابه‌ها در میدان جریان نشان می‌دهد که انرژی سیال از فشار به سرعت تبدیل می‌شود و این موضوع باعث افزایش اختلاف فشار در دو طرف می‌شود. مدلسازی آشفتگی در شبیه‌سازی عددی اهمیت قابل توجهی دارد، انرژی جنبشی آشفتگی در شکل ۷ نمایش داده شده است، که تأثیر ورزشکار بر ایجاد آشفتگی را در میدان جریان نمایش می‌دهد.



شکل ۷ وجود گردابه‌ها در میدان جریان سیال حول ورزشکار

به‌منظور محاسبه ضریب پسا، سطح برخورد ورزشکار در حالت خمیده برابر با ۰,۴ متر مربع در نظر گرفته شد. چگالی هوا نیز ثابت و برابر با ۱,۲ کیلوگرم بر متر مکعب لحاظ شد. در نتیجه ضریب درگ نیروی مقاوم بر ورزشکار نیز مقدار ثابت و در حدود ۰,۴۵ محاسبه شد.

فهرست علائم

علائم یونانی:	زیرنویس‌ها:		
α	زاویه حمله	d	پسا
ρ	چگالی (kgm^{-3})	l	برا
μ	لزجت دینامیکی ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$)		
φ	میدان کمیت فیزیکی		
Γ	ضریب نفوذ		
Ω	مرز دامنه		
C	ضریب نیرو		
P	فشار ($\text{kgm}^{-1}\text{s}^{-2}$)		
F	نیرو (kgms^{-2})		
V	سرعت (ms^{-1})		
n	بردار یک‌ه عمود بر سطح		
S	سطح جسم در معرض جریان (m^2)		
q	شار مرزی کمیت فیزیکی		

1. Brownlie L, Larose G, D'Auteuil A, Allinger T, Meinert F, Kristofic P, Dugas S, Boyd R, Stephens D. Factors affecting the aerodynamic drag of alpine skiers, The International Sports Engineering Association (ISEA), Procedia Eng 2010; 2:2375-80.
2. Luethi SM, Denoth J. The influence of aerodynamic and anthropometric factors on speed in skiing, Int J Sport Biomech 1987; 3:345-52.
3. Barelle C, Ruby A, Tavernier M. Experimental model of the aerodynamic drag coefficient in alpine skiing, J Appl Biomech 2004; 20:167-76.
4. Thompson BE, Friess WA, Knapp KN II. Aerodynamics of speed skiers, Sports Eng 2001; 4:103-12.
5. Len Brownlie, Yuki Aihara, Jorge Carbo Jr, Edward Harber, Ryan Henry, Irena Ilchev, Peter Ostafichuk, The Use of Vortex Generators to Reduce the Aerodynamic Drag of Athletic Apparel, Procedia Engineering 147, 2016, 20 – 25.
6. W. Terra, a. Sciacchitano, F. Scarano, W. van Oudheusden, Drag resolution of a PIV wake rake for transiting models, Experiments in Fluids, 2018, 59:120.
7. Fares E, Nölting S. Unsteady flow simulation of a high-lift configuration using a lattice Boltzmann approach, AIAA Paper, 2011; 2011-869.
8. Chen J, Volumetric formulation of the lattice Boltzmann method for fluid dynamics: Basic concept, Phys. Rev E 1998; 58(3):3955-3963.
9. Yu D, Mei R, Shyy W, A multi-block lattice Boltzmann method for viscous fluid flows, Int J Numer Meth Fluids 2002; 39:99-120.
10. Chen S, Doolen G. Lattice Boltzmann method for fluid flows. Ann Rev Fluid Mech 1998; 30:329-64.
11. Kotapati R, Keating A, Kandasamy S, Duncan B, Shock R, Chen H. The lattice-Boltzmann-VLES method for automotive dynamics simulation, a review, SAE Paper, 2009; 2009-26-057.
12. Jeong J, Hussain F, On the identification of a vortex, J Fluid Mech, 1995; 285:69-94.
13. Takeshi Asai, Sungchan Hong, Koichi Ijuin, Flow visualization of downhill ski racers using computational fluid dynamics, Procedia Engineering 147, 2016, 44 – 49.
14. Chakraborty P, Balachandar S, Adrian R J, On the relationships between local vortex identification schemes, J Fluid Mech, 2005; 535:189-214.
15. Ola Elfmark, Modelling of Aerodynamic Drag in Alpine Skiing, Norwegian University of Science and Technology, 2017.
16. M. Nagai, Thinking Fluid Dynamics with Dolphins, IOS Press, Japan, 2002.
17. V. Gourgoulis, N. Aggeloussis, N. Vezos, P. Kasimatis, P. Antoniou, G. Mavromatis, Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles, Journal of Biomechanics, Vol. 41, pp. 208–215, 2008.
18. J. H. Ferziger, M. Peric, Computational Methods for Fluid Dynamics, Springer, Germany, 2002.
19. FLUENT 6.3 User's Guide, Fluent inc, 2019.
20. A.R. Yousefi, R. Shafaghat, M. Mohebbi, A. Ramiar, Drag reduction in a high-speed planing hull using tunnels, Modares Mechanical Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 51-59, 2014. (In Persian)
21. Vafaeseefat, M. S. Seif, M. Tavakoli Dakhrabadi, Hull form hydrodynamic optimization of high speed planning craft with variable deadrise angle by using genetic algorithm, Scientific Research Monthly Journal Modares Mechanical Engineering, Vol. 12, No. 4, PP. 80-90, 2012. (In Persian)

ارزیابی و تحلیل شبکه‌های حسگر مبتنی بر رویکرد الگوی سازی

محمدجواد صفائی^۱، سیدعلی رضوی ابراهیمی^{۲*}،

زهرا جورمند^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۳۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۲

کد مقاله: ۵۳۵۵۶

چکیده

پژوهش حاضر، به ارزیابی و تحلیل شبکه‌های حسگر مبتنی بر رویکرد الگوی سازی پرداخته شده است. برای نیل به این هدف، ابتدا سعی شده تا از سناریوی ای استفاده کنیم که از خوشه‌بندی شبکه بهره می‌برد. ابتدا با به دست آوردن توزیع‌های فاصله برای سنسورها با یکدیگر و با سرخوشه (هدر) و نیز توزیع فاصله سرخوشه‌ها تا ایستگاه اصلی، از طریق شبیه‌سازی، توانستیم توزیع تداخل و نتیجتاً توزیع نسبت سیگنال به نویز و تداخل را در این شبکه، برای هر دو لایه درون خوشه و برون خوشه، به دست آوریم و سپس با استفاده از فرمول‌بندی‌های شبکه اقتضایی و سپس تعمیم به حالت خاص سناریوی شبکه سنسوری، فرم‌های مناسب و فرم بسته را در هر دو لایه شبکه، برای تخمین تابع توزیع ظرفیت به دست آورده‌ایم. با مقایسه این نتایج تحلیلی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها، صحت آن‌ها را تصدیق نمودیم. برای بررسی مسئله مقیاس‌پذیری نیز با کمک شبیه‌سازی‌ها به ازای پارامترهای مختلف شبکه، مانند تغییر چگالی سنسورها و سرخوشه‌ها در سطح شبکه، تغییر مقادیر نمای تضعیف کانال، تغییر حد آستانه برای ظرفیت قطع، اضافه نمودن فیدینگ (با توزیع ریلی) و ... مقادیر میانگین و مجموع ظرفیت ارگادیک و قطع را در هر حالت به دست آورده و مقایسه نموده‌ایم. با شروع از سناریوی پراکنده (تنک) و حرکت به سمت سناریوی متراکم (چگال)، ابتدا مقادیر ظرفیت کل با اضافه شدن تعداد سنسورها و نیز افزایش توان دریافتی در سرخوشه‌ها، افزایش یابد.

واژگان کلیدی: ارزیابی، تحلیل، شبکه‌های حسگر، شبیه‌سازی، مقیاس‌پذیری

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- نرم افزار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران، dr_ali_razavi@yahoo.com

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- نرم افزار، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

شبکه‌های سنسوری یکی از پرکاربردترین مباحث روز در بحث جمع‌آوری اطلاعات از محیط پیرامون زندگی انسان می‌باشد. نه‌تنها بررسی محیط اطراف بلکه کنترل آن نیز از کاربردهای شبکه‌های سنسوری است (Rezagah, 2011). در حالتی که سنسورها بدون سیم باشند، در کنار افزوده شدن پیچیدگی، کاربردها و مزایای زیادی نیز حاصل می‌گردد این شبکه از صدها یا هزاران سنسور تشکیل شده‌اند و به هر سنسور نام گره اطلاق می‌شود. در یک سیستم سیمی، نصب حسگرهای زیاد معمولاً به خاطر افزایش هزینه سیم‌کشی میسر نیست. جاهائی که تا پیش‌ازاین غیرقابل دسترس بودند مانند داخل موتورهای کارخانه‌ها و نیز مکان‌های خطرناک و متحرک به‌وسیله WSN ها قابل دسترسی است (Sanatkar&mohammadi, 2010). از نظر ساختاری، شبکه‌های بدون سیم را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. یک دسته با ساختار سلولی هستند که همه گره‌ها مستقیماً با ایستگاه مرکزی^۲ در ارتباط هستند و ارسال و دریافت اطلاعات از یک گره به گره دیگر، با واسطه این ایستگاه مرکزی صورت گرفته و کنترل میشود. دسته دوم شبکه‌های با ساختار اقتضایی (موردی، ادهاک) هستند. در این شبکه‌ها همه گره‌ها از نظر توانایی‌ها و وظایفی که دارند، یکسان هستند. به این ترتیب شبکه‌های اقتضایی بدون سیم، از تعدادی گره تشکیل میشود که قادرند بدون نیاز به ایستگاه مرکزی یا هرگونه تجهیزات زیرساخت^۳ پیش ساخته، بصورت خودکار یک شبکه تشکیل دهند (Rezagah, 2011). در چنین شبکه‌هایی در غیاب ایستگاه مرکزی، خود گره‌ها کلیه وظایف مسیریابی و کنترل شبکه را عمدتاً با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی توزیع شده، بر عهده دارند (Goldsmith, 2005). بدلیل وجود این ویژگی شبکه‌های بدون سیم اقتضایی این ویژگی را دارند که با استفاده از گره‌های موجود، به سرعت تشکیل و راه اندازی شوند. شبکه‌های سنسوری بدون سیم که زیر مجموعه‌ای از شبکه‌های اقتضایی می‌باشند، تفاوت مختصری با آن دارند؛ احتیاج است نهایتاً تمام اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط را، مشابه با روشهای مسیریابی و رله کردن اطلاعات در شبکه‌های اقتضایی، به سمت یک ایستگاه مرکزی منتقل کنند؛ اما این ایستگاه مرکزی بر خلاف شبکه‌های سلولی، نقشی در چگونگی تولید شبکه و کنترل بر نحوه مسیریابی و ارتباط میان گره‌ها یا همان سنسورها، ندارد (Francescheli and Stornelli, 2006).

برای بالا بردن دقت و نزدیک تر شدن به واقعیت، باید حجم داده‌ها افزایش یابد. بدین منظور باید تعداد گره‌های شبکه افزایش یابد. با افزایش تعداد گره‌های یک شبکه حسگر در واحد سطح، علاوه بر افزایش نسبت سیگنال به نویز و تداخل و یا کاهش نرخ خطای بیت^۴ (BER) به علت افزایش توان، توان سیگنال‌های تداخلی رسیده به هر گره نیز بیشتر می‌شود. رسیدن به نقطه بهینه که در آن نسبت سیگنال به نویز و تداخل بیشینه و یا BER کمینه شود، یکی از اهداف ما در این پروژه است که همراه با معیار ظرفیت مطرح می‌گردد. از طرفی باید شرایط کانال همچون تلفات سایه^۵ و محو شدگی در بررسی پارامترهای شبکه نیز لحاظ گردد. یک مسئله مطرح در مورد شبکه‌های حسگر تصویر برداری بدون سیم^۶ بررسی قابلیت مقیاس‌پذیری این شبکه هاست (Li, 2008). رسیدن به اینکه در واقع چه تعداد سنسور می‌تواند در عین حداقل بودن، برای بدست آوردن اطلاعات کامل از محیط، دارای تعداد مناسب و کافی باشد، مبحث اصلی ما در این پایان نامه است که آنرا با عنوان مقیاس‌پذیری، بیان می‌کنیم. مقیاس‌پذیری اینگونه بیان می‌شود که با در نظر گرفتن یک معیار خاص به عنوان معیاری برای کنترل عملکرد^۷، کم شدن یا اضافه کردن چگالی سنسورها در واحد سطح (اگر ناحیه توزیع سنسورها را دو بعدی در نظر بگیریم) چه تاثیری در بهبود یا بدتر شدن این معیار عملکرد، خواهد داشت. می‌توان بهینه ترین حالت را برای چگالی مناسب سنسورها در سناریوهای مختلف توزیع شبکه و برای معیارهای مختص هر کاربرد، محاسبه نمود و در کنار کاهش هزینه‌های اضافه، به بهترین بازدهی سیستم نیز نزدیک شد (Laurence et al, 2010).

در نگاه ما، از زاویه دید لایه فیزیکی به شبکه، معیارهای ظرفیت ارگادیک و ظرفیت قطع و بالتبع نسبت سیگنال به نویز و تداخل، مورد توجه خواهند بود؛ در این میان تخمین ظرفیت شبکه مسئله ایست که به نوعی با سایر مسائل ذکر شده در ارتباط است. تعیین ظرفیت شبکه علاوه بر آنکه برای تضمین کیفیت سرویس^۸ برای کاربران آن مورد نیاز است، در مسیریابی مناسب و کارآمد شبکه نیز موثر است. در شرایطی که بالاتر از حد ظرفیت شبکه به آن بار تحمیل شود، به دلیل وجود تراکم در بعضی گره

1 Cellular

2 Base station

3 Infrastructure

4 BER (Bit Error Rate)

5 Shadowing

6 Imaging Sensor Networks

7 Performance metric

8 Quality of Services (QOS)

ها، تعدادی از بسته های اطلاعات حذف^۱ می شوند. با حذف این بسته ها نه تنها بخشی از دیتای شبکه از بین می رود، بلکه مقداری از اطلاعات مربوط به مسیریابی هم از بین می رود (Haraty et al, 2012).

ارتباط حداکثر میزان ظرفیت یا نرخ انتقالی که می تواند به هر گره اختصاص یابد با تعداد گره های شبکه مسئله مقیاس پذیری شبکه را مطرح می کند؛ از یک طرف با افزایش تعداد گره ها، قابلیت اطمینان و پوشش شبکه افزایش می یابد اما از طرف دیگر هرچه سطح زیر پوشش شبکه بیشتر باشد، برای به مقصد رسیدن اطلاعات ارسالی لازم است که سایر گره ها در مسیریابی و رله اطلاعات همکاری کنند. بنابر این ظرفیت یا نرخ انتقال ای که به هر گره اختصاص می یابد، تنها به ترافیک آن گره وابسته نیست و به باری که از جانب سایر گره ها به آن تحمیل می شود نیز بستگی دارد. این مسئله می تواند شدیداً روی ظرفیت سیستم تاثیر منفی بگذارد (Ananthasubramaniam and Madhow, 2005 and 2007).

بدست آوردن ظرفیت برای سناریو های مختلف بطور تحلیلی، کار دشواری است و نیاز به بهره بردن از تقریب های آماری برای رسیدن به نتایج منطبق بر شبیه سازی هاست. هدف ما اینست که با در نظر گرفتن سناریوی نسبتاً پیچیده اما کاربردی و دارای مزایای فراوان و با در نظر داشتن فرض های ساده کننده و تا حد امکان عملی، مقدار و توزیع ظرفیت را بطور تحلیلی و همراه با شبیه سازی بدست آورده و با بررسی مقیاس پذیری در این شبکه ها، اثرات تعداد سنسورها را بر این معیارهای عملکرد بسنجیم و در صورت امکان مقادیر بهینه ای را برای تعداد مناسب سنسورها بیابیم.

۲- مرور بر پیشینه و تحقیقات انجام شده در شبکه های حسگر

در زیر تحقیقات و مطالعاتی که تا کنون در زمینه های ظرفیت، نرخ انتقال، مقیاس پذیری و سناریو های مختلف در شبکه های بدون سیم اقتضایی و سنسوری صورت گرفته است را بیان می کنیم.

در منبع (Sousa and Silver, 1990) بیان شده است که برای شبکه ای شامل n گره، هر گره می تواند اطلاعات مختلفی برای هر یک از $(n-1)$ گره دیگر ارسال کند و بنابر این ظرفیت شبکه در یک فضای $(n-1)$ بُعدی تعریف میشود. در این حالت تحت هر استراتژی ارسال در شبکه، نظیر استفاده از ارسال با نرخ متغیر^۲، مسیریابی یک مرحله ای (یک گامه)^۳ و چند مرحله ای (چندگامه)^۴، حذف متوالی تداخل^۵ (SIC) و ...، یک نرخ قابل حصول^۶ بین $(n-1)$ زوج-گره مبدا-مقصد بدست می آید. مجموعه تمام این گروه ها، فضای ظرفیت را تشکیل میدهد.

با توجه به اینکه فضای ظرفیت شبکه $(n-1)$ بُعدیست، حتی برای شبکه ای با تعداد محدود، محاسبه فضای ظرفیت قابل تخصیص به هر گره، یک مسئله پیچیده و همچنان حل نشده تئوری اطلاعات است (Gupta and Kumar, 2000). بطور کلی مسئله تعیین ظرفیت در تئوری اطلاعات^۷ در گروه مسائل مربوط به ظرفیت کانال های رله یا کانالهای تداخل دسته بندی می شود که در آن ها یک گره، مبدا و یک گره دیگر مقصد اطلاعات است و سایر گره ها در صورت امکان به عنوان رله در این انتقال اطلاعات کمک می کنند.

در مراجع (Best et al, 2003) فضای ظرفیت برای یک شبکه اقتضایی که در آن بر اساس تقسیم زمانی^۸، منابع در اختیار مسیر های مختلف قرار میگیرند، به صورت تحلیلی برای توپولوژی ها و پروتکلی های ارسالی مختلفی بررسی شده است. با در نظر گرفتن محوشدگی متغیر با زمان برای کانال بدون سیم، ظرفیت برای هر حالت محاسبه شده و نشان داده شده که در هر یک از استراتژی های چندگامه، استفاده مجدد از یک طیف فرکانسی در محدوده های دور از هم^۹ و SIC به شدت ظرفیت را افزایش میدهند و در مقابل کنترل توان^{۱۰} تنها در صورتی می تواند بهبود قابل ملاحظه ای در ظرفیت ایجاد کند که از نرخ ارسال وفقی^{۱۱}، استفاده نشده باشد. محدودیت اصلی نتایج مراجع (Best et al, 2003) در این است که با افزایش تعداد گره ها پیچیدگی روابط و ابعاد ماتریس های فرمول بندی روابط ظرفیت، به سرعت افزایش می یابد.

1 Drop

2 Variable rate transmission

3 Single-hop routing

4 Multi-hop routing

5 SIC (Successive Interference Cancelation)

6 Achievable rate

7 Information Theory

8 Time division

9 Spatial reuse

10 Power control

11 Adaptive rate

در مرجع (Ramanathan and Redi, 2002) یک سری قضایای کلی تئوری اطلاعات درباره اطلاعات متقابل^۱ برای بررسی ظرفیت کانالهای رله معرفی و اثبات شده است که مبنای بسیاری از تحقیقات بعدی در زمینه محاسبه فضای ظرفیت و یا ظرفیت کل کانال در یک شبکه بدون سیم اقتضایی بوده است. با توجه به اینکه به نظر می‌رسید که یافتن پاسخی به صورت یک فرم بسته یا قابل محاسبه برای کل فضای ظرفیت شبکه دور از دسترس باشد، برای بدست آوردن یک دید کلی می‌توان فرم ساده تری از مسئله ظرفیت را در نظر گرفت. بدین ترتیب که بجای آنکه نرخ انتقال قابل حصول بین هردو گره در شبکه مد نظر قرار گیرد، کل ظرفیتی که می‌توان از شبکه بدست آورد بررسی شود. در مرجع (Rezagah, 2011)، برای این مهم فرم تقریبی و فرم بسته را برای شبکه اقتضایی بدست آمده است که ما نیز آنرا برای شبکه سنسوری در دو لایه درون خوشه ای و برون خوشه ای، تعمیم داده ایم و در تحلیل ها به کار برده ایم.

۳- مدل سیستم و سناریوی مورد بررسی در شبکه حسگر بدون سیم

در این بخش مدلهایی را که برای سناریوی شبکه سنسوری در تحلیل و شبیه سازی استفاده خواهیم کرد را بیان می‌کنیم. حتی با فرض مسیریابی و زمانبندی بهینه، ظرفیت اختصاص یافته به هر گره با افزایش تعداد گره های شبکه، به سمت صفر می‌رود. دلیل این مسئله آنست که با افزایش تعداد گره های شبکه، گره های میانی، بخش عمده منابع خود (شامل پهنای باند، زمان، فرکانس و...) را به ارسال بسته های سایر گره ها اختصاص میدهند و بنابر این فقط بخش کوچکی از منابع برای بسته های خودشان باقی می‌ماند. برای جبران این اثر، ما در سناریو ای که در ادامه به آن خواهیم پرداخت، از خوشه‌بندی شبکه و گره های متفاوتی به نام Header به عنوان سرخوشه بهره برده ایم که وظیفه این گره ها صرفا رله کردن اطلاعات (و یا اعمال یک سری پردازش های مفید روی اطلاعات) دریافتی از سنسورهای درون خوشه خود هستند و از طرفی از قابلیت ارسال چندگانه و رله کردن اطلاعات سنسورها توسط دیگر سنسورها صرف نظر کرده ایم. از طرفی هنگامیکه تعداد گره ها به مقادیر بزرگی برسد، در این حالت دیگر روشهای مرسوم برای جمع آوری اطلاعات که بر پایه شبکه سازی بدون سیم چندگانه^۲ هستند، عموماً ناکارآمد خواهند بود؛ خصوصاً هنگامیکه گره کلکتور دور از میدانهای سنسوری باشد. با توجه به کارهای انجام شده در (Rezagah and mohammadi, 2006 and 2009) روشهای چند گانه برای اندازه های خیلی بزرگ شبکه ها توانایی ندارند؛ بنابراین ما در سناریوی خویش از ترکیب خوشه‌بندی شبکه و ارسال تک گانه در هر لایه (که مجموعاً معادل با دوگانه در کل شبکه است اما با تفاوت در فرکانس کاری یا کدینگ مورد استفاده در هر لایه) استفاده می‌کنیم.

مشکل اساسی دیگر در این شبکه ها ی گسترده، مشکل آدرس دهی و مسیریابی برای آنهاست. به منظور حل همزمان مشکل آدرس دهی و مقیاس پذیری، میتوان با کمک تصویر برداری^۳ به منظور رسیدن به یک «شبکه حسگر سنسوری» که در آن سنسورها نقش پیکسل ها را بازی کرده و توسط گره کلکتور تصویر برداری میشوند، پرداخت. سپس کلکتور می‌تواند از پردازش راداری و تصویری بر روی سیگنال دریافتی برای مکان یابی گره ها و نیز از تکنیک مدولاسیون چند کاربره برای مدولاسیون اطلاعات آنها استفاده کند (Ananthasubramaniam and Madhow, 2007). بر این اساس ما از یک معماری از شبکه‌های سنسوری بدون سیم به صورت شبکه‌های سنسوری تصویری است، استفاده کرده ایم که در آن گره ها مانند پیکسل رفتار می‌کنند که به صورت الکتریکی پرتو هدایت ارسالی توسط گره کلکتور (ایستگاه مرکزی) را بازتاب و یا احتمالاً مدوله میکنند. گره کلکتور از رادار های دهانه ترکیبی (SAR) و تکنیک‌های پردازش تصویر برای پیدا کردن مکان گره (سنسور) ها استفاده می‌کند. فرض بر این است که سنسورها نیاز به دانستن مکان خود و همچنین ارتباط با یکدیگر را ندارند و به صورت تصادفی مستقر شده اند. این بخش را که تقریباً متفاوت از هدف ما در این پروژه است را در اینجا بیان نمی‌کنیم و صرفاً ذکر این نکته کفایت می‌کند که نتیجه حاصله از این مباحث در یک کنفرانس بین المللی (IST 2012) چاپ شده است (Haraty et al, 2012). یک شبکه سنسوری دو بعدی به شکل مستطیل داریم (صرف نظر از ارتفاع) که برای جمع آوری اطلاعات تصویری بکار میرود. فرض اطلاعات تصویری برای کلیت مسئله به فرم تصویر های دیجیتالی محدود نشده است و هرگونه اطلاعاتی که بصورت ماتریس های دو بعدی، از محیط جمع آوری می‌شود را شامل می‌شود. تفاوت با سنسورهای عادی که اطلاعات را یک بعدی جمع آوری می‌کنند، در بالا بودن حجم اطلاعات در حالت تصویری و نیاز به پهنای باند بیشتر برای ارسال در نرخ بالاتر است تا تأخیر تأثیر زیادی بر ارسال ها نداشته باشد و در نتیجه فیدینگ بصورت فرکانس گزین^۴ خواهد بود.

1 Mutual information

2 Multi Hop

3 Imaging

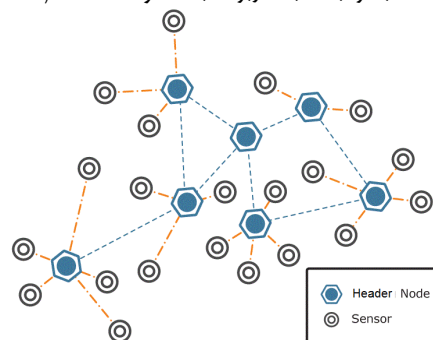
4 Frequency Selective

در این شبکه N سنسور (گره) داریم که در مکانهای تصادفی با توزیع یکنواخت و مستقل از همدیگر واقع شده اند. در بعضی حالات می توان مکان این گره ها را بصورت یکنواخت یا روی اضلاع یا رئوس یک گراف منظم قرار داد که مزایا و معایب خود را داراست. همانند سنسورها، H هدر (سرخوشه) هم داریم که در مکانهای تصادفی با توزیع یکنواخت و مستقل از همدیگر و مستقل از سنسورها، قرار گرفته اند. یک گره مرکزی یا ایستگاه پایه (BS) داریم که می تواند بسته به کاربرد آن، در مرکز ناحیه یا در ضلع کناری ناحیه قرار گیرد. در ابتدای تحلیل ما آنرا در ضلع کناری ناحیه قرار دادیم اما برای بوجود آمدن تقارن آنرا به مرکز ناحیه سنسوری منتقل کردیم. سنسورها و هدرها دارای آنتن همه سویه^۲ هستند؛ البته می توان از آنتن های جهتی نیز برای دیگر کاربرد ها استفاده کرد. رنج حسگری برای سنسورها را R در نظر می گیریم که متناسب با ابعاد ناحیه در حدود چندین متر انتخاب خواهد شد. رنج موثر ارسال برای سنسورها را r (range) طوری در نظر می گیریم که از رنج حسگری بیشتر باشد تا بتواند به فواصل دورتری اطلاعاتش را ارسال کند؛ اما کماکان در حدود چندین متر خواهد بود. با هدف بررسی اثرات تداخل در مدل فیزیکی و تعیین نسبت سیگنال به نویز، از کنترل دسترسی کد CDMA بهره برده ایم و فرض بر این است که کدها متعامد بوده و تعدادشان به اندازه کافی زیاد است که مشکل تعداد کد نداشته باشیم. از طرفی چون از کدینگ متعامد بهره می بریم نیازی به تعیین رنج تداخل و استفاده از پروتکلی حسگر حامل و جلوگیری از تصادم^۳، CSCA نمی باشد (Sanatkar and Mohammadi, 2010).

دو سناریو برای معماری شبکه میتوان به کار برد:

- معماری یکنواخت^۴: که در آن همه گره ها (سنسورها) نقش یکسانی را برای جمع آوری اطلاعات و رله کردن آن ایفا می کنند. در این سناریو قابلیت ارسال و انتقال چندگانه^۵ یا تک گانه اطلاعات وجود دارد.
- معماری سلسله مراتبی^۶: در این معماری شبکه را به منظومه (خوشه) های کوچک تقسیم می کنیم و یک یا چندین گره را به عنوان سرخوشه برای هر کدام از این مجموعه ها در نظر می گیریم. سنسورهای درون هر منظومه به شکل یک شبکه کوچک یکنواخت، اطلاعات تولیدی از محیط را به سرخوشه خودشان ارسال می کنند و این سرخوشه ها، در فرکانس دیگری (برای جلوگیری از تداخل با فرکانس ارسال سنسورها) و یا در کدینگ دیگری که پیوستگی کمی با کدهای سنسورها دارد و یا حتی در بازه های زمانی ای که توسط تقسیم زمان به هدرها اختصاص می یابد، شبکه یکنواختی تولید کرده و اطلاعاتشان را بطور تک گانه یا چند گانه به سمت ایستگاه اصلی یا گره مقصد ارسال می کنند (Rezagah and Mohammadi, 2011).

بر خلاف سنسورها، هدر (سر خوشه ها) از محیط اطلاعاتی جمع نمی کنند بلکه فقط وظیفه ارسال اطلاعات دریافتی از سنسورها را به ایستگاه مرکزی دارند. بدین منظور نیاز است تا از نظر توانایی ها دارای ویژگی های متفاوتی با سنسورها باشند خصوصا اینکه چون رنج ارسالشان در حالتی که مستقیما به ایستگاه مرکزی ارسال می کنند، باید حداقل به اندازه نصف طول شبکه (اگر ایستگاه در مرکز قرار گرفته باشد) باشد، در نتیجه باید توان خیلی بیشتری نسبت به سنسورها ذخیره کرده باشند. همچنین گاهی برای بالابردن بهره شبکه و بهبود کارایی قابلیت هایی را به هدرها اضافه می کنند که نیازمند پیچیدگی بیشتر هدرهاست، مثلا قابلیت تشخیص خطا و تصحیح آن یا قابلیت های فشرده سازی اطلاعات دریافتی از سنسورها قبل از ارسال و یا قابلیت مدیریت بر عملکرد سنسورهای درون خوشه ای و نیز توانایی برای مسیر یابی سنسورها و ... که همگی این قابلیت ها، نیاز به افزایش هزینه برای رسیدن به عملکرد مناسب تر، بسته به کاربرد شبکه، خواهند داشت (Akeildz et al, 2007).



شکل ۱: یک نمونه شبکه خوشه بندی شده با قابلیت چندگانه در هدرها

- 1 Base Station or Sink
- 2 Omnidirectional
- 3 Carrier Sense- Collision Avoidance (CSCA)
- 4 Flat
- 5 Multi-Hop or Single-Hop
- 6 Hierarchical

برای خوشه‌بندی شبکه و نحوه انتخاب گره‌های سرخوشه، راه‌های زیادی وجود دارد؛ یکی از روشهای مرسوم و در عین حال ساده، اینست که سنسورها بسته به اینکه حداقل و حداکثر فاصله برای ارسالشان چقدر است، در این بازه نزدیکترین هیدر را به خودشان به عنوان سرخوشه خودشان، انتخاب کنند. در این حالت اگر در رنج ارسال سنسوری، هیدر ای قرار نداشت این سنسور می‌تواند با ارسال اطلاعاتش به سنسورهای مجاورش که احتمالا در خوشه دیگری قرار دارند، با واسطه این سنسور در خوشه ای قرار بگیرد؛ که البته به علت پیچیده شدن موضوع در سناریو ما، از قابلیت چند گامه درون کلاستر ها و رله کردن اطلاعات دیگر سنسورها توسط یک سنسور صرف نظر کرده ایم که نهایتا می‌توان با انتخاب مناسب تعداد هیدر ها (عموما تعداد هیدر ها از جذر تعداد سنسورها بیشتر باشد و یا رنج ارسال سنسورها به حد کافی باشد)، فقط تعداد خیلی اندکی از سنسورها بدون خوشه باقی بمانند و در تشکیل شبکه همکاری نکنند (Gastper and Vetterli, 2002).

۴- مدل سازی و اثر پارامتر ها و تحلیل آن‌ها

عواملی نظیر نویز و محوشدگی که قبلا برای ساده‌تر شدن تحلیل‌ها نادیده گرفته شده بودند در شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شوند و بسته به نیاز آن‌ها را اعمال میکنیم یا نمی‌کنیم. همچنین، برخلاف تحلیل ریاضی که در آن تنها یک تداخل کننده به عنوان عامل نامطلوب غالب در نظر گرفته شده بود، در شبیه‌سازی اثر توان دریافتی از کلیه تداخل کننده‌ها به حساب می‌آید. در اینجا به دو نکته توجه می‌کنیم.

اولا اینکه چگونه می‌توان تشخیص داد آیا همه این سنسورها متعلق به آن هیدر بوده اند که بتوانند اطلاعات را منتقل کنند یا بخشی از اطلاعات از دست رفته است؟

دوما، چه تعداد سنسور برای تشخیص یک پدیده کافی است؟

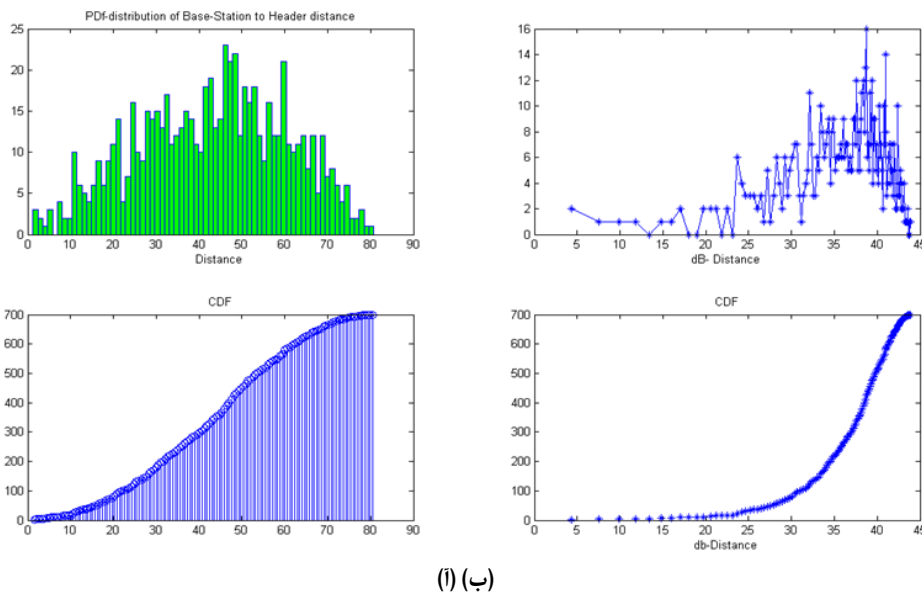
برای پاسخ بخش اول، نیازی نداریم که بدانیم هر سنسور متعلق به کدام هیدر و خوشه است اما در صورت نیاز، می‌توان توسط یک الگوریتم دو مرحله ای آنرا بدست آورد. در مرحله اول تعیین مکان سنسورها و هیدر ها به هر طریقی و در مرحله دوم یک الگوریتم ریاضی ساده برای تعیین نزدیک ترین هیدر ها به سنسورها و البته با در نظر گرفتن محدودیت رنج ارسال سنسورها. اما اینکه تمام سنسورها بتوانند حداقل در رنج ارسال خود، یک هیدر را مشاهده کنند تا در صورت فعال شدن بتوانند اطلاعات را مخابره کنند، خود یک معیار مهم است که مقیاس‌پذیری و میزان چگالی هیدر ها را در لایه بالایی شبکه بر اساس مساحت ناحیه، چگالی سنسورها، رنج ارسال سنسورها و فراوانی وقوع پدیده های طبیعی، مشخص می‌کند. این بخش حداقل نیاز ما برای جلوگیری از ازدست دادن تشخیص یک پدیده و یا جلوگیری از ایزوله شدن یک یا چند سنسور در شبکه را مطرح میکند اما پاسخ به سوال دوم که حداقل تعداد سنسورها برای نه فقط تشخیص رخداد یک پدیده بلکه برای تشخیص آن و جمع آوری اطلاعات، چقدر است، خود یک محدودیت یا پارامتر مهم دیگر است که در تعیین مقیاس‌پذیری نقش اساسی دارد.

فرض می‌کنیم برای تشخیص هر پدیده و جمع آوری اطلاعات آن، نیاز باشد که حداقل ۵ سنسور فعال شده و آنرا تشخیص بدهند؛ پس می‌توان معیاری برای مقیاس‌پذیری اینگونه تعریف کرد: هرگاه حداقل تعداد سنسور لازم برای جمع آوری اطلاعات (گرفتن تصویر)، برای یک پدیده طبیعی فعال نشوند، آنگاه درصدی از حجم اطلاعات مورد نیاز را ازدست داده ایم؛ و اگر چگالی سنسورها را بازمه بدلیل کاهش هزینه و یا دیگر محدودیت ها کاهش دهیم، اطلاعات بیشتری را از دست خواهیم داد و در نتیجه خطای ناشی از قابلیت بازسازی و تحلیل یک پدیده از روی تصاویرش^۱ بیشتر و بیشتر خواهد شد. بسته به اینکه چه حدی از این افزایش خطا قابل تحمل باشد، حد آستانه خطا و در نتیجه از روی آن حد آستانه برای حداقل فعال شدن سنسورها مشخص می‌شود و چگالی سنسورها نمی‌تواند از این حد آستانه کمتر باشد. همینطور برای هیدر ها تضمین اینکه اگر سنسوری فعال شد، مطمئن باشیم که درصد قابل قبول ای از سنسورها قابلیت اتصال به یک هیدر را دارند و می‌توانند بدون ایزوله شدن از خوشه ای، اطلاعات خود را از طریق سرخوشه به ایستگاه مرکزی برسانند. برای بررسی میزان تداخل و توزیع احتمال آن، از تابع توزیع فاصله ها بهره برده ایم. دو نوع فاصله برای بررسی تداخل، در دو لایه شبکه داریم: (Sanatkar and Mohammadi, 2010) و (Best et al, 2003).

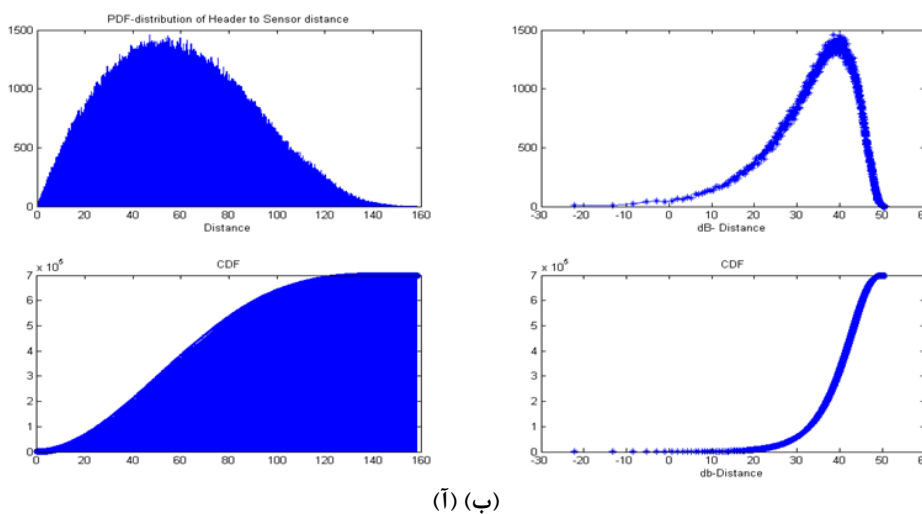
مدل توزیع این فاصله عبارتست از توزیع قدم‌مطلق تفاضل مکانی (اندازه فاصله) یک متغیر تصادفی یکنواخت (با میانگین معلوم) و یک عدد ثابت که همان مکان ثابت گره مرکزی یا ایستگاه پایه می‌باشد. تابع های توزیع احتمال این دو فاصله، معادل با توابع توزیع احتمال تداخل برای هر کدام از دو لایه شبکه می‌باشند. در زیر نتایج حاصله از شبیه‌سازی شبکه را بیان نموده ایم که کل توزیع‌های فاصله های بین سنسورها تا یکدیگر و سنسورها تا هیدر ها و هد ها تا یکدیگر و تا ایستگاه مرکزی را رسم نموده ایم. با اینکه همانطور که در بالا گفتیم، فقط فواصل سنسورها تا هیدر ها و هیدر ها تا ایستگاه مرکزی برای ما کاربرد دارد، اما

بررسی دو توزیع دیگر نیز نشان می‌دهد که توزیع فاصله سنسورها تا یکدیگر و هدرها تا یکدیگر، (توزیع فاصله دو متغیر تصادفی یکنواخت از یک جنس) می‌باشد، با توزیع فاصله بین سنسورها تا هدرها، (توزیع فاصله دو متغیر تصادفی یکنواخت) یکسان خواهد بود (Ananthasubramaniam and Madhow, 2007).

شکل های ۲ و ۳ گویای همه نکات گفته شده می‌باشند که در آن‌ها علاوه بر توزیع هیستوگرام (فراوانی)، در مقیاس لگاریتمی dB و نیز توزیع تجمعی هیستوگرام در حالت خطی و لگاریتمی، نیز رسم شده‌اند.

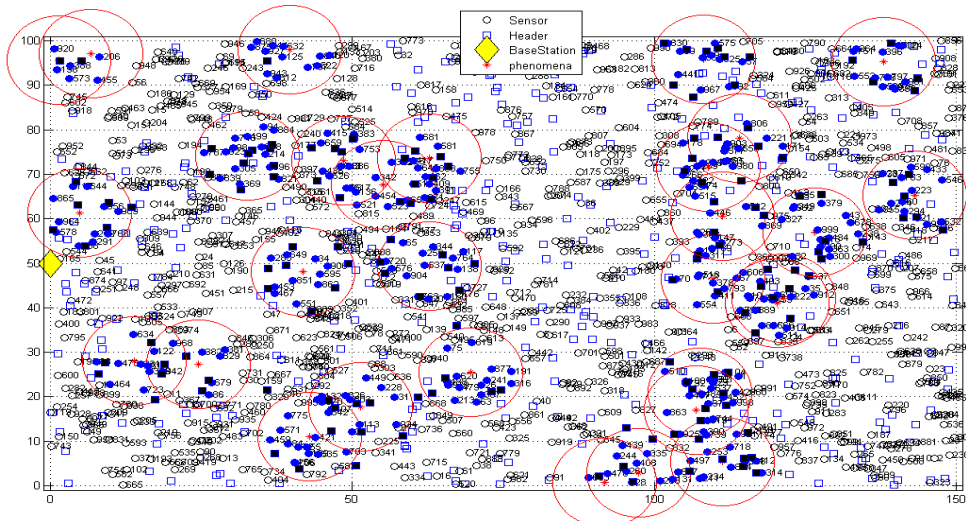


شکل ۲: توابع چگالی و توزیع احتمال فاصله بین هدرها تا ایستگاه BS در مقیاس خطی و dB



شکل ۳: توابع چگالی و توزیع احتمال فاصله بین سنسورها تا هدرها در مقیاس خطی و dB

در شکل ۴، رنج حسگری سنسورها افزایش یافته است، اما کماکان رنج ارسال به هدرها ثابت است؛ به عبارت دیگر می‌توان بجای زیاد کردن تعداد سنسورها، فقط رنج حسگری آن‌ها را برای تشخیص پدیده محیطی بیشتر کرد. تعداد سنسورها را برابر با $N=500$ و تعداد هدرها را متناسب با تعداد سنسورها و برابر با $H=200$ در نظر گرفته ایم.



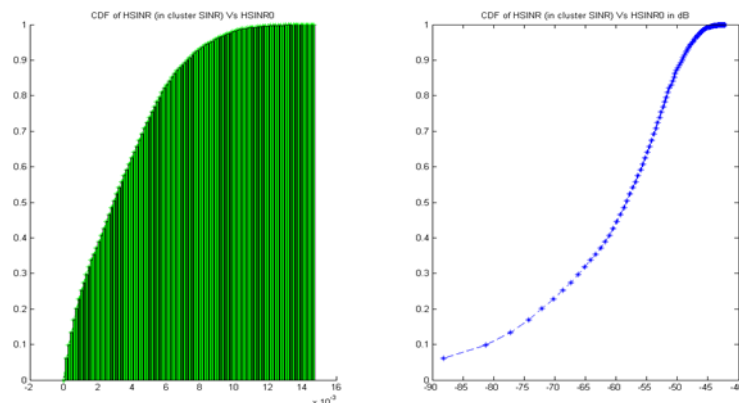
شکل ۴: افزایش رنج حسگری در یک سناریو متراکم و تحلیل SINR

در این مرحله نتایج این تخمین را با نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو مقایسه می‌کنیم. روش کلی شبیه‌سازی قبلاً در ابتدای همین بخش تشریح شده است. در هر بار تکرار شبیه‌سازی مکان گره‌ها و ضرایب فیدینگ کانال به صورت تصادفی محاسبه شده و بسته به اینکه از گیرنده MF استفاده می‌شود، SINR دریافتی در گیرنده مطلوب بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. با تکرار شبیه‌سازی، مقادیر مختلفی برای SINR به دست می‌آید که از روی آن‌ها CDF یا PDF این متغیر تخمین زده می‌شود. در اینجا مقایسه نتایج تخمین تحلیلی با شبیه‌سازی برای مقادیر مختلف تعداد گره‌ها در شبکه صورت می‌گیرد. برای یک مقدار H, N ثابت و برای محدوده‌ای از SINR ها، $SINR(\gamma)$ را محاسبه می‌کنیم. از آنجایی که $F_{SINR}(\gamma)$ معادل است با این احتمال که SINR دریافتی در گیرنده از γ_0 کوچک‌تر باشد، در هر بار تکرار شبیه‌سازی SINR با γ_0 مقایسه می‌شود و تعداد دفعاتی که SINR از این مقدار، کوچک‌تر است شمرده می‌شود. اگر تکرارهای شبیه‌سازی به اندازه کافی بزرگ باشد، با تقسیم این تعداد بر تعداد تکرارهای شبیه‌سازی به تخمینی از احتمال مورد نظر خواهیم رسید همچنین مستقیماً می‌توان تابع توزیع فراوانی (هیستوگرام) آنرا رسم نمود. بر اساس قانون عداد بزرگ^۱ این روش تخمینی از مقدار واقعی $F_{SINR}(\gamma)$ را به دست می‌آورد. طبق قانون اعداد بزرگ با افزایش تعداد تکرارها دقت تخمین بالاتر می‌رود (Rezagah, 2011).

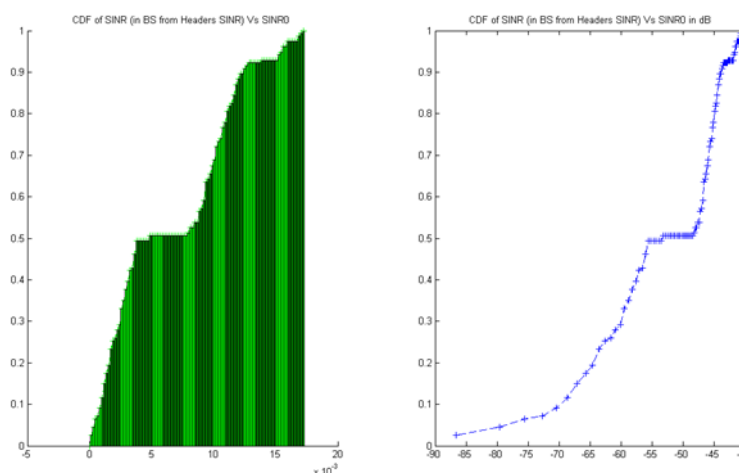
$$F_{SINR}(\gamma) = \frac{\text{Number of desire SINR events}}{\text{Number of all network SINR events or realization}} \quad (1)$$

برای مقایسه نتایج تخمین تحلیلی با شبیه‌سازی نتایج حاصل برای گیرنده MF نمایش داده شده‌اند. همان‌گونه که انتظار می‌رود، هر چه تعداد گره‌ها افزایش می‌یابد نتیجه تخمین تحلیلی به نتایج شبیه‌سازی نزدیک‌تر می‌شود. در ادامه، برای شبکه فوق، در شکل ۵، توابع توزیع احتمال نسبت سیگنال به تداخل و نویز، برای لایه درون خوشه (کلاستر)، HSINR که بین سنسورها تا هیدرهایست و لایه برون خوشه ای، SINR را شبیه‌سازی می‌کنیم؛ همچنین برای افزایش دقت در SINR های پایین، آنرا بر حسب dB نیز رسم نموده ایم:

¹ Law of large numbers



(ب). مقیاس لگاریتمی (dB) (آ). مقیاس خطی
شکل ۵: تابع توزیع احتمال SINR در لایه سنسوری (درون خوشه ای) و فرم dB آن

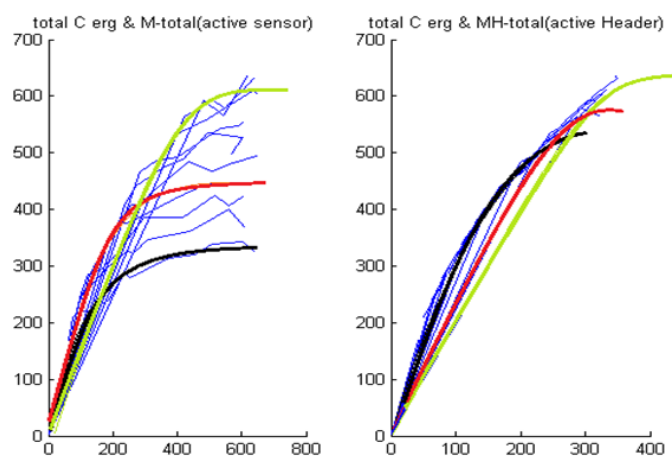


(ب). مقیاس لگاریتمی (dB) (آ). مقیاس خطی
شکل ۶: تابع توزیع احتمال SINR در لایه هدیر ها (بیرون خوشه ای) و فرم dB آن

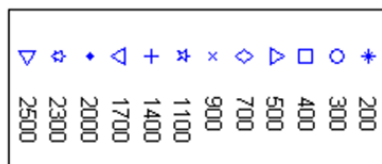
با دقت در شکل و نمودار ها، مشاهده می‌کنیم که چون بین هر سنسور فعال و هر هدیر فعال یک لینک ارتباطی، چه از نوع اطلاعات و چه از نوع تداخلی، وجود دارد، در نتیجه تعداد زیادی نمونه موجود است، در نتیجه با رسم تابع توزیع احتمال مشاهده می‌کنیم که برای HSINR (معادل با SINR در هدیر ها برای سنسورهای هر خوشه) توزیع یکنواختی بدست آمده است؛ اما برای هدیر های فعال و ایستگاه مرکزی، چون تعداد لینک های ارتباطی بسیار کمتر از حالت سنسوری است، توزیع بدست آمده فرم نسبتاً نامنظمی دارد که نیاز است برای آن از شبیه‌سازی مونت کارلو^۱ استفاده کنیم. در ادامه نتایج شبیه‌سازی مونت کارلو را خواهیم آورد. اما با دقت در شکل شبکه ۶ مشاهده می‌کنیم که با لایه لایه کردن شبکه به مرکز ایستگاه مرکزی، می‌توان به وضوح رابطه بین نحوه توزیع هدیر های فعال شده و تابع توزیع SINR آنرا دریافت؛ بدین صورت که در وسط ناحیه سنسوری، یک ناحیه خالی از سنسورها و هدیر های فعال داریم که متقابلاً در میانه توزیع SINR هدیر ها یک خط با شیب یکنواخت موجود است. همچنین در سمت راست و چپ این ناحیه، دو گروه سنسور و هدیر فعال شده داریم که سمت نزدیکتر به ایستگاه مرکزی، در SINR های بالاتر و سمت دورتر به ایستگاه مرکزی، در SINR های پائین تر دارای دو شیب زیاد در تابع توزیع خواهند بود که معادل با تعداد زیاد هدیر های فعال شده در ناحیه ای از شبکه متناسب با این مقادیر است. سپس برای اینکه بتوانیم مشخصات توزیع فاصله ها و همچنین توزیع SINR برای سنسورها و هدیر ها را به درستی تخمین بزنیم، از روش مونت کارلو استفاده کردیم و با تکرار در تعداد بالا و میانگین گیری روی نتایج، منحنی های یکنواخت تری برای توابع توزیع و چگالی احتمال فاصله های بین ایستگاه پایه و هدیر ها، تابع توزیع و چگالی احتمال فاصله بین هدیر ها و سنسورها، بدست آوردیم. این کار را برای دو سناریو پراکنده (تنگ) که چگالی سنسورها و هدیر ها در آن کم است و سناریو متراکم (چگال) که چگالی سنسورها و هدیر ها در آن زیاد است انجام دادیم. البته برای فاصله هدیر ها تا ایستگاه مرکزی، چون در هر تکرار تعداد هدیر ها نسبتاً کم بود، توزیع بدست آمده دارای تغییرات زیادی است که

¹ Monte carlo

برای درک بهتر خط رگرسیون منحنی آنرا رسم کرده ایم. در شکل ۷، قصد داریم پارامتر مهمی را بررسی کنیم که در قسمت اول نتایج، توضیحاتی در مورد آن دادیم؛ اثرات تعداد سنسورها و تعداد هیدرها روی تعداد سنسورها و هیدرهای فعال شده. در سناریو ای که برای شبکه در نظر گرفتیم، علاوه بر ثابت نگه داشتن مساحت ناحیه توزیع گره ها، تعداد رخداد پدیده تصادفی را نیز ثابت فرض نمودیم. به این معنی که برای مقایسه صحیح فرض میکنیم که فقط در صورتی تعداد سنسورها و هیدرهای فعال شده به تعداد کل سنسورها و هیدرها میل می کند که تعداد پدیده تصادفی به حد بالایی از تکرار نزدیک شود. در نتیجه می توان یک بعد دیگر به مسئله اضافه نمود، تعداد گره (سنسور و هیدر) های موثر در نتایج حاصله از شبیه سازی SINR و ظرفیت. بعضی از نکاتی که در قبل، توضیح دادنشان بدون در نظر گرفتن این پارامتر، غیرممکن بود را در فوق با در نظر گرفتن این پارامتر، توضیح دادیم. نهایتاً برای تعداد سنسورها و هیدرهای فعال، یکی از خروجی ها را که ظرفیت ارگادیک کل لایه هیدرهاست، به عنوان نمونه رسم کردیم و مشاهده کردیم، طبق انتظار، فرم کلی نمودار تفاوت چندانی نمی کند و فقط تعداد نمونه ها کاهش چشمگیری یافته که مطابق با تعداد سنسورهای فعال شده بجای تعداد کل سنسورهاست.



شکل ۷: ظرفیت کل ارگادیک شبکه. (آ): در لایه سنسوری. (ب): در لایه هیدرها.



شکل ۸: راهنمای ترتیب و تعداد سنسورها یا هیدرهای شبکه وقتی دیگری متغیر اصلی باشد

جمع بندی و نتیجه گیری

در این پژوهش، ابتدا مقدمه ای از شبکه های سنسوری بدون سیم بیان نمودیم مزایا و معایب آنرا بیان نمودیم و در مورد مقیاس پذیری و لزوم آن مطالبی را بیان نمودیم و ظرفیت را یک معیار برای بررسی آن در نظر گرفتیم. بیان نمودیم که در بسیاری از مراجع فقط به بدست آوردن مرتبه ظرفیت و یا باندهای ظرفیت پرداخته شد است و تقریباً در تمام منابع، بجز چند مقاله که فرمول بسته نسبتاً کلی را برای ظرفیت شبکه های اقتضائی بدست می دهد، بقیه مقالات برای سناریوهای خاص ای مقدار ظرفیت بدست آمده است. در ادامه، معیارهای مختلفی مانند نسبت سیگنال به نویز و تداخل، نرخ خطای بیت، ظرفیت ارگادیک یا شانون و ظرفیت قطع شبکه را برای بررسی عملکرد شبکه بیان نمودیم؛ و نهایتاً با کمک سناریو ها و مدل های مختلف برای سیستم، مدل سیستم و سناریوی مسئله مورد تحلیل را بیان نمودیم.

در راستای نشان دادن هرچه واضح تر راه برای تحقیقات دیگر مشتاقان در این زمینه و ترسیم افق روشن تری از کارهای آینده خویش، ضروریست تا زوایای مختلف قابل توسعه در این موضوع بیان شود.

در سناریوی مورد استفاده ما، فرض هایی بیان شده است که می تواند به نحو بهتری تغییر یا گسترش یابد؛ بعضی از این تغییرات عبارتند از:

- اضافه نمودن قابلیت چند گامه^۱ برای انتخاب سنسورهای دیگر به عنوان رله^۲ در منتقل نمودن اطلاعات به هیدرها
- اضافه نمودن قابلیت چند گامه برای هیدرها و قابلیت رله کردن اطلاعات توسط دیگر هیدرها
- بررسی الگوریتم های مکان یابی، مسیریابی هنگامیکه از قابلیت های چند گامه استفاده می شود.
- امکان انتخاب همزمان چندین هیدر در یک خوشه برای اطمینان از دست ندادن سنسورهای بدون خوشه و یا امکان همکاری بین هیدرها درون یک خوشه
- اضافه نمودن قابلیت همکاری^۳ بین سنسورها در یک خوشه برای مدیریت نحوه جمع آوری اطلاعات به نحویکه کمترین تکرار غیر ضروری در اطلاعات جمع شده توسط سنسورها داشته باشیم و در عین حال اطلاعاتی را از پدیده طبیعی از دست نداده باشیم.
- اضافه نمودن قابلیت تجمیع اطلاعات^۴ برای هیدرها، به نحویکه بتوانند اطلاعات اضافه و تکراری را از اطلاعات سنسورهای درون خوشه خود حذف کنند و حجم اطلاعات ارسالی را کاهش دهند و بازدهی سیستم را افزایش دهند.
- اضافه نمودن قابلیت های کنترلی بیشتری در سنسورها و امکان مدیریت سنسورها در هیدرها برای تحقق همکاری، تجمیع اطلاعات، مدیریت تداخل، مدیریت دسترسی منابع و...؛ که امروزه مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.
- اضافه نمودن امکان پردازش سیگنال در هیدرها برای خطایابی، بازسازی و تقویت کنندگی اطلاعات در هیدرها و همچنین قابلیت هایی نظیر فشرده سازی اطلاعات در هیدرها و حتی در سنسورها، خصوصا زمانیکه حجم اطلاعات برای کاربردی مانند تصویر برداری، بسیار بالا رود و بازدهی سیستم کاهش یابد. در این زمینه می توان از تکنیک های پردازش تنگ^۵ (CS) و... بهره برد.
- تحلیل نمودن مدیریت دسترسی منابع با تقسیم زمانی و فرکانسی^۶ (TDMA & FDMA) بجای دسترسی تقسیم کد (CDMA) برای سنسورها
- در نظر گرفتن معیار های دیگری برای بررسی مقیاس پذیری در شبکه های سنسوری بدون سیم؛ به عنوان مثال نرخ خطای بیت و فریم، گذردهی کانال، پایداری کانال در مقابل افزایش نویز و تداخل و محوشدگی ناشی از محیط. افزایش طول عمر مفید شبکه، الگوریتم های مسیر یابی و ...
- استفاده از الگوریتم های کاهش و حذف متوالی تداخل^۷ و همسونگی تداخل^۸ که امروزه مورد بحث بسیاری از محققان است.
- بررسی اثر افزودن حرکت برای سنسورها یا هیدرها و یا ایستگاه مرکزی برای معیار دلخواهی از شبکه مانند ظرفیت و غیره در تحلیل قابلیت های خاصی از شبکه مانند مقیاس پذیری، تطبیق پذیری و سازگاری با کاربرد های مختلف شبکه.
- استفاده از قابلیت های چندینگی ورودی و خروجی^۹ (MIMO) و مزایای بسیار آن در تنوع^{۱۰} و چندگانگی و ...
- استفاده از آنتن های جهتی برای بهبود مصرف انرژی و افزایش برد ارسال و همچنین کاهش تداخل سیگنالهای ارسالی.

1 Multi Hop

2 Relay

3 Cooperative

4 Data Aggregation

5 Compressive Sensing (CS)

6 Time & Frequency Division Multiple Access (TDMA & FDMA)

7 Successive Interference Cancellation (SIC)

8 Interference Alignment

9 MIMO (Multiple Input –Multiple Output)

10 Diversity / Multiplexing

1. X.Y. Li, Wireless Ad hoc and sensor networks- theory and application, Cambridge University Press, 2008
2. G. Francescheli, S. Stornelli, "Wireless networks- from physical layer to communication, computing, sensing and control", Elsevier, 2006.
- A. Goldsmith, Wireless communications, Cambridge University Press, 2005.
3. L. F. Akeildz, T. Melodia, K. R. Chowdlaury, A survey on wireless multimedia sensor networks, Elsevier, Computer Networks 51 (2007) p 921–960.
4. R. E. Rezagah, "Analyzing the capacity of mobile wireless Ad hoc networks with MIMO systems," Doctoral thesis, Electrical Engineering Dep. Amirkabir university of technology, Feb 2011.
5. M. Haraty, A. Mohammadi, M. R. Alimadadi, S. Sheikholvaezin, "Localization in Wireless Imaging Sensor Networks Using SAR Techniques," 2012, in Proc. 6th Int. Symp. Telecommunication (IST), available online, Nov. 2012.
6. P. Gupta, P. R. Kumar, "The Capacity of Wireless Networks", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 46, No. 2, MARCH 2000.
7. E. S. Sousa, J. A. Silver, "Optimum Transmission Ranges in a Direct-Sequence Spread Spectrum Multi hop Packet Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, vol. 8, no. 5, pages 762-771, June 1990.
8. B. Ananthasubramaniam and U. Madhow, "On Localization Performance in Imaging Sensor Nets," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 55, no. 10, pp. 5044-5057, October 2007.
9. B. Ananthasubramaniam and U. Madhow "Detection and localization in large scale sensor networks," 2005, Proc. Int. Symp. Inf. Theory (ISIT 2005), pp.517.
10. M. R. Sanatkar, A. Mohammadi, "Scalability Analysis of Wireless Sensor Networks Using Analytical Techniques", 8th Communication Networks and Services Research Conference (CNSR), Montreal, Canada, May 2010.
11. R. E. Rezagah and A. Mohammadi, "Outage threshold extraction for maximizing the capacity of wireless ad hoc networks," *IET Communications journals*, pp: 811 - 818, IET 2011.
12. P. Best, S. Gundeti, R. Pendse, "Self-learning Ad-hoc Routing Protocol," *Proc. IEEE 58th Vehicular Technology Conference*, Vol. 5, Pages 2824-2828, Oct. 2003.
13. R.E. Rezagah, A. Mohammadi, "The capacity estimation of wireless ad hoc networks in fading channels", *IET Comm.*, 2009, 3, (2), pp. 293–302
14. R. E. Rezagah and A. Mohammadi, "The Capacity of Wireless Ad Hoc Networks Using Statistical Techniques," *ICC 2006*, Istanbul, Turkey, June 2006.
15. M. Gastper, M. Vetterli, "On the capacity of wireless networks: the relay case," IEEE 2002. in *Proc. IEEE Infocom 2002*, pp. 1577-1586, June 2002.
16. Q.Q. Laurence, B. Milstein, DR. Vaman, "Cooperative and Constrained MIMO Communications in Wireless Ad Hoc/Sensor Networks," *IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMM*, VOL.9, NO.10, pp. 3120-3129, OCT 2010.
17. Ramanathan, R., Redi, J.: "A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions," *IEEE Communications Magazine*, VOL. 40, NO. 5, pp. 20-22, Aug. 2002.

بهینه‌سازی تخلیه ساکنین در برج‌های بلند در شرایط اضطراری، با استفاده از پل‌های هوایی بین برج‌ها

علیرضا مشبکی اصفهانی^{۱*}، یعقوب شهبازی^۲، محمدرضا
مشبکی اصفهانی^۳

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۵

کد مقاله: ۶۳۹۸۴

چکیده

در دهه‌های اخیر با توجه به افزایش میزان حوادث و تعداد تلفات زیاد آن‌ها خصوصاً در ساختمان‌های بلند، محققین به فکر ایجاد و استفاده از روش‌های نوینی برای کاهش زمان تخلیه و کاهش تلفات انسانی در این شرایط اضطراری افتادند و نتیجتاً به طراحی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی حرکت افراد در شرایط اضطراری و اندازه‌گیری زمان تخلیه ساکنین روی آوردند که در نوع خود بی‌نظیر می‌باشد. با توجه به افزایش شدید تأثیر کاربرد این روش‌ها قبل از ساخت، در کاهش خسارت‌ها و اطلاع از اینکه در ساختمان‌های ساخته‌شده کمتر تغییراتی را می‌توان انجام داد، روش‌های استفاده درست از این نرم‌افزارها و شناساندن این روش‌ها به جامعه مهندسين و ایجاد احساس ضرورت استفاده از آن‌ها قبل از ساخت سازه‌ها از زمینه‌های لازم و ایجادکننده انگیزه برای انجام این پژوهش می‌باشد. در نتیجه با ایجاد پله‌ای هوایی بین سازه‌های بلند و اندیشیدن تدابیر لازم در تعداد آن‌ها و حتی تعداد آسانسورها و راه‌پله‌ها می‌توان به بهینه‌ترین حالت ممکن دست یافت.

واژگان کلیدی: تخلیه، پل هوایی، شاتل تخلیه، سیستم‌های فرار

۱- عضو هیئت علمی گروه معماری دانشگاه پیام نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول) alirezamoshabaki@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد تکنولوژی معماری دانشگاه هنر و معماری پارس تهران

۳- کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه ریزی شهری

۱- مقدمه

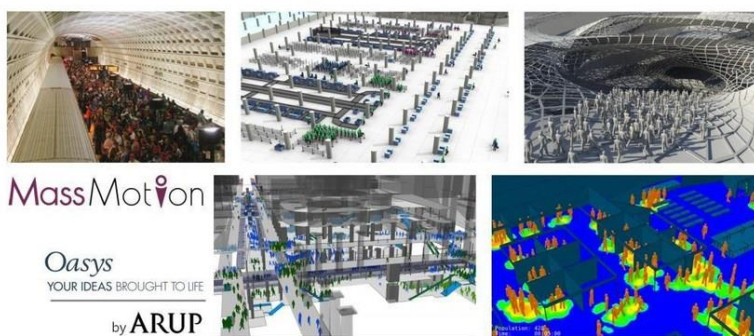
افزایش روز افزون جمعیت شهری و کمبود فضای افقی، ایجاد ساختمان‌های بلندمرتبه را گریزناپذیر مینماید. در این بین بسیاری از این ساختمان‌های بلند کارکردهای اداری و تجاری داشته که در زمانهای خاصی از روز بسیار شلوغ و پر تردد هستند. وجود جمعیت زیاد ساکنان و تردد کنندگان در قسمتهای تجاری و اداری این ساختمانها و شرایط بروز اتفاقات و حوادثی همچون آتش سوزی، زلزله، حوادث تروریستی و ... که تخلیه سریع افراد ساکن در این ساختمانها را در حداقل زمان میطلبند، کم نیستند. در این رخدادها کاهش هر ثانیه زمان در سرعت تخلیه ساکنین در حفظ جان بسیار از افراد مهم و حیاتی بوده و باید در کاهش این زمان اندیشه و تلاش بسیاری کرد. در این بین بسیاری از ساختمان‌های بسیار مرتفع، نیاز به تمهیدات خاصی برای ممکن کردن این عملکرد دارند. از جمله تعداد راه‌پله‌ها، آسانسورهای اضطراری، پل های هوایی، آموزش پرسنل در مواقع وقوع حوادث و بررسی اینکه آیا ایجاد این تغییرات سودمند بوده اند یا خیر را در نگاه اول باید با انجام آزمایشاتی در محیطهای واقعی مشخص نمود، ولی در عمل این آزمایشات و مانورها، بسیار سخت و پرهزینه و در شرایطی امکانپذیر نمی باشد. ولی می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای مسیریاب و شبیه ساز، بدون هزینه خاصی، حتی قبل از ساخت سازه مورد نظر، در بهینه یابی تعداد راه‌پله‌ها، آسانسورها و پله‌ای هوایی و بهینه نمودن وجود یا عدم وجود این پلها و تأثیر آموزش پرسنل این برجها در روند تخلیه و کاهش زمان آن و مقایسه تطبیقی آن‌ها با حالت‌های مختلف و استانداردها، راهکارهایی را ارائه نمود. بررسی چگونگی کاهش زمان تخلیه افراد جهت کاهش میزان تلفات احتمالی و نیز افزایش ایمنی افراد در هنگام خروج می‌تواند تا حد زیادی به کارایی سیستم یاری رساند.

اینجا ازجمله سوالاتی هستند که این تحقیق به دنبال یافتن پاسخ بهینه برای آن‌ها می‌باشد:

آیا افزایش تعداد طبقات امن منجر به کاهش زمان تخلیه خواهد شد یا برعکس؟ و اینکه آیا تغییر فواصل و ظرفیت آسانسورها در افزایش کارایی آن‌ها تأثیر خواهد داشت؟

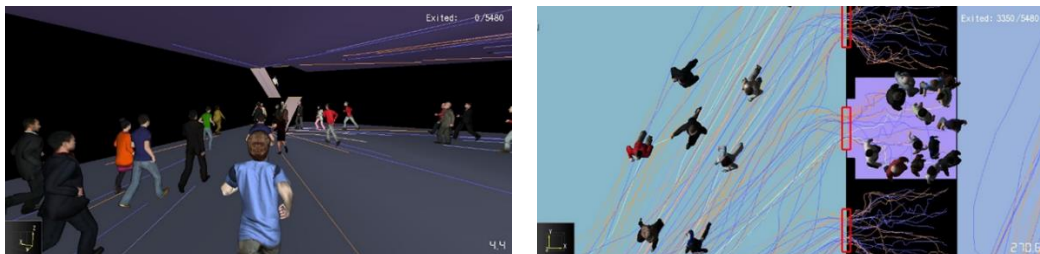
تجربه ثابت کرده است که در لحظه وقوع حوادث، عوامل مختلفی به افزایش تلفات در حادثه منجر می‌شوند، به عنوان مثال، استرس و ترس افراد در هنگام فرار و ترک ساختمان، زمان طولانی در خروج از ساختمان که ناشی از عدم آموزشهای صحیح در این زمینه بوده، تعداد و نحوه جایگیری نامناسب آسانسورها و راهروها و راه‌پله‌ها در ساختمان و ... می‌تواند نقش بسزایی در میزان این تلفات داشته باشد.

باتوجه به تحقیقات انجام شده در این زمینه و بررسی نتایج آن‌ها، می‌توان عنوان کرد که بیشترین تحقیقات در این زمینه در ایالات متحده و بعد از حوادث ۱۱ سپتامبر انجام شده است. که مشهورترین آن‌ها ctbuh(council of tall buildings and urban habitant) می‌باشد [۱]. بنیادهای بزرگ دیگری نیز در این زمینه فعالیتهایی را انجام داده‌اند از جمله بنیاد NIST,NFPA و ... البته در مباحث مقررات ملی ساختمان ایران، در مبحث ۳ دستورانی در این باره ارائه گردیده است. پس از مطالعات در این تحقیقات، مشاهده گردید که در باره تأثیر تعداد طبقات امن و پله‌ای هوایی در کاهش زمان تخلیه، مطالعات منجر به نتیجه واحدی انجام نگرفته و از این روی این امر ضرورت می‌یابد. در انجام تحقیق در این رابطه دلیل عدم امکان انجام آزمایش در شرایط واقعی و نبود ساختمان‌های بلند با این شرایط در کشور، ساز و کار تحقیقات بر اساس نرم افزار بوده که البته نتایج به نتایج واقعی بسیار نزدیک بوده و با تقریب نزدیکی می‌توان بدان استناد کرد. برای این کار یک ساختمان دوقلو واقع در کشور امارات بنام برجی الجمیرا، جهت شبیه‌سازی انتخاب شده است. در حال حاضر نرم افزارهای بسیاری در زمینه تخلیه، حریق و ... وجود دارند، بعنوان مثال Lidgdx,Jmonkey Engine,Path Finder و بسیاری نرم‌افزارهای دیگر. در این پروژه نرم افزار path finder انتخاب شده است. این نرم افزار برپایه شبیه‌سازی رفتار انسان در محیط و سرعت حرکت او در شرایط خاص بنیان نهاده شده است. امکان شبیه‌سازی افراد با ویژگیهای خاص مثلاً افراد کهنسال و معلول با شرایط حرکتی کند و افراد جوان با شرایط حرکتی سریع و حتی ایجاد شرایطی از افراد مضطرب و سراسیمه با شرایط حرکتی گنگ و ... از جمله ویژگیهای مثبت این نرم افزار هستند که با شرایط این تحقیق هماهنگی بالایی دارند [۲] (تصاویر ۱ و ۲).



تصویر (۱)- نمای کلی نرم افزار های مسیر یاب مانند path finder

برای شروع کار ابتدا باید به ایجاد پلان یا پلانهای برای ساختمان، در داخل نرم افزار پرداخته و راه پله ها و اسانسورها را در پلان تعبیه کرد که این امر اصلی ترین محاسبات را در پروژه می طلبد. انجمنها و مراکز مختلفی برای انجام این محاسبات و آزمایشات برای آنها در دنیا وجود دارند که نتایج تحقیقات خود را بصورت آمارها و ارقامی ارایه کرده که در برخی اوقات بصورت استانداردهای جهانی توسط سازمانهای بین المللی پذیرفته شده است. به عنوان مثال استانداردهایی برای تعداد راه پله ها و فواصل آنها، با توجه به تعداد ساکنین در ساختمانها وجود دارد که از نظر شرایط استاندارد آتش نشانی و حریق و شرایط اضطراری بررسی و مشخص شده اند. در ایران نیز در مبحث ۳ مقررات ملی ساختمان به آن اشاره شده است.



تصویر (۲) - شبیه سازی شرایط اضطراری و شرایط ویژه برای افراد مختلف در نرم افزار

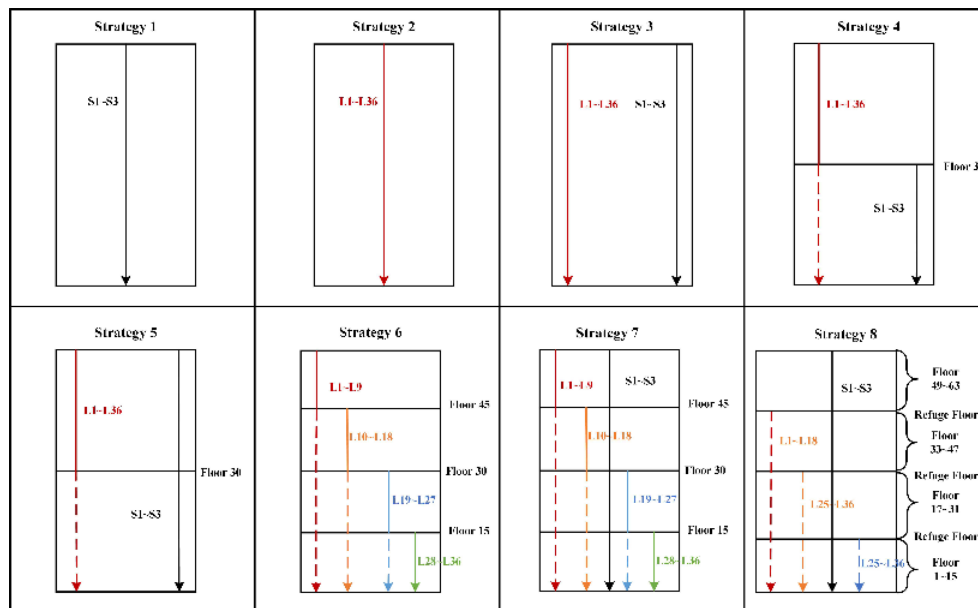
در اینجا پلان بر اساس پلان برج الجمیرا طراحی و تعداد آسانسور ها و راه پله ها براساس واقعیت موجود ایجاد شده است (تصویر ۳). در واقع این برجها بصورت دو قلو بوده و پل هوایی رابطی بین آنها وجود ندارد. با محاسبه زمان خروج افراد از ساختمان و تخلیه کامل آنها در شرایط واقعی و از طرفی ایجاد پل هوایی بصورت مجازی در طبقات آنها و محاسبه زمان تخلیه در این شرایط جدید می توان تاثیر وجود و یا عدم وجود و حتی تاثیر تعداد آنها را با یکدیگر مقایسه نمود [۲].



تصویر (۳) - یکی از پلانهای برجهای دوقلوی الجمیرا [۴]

در هر ساختمان بلند طراحان استراتژیهای خاصی را برای محاسبات زمان تخلیه ایجاد و ارایه نموده اند که تمامی شرایط را در آنها گنجانده و سنجیده اند. به عنوان مثال استراتژیهای خروج و تخلیه در برج های الجمیرا به قرار زیر است [۴]:

۱. تخلیه فقط از طریق ۳ راه پله
۲. تخلیه از طریق ۳۶ دستگاه آسانسور
۳. تخلیه از طریق ۳۶ دستگاه آسانسور + ۳ راه پله
۴. تخلیه از طریق ۳ راه پله (طبقات ۲-۳۰) و ۳۶ دستگاه آسانسور (طبقات ۳۱-۶۰)
۵. تخلیه از طریق ۳ راه پله + ۳۶ دستگاه آسانسور (طبقات ۳۱-۶۰)
۶. تخلیه از طریق ۳۶ دستگاه آسانسور + ۴ عدد شاتل (شامل هر ۹ آسانسور که ۱۵ طبقه را سرویس می دهند و هر کدام از ۴ ناحیه ۱۵ طبقه ای را از بالاترین طبقه آن ناحیه تا پایین ترین طبقه آن ناحیه سرویس می دهند)
۷. تخلیه از طریق ۳ راه پله + ۳۶ دستگاه آسانسور + ۴ عدد شاتل (همانند استراتژی ششم)
۸. ۳ طبقه امن + ۳ راه پله + ۳۶ دستگاه آسانسور (که در هر ۱۵ طبقه یک طبقه امن داریم که هر ۱۲ دستگاه آسانسور به یکی از آن نواحی سرویس می دهند و افراد را از آن طبقه امن به سطح زمین منتقل می کنند) (تصویر ۴).

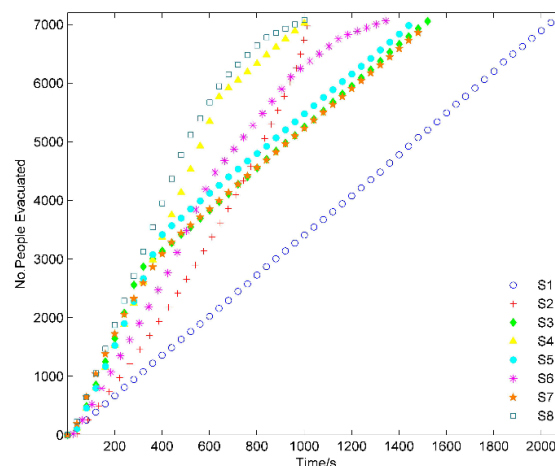


تصویر (۴) - نمودار استراتژیهای تخلیه برج الجمیرا [۴]

این استراتژی‌ها هر کدام می‌توانند در شرایط خاصی اجرا شده و نرم افزارهای ویژه ای برای برنامه ریزی آسانسورها در هر یک از این شرایط ویژه وجود دارند (جدول ۱) و (تصویر ۵).

جدول (۱) - جدول خلاصه نتایج بدست آمده از هر یک از ۸ استراتژی

شماره استراتژی	زمان تخلیه کامل	زمان تخلیه آسانسور	زمان تخلیه پله	زمان تخلیه نیمه بالایی	متوسط زمان خروج	متوسط انتظار آسانسور
۱	۲۰۷۴٫۸	-	۲۰۷۴٫۸	۱۰۲۰٫۶	۱۰۴۴٫۶	-
۲	۱۰۲۲٫۴	۱۰۲۲٫۴	-	۶۴۳٫۲	۶۰۳٫۶	۶۰۱٫۸
۳	۱۷۶۹٫۰	۲۰۰٫۹	۱۷۶۹٫۰	۸۰۷٫۵	۶۱۳٫۹	۱۲۷٫۹
۴	۱۰۱۷٫۰	۶۴۳٫۲	۱۰۱۷٫۰	۶۴۳٫۲	۳۹۶٫۶	۳۵۵٫۸
۵	۱۶۶۶٫۵	۲۷۵٫۳	۱۶۶۶٫۵	۶۳۴٫۰	۵۴۹٫۳	۱۶۲٫۳
۶	۱۳۵۶٫۰	۱۳۵۶٫۰	-	۱۳۵۶٫۰	۵۵۶٫۸	۵۴۶٫۶
۷	۱۵۳۴٫۰	۴۸۰٫۲	۱۵۳۴٫۰	۶۸۵٫۰	۴۷۶٫۴	۱۸۹٫۵
۸	۱۰۰۲٫۰	۱۰۰۲٫۰	۵۴۱٫۲	۱۰۰۲٫۰	۳۵۲٫۲	۳۳۷٫۲

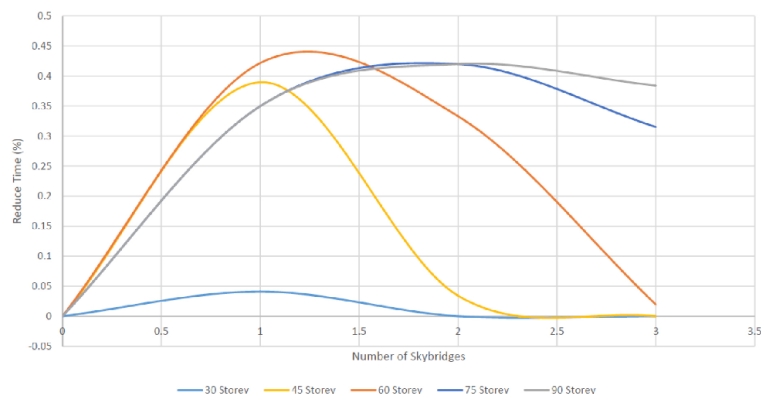


تصویر (۵) - نمودار تخلیه کامل حاصل از استراتژی‌ها

با استفاده از تعریف هریک از این استراتژیها در نرم افزار path finder و بررسی زمان تخلیه آنها و افزودن پلهای هوایی به آنها بصورت فرضی و محاسبه و مقایسه خروجیهای آنها می توان به نمودارهایی دست یافت که تعداد پلهای و آسانسورها و راه پلهها و ... را توسط آنها بهینه یابی کرد. در ذیل نتایج این تحقیقات و شبیه سازیها و نمودارهای بدست آمده از آنها در باره این برج مورد بحث آورده شده است (تصاویر ۸ تا ۱۸).



تصویر (۶) - جدول و نمودار زمان تخلیه برای تعداد طبقات



تصویر (۷) - نمودار کاهش زمان تخلیه بر حسب تعداد پلهای هوایی

Number of Skybridges	30 Story			45 Story			60 Story			75 Story			90 Story		
	Discharge Time (min)	Reduce Time (%)	Reduce Time in Total (%)	Discharge Time (min)	Reduce Time (%)	Reduce Time in Total (%)	Discharge Time (min)	Reduce Time (%)	Reduce Time in Total (%)	Discharge Time (min)	Reduce Time (%)	Reduce Time in Total (%)	Discharge Time (min)	Reduce Time (%)	Reduce Time in Total (%)
0	17:52	-	-	29:33:00	-	-	46:59:00	-	-	66:55:00	-	-	89:30:00	-	-
1	17:08	4%	4%	18:02:00	39%	39%	27:09:00	42%	42%	42:28:00	35%	37%	47:22:00	35%	47%
2	-	-	-	17:25:00	3%	41%	18:07:00	33%	61%	27:26:00	42%	59%	44:26:00	42%	50%
3	-	-	-	-	-	-	17:46:00	2%	62%	18:47:00	32%	72%	27:22:00	38%	69%

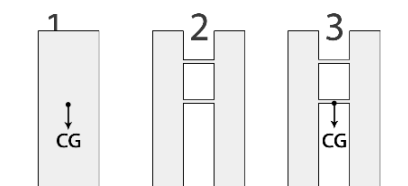
تصویر (۸) - جدول مقایسه تعداد پلهای هوایی و تعداد بهینه آنها در ساختمان ۶۰ طبقه مشابه برج الجمیرا

همچنین بنظر می رسد این بررسیها و ارزیابیها (با توجه به نزدیک بودن نتایج به واقعیت) بهتر است قبل از ساخت سازه ها انجام گیرند که باعث افزایش بهینگی و کارآمدی سیستم در آینده می شود. این امر باید بصورت یک ضرورت در برنامه ریزیهای طراحی سازه ها دیده شود.

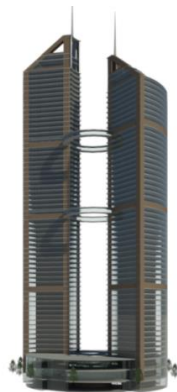
انتخاب سازه

با توجه به فرم ، زیربنا ، عملکرد ، ارتفاع و بررسی سازه های معمول در ساختمانهای بلند و توجه به وجود منطقه های (zone) مشخص در این ساختمان و طبقات امن (refuge floor) و احداث پل هوایی (skybridge) در این مناطق، سیستم سازه ای متنوعی می تواند انتخاب شوند.

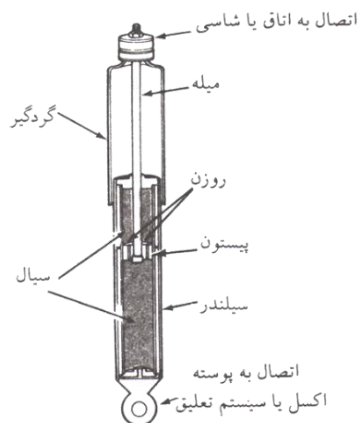
حال این سوال پیش می آید که skybridge چگونه در بهبود عملکرد سازه عمل می کند؟



تصویر (۹) - نیروی عمودی حاصل از این پلها به ساختمان



تصویر شماره (۱۰) - شکل پلهای هوایی فرضی برای برجها



تصویر (۱۱) - در اینجا نیز پل حلقه ای به صورت سطح عمل می کند نه یک پل خطی و می تواند در دو جهت x و y نیروهای افقی را مستهلک کند.

در این فرض، ایجاد پلهای هوایی را به شکل یک حلقه کامل در نظر گرفته شده که ابتدا علل انتخاب پل به شکل حلقه تشریح می شود؛ هدف اولیه از انتخاب فرم حلقه فاصله دادن عابری از ساختمان و ایجاد زاویه دید بیش تر و تداعی حس معلق بودن در آسمان است. در اینجا با توجه به عملکرد سازه ای، امکان احداث پل با قوس یکطرفه نمی باشد، تنش خمشی فراوانی در اتصال پل به ساختمان ایجاد می شود به همین دلیل احداث یک حلقه صلب و متقارن می توانست جایگزین پل با قوس یکطرفه شود و مشکل اتصال پل به ساختمان را حل کند، می توان گفت تقریباً تنش خمشی در اتصال حذف شده و تنها به یک نیروی عمودی رو به پایین تبدیل می شود. (تصویر ۹) از دیگر دلایل انتخاب شکل حلقه برای پل این است که وزن پل به اطراف تقسیم شده و تا حدی به بهبود فرم و افزایش ممان اینرسی کمک می کند، همچنین ظرفیت خروج افراد از پل را نیز افزایش داده است (تصویر ۱۰).

مهمترین ایده در این طرح ایفای نقش پل به عنوان ارتباط دهنده سازه ای بین دو ساختمان است به گونه ای که عملکرد دمپر را نیز دارد. پل با اتصالات غلتکی بر روی ساختمان قرار می گیرد و با استفاده از فنرهای هیدرولیکی در جهت افق، حرکت های افقی ساختمان ها را که بر اثر نیروی باد و بصورت تصادفی در جهات نامنظم رخ می دهد و گاهی انتشار آن به صورت موجی تشدید می شود را خنثی و مستهلک می کند. (تصویر ۱۱)

نتیجه گیری

با توجه به همانند سازی شرایط با برج الجمیرا و مقایسه شرایط موجود با شرایط فرضی و نصب پلهای هوایی فرضی و محاسبه زمان خروج با و بدون وجود پلهای، این نتیجه حاصل می گردد که وجود تعداد ۲ عدد پل هوایی در بین این برجها و در طبقات ۳۰ و ۴۵ بهینه ترین حالت کاهش زمان تخلیه افراد از برجها در شرایط اضطراری می باشد. البته با توجه به نمودارها می توان تعداد بیشتر، یعنی ۳ عدد را نیز برای آنها در نظر گرفت، ولی با توجه به اینکه باید شرایط صرفه اقتصادی برای پروژه را نیز لحاظ کرد، لذا تعداد ۲ عدد پل هوایی بهینه ترین حالت می باشد. در حالی که تصور اصلی در مورد پلهای هوایی فقط عامل تخلیه می باشد، می توان به کمک سازه های ارتجاعی و هیدرولیکی در شرایط زلزله و بادهای جانبی به عنوان دمپر و مستهلک کننده این نیروهای جانبی اشاره کرد.

1. Bennetts, I., Moinuddin, K., Goh, C., Thomas, I., 2005. Testing and factors relevant to the evaluation of the structural adequacy of steel members within fire-resistant elevator shafts. *Fire safety journal* 40, 698-727.
2. Bukowski, R., 2012. Addressing the needs of people using elevators for emergency evacuation. *Fire technology* 48, 127-136.
3. Butry, D., Chapman, R., Huang, A., Thomas, D., 2012. A Life-Cycle Cost Comparison of Exit Stairs and Occupant Evacuation Elevators in Tall Buildings. *Fire technology* 48, 155-172.
4. Averill, J., Mileti, D., Peacock, R., Kuligowski, E., Groner, N., Proulx, G., Reneke, P., Nelson, H., others, 2005. Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster Occupant Behavior, Egress, and Emergency Communications (Draft).
5. Zu-ming, C., Jin, Z., De-pin, L., 2011. Smoke Control--Discussion of Switching Elevator to Evacuation Elevator in High-rise Building. *Procedia Engineering* 11, 40-44.
6. Ma, J., Lo, S., Song, W., 2012. Cellular automaton modeling approach for optimum ultra high-rise building evacuation design. *Fire Safety Journal* 54, 57-66.
7. Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., Takimoto, K., 2003. Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics. *Physical Review E* 67, 67101.
8. Tajima, Y., Nagatani, T., 2002. Clogging transition of pedestrian flow in T-shaped channel. *Physical A: Statistical Mechanics and its Applications* 303, 239-250.
9. Klote, J., 1993. A method for calculation of elevator evacuation time. *Journal of fire protection engineering* 5, 83-95.
10. Heyes, E., Spearpoint, M., 2009. Human behaviour considerations in the use of lifts for evacuation from high rise commercial buildings. Department of Civil Engineering, University of Canterbury.
11. Jönsson, A., Andersson, J., Nilsson, D., 2012. A risk perception analysis of elevator evacuation in high-rise buildings. In: *Proceedings of 5th Human Behaviour in Fire Symposium*. Cambridge, UK: Interscience Communication. pp. 398-409.

Optimization of evacuation of residents in tall buildings in emergency situations by using sky bridges between towers

Alireza Mashabaki Isfahani ^{1 *}, Yaghoob Shahbazi ², Mohammad Reza Moshabaki Isfahani ³

1- Faculty Member of Architecture Department, Payame Noor University (pnu) , Tehran, Iran

*Corresponding author, Email: alirezamoshabaki@yahoo.com

2- Master of Architecture Technology , Pars University

3- Master of Geography and Urban Planning

Abstract:

In recent decades, due to the increase in incidents and the high number of deaths, especially in high-rise buildings, the researchers have been thinking of the creation and use of new methods to reduce the discharge time and reduce human casualties in these emergencies, and consequently, the design of motion simulation software. In emergency situations and measuring the discharge time, the inhabitants turned out to be unsurpassed in their type. Due to the sharp increase in the impact of the application of these methods before the construction, on reducing damages, and the fact that there are fewer changes in the buildings made, the proper use of these software and the introduction of these methods to the community of engineers and the creation of a feeling. The necessity of using them before constructing structures is one of the necessary fields for creating this research. As a result, creating the air bridges between high structures and thinking about the necessary measures in their numbers and even the number of elevators and stairs can be achieved in the most optimal possible way.

key words: Evacuation, air bridge, evacuation shuttle, escape systems

مروری بر طراحی انواع شمارنده‌ها در سیستم‌های دیجیتالی و معرفی شمارنده‌های دیکدری و مالتی پلکسری

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۵/۰۲

کد مقاله: ۶۶۱۴۵

آنیثا شکوری^۱، مائده آربونی^۲، سید عمیدالدین موسوی^{۳*}

چکیده

شمارنده‌ها، مدارات دیجیتالی هستند که اعداد باینری یا BCD را با الگوهای خاصی در فاصله‌های زمانی معینی تولید می‌کنند. شرط تولید عدد بعدی در هر شمارنده اعمال پالسی موسوم به پالس ساعت است. شمارنده‌ها در سیستم‌های الکترونیکی و دیجیتالی کاربردهای بسیار وسیعی دارند که می‌توان به: فرکانس‌مترها، ساعت‌های دیجیتالی، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال، مقسم‌های فرکانسی، فناوری‌های نانو، ربات‌های صنعتی، سیستم‌های اتوماسیون صنعتی و ... اشاره کرد. بنا به دلایل ذکر شده نویسندگان مقاله تلاش کرده‌اند با مروری بر طراحی و پیاده‌سازی انواع شمارنده‌ها، مرجعی کامل و درعین‌حال دارای بیان ساده، برای نوآموزان، دانشجویان، محققان، طراحان سیستم‌های رباتیک تدوین نمایند تا طراحان سیستم‌های دیجیتالی بتوانند به آن مراجعه‌ی آسان و درعین‌حال مؤثر داشته باشند. در این مقاله برای اولین بار برای ساده‌سازی طراحی شمارنده‌ها از مدارات ترکیبی دیکدری و مالتی‌پلکسری استفاده شده است.

واژگان کلیدی: فلیپ فلاپ، دیاگرام حالت، شمارنده دیکدری، شمارنده مالتی پلکسری

۱- باشگاه پژوهشگران و نخبگان سما، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

۲- باشگاه پژوهشگران و نخبگان سما، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

۳- آموزشکده فنی و حرفه‌ای سما، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان، ایران amid_moosavi@yahoo.com

۱- مقدمه

شمارنده‌ها امروزه از المان‌های بسیار مهم الکترونیک دیجیتال محسوب می‌شوند که کاربردهای بسیار وسیعی دارند. از شمارنده‌ها نه تنها به منظور شمارش استفاده می‌شود بلکه در اندازه‌گیری‌هایی زمان، فرکانس، طراحی‌های علوم نانو الکترونیک و همچنین به عنوان تعیین کننده‌ی آدرس حافظه (با قابلیت افزایش و کاهش) در سیستم‌های کامپیوتری مورد استفاده قرار می‌گیرند. فلیپ فلاپ‌ها از اجزای اصلی شمارنده‌های دیجیتالی هستند. شمارنده‌ها را می‌توان به صورت مجموعه‌ای از فلیپ فلاپ‌ها دانست که از پالسی به عنوان پالس ساعت استفاده کرده تا در فاصله‌های زمانی خاص بتوانند شماری مورد نظر خود را ذخیره کنند. تعداد حالت‌هایی را که یک شمارنده می‌تواند بشمارد مد (Mod) گویند. یک شمارنده باینری مد ۴، شمارنده‌ای است که ۴ عدد را می‌شمارد یعنی قادر است از ۰۰۰ باینری تا ۰۱۱ باینری را بشمارد (Mano, 2012:266). شمارنده‌ها را از نظر نحوه‌ی اعمال پالس ساعت به فلیپ فلاپ‌ها به دو دسته به شکل زیر تقسیم‌بندی می‌کنند (Patterson, 2012:375):

- هماهنگ یا سنکرون (Synchronous): شمارنده‌هایی هستند که برای تمامی فلیپ فلاپ‌ها از یک پاس ساعت استفاده می‌کنند.
- ناهماهنگ یا آسنکرون (Asynchronous): به شمارنده‌های آسنکرون (Ripple Counter) نیز می‌گویند. در این شمارنده‌ها پالس ساعت فقط به فلیپ فلاپ اول متصل شده و کلاک پالس فلیپ فلاپ‌های بعدی توسط یک مدار ترکیبی از خروجی فلیپ فلاپ‌های قبلی گرفته می‌شوند.

در بررسی‌ها انجام گرفته مرجعی که تقریباً کامل و جامع و در عین حال به زبان ساده مطالب مربوط به طراحی و پیاده‌سازی‌های مدارات مربوط به شمارنده‌های دیجیتال را بررسی نماید کمتر دیده شده است. به همین منظور نویسندگان مقاله‌ی حاضر سعی کرده‌اند تا مطالب مذکور را در مقاله‌ی حاضر برای محققان، دانشجویان و اساتید ارائه نمایند.

۲- تئوری

مدارات منطقی به دو دسته‌ی مهم زیر تقسیم می‌گردند:

- مدارات ترکیبی: مداراتی هستند که در آن‌ها خروجی‌ها فقط تابعی از ورودی‌ها هستند.
- مدارات ترتیبی: مداراتی هستند که در آن‌ها خروجی‌ها علاوه بر ورودی‌ها تابعی از خروجی حالت قبل هستند. از این-رو مدارات ترتیبی را مدارات حافظه‌دار نیز می‌گویند.

فلیپ فلاپ‌ها از اجزاء اصلی مدارات ترتیبی هستند. جدول عملکرد، جدول تحریک و رابطه‌ی بین خروجی هر فلیپ فلاپ با ورودی و خروجی حالت قبل خود در شکل ۱ نشان داده شده است.

هر فلیپ فلاپ علاوه بر پایه‌های ورودی، خروجی و پالس ساعت (Clock Pulse) دو پایه‌ی کنترلی به نام‌های Reset (Clear) و Set دارند که در شکل ۲ نشان داده شده است. پایه‌ی Set با فعال شدن، خروجی $Q(t)$ را ۱ می‌کند و پایه‌ی Reset با فعال شدن، خروجی $Q(t)$ را صفر می‌نماید

شکل	معادله مشخصه	جدول تحریک	جدول عملکرد																																			
	$Q(t+1)=D$	<table><tr><th>Q(t)</th><th>Q(t+1)</th><th>D</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	Q(t)	Q(t+1)	D	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	<table><tr><th>D</th><th>Q(t+1)</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	D	Q(t+1)	0	0	1	1														
Q(t)	Q(t+1)	D																																				
0	0	0																																				
0	1	1																																				
1	0	0																																				
1	1	1																																				
D	Q(t+1)																																					
0	0																																					
1	1																																					
	$Q(t+1)=JQ'(t)+K'Q(t)$	<table><tr><th>Q(t)</th><th>Q(t+1)</th><th>J</th><th>K</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>X</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>X</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>X</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>X</td><td>0</td></tr></table>	Q(t)	Q(t+1)	J	K	0	0	0	X	0	1	1	X	1	0	X	1	1	1	X	0	<table><tr><th>J</th><th>K</th><th>Q(t+1)</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>Q(t)</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>Q'(t)</td></tr></table>	J	K	Q(t+1)	0	0	Q(t)	0	1	0	1	0	1	1	1	Q'(t)
Q(t)	Q(t+1)	J	K																																			
0	0	0	X																																			
0	1	1	X																																			
1	0	X	1																																			
1	1	X	0																																			
J	K	Q(t+1)																																				
0	0	Q(t)																																				
0	1	0																																				
1	0	1																																				
1	1	Q'(t)																																				
	$Q(t+1)=T \oplus Q$	<table><tr><th>Q(t)</th><th>Q(t+1)</th><th>T</th></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr></table>	Q(t)	Q(t+1)	T	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	<table><tr><th>T</th><th>Q(t+1)</th></tr><tr><td>0</td><td>Q(t)</td></tr><tr><td>1</td><td>Q'(t)</td></tr></table>	T	Q(t+1)	0	Q(t)	1	Q'(t)														
Q(t)	Q(t+1)	T																																				
0	0	0																																				
0	1	1																																				
1	0	1																																				
1	1	0																																				
T	Q(t+1)																																					
0	Q(t)																																					
1	Q'(t)																																					

شکل ۲- پایه‌های set و reset در فلیپ فلاپ‌ها

شکل ۱- مشخصات انواع فلیپ فلاپ

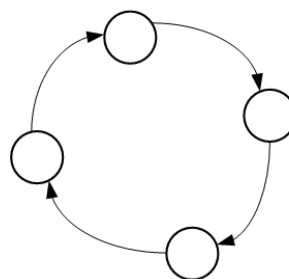
۳- طراحی شمارنده با روش دیاگرام حالت:

در این روش ابتدا دیاگرام حالت شمارنده رسم شده و با استفاده از جدول تحریک فلیپ فلاپی که قرار است طرح سخت افزاری شمارنده ای با آن فلیپ فلاپ اجرا شود، مدارات ترکیبی که به ورودی های فلیپ فلاپها وصل خواهند شد طراحی می گردند.

۳-۱- طراحی شمارنده دوبیتی با روش دیاگرام حالت با استفاده از فلیپ فلاپ JK :

در این مقاله ابتدا یک شمارنده دو بیتی با فلیپ فلاپ JK طراحی می گردد. همانطور که مشخص است شمارنده ۲ بیتی دارای ۴ مد است. دیاگرام حالت و جدول حالت شمارنده مذکور در شکل ۳ نشان داده شده است. تعداد فلیپ فلاپها با تعداد بیت های شمارنده برابر است.

حالت قبل		حالت بعد					
A(t)	B(t)	A(t+1)	B(t+1)	J_A	K_A	J_B	K_B
0	0	0	1	0	X	1	X
0	1	1	0	1	X	X	1
1	0	1	1	X	0	1	X
1	1	0	0	X	0	X	1



شکل ۳- دیاگرام و جدول حالت شمارنده ۲ بیت با استفاده از فلیپ فلاپ JK.

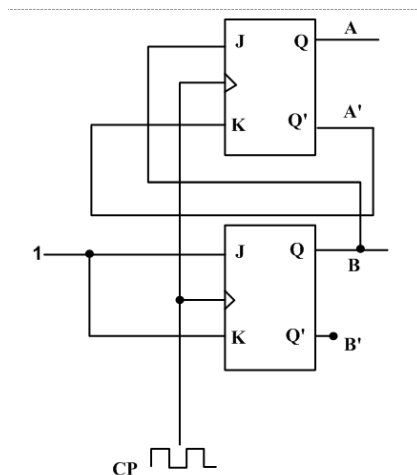
حال با استفاده از جدول تحریک فلیپ فلاپ JK که در شکل ۱ آمده است، می توان بیت های مربوط به ورودی های J و K فلیپ فلاپهای A و B را برای هر مرحله از شمارش تعیین کرد. برای بدست آوردن مدار ترکیبی مربوط به ورودی های فلیپ فلاپ JK باید از روی جدول حالت، جدول کارنو را برای هر کدام از عبارت های J_A , K_A , J_B , K_B تشکیل داد و ساده ترین عبارت جبری آن ها را تعیین کرد و سخت افزار طراحی شده ی شمارنده ی مورد نظر را بدست آورد. این عمل در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است.

$ \begin{array}{cc cc} & B & 0 & 1 \\ A & 0 & & 1 \\ & 1 & X & X \end{array} $ $J_A = B$	$ \begin{array}{cc cc} & B & 0 & 1 \\ A & 0 & X & X \\ & 1 & & \end{array} $ $K_A = A'$	$ \begin{array}{cc cc} & B & 0 & 1 \\ A & 0 & 1 & X \\ & 1 & 1 & X \end{array} $ $J_B = 1$	$ \begin{array}{cc cc} & B & 0 & 1 \\ A & 0 & X & 1 \\ & 1 & X & 1 \end{array} $ $K_B = 1$
--	--	--	--

شکل ۴- جدول کارنو و روابط ورودی های فلیپ فلاپهای شمارنده

۳-۲- طراحی شمارنده سه بیتی دیکدري با روش دیاگرام حالت با استفاده از فلیپ فلاپ T :

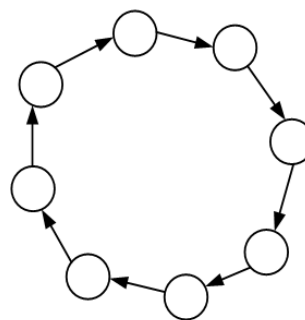
در این بخش پس از رسم دیاگرام حالت شماره سه بیتی مطابق روش بیان شده در بخش قبل از روی دیاگرام حالت، جدول حالت مربوط به شمارنده سه بیتی رسم شده است. با استفاده از جدول تحریک فلیپ فلاپهای T که در شکل ۱ آمده است، مدارات ترکیبی ورودی های فلیپ فلاپ T قابل طراحی است. در این قسمت برای طراحی این مدارات ترکیبی از جدول کارنو و گیت ها استفاده نشده است. به علت تعداد زیاد متغیرهای ورودی و همچنین پیچیده شدن جملات ورودی مدارات ترکیبی مربوط به فلیپ فلاپهای T، برای ساده سازی طراحی مدارات ترکیبی ورودی فلیپ فلاپهای T از دیکدرها استفاده شده است.



شکل ۵- سخت افزار شمارنده دو بیتی با استفاده از روش دیاگرام حالت با استفاده از فلیپ فلاپ JK

دیاگرام حالت، جدول حالت و همچنین عبارات استاندارد که به صورت مجموع مینترمها برای هر ورودی از فلیپ فلاپهای T بدست آمده است در شکل ۶ نشان داده شده است. مدار طراحی شدهی شمارنده سه بیتی با استفاده از فلیپ فلاپ T در شکل ۷ نشان داده شده است.

$A_3(t)$	$A_2(t)$	$A_1(t)$	$A_3(t+1)$	$A_2(t+1)$	$A_1(t+1)$	T_{A3}	T_{A2}	T_{A1}



$$T_{A3} = \sum m(3,7)$$

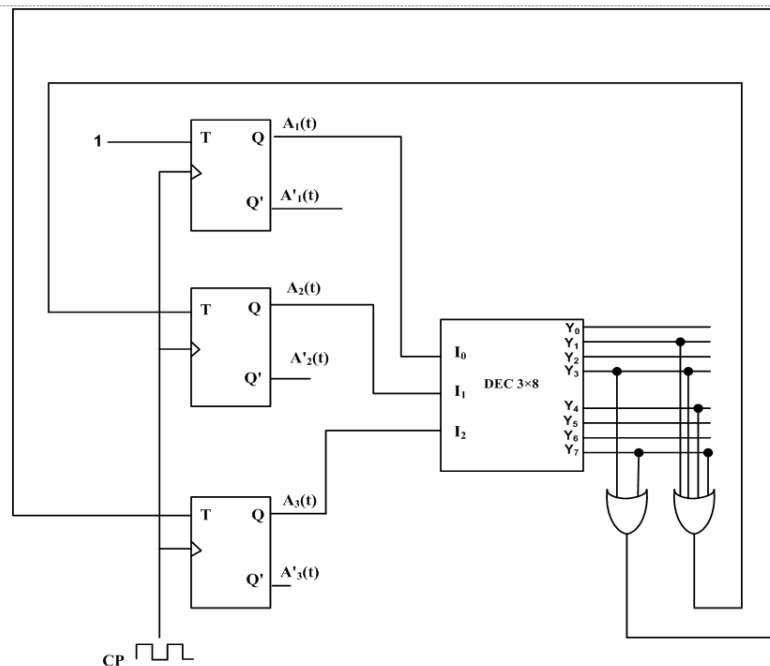
$$T_{A2} = \sum m(1,3,5,7)$$

$$T_{A1} = 1$$

شکل ۶- دیاگرام و جدول حالت شمارنده ۳ بیت با استفاده از فلیپ فلاپ T.

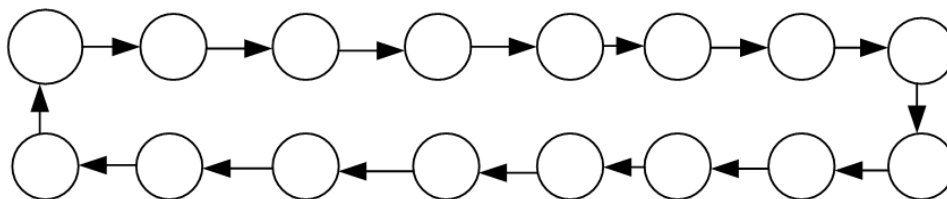
۳-۳- طراحی شمارنده ۴ بیتی مالتی پلکسری با استفاده از فلیپ فلاپ D:

در این بخش مانند بخش های پیشین برای طراحی شمارنده ۴ بیتی نیز دیاگرام و جدول حالت رسم شده است. شمارنده ۴ بیتی ۱۶ مد دارد. برای طراحی چنین شمارنده ای از فلیپ فلاپ D استفاده شده است. برای طراحی شمارنده به ۴ فلیپ فلاپ D نیاز است. با استفاده از جدول تحریک فلیپ فلاپ D جدول حالت تکمیل شده و تمام ورودی های فلیپ فلاپهای D به صورت مجموع مینترمها در آمده اند. در مقاله ی حاضر برای اولین بار برای طراحی قسمت مربوط به مدارات ترکیبی شمارنده، از مالتی-پلکسر استفاده شده است. دیاگرام حالت، جدول حالت، طراحی مدارات ترکیبی به کمک مالتی پلکسرها و مدار شمارنده ۴ بیتی با استفاده از فلیپ فلاپ D در اشکال ۸ تا ۱۱ آورده شده است.



شکل ۷- شمارنده‌ی دیکدري ۳ بیتی با استفاده از فلیپ فلاپ T.

همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است، در روش طراحی با مالتی‌پلکسر، ابتدا با ارزش‌ترین متغیر نگهداشته شده و مابقی متغیرها به پایه‌هایی Select مالتی‌پلکسر متصل می‌گردند. به این ترتیب با مشخص شدن تعداد پایه‌های Select نوع مالتی‌پلکسر و تعداد ورودی‌های آن‌ها مشخص می‌شود. به‌عنوان نمونه اگر تابعی که می‌خواهد با مالتی‌پلکسر طراحی گردد به‌صورت $f(w, x, y, z)$ باشد، می‌بایست متغیر w نگهداشته شده و متغیرهای x, y, z به پایه‌های Select مالتی‌پلکسر متصل گردد. پس مالتی‌پلکسر از نوع 8×1 خواهد بود. یعنی تعداد ورودی‌های آن برابر ۸ خواهد بود. سپس یک جدول تهیه می‌گردد که دو ردیف دارد. ردیف‌های اول آن مربوط به متغیر باقیمانده و ردیف دوم NOT آن متغیر خواهد بود. ستون‌های این جدول نیز ورودی‌های مالتی‌پلکسر انتخاب شده خواهد بود که شماره‌های تمام مینترم‌های تابع در دو ردیف در این جدول جا داده می‌شود. برای ورودی‌های فلیپ فلاپ‌های شمارنده‌ی ۴ بیتی با فلیپ فلاپ D این جداول در شکل ۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۸- دیاگرام حالت شمارنده ۴ بیتی.

$A_3(t)$	$A_2(t)$	$A_1(t)$	$A_0(t)$	$A_3(t+1)$	$A_2(t+1)$	$A_1(t+1)$	$A_0(t+1)$	D_{A3}	D_{A2}	D_{A1}	D_{A0}
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	1
1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

$$D_{A3}(A_3, A_2, A_1, A_0) = \sum m(7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)$$

$$D_{A2}(A_3, A_2, A_1, A_0) = \sum m(3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 14)$$

$$D_{A1}(A_3, A_2, A_1, A_0) = \sum m(1, 2, 5, 6, 9, 10, 13, 14)$$

$$D_{A0}(A_3, A_2, A_1, A_0) = \sum m(0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14)$$

شکل ۹- جدول حالت شمارنده ۴ بیتی با استفاده از فیلیپ فلاپ D

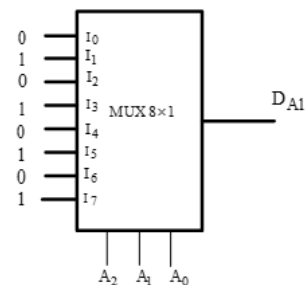
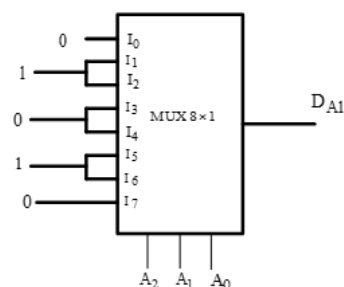
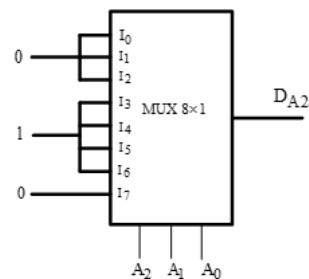
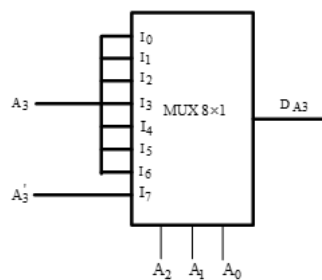
در جدول طراحی مالتی پلکسری، همانطور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، دور شماره هر مینترم که در مجموع مینترم ها آمده است دایره کشیده می‌شود. سپس به صورت عمودی، ستون‌های مربوط به ورودی‌های مالتی پلکسر بررسی می‌شوند. اگر در زیر هر ورودی هر دو شماره هر دو ستون یک باشد آن ورودی در مدار اصلی باید به ۱ منطقی وصل شود و اگر هیچکدام از شماره‌ها انتخاب نشود باید آن ورودی به صفر منطقی وصل گردد. در جدول نیز این اعداد در انتهای ستون‌ها درج می‌گردند. حال اگر در زیر هر ستون یک شماره با دایره مشخص شده باشد باید به ردیف مربوطه نگاه شود. آن ورودی باید به پارامتر مربوط به ردیف آن عدد متصل گردد. به عنوان مثال اگر در زیر یک ورودی فقط یک دایره وجود داشته باشد و آن دایره در ردیف A' باشد آن ورودی باید به A' وصل شود.

	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
A_3'	0	1	2	3	4	5	6	7
A_3	8	9	10	11	12	13	14	15
	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3	A_3'

	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
A_3	0	1	2	3	4	5	6	7
A_3'	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	0	0	1	1	1	1	0

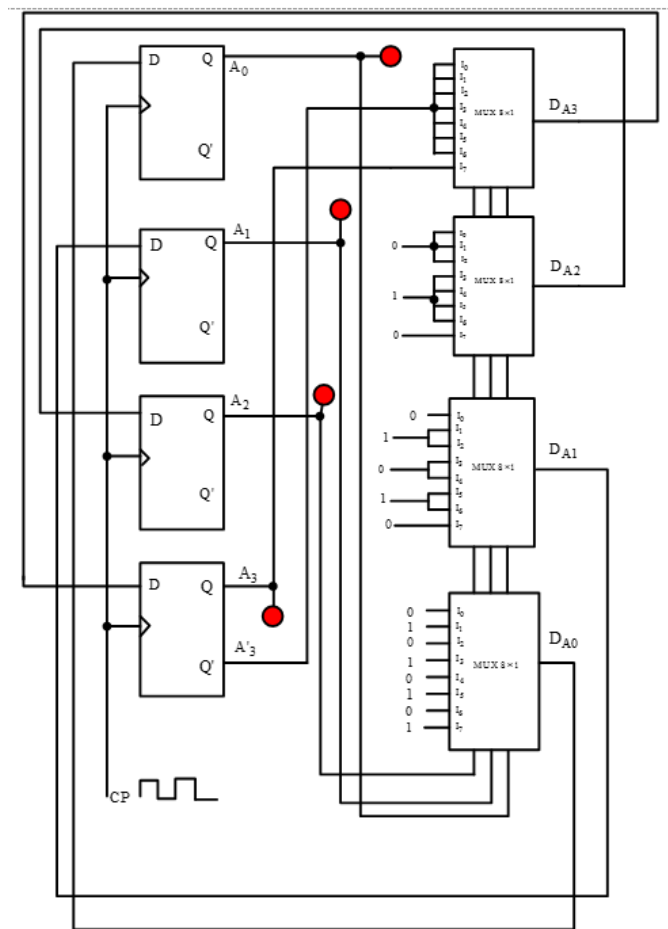
	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
A_3	0	1	2	3	4	5	6	7
A_3'	8	9	10	11	12	13	14	15
	0	1	1	0	0	1	1	0

	I_0	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	I_6	I_7
A_3	0	1	2	3	4	5	6	7
A_3'	8	9	10	11	12	13	14	15
	1	0	1	0	1	0	1	0



شکل ۱۰- طراحی مدارات ترکیبی مربوط به ورودی‌های فلیپ فلاپ‌های D در شمارنده ۴ بیتی

پس از طراحی ورودی‌های هر ۴ فلیپ فلاپ D با مالتی پلکسر در شکل ۱۰ به کمک جدول حالت شکل ۹ شمارنده ۴ بیتی طراحی شده در شکل ۱۱ ترسیم شده است.



شکل ۱۱- شمارنده ۴ بیتی مالتی پلکسری با فلیپ فلاپ D

نتیجه گیری

در مقاله‌ی حاضر ابتدا مروری بر روند طراحی شمارنده‌ها با استفاده از فلیپ فلاپ‌ها ارائه گردید. در شمارنده‌های بیت بالا و دارای مد زیاد، مدار ترکیبی ورودی فلیپ فلاپ‌ها بسیار پیچیده شده و موجب افزایش زمان طراحی، افزایش هزینه و همچنین افزایش پیچیدگی طراحی و پیاده‌سازی می‌گردد. به این علت برای اولین بار در مقاله‌ی حاضر، مدار ترکیبی شمارنده‌های ۳ و ۴ بیتی به‌منظور سادگی به کمک مدارات دیکدری و مالتی پلکسری طراحی و پیاده‌سازی شده‌اند.

منابع

1. Mano, L.M., Cilett, R.D.(2012). **Digital design : with introduction to the Verilog HDL**, Fifth edition, Elsevier.
2. Hennessy, J.L., Patterson, D. A. (2012). **Computer Architecture**, Elsevier.
3. Lala, P. L.(2007), **Principles of modern digital design**, John Wiley and sons.
4. Godse, A. P., Godse, D. A.(2008), **Principles of modern digital design**, Technical Publication

بررسی متغیرهای مؤثر بر لپن کاری تخت قطعه کارهای آلومینیومی

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۳۰

کد مقاله: ۸۷۴۰۱

جمال‌الدین زارعی^۱، حسین امیرآبادی^{۲*}

چکیده

در این پژوهش با بررسی انواع پارامترهای مؤثر در لپن کاری تخت و پولیش کاری قطعه آلومینیومی و نقش بسزای هر یک از آن‌ها در تولید قطعه کارهایی باکیفیت سطح عالی و تلورانس هندسی مطلوب، مؤثرترین آن‌ها مشخص گردید. متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در فرایند لپن کاری دارند؛ اندازه دانه‌های ساینده، نوع دانه‌های ساینده، سختی دانه‌های ساینده، نرخ مصرف مایع ساینده، سرعت دورانی صفحه لپ، نیروی نرمال وارد بر قطعه کار، زمان لپن کاری، نوع ماده قطعه کار و مواد تشکیل‌دهنده صفحه لپن کاری است. این پژوهش نشان می‌دهد؛ مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده بهبود کیفیت سطح، سرعت دورانی و میزان نیروی عمود بر سطح می‌باشد. بنابراین، با مطالعه‌های انجام‌شده در حوزه کاربرد قطعه‌های آلومینیومی تخت و از طرفی دیگر احساس نیاز در صنایع داخل کشور لزوم ساخت این نوع قطعه‌ها با حداکثر کیفیت سطح در جهت تولید آینه‌های فلزی آلومینیومی با پتانسیل‌های بومی را نشان می‌دهد، که در این راستا شرایط بهینه جهت ساخت آن دارای اهمیت زیادی است.

واژگان کلیدی: تختی، لپن کاری، پرداخت سطح، آلیاژ آلومینیم

۱- دانشجوی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی

۲- دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه بیرجند، دانشکده مهندسی، hamirabadi@birjand.ac.ir

۱- مقدمه

لپ‌کاری^۱ یکی از قدیمی‌ترین فرآیندهای ماشین‌کاری است، که نخستین نشانه‌های آن به عصر حجر برمی‌گردد. مفاهیم حرکتی آن از سال ۱۴۹۳ میلادی آغاز و در سال ۱۹۵۰ میلادی کاربردی شد، که اکنون از این مفاهیم در فرآیندهای لپ‌کاری استفاده می‌شود. هزینه ماشین‌کاری قطعه کارهایی از جنس سرامیک، شیشه، تک کریستال‌ها و سایر مواد مقاوم به سایش در این فرایند، نسبت به روش‌های ماشین‌کاری معمولی، کاهش قابل‌ملاحظه‌ای یافته است، که نتیجه آن، دستیابی به کیفیت سطح مطلوب در حداقل زمان ممکن، کاهش عیوب سطحی و تنش‌های پسماند است [۱]. با بررسی انواع پارامترهای مؤثر در لپ‌کاری تخت^۲ و پولیش‌کاری^۳ قطعه کارهای آلومینیومی و نقش بسزای هر یک از آن‌ها در تولید قطعه‌ای با کیفیت سطح عالی و تلورانس هندسی^۴ مطلوب، مؤثرترین آن‌ها در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت. از کاربردهای این قبیل قطعه‌ها، می‌توان در ساخت ابزارهای دقیق اخترشناسی، صنایع دفاعی، صنایع هوا-فضا، سلول خورشیدی، فیبر نوری و آینه‌های فلزی^۵ نام برد.

متغیرهایی که بیشترین تأثیر را در فرایند لپ‌کاری دارند؛ اندازه دانه‌های ساینده، سرعت دورانی صفحه لپ، نیروی نرمال وارد بر قطعه کار، زمان لپ‌کاری، نوع ماده قطعه کار و مواد تشکیل‌دهنده صفحه لپ‌کاری است. لذا طی مطالعه‌های صورت گرفته، مهم‌ترین آن‌ها سرعت دورانی، نیروی عمودی وارد بر قطعه کار و قطر دانه‌های ساینده عنوان شده است [۲، ۳]. ذکر این نکته ضروری است، که علاوه بر اندازه دانه‌های ساینده، انتخاب نوع ساینده تأثیر بسزایی در بهبود کیفیت سطح و کاهش عیوب‌های سطحی قطعه کار دارد [۴]. بدین معنی؛ که سختی مواد ساینده بکار رفته در فرایند لپ‌کاری نقش تعیین‌کننده‌ای در تختی سطح و در نتیجه، انعکاس سطح تولیدشده دارد، زیرا در صورت استفاده از مواد ساینده نرم، با وجود اینکه صافی سطح مناسبی ایجاد می‌شود، سطحی مات حاصل آن است، که برای ساخت آینه‌های فلزی و سایر قطعه کارهایی که براق بودن سطح آن از اهمیت ویژه برخوردار است، قابل قبول نمی باشد [۵، ۳] تا کنون پژوهش‌های فراوانی در خصوص تأثیر متغیرهای لپ‌کاری توسط محققین صاحب‌نظر در این حوزه انجام شده است. ویورل کوآل^۶ و همکارانش [۶] در سال ۲۰۰۸ به این نتیجه رسیدند، که افزایش فشار لپ‌کاری^۷ و اصطکاک حاصل از آن منجر به کاهش اندازه دانه‌های ساینده می‌شود. در نتیجه، نرخ برداشت ماده کاهش می‌یابد و کیفیت سطح بهتر می‌شود. آماندپ سینگ^۸ و همکارانش [۷] در سال ۲۰۱۶ میلادی در زمینه بهینه‌سازی فرایند پولیش‌کاری قطعه‌های نوری بزرگ با سه پارامتر کنترلی؛ سرعت نسبی، نیروی نرمال (فشار) و اندازه دانه‌های ساینده که بر روی کیفیت سطح قطعه‌های تولیدی تأثیرگذارند، مطالبی را ارائه دادند. همچنین موهان^۹ و همکارش [۸، ۹]. در سال ۲۰۱۰ میلادی به این نتیجه رسیدند، کاهش سرعت دورانی صفحه لپ‌کاری و مصرف کم مایع ساینده، در صورت افزایش نیروی عمودی وارد بر قطعه کار می‌تواند سبب بهبود پرداخت سطح قطعه کارهایی از جنس مس شود و سطحی عاری از خراش ایجاد کند. با مطالعه‌های انجام شده در حوزه کاربرد قطعه‌های آلومینیومی تخت و از طرفی دیگر احساس نیاز در صنایع داخل کشور لزوم ساخت این نوع قطعه‌ها با حداکثر کیفیت سطح در جهت تولید آینه‌های فلزی آلومینیومی با پتانسیل‌های بومی را نشان می‌دهد، که در این راستا شرایط بهینه جهت ساخت آن دارای اهمیت زیادی است که تا کنون تلاش‌های مؤثری در داخل کشور انجام نشده است.

۲- مواد و تجهیزات مورد استفاده

قطعه کارهای مورد استفاده در این پژوهش از جنس آلیاژ آلومینیوم سری ۶۰۰۰ با خلوص بالای ۹۵ درصد، دارای عناصر آلیاژی سیلیسیم و منیزیم، قابلیت عملیات حرارتی، فرم‌پذیری خوب، مقاوم به خوردگی، دارای سختی ۹۵ برینل^{۱۰}، به قطر ۴۰ و ضخامت ده میلی‌متر می‌باشند. نکته قابل توجه در انتخاب صفحه لپ‌کاری، نرم بودن جنس آن در مقایسه با جنس قطعه کارهای مورد استفاده است [۳]. لذا صفحه لپ‌کاری سوپر کامپوزیت، ساخت شرکت آبر-لپ^{۱۱} کانادا، مدل هایپرز تی ایکس-تن^{۱۲} با قطر

1 - Lapping

2 - Flat Lapping

3 - Polishing

4 - Geometrical Tolerance

5 - Metallic Mirror

6 - Viorel Cohal

7 - Lapping pressure

8 - Amandeep Singh

9 - Mohan

10 - HBN

11 - ABRA-LAP

12 - Hyperz TX-10A

۳۰۵ و ضخامت ۲۲ میلی‌متر انتخاب شده است، که از ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن می‌توان؛ به قابلیت لپ‌کاری و پولیش‌کاری قطعه‌های سرامیکی و سایر مواد حساس به آلودگی نام برد. همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، صفحه فوق بر روی میز دستگاهی که از قبل به همین منظور طراحی و ساخته شده است، نصب گردیده و جهت انجام آزمون‌های لازم مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۲: دستگاه اندازه‌گیری مختصات



شکل ۱: صفحه لپ نصب‌شده بر روی میز دستگاه ساخته شده



شکل ۳: مایع ساینده‌های الماس ساخت شرکت آبرا-لپ

اندازه‌گیری تختی سطح نمونه‌های لپ‌کاری-پولیش‌کاری شده توسط دستگاه اندازه‌گیری مختصات^۱ مدل چی‌ین‌وی-سی‌ای ۴۵۰ ساخت کشور تایوان با دقت یک میکرومتر و مدل پراب رنی‌شاوام اچ توانی‌آی^۲ شکل انجام گردید. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، مایع ساینده مورد استفاده از جنس الماس، ساخت شرکت آبرا-لپ^۳ است، که در اندازه‌های چهارده میکرومتر؛ جهت انجام عملیات لپ‌کاری، هشت میکرومتر؛ جهت انجام عملیات پولیش‌کاری ابتدایی و سه میکرومتر؛ جهت انجام عملیات پولیش‌کاری نهایی، با درصد وزنی ۳۵ گرم بر لیتر انتخاب شده است

۳- شرح کار

در این پژوهش با توجه به متغیرهای مؤثر در فرایند لپ‌کاری و همچنین مشاوره با تولید کنندگان لپ، منابع و اطلاعات مورد نیاز جمع‌بندی و مهم‌ترین آن‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. با فرض ثابت نگه داشتن دمای محیط، چهار متغیر؛ سرعت دورانی، زمان لپ‌کاری، اندازه دانه‌های ساینده الماس و نیروی عمودی وارد بر سطح قطعه کار، از اساسی‌ترین متغیرهای این فرایند است. با توجه به حساس بودن کیفیت ظاهری قطعه کارهای تولید شده و در نظر گرفتن افزایش راندمان تولید، مایع ساینده الماس در تولید قطعه کارهایی تمیز و عاری از هرگونه آلودگی ناشی از نفوذ مواد ساینده به سطح قطعه کار انتخاب گردید. لازم به ذکر است، استفاده از ساینده‌های الماس در فرایندهای لپ‌کاری بیشتر از ۵۰ درصد در مقایسه با فرایندهای سنگ‌زنی، زمان ماشین‌کاری را کاهش می‌دهد^[۳]. از مزیت‌های دیگر دانه‌های ساینده الماس می‌توان به سختی بالای آن نسبت به سختی قطعه کار اشاره کرد، زیرا در اثر حرارت ایجاد شده در حین عملیات لپ‌کاری، سختی آن کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا نمی‌کند. از سوی دیگر، امکان انجام عملیات لپ‌کاری و پولیش‌کاری را در یک مرحله میسر می‌سازد^[۳].

در این پژوهش پس از تعریف متغیرهای لازم به‌منظور تولید قطعه کارهای آلومینیومی و همچنین تهیه مایع‌های الماس مناسب، نسبت به انجام آزمایش‌های لازم اقدام گردید. همچنین فرایند حاصل در سه فاز انجام شده است. فاز یک شامل: تولید پنج عدد قطعه کار است. در ابتدا با ثابت نگه داشتن اندازه دانه‌ها و تغییر سایر متغیرها، تختی سطح حاصل اندازه‌گیری شد و ظاهر قطعه کار به‌صورت چشمی^۵ مورد بازرسی قرار گرفت. جدول ۱ مقدار متغیرهای تأثیرگذار در این فاز را نشان می‌دهد.

- 1 - Coordinate Measuring Machine
- 2 - CHIEN WEI-CE-450
- 3 - RENISHAW MH20I
- 4 - ABRA-LAP
- 5- Visual Test

جدول ۱: مقدار متغیرهای تأثیرگذار در فاز یک

متغیرها					
قطعه کار	سرعت دورانی rpm	زمان لپ کاری s	اندازه دانه‌های ساینده الماس μm	نیروی عمودی Kg	تختی سطح μm
۱	۱۲۴	۱۸۰۰	۳	۱/۸	۴۵
۲	۱۶۵	۲۱۰۰	۳	۰/۹	۱۲
۳	۲۰۵	۳۶۰۰	۳	۵/۷۲۵	۶
۴	۱۲۴	۳۶۰۰	۸	۱/۸	۳۰
۵	۱۲۴	۵۴۰۰	۸	۱/۸	۷

خراش‌های مشاهده‌شده بر روی سطح نهایی قطعه کار موجب شد، تا جهت بهبود شرایط ظاهری سطح و همچنین افزایش تختی آن، در فاز دو با اعمال نیروی عمودی ثابت در حین انجام فرایند و استفاده از مایع ساینده الماس با اندازه دانه‌های متفاوت، طی مرحله‌های یک و دو این فاز، کنترل تختی و ظاهر قطعه کارهای تولیدشده و مقایسه آن با قطعه کارهای فاز یک انجام شود. لازم به ذکر است، در این فاز با توجه به اینکه مایع ساینده حاوی ذرات ساینده با اندازه‌های متفاوت است، شروع هر مرحله منوط به تمیز کردن کامل صفحه از مایع ساینده‌های مرحله قبل و شستشوی صفحه لپ با آب مقطر است. زیرا، ساینده‌های درشت باقیمانده از هر مرحله باعث ایجاد خراشیدگی در سطح قطعه کار و در نتیجه کاهش کیفیت سطح می گردد. جدول ۲ مقدار متغیرهای این فاز را نشان می دهد.

جدول ۲: مقدار متغیرهای تأثیرگذار در فاز دو

متغیرها					
قطعه کار	سرعت دورانی rpm	زمان لپ کاری s	اندازه دانه‌های ساینده الماس μm	نیروی عمودی Kg	تختی سطح μm
مرحله ۱ مرحله ۲	۱۴۴	۲۱۰۰	۸	۱/۸	۴
	۱۴۴	۱۵۰۰	۳	۱/۸	
مرحله ۱ مرحله ۲	۴۲۱	۲۴۰۰	۱۴	۲/۷	۳
	۴۲۱	۲۴۰۰	۸	۲/۷	

لذا بهبود تختی سطح و کیفیت ظاهری - کاهش خراش‌های سطحی- موجب شد، که در فاز آخر از ساینده‌های الماس با اندازه دانه متفاوت استفاده شود. در این مرحله با انجام گام‌های یک تا سه و توجه به این نکته که بیشترین تأثیر در تختی قطعه کارها ناشی از اعمال نیروی عمودی بیشتر است، انجام فرایند بهبود ادامه یافت. شکل‌های ۴-۷ روند بهبود کیفیت سطح قطعه کارهای تولیدشده را قبل از انجام فرایند لپ کاری و بعد از انجام عملیات فاز یک تا سه را نشان می دهد.

در ضمن توجه به این نکته ضرورت دارد، که به منظور جلوگیری از پدیده سُر خوردن و شناور شدن قطعه کار بر روی صفحه لپ و جلوگیری از کاهش نرخ براده برداری که به سبب افزایش فیلم مایع ساینده ایجاد می شود، باید از مصرف زیاد مایع ساینده در مدت زمان انجام عملیات لپ کاری خودداری گردد [۳]. در این پژوهش نرخ مصرف مایع ساینده ۰/۵ دسی متر مکعب بر ساعت اندازه گیری و به صورت دستی در مرکز دوران صفحه لپ تزریق شده است.



شکل ۵: سطح قطعه کار بعد از عملیات فاز یک با تغییر دادن متغیرهای سرعت دورانی، نیروی وارد بر سطح و زمان لپ کاری



شکل ۶: سطح قطعه کار قبل از عملیات لپ کاری



شکل ۷: سطح قطعه کار بعد از عملیات فاز سه با تغییر دادن متغیرهای سرعت دورانی، نیروی وارد بر سطح و زمان لپن کاری



شکل ۸: سطح قطعه کار بعد از عملیات فاز دو با تغییر دادن متغیرهای نیروی وارد بر سطح و زمان لپن کاری

نتیجه گیری

فرایندهای لپن کاری و پولیش کاری شباهت‌های زیادی به یکدیگر دارند. مزیت‌های آن؛ پرداخت سطح خیلی ظریف، دقت ابعادی و تختی بالا است. عملکرد این فرایندها برای تولید سطوح تخت بسیار مناسب و اجرایی است. نکته قابل توجه این است، که بهبود راندمان فرایند وقتی حاصل می‌شود، که مایع‌های ساینده‌های لپن کاری و پولیش کاری مطابق با نیاز و هدف مورد انتظار به‌درستی انتخاب گردد. در این فرایندها توجه به صلیبت ماشین جهت استفاده از آن در سرعت‌های دورانی بیشتر و اعمال نیروهای بزرگ‌تر از اهمیت بسزایی برخوردار است. مایع ساینده همگن، فشار وارد بر سطح قطعه کار و حفظ جریان ثابت و همگن مایع ساینده، سه عامل اساسی در فرایند لپن کاری هستند که بر روی تختی صفحه لپ و در نتیجه، کیفیت سطح نهایی قطعه کار مؤثر هستند. مهم‌ترین خروجی‌های فرایند لپن کاری؛ نرخ برداشت براده، زبری سطح و تختی است، که در این پژوهش از مایع ساینده الماس به‌منظور افزایش راندمان و دستیابی به تختی بیشتر استفاده شده است. اندازه‌گیری تختی سطح، با استفاده از ماشین اندازه‌گیری مختصات انجام شده است و کیفیت سطح حاصل از این فرایند، به‌صورت چشمی بازرسی می‌گردد. نتیجه این پژوهش بر اساس مقدار متغیرهای فاز سه و تأثیر آن بر تختی و کیفیت ظاهری قطعه کار گزارش شده است. دستیابی به کیفیت سطح مطلوب در حداقل زمان ممکن و کاهش عیوب سطحی حاصل آن می‌باشد. حداکثر تختی سطح در این فاز، دو میکرومتر اندازه‌گیری شده است. جدول ۳ مقدار متغیرهای تأثیرگذار در آخرین فاز را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مقدار متغیرهای تأثیرگذار در فاز سه

متغیرها					قطعه کار	
سختی سطح μm	نیروی عمودی Kg	اندازه دانه‌های ساینده الماس μm	زمان لپن کاری s	سرعت دورانی rpm		
۵	۲/۷	۱۴	۲۴۰۰	۱۲۴	۸	مرحله ۱
	۲/۷	۸	۲۴۰۰	۱۲۴		مرحله ۲
	۱/۸	۳	۲۴۰۰	۱۲۴		مرحله ۳
۴	۵/۷۲۵	۱۴	۲۷۰۰	۴۲۱	۹	مرحله ۱
	۵/۷۲۵	۸	۲۴۰۰	۱۴۴		مرحله ۲
	۵/۷۲۵	۳	۲۴۰۰	۲۰۵		مرحله ۳
۲	۵/۷۲۵	۱۴	۱۰۸۰	۱۸۵	۱۰	مرحله ۱
	۵/۷۲۵	۸	۱۲۰۰	۱۸۵		مرحله ۲
	۵/۷۲۵	۳	۱۵۰۰	۱۹۳		مرحله ۳

بنابراین، نیروی وارد بر قطعه کار و سرعت دورانی صفحه لپ می‌تواند به‌عنوان مهم‌ترین متغیرهای این پژوهش مطرح شوند، که منطبق بر نظر موهان^۱ و همکارش [۸] در مورد لپن کاری قطعه‌های مسی است. همچنین ویورل کوآل^۲ و همکارانش هم به این نتیجه رسیدند، که افزایش فشار لپن کاری منجر به کیفیت سطح بهتر می‌شود. همچنین با توجه به نظر کلاکه^۳، با افزایش زمان لپن کاری، بهبود چشمگیری در کیفیت سطح حاصل نخواهد شد [۱۱]. بنابراین، با نتیجه این پژوهش همسو است، زیرا در

1 - Mohan

2 - Viorel Cohal

3 - Klocke

مرحله پایانی فاز سوم، ضمن کاهش زمان لپن کاری، در تختی سطح اندازه‌گیری شده بهبود چشم‌گیری حاصل نشده است. همچنین افزایش سرعت دورانی صفحه لپن کاری و در نتیجه، افزایش اثر نیروی گریز از مرکز در ناحیه تماس قطعه کار با صفحه لپ، منجر به خروج سریع مایع لپن کاری از صفحه لپ و در نتیجه کاهش تختی سطح می‌گردد [۳]. نتیجه این پژوهش می‌تواند، در لپن کاری قطعه کارهای آلومینیومی و تولید آینه‌های فلزی در صنایع وابسته استفاده شود.

منابع

1. S. Collier and A. Peker, "Metallic mirrors formed from amorphous alloys," ed: Google Patents, 2009.
2. F. Klocke, "Manufacturing Processes 2—Grinding," Honing, Lapping, 2009.
3. I. D. Marinescu, E. Uhlmann, and T. Doi, Handbook of Lapping and Polishing. CRC Press, 2006.
4. N. Belkhir, D. Bouzid, and V. Herold, "Correlation between the surface quality and the abrasive grains wear in optical glass lapping," Tribology International, vol. 40, no. 3, pp. 498-502, 3// 2007.
5. J. A. Howe and M. T. Nevalonny, "Aluminum optical mirror and method of making same," ed: Google Patents, 1952.
6. V. Cohal, A. Serb, and R.-M. Ciobanu, "Experimental researches concerning lapping of flat surfaces," Annals of DAAAM & Proceedings, pp. 291-293, 2008.
7. A. Singh, H. Garg, P. Kumar, and A. K. Lall, "Analysis and optimization of parameters in optical polishing of large diameter BK7 flat components," Materials and Manufacturing Processes, vol. 32, no. 5, pp. 542-548, 2017.
8. R. Mohan and N. Ramesh Babu, "Experimental investigations on ice bonded abrasive polishing of copper materials," Materials and Manufacturing Processes, vol. 25, no. 12, pp. 1462-1469, 2010.
9. M. Farahnakian and H. Shahrajabian, "Experimental Study on Surface Roughness and Flatness in Lapping of AISI 52100 Steel," International Journal of Advanced Design and Manufacturing Technology, vol. 9, no. 2, 2016.
10. D. F. Horne, "Optical production technology," London: A. Hilger, 1972, 1972.
11. F. Klocke, "Process Design. Manufacturing Processes 2—Grinding, Honing, Lapping," ed: Springer, Berlin, 2009.

شبیه‌سازی چتر پاشش و بررسی پروفیل قطر قطرات اسپری در انژکتور موتور موشک سوخت مایع

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۰

کد مقاله: ۹۹۲۱۴

میلاد رضایی^۱، محمد مهدی اسماعیلی^۲

چکیده

قسمت اصلی هر موتور احتراق تزریق کننده سیال سوخت و یا همان صفحه انژکتور است، به منظور کنترل فرآیند اکسیدکننده و احیاکننده در یک انژکتور موتور سوخت مایع، لازم است شکل‌گیری ترکیبات و عوامل تأثیرگذار بر آن شناخته شود. در این تحقیق سعی بر آن شده است تا با مدل‌سازی فرآیند پاشش در انژکتور موتور سوخت مایع SSME که یک موتور موشک با سوخت مایع با کارایی بالا می‌باشد به بررسی پارامترهای مختلف نظیر نسبت اختلاط، سرعت پاشش، آرایش نازل‌ها در الگوی پاشش منطقه تأثیر و عمق نفوذ پرداخته شود. کانتورهای پاشش در موتور سوخت مایع نشان می‌دهد که اندازه سرعت قطرات همانند کار تجربی، با گذشت زمان و افزایش فاصله از خروجی انژکتور کاهش می‌یابد و قطرات مومنتوم اولیه خود را از دست می‌دهند. همچنین سرعت ذرات اسپری در چترهای پاشش نمایش داده شده است که سرعت ذرات به دلیل از دست دادن مومنتوم کاهش می‌یابد و پس از برخورد چترپاشش با چترهای پاشش انژکتورهای دیگر و تبادل مومنتوم، این مقدار به‌طور ناگهانی افزایش یافته و مجدداً روند کاهشی خود را از سر می‌گیرد.

واژگان کلیدی: انژکتور، پاشش، اسپری، مومنتوم، احتراق.

۱- عضو انجمن هوا و فضای ایران، تهران، ایران

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان، دانشکده فنی و مهندسی، گرگان، ایران Miladrezaei_Mr@yahoo.com

۱- مقدمه

به‌طور کلی انژکتور دستگاهی است برای تبدیل سیال به قطرات ریز و پخش این ذرات در فضای محفظه احتراق. هرچه میزان خرد شدن ذرات سریع‌تر و بهتر انجام شود، تبخیر ذرات سیال با سرعت بالاتری انجام خواهد شد، در نتیجه راندمان حرارتی بالاتر و نیروی تراست بیشتر می‌شود. از این رو نحوه پاشش سوخت درون محفظه احتراق مسئله بسیار مهمی در پروسه عملکردی احتراق می‌باشد که به علت پیچیدگی‌های زیاد و تا حدی ناشناخته در فرآیند اتمیزاسیون اسپری، اغلب تحقیقات در این زمینه به‌صورت تجربی انجام شده است. در فرآیند انتشار سیال توسط انژکتور ابتدا ذرات تجزیه شده و در فاز بخار اختلاط صورت می‌گیرد. تجزیه سیال مکانیزم پیچیده‌ای دارد و به عوامل داخلی و خارجی متعددی بستگی دارد. این تجزیه از سطح مایع و به‌واسطه نیروهای آئرودینامیکی شروع می‌شود که بزرگی آن‌ها به سرعت جریان و غلظت گاز بستگی دارد. نیروهای آئرودینامیکی سعی در هم شکستن و متوقف ساختن جریان دارند، اما نیروهای کشش سطحی در مقابل آن مقاومت می‌کنند. از آنجا که عوامل خارجی در اکثر مواقع عوامل تعیین‌کننده در تجزیه جریان به شمار می‌روند، به هنگام طبقه‌بندی انژکتورها باید انتقال مایع به محیط‌های گازی متفاوت را به‌طور اختصاصی مورد بررسی قرار داد. [۳]



شکل ۱) نمونه انژکتور مورد استفاده در موشک

۲- فرآیند انتشار سوخت

به‌طور کلی هدف از انتشار ترکیبات سوخت در محفظه احتراق تبدیل قطرات سیال به ذرات بسیار ریز جهت افزایش سطح تبخیر و سپس ترکیب آن‌ها در فاز بخار می‌باشد. در فرآیند انتشار باید تلاش شود تا قطر قطرات سیال به کمترین میزان ممکن کاهش یابد، زیرا هرچه اندازه ذرات کوچک‌تر باشد، سرعت تبخیر افزایش یافته و در نتیجه زمان ماندگاری سوخت در محفظه کاهش می‌یابد. برای ایجاد ترکیب مناسب جهت رسیدن به احتراق کامل فرآیند انتشار بسیار حائز اهمیت می‌باشد. علاوه بر انتخاب نوع انژکتور مناسب با طراحی دقیق جهت تزریق سوخت، نحوه آرایش انژکتورها در کنار هم در نوع ساختار مخروط پاشش و برخورد جت‌های سیال بسیار مؤثر است. آرایش بهینه انژکتورها سبب می‌شود تا برخورد ذرات سیال سوخت به‌طور مطلوبی انجام و ذرات به اندازه کافی پودر شوند. نتیجه این برخورد مناسب ذرات احتراق کامل و میزان راندمان حرارتی بالاتر خواهد بود. [۳]

۳- اهمیت چیدمان انژکتور در صفحه انژکتور

هدف از انتشار ترکیبات سوخت در محفظه احتراق تبدیل آن‌ها به قطرات بسیار ریز برای افزایش سطح تبخیر و کاهش زمان تبخیر و سپس اختلاط آن‌ها در حالت بخار است. ایجاد ترکیب مناسب اکسیدکننده و احیاکننده و افزایش تراست در فرآیند انتشار حائز اهمیت است. در فرآیند انتشار تمامی تحقیقات در پی این هدف می‌باشند که قطر قطرات به حداقل ممکن کاهش یابد، زیرا هرچه اندازه ذرات تزریق شده از انژکتور به درون محفظه کوچک‌تر و سرعت آن‌ها بیشتر باشد، سرعت تبخیر افزایش یافته و موجب کاهش زمان ماندگاری سوخت در محفظه می‌شود. بنابراین نحوه آرایش انژکتورها در صفحه پارامتر بسیار مهمی در نحوه اختلاط اکسیدکننده و احیاکننده و ایجاد احتراق کامل می‌باشد.

رسیدن به احتراق کامل یا به عبارت دیگر راندمان احتراق بالا به سه عامل کلی بستگی دارد:

- ۱) ایجاد فضای مناسب دوفازی^۱ در محفظه احتراق که موجب افزایش نیروهای آئرودینامیکی به قطرات و تبدیل آن‌ها به ذرات بسیار ریز می‌گردد.
- ۲) انتخاب انژکتور مناسب که با ایجاد مسیر صحیح و سرعت اولیه در انتقال ترکیبات موجب کاهش قطر قطرات به حداقل ممکن شود.

۳) نحوه چیدمان انژکتورها^۱ در کنار یکدیگر هنگامی که یک انژکتور به‌طور مجزا و تنها سیال را تزریق می‌کند مخروط پاشش منحصری ایجاد می‌کند. نکته اینجاست که قرار گرفتن انواع مختلف انژکتورها در کنار هم با آرایش‌های متفاوت می‌تواند کاملاً و

مستقیماً شکل‌گیری مخروط پاشش را تغییر دهد و سبب ایجاد جریان آشفته شود. علاوه بر این زاویه‌گیری و نحوه چیدمان بهینه انژکتورها سبب می‌شود تا بیش از یک برخورد بین جت‌های خروجی از نازل انژکتور به وجود آید که این امر نیز در میزان اتمیزاسیون اسپری بسیار مؤثر می‌باشد. [۳]

۴- صفحه انژکتور

برای تولید احتراق با جریان آشفته و سرعت زیاد لازم است که تناسب مطلوب بین احیاکننده و اکسیدکننده در مقطع عرضی احتراق برقرار باشد. توزیع نامتعادل این دو سیال از طریق پاشش موجب ایجاد ذرات درشت و غیرمتقارن شده و در نتیجه تناسب ترکیبات در مناطق مختلف محفظه نامطلوب و احتراق ناقص سوخت به وجود می‌آید.

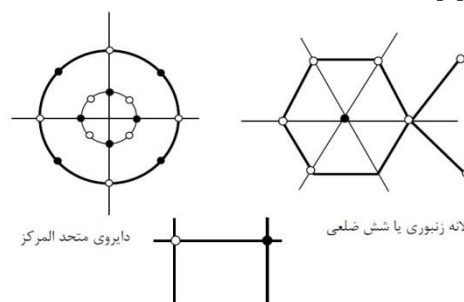
$$\frac{\dot{M}_{oi}}{\dot{M}_{fi}} = K_{Mi} \quad (۱)$$

$$q_i = \frac{\dot{M}_T}{f_k} \frac{\Delta \dot{M}_T}{\Delta f_k} \quad (۲)$$

اگر انتشار سوخت به‌طور مطلوب و نزدیک به ایدئال محاسباتی در مقطع توزیع شود احتراق کامل در حداقل حجم محفظه احتراق انجام می‌شود و محفظه در چنین شرایط بهینه هست ولی اگر توزیع سوخت به‌صورت نامطلوب و غیرمتقارن باشد موجب ایجاد ضربان حاصل از احتراق ناقص و آشفته خواهد شد که در حالت بحرانی موجب ایجاد شکستگی و انفجار در موشک می‌شود. [۱]

۵- آرایش انژکتور در صفحه انژکتور

آرایش انژکتور در صفحه به سه صورت است که در شکل (۳) نشان داده شده است. این سه نوع آرایش عبارتند از: آرایش شطرنجی سی متریک، لانه‌زنبری یا شش‌ضلعی و آرایش دایروی. مقایسه بین این سه نوع آرایش نشان می‌دهد که آرایش شطرنجی از نظر ساختار ساده‌تر است. ولی به دلیل برابری تعداد انژکتور احیاکننده اکسیدکننده موجب انحراف چتر پاشش می‌شود. عدم یکنواختی در چتر پاشش در این آرایش موجب عدم یکنواختی احتراق محفظه است. در این چیدمان پروفیل مشخصه‌های انرژی یکسان و یکنواخت خواهد بود و این بزرگ‌ترین عیب آرایش شطرنجی است. در آرایش لانه‌زنبری به ازای هر انژکتور احیاکننده دو انژکتور اکسیدکننده قرار دارد. از هر انژکتور اکسیدکننده تقریباً یک زاویه ۱۲۰° در مقابل انژکتور احیاکننده قرار می‌گیرد که $۱/۳$ دبی آن به هر انژکتور احیاکننده می‌رسد. شش انژکتور اکسیدکننده با زاویه ۷۲° یک انژکتور احیاکننده را در بر گرفته است که برابر دو چتر پاشش کامل انژکتور اکسیدکننده است. در نتیجه اگر نسبت ترکیبات برابر $K_m = ۲$ باشد، این نوع آرایش بهترین ترکیب را ایجاد می‌کند [۱]



شکل (۳) انواع آرایش انژکتور در صفحه انژکتور

۶- بررسی تجربی پاشش و کنترل کیفیت انژکتور

بررسی فرآیند پاشش^۲ و اتمیزاسیون با استفاده از روش‌های تجربی، اولین گام در شناخت و ارائه مدل‌های مختلف شکست می‌باشد که محققان بسیاری، به مطالعه آن پرداختند. به‌منظور بهینه‌سازی و کنترل فرآیند اکسیدکننده و احیاکننده، لازم است شکل‌گیری ترکیبات و عوامل تأثیرگذار بر آن شناخته شود. فهم بهتر خصوصیات اسپری در انژکتورها نقش مهمی در تطبیق

1- Injector arrangement

2- Spray

پارامترهای اسپری با شرایط مختلف عملکرد موتور ایفا می‌کند که در حال حاضر تحقیقات بسیاری در این زمینه روی اسپری انژکتورها انجام می‌شود. پس از مراحل طراحی و ساخت انژکتور و صفحه انژکتور، مطالعه تجربی مشخصه‌های پاشش و به‌طور کلی کنترل کیفیت آن در آزمایشگاه آزمودن سرد انجام می‌شود و با نتایج تئوری مقایسه و تصحیح می‌گردد. پارامترهای اصلی و مشخصه‌های عملکرد پاشش اسپری عبارت‌اند از:

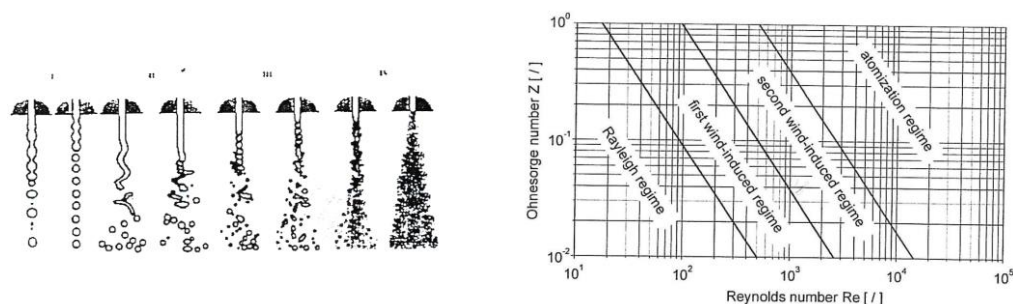
- دبی جرمی انژکتور
- اختلاف فشار دو طرف انژکتور
- زاویه‌های مخروط پاشش
- پاشش یکنواخت سیال در محفظه باثبات دبی پاشش
- پاشش یکسان سیال در چتر پاشش
- پاشش یکسان قطرات و ذرات پاشش و همگن بودن ذرات روی شعاع چتر پاشش [۳]

۷- رژیم‌های شکست قطره

فرآیند شکست مایع حاصل رشد بی‌نظمی و آشفتگی‌های کوچک در سطح مایع به علت برخورد مایع با گاز می‌باشد. برای پاشش یک جت یکنواخت از نازل با مقطع دایروی، شکست اولیه جت را طبق شکل (۴) می‌توان به چهار ناحیه طبقه‌بندی کرد. چهار رژیم اصلی شکست مطابق با ترکیبات متفاوت درون سیال و کشش سطحی نیروی آئرو دینامیکی جت شناسایی شده‌اند.

این رژیم‌ها عبارت‌اند از:

۱. شکست ریلی: قطر ذرات سیال بزرگ‌تر از قطرات جت می‌باشد. پدیده شکست در فاصله‌هایی چندین برابر قطر نازل در پایین‌دست جریان اتفاق می‌افتد.
۲. رژیم هوا القای نخست: قطر قطرات هم‌مرتبه با قطر جت می‌باشد که همانند مدل ریلی پدیده‌ی شکست در فاصله دورتر از نازل اتفاق می‌افتد.
۳. رژیم هوا القای ثانویه: سایز قطرات کوچک‌تر از قطر جت می‌باشد. در این رژیم شکست کمی از پایین‌دست نازل اتفاق می‌افتد.
۴. رژیم اتمیزاسیون: سایز قطرات بسیار کوچک‌تر از قطر جت می‌باشد. در این رژیم پدیده شکست در ابتدای خروجی نازل اتفاق می‌افتد. [۳]



شکل (۴) رژیم‌های مختلف شکست با توجه به عدد Re و $z(OH)$

$$Re_L = \frac{\rho_L U_L d_0}{\mu_L} \quad (3)$$

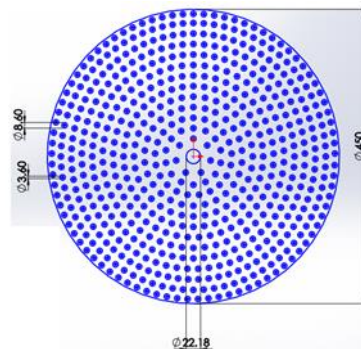
$$We_L = \frac{\rho_L U_L^2 d_0}{\sigma} \quad (4)$$

$$Z = Oh = We_L^{0.5} Re_L^{-1} = \frac{\mu_L}{(\rho_L \sigma d_0)} \quad (5)$$

با توجه به شکل با افزایش عدد رینولدز و عدد بی‌بعد Z ، کیفیت شکست و اتمیزاسیون جت بهتر می‌شود. [۳]

۸. مدل سازی هندسی و شبکه بندی انژکتور

روش کلی تولید شبکه با نرم افزار سالدورک به این صورت است که با استفاده از امکانات دکمه کاری تولید هندسه، شکل هندسی مسئله را تولید کرده سپس به کمک امکانات دکمه کاری تولید شبکه حول هندسه تولیدی در مرحله قبل یک شبکه ایجاد می شود. پس از فراخوانی فایل لازم است که شبکه تولید شده مورد بررسی قرار گرفته تا مشکلی نداشته باشد. رایج ترین خطای موجود در هنگام بررسی کردن شبکه، وجود المان هایی با حجم های منفی در دامنه محاسباتی است. اگر حجم المان منفی باشد لازم است که شبکه تولید شده بازسازی گردد. در شکل (۵) زیر مراحل مدل سازی و تولید اجزاء انژکتور نمایش داده شده است. [۳]



شکل ۵) صفحه انژکتور دایروی و نحوه چیدمان انژکتورها

جدول ۱- مشخصات هندسی انژکتور و مقادیر ورودی

1.8	قطر محل ورودی سوخت
4.3	قطر محل ورودی اکسیدکننده (mm)
450	قطر انژکتور (mm)
300	طول انژکتور (mm)
70	زاویه پاشش انژکتور (درجه)
600	تعداد پورت ورودی
75	تعداد بافل
50.8	طول بافل
0.024	دبی جرمی سوخت (کیلوگرم بر ثانیه)
0.118	دبی جرمی اکسیدکننده (کیلوگرم بر ثانیه)

جدول ۲: خواص ترموفیزیکی سوخت او اکسیدانت مورد استفاده در کار حاضر

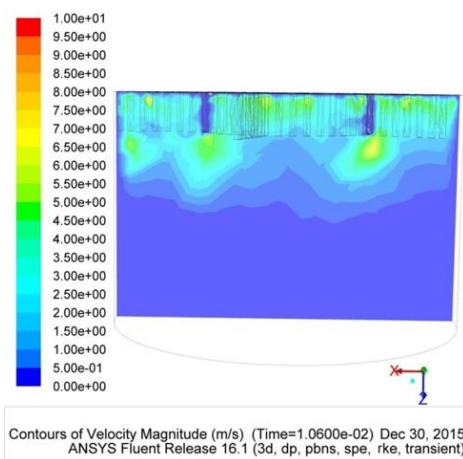
	H2L	Lox
molar mass (kg/kmol)	120	32
density (kg/m3)	70.8	1142
specific heat capacity (kj/kg.k)	9.7722	1.699
viscosity (pa.s)	1.332*10e-5	0.000195
thermal conductivity (w/m.k)	0.10382	0.15

جدول ۳: حالت های مورد استفاده در تحقیق

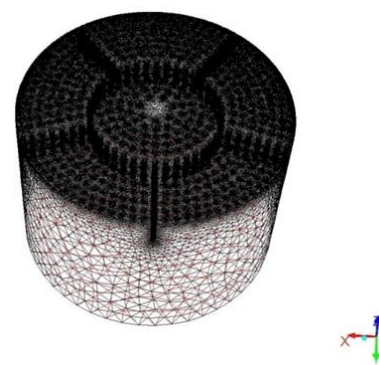
	Liquid hydrogen mass flow rate (kg/s)	Lox mass flow rate (kg/s)	Injection pressure P_O	Injection pressure P_F
CASE 1	0.024	0.118	4	10
CASE 2	0.024	0.118	6	8

۹. نتایج حاصل از مدل سازی عددی

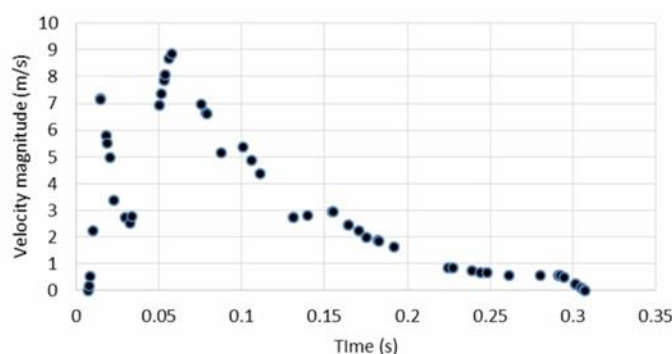
پس از مدل سازی صفحه انژکتور و چیدمان انژکتورهای اکسیدکننده و احیاکننده با نرم افزار Solid Work و با طراحی و مش بندی انژکتور توسط نرم افزار workbench، فایل موردنظر در Fluent فراخوانی می شود. شبیه سازی جریان با اعمال نوع حل گر، شرایط مرزی، خواص سیال، مدل توربولانسی، چک کردن شبکه و ... وارد پروسه تکرار با معیار همگرایی $\varepsilon = 10^{-4}$ می شود. در این شبیه سازی مقادیر دبی انژکتورها، مقادیر فشار تزریق و زاویه چتر پاشش به عنوان ورودی می باشند. مقادیر و کانتورها سرعت ذرات و قطر قطرات، خروجی نرم افزار هستند. [۳]



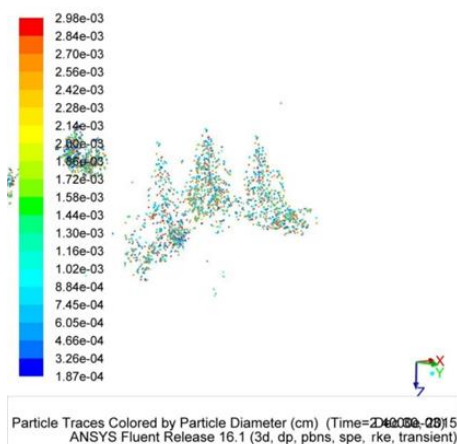
شکل ۷) کانتور اندازه سرعت برای پاشش انژکتورها



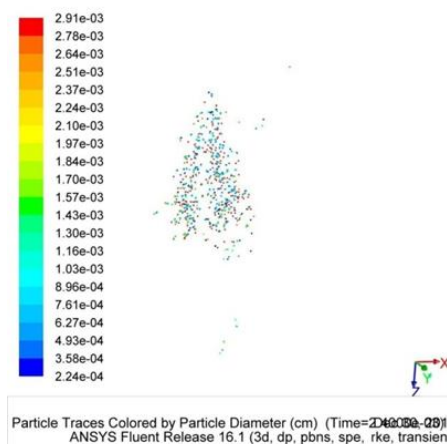
شکل ۶) نمای چیدمان و مش بندی انژکتورها



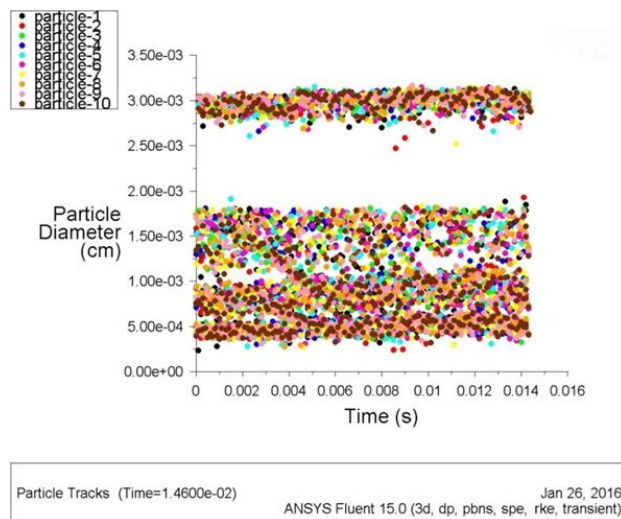
شکل ۸) نمودار تغییر سرعت قطرات بر حسب زمان



شکل ۱۰) چتر پاشش و پروفیل قطر قطرات اسپری ناشی از برخورد سه اسپری



شکل ۹) چتر پاشش تک انژکتور



شکل ۱۱) نمودار تغییرات قطر قطرات بر حسب زمان

۱۰. تحلیل نتایج و نتیجه گیری

۱. نتایج عددی حاصل از اندازه سرعت انژکتورها نسبت به زمان در شکل‌های (۷) تا (۸) رسم شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اندازه سرعت قطرات، با گذشت زمان و افزایش فاصله از خروجی انژکتور کاهش می‌یابد و قطرات مومنتوم اولیه خود را از دست می‌دهند.
۲. شکل‌های (۹) تا (۱۱) کانتور و نمودار اندازه قطرات برای یک انژکتور، نشانگر این است که: هر چه از نوک نازل در راستای محور انژکتور دور شوید قطر ذرات کاهش می‌یابد.

منابع

- ۱- دکتر فتح‌الله امی «موتور و پیشرانش فضایی»، انتشارات بعثت، بهار ۱۳۸۸.
- ۲- م. نجفی. «مدل‌سازی و بررسی تجربی فرآیند پاشش در محفظه احتراق میکروموتور سوخت مایع»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۹۲.
- ۳- م. رضایی. «بررسی و تحلیل فرآیند پاشش در انژکتور موتور موشک سوخت مایع»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد آمل، ۱۳۹۴.

اصلاح سطحی غشاهای الیاف توخالی پلی سولفون توسط پلی دی متیل سیلوکسان بروش پوشش دهی غوطه‌وری

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۵/۰۴

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۰۳

کد مقاله: ۹۹۹۶۲

بنفشه نوری دمیه^۱، ابوطالب قدمی جدول قدم^۲

چکیده

در این تحقیق غشاهای متخلخل الیاف توخالی پلی سولفون (PSF) بروش جداسازی فازی ساخته شده‌اند. سطح خارجی غشاهای ساخته شده بروش پوشش دهی غوطه‌وری با پلی دمتیل سیلوکسان (PDMS) اصلاح شده‌اند. ساختار و کارایی غشاها برای جذب CO₂ در تماس دهنده غشایی بررسی گردیدند. از گلیسرول به عنوان غیرحلال در محلول پلیمری و افزایش سرعت جداسازی فازی برای تولید غشاهای بسیار متخلخل استفاده شده است. غشاهای ساخته شده با بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی و تست‌های تراوایی نیتروژن، فشار مرطوب شدن و زاویه تماس سطحی مشخصه‌بندی شدند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی نشان داد که غشاها دارای ساختار تقریباً بندانگشتی شکل‌اند. نتایج تست تراوایی گازی نشان داد غشاهای پلیمری پوشش داده شده تراوایی نیتروژن کمتری دارند. غشای اصلاح شده با پلی دمتیل سیلوکسان (PDMS) دارای اندازه متوسط حفره ۹ نانومتر و تخلخل سطحی 35 m⁻¹ می‌باشند. آب‌گریزی سطحی غشای اصلاح شده بشدت افزایش یافت که زاویه تماس سطحی تقریباً ۱۱۸ درجه را نشان می‌دهد. به دلیل کوچک‌تر بودن حفره‌های سطحی و افزایش زاویه تماس غشاهای اصلاح شده میزان فشار مرطوب شدن غشاها افزایش یافته است. نتایج تست جذب CO₂ با آب در شرایط عملیاتی یکسان نشان داد که شار جذب غشاهای پلی سولفون اصلاح شده نسبت به غشاهای پلی وینیلیدن فلوراید (PVDF) آب‌گریز تجاری و آزمایشگاهی گزارش شده قبلی بیشتر است. غشای اصلاح شده دارای شار جذب تقریبی $1/8 \times 10^{-4} \text{ mol/m}^2 \cdot \text{s}$ در سرعت مایع 0.03 m/s می‌باشد.

واژگان کلیدی: غشا، الیاف توخالی، پلی سولفون، پلی دی متیل سیلوکسان، پوشش دهی غوطه‌وری

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی شیمی، واحد گچساران، دانشگاه آزاد اسلامی، گچساران، ایران
۲- گروه مهندسی شیمی، واحد یاسوج، دانشگاه آزاد اسلامی، یاسوج، ایران (نویسنده مسئول) aghadami80@gmail.com

صنایع شیمیایی و دیگر صنایع همواره به سمت کاهش هزینه‌ها حرکت کرده‌اند تا با مصرف انرژی کمتر و افزایش سرعت انجام فرآیندها با صرف هزینه کمتر به نتیجه دلخواه خود دست یابند. فرآیند جداسازی در اکثر صنایع بخش مهمی از فرآیند را به خود اختصاص داده است. در عمده فرآیندهای صنعتی اغلب باید اجزای ماده خام اولیه از هم جداسازی گردیده و محصول تولیدشده از این فرآیندها نیز می‌بایست مورد تفکیک و تخلیص واقع شوند. در غیر این صورت محصول کیفیت موردنظر را نخواهد داشت. اهمیت این موضوع از سویی دیگر نیز به چشم می‌خورد به‌طوری‌که با در نظر گرفتن قوانین زیست‌محیطی که هر زمان نسبت به قبل از سوی نهادهای بین‌المللی و نیز از جانب مؤسسات محیط‌زیست کشورها سختگیرانه تر می‌شود انجام فرآیندهای جداسازی بیش از گذشته موردتوجه قرار گرفته است. همان‌طور که پیش‌تر نیز اشاره گردید اهمیت فرآیندهای جداسازی و دستگاه‌ها و تجهیزات مربوطه، به‌قدری است که در بسیاری از صنایع بخش اعظم قیمت تمام شده یک محصول، مربوط به هزینه جداسازی و خالص‌سازی آن محصول است، لذا مطالعه دقیق و بیشتر روی این موضوع و یافتن یک روش جداسازی آسان‌تر و با هزینه کمتر ضرورت پیدا می‌کند. روش‌های منطقی جهت جداسازی انجام می‌گیرد. روش‌ها هر روزه تصحیح می‌شوند و بهبود می‌یابند. یافتن شیوه‌های جدید جداسازی با گسترش نیازها و بهبود روشها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در انتخاب یک روش جداسازی مطلوب و بهینه، بایستی پارامترهای مختلفی را در نظر گرفت. از جمله مواردی که می‌توان به آن اشاره کرد بازده روش‌ها، دسترسی به تجهیزات، هزینه‌های جداسازی اعم از هزینه ساخت و مواد کاربردی و هزینه انرژی مصرفی، حجم مورد نیاز جهت نصب تاسیسات فرآیندی، کیفیت محصول بدست آمده و با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. همچنین در فرآیند بایستی اهداف جداسازی تبیین گردد، به عبارتی دیگر در فرآیندهای جداسازی اهداف مختلفی ازجمله تغلیظ، تفکیک، تخلیص و جابه جایی تعادل واکنش می‌توان مدنظر باشد. در این راستا غشاهای برای جداسازی گونه‌های مختلفی از مواد در حالت جامد، مایع و گاز توسعه یافته‌اند.

علی‌رغم اینکه روش جداسازی با غشاهای نسبت به روش‌های دیگر از قبیل تقطیر، جذب سطحی، کریستالیزاسیون و استخراج گاز-گاز و گاز-مایع جدیدتر است ولی با توجه به کارایی و سهولت استفاده، طی دو دهه اخیر گسترش چشم‌گیری در استفاده از آن مشاهده شده است [۱]. در حال حاضر غشاهای جایگاه ویژه‌ای در صنایع جداسازی مختلف پیدا کرده‌اند و کاربردهای وسیعی در زمینه‌های گوناگون جداسازی اعم از محلول‌های مایع و گازها یافته‌اند. از جمله کاربردها میتوان در صنایع شیمیایی و پالایشگاهی برای جداسازی گازها، در صنایع غذایی و لبنی و برای جداسازی پروتئین‌ها و تغلیظ شیر، صنعت تصفیه آب و پساب برای حذف آلاینده‌های گوناگون و دارو سازی برای تخلیص فرآورده‌های مختلف اشاره کرد [۲].

رانگ ونگ و همکاران [۱] در پژوهشی به بررسی جذب همزمان CO_2 و H_2S از زیست گاز با استفاده از کنتاکتور غشای مویری پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش سرعت مایع و غلظت آمین میزان شار جذب افزایش یافت. پس از شش ساعت عملیات جذب در تماس دهنده غشایی شار جذب تقریباً ۸٪ کاهش نشان داد که به مرطوب شدن غشا مربوط می‌باشد.

منصوری زاده و همکاران [۲] در تحقیقی غشاهای توسعه یافته PVDF الیاف توخالی ساخته شده و جهت جذب CO_2 با دی اتانول آمین مورد استفاده قرار دادند. اثر پارامترهای مهم عملیاتی بر میزان جذب گاز بررسی شدند. افزایش سرعت فاز مایع باعث افزایش شار جذب گاز شد در مقابل افزایش غلظت فاز گاز تاثیر چندانی بر میزان جذب نداشت. با مطالعه طولانی مدت جذب مشخص شد که حدوداً ۲۶٪ کاهش در شار جذب پس از ۱۰ ساعت اولیه مربوط به مرطوب شدن جزیی غشاهای می‌باشد. پس از آن تا حدود ۱۶۰ ساعت شار جذب تقریباً ثابت باقی ماند.

رجب زاده و همکاران [۳] در تحقیقی به بررسی تاثیر ساختار غشا بر عملکرد جذب گاز و پایداری طولانی مدت کنتاکتور غشا پرداختند. نتایج نشان داد که غشاهای PVDF با تخلخل کمتر و حفره‌های کوچک‌تر پایداری بیشتری برای جذب CO_2 با MEA دارند. در مقابل غشاهای با تخلخل بالا پس از ۱۰۰ ساعت عملیات جذب گاز کاملاً مرطوب شده و بشدت فلاکس جذب گاز کاهش یافت.

وانگ و همکاران [۴] به بررسی تاثیر عملیات طولانی مدت بر عملکرد کنتاکتور های غشای پلی پروپیلن و پلی‌وینیلیدین فلورید برای جذب CO_2 پرداختند. نتایج نشان داد که پس از یک دوره عملیاتی ۳۰ روزه عملیات جذب گاز مقاومت غشا برای پلی پروپیلن و پلی‌وینیلیدین ۱۶۰٪ و ۲۹۰٪ افزایش یافت که به دلیل تغییر ساختار غشا و مرطوب شدن غشا می‌باشد.

اوانیس هشیم و همکاران [۵] در پژوهشی به بررسی پایداری غشاهای الیاف تو خالی PVDF در محلول آبی سدیم هیدروکسید پرداختند. نتایج نشان داد که حتی در غلظت‌های پایین سدیم هیدروکسید هم واکنشی بر PVDF رخ می‌دهد که باعث تغییرات بسیار جدی در ساختار غشا می‌گردد. هرچه زمان تماس غشا با محلول بیشتر باشد مقاومت مکانیکی غشا بیشتر کاهش می‌یابد.

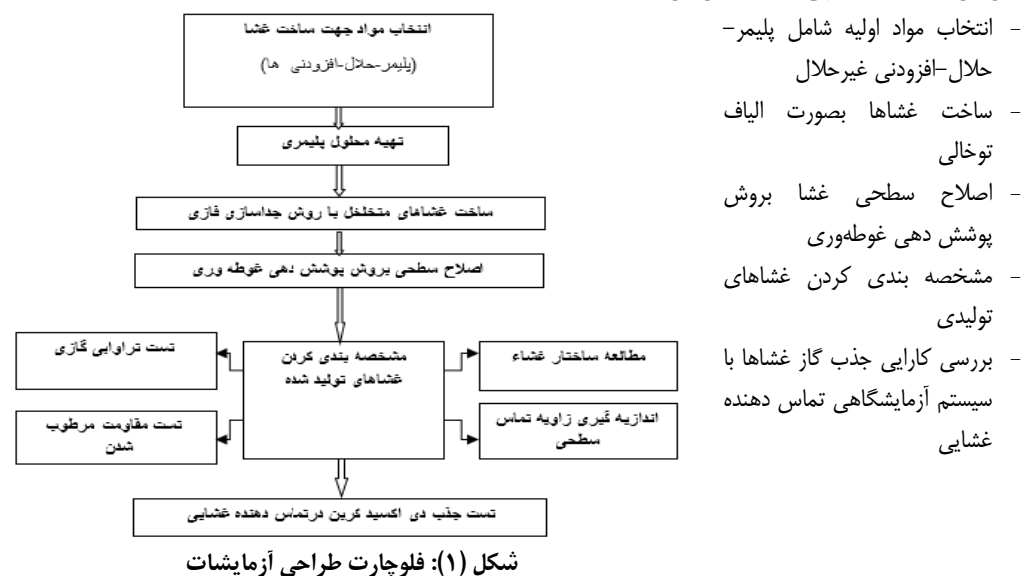
خایساری و همکاران [۶] در تحقیقی به بررسی مقایسه عملکرد مقاومت غشا و جذب سه غشای مختلف PTFE, PP و PVDF در یک کنتاکتور غشای جذب گاز پرداختند و نتایج آزمایشگاهی حاکی از آن است که شار جذب CO_2 می‌تواند بدین

ترتیب رده بندی شوند $PTFE > PVDF > PP$. عملکرد جذب CO_2 برای بیش از ۶۰ ساعت در مورد غشای PTFE حفظ می‌شود، در حالی که در مورد غشاهای PVDF و PP، شار جذب CO_2 به آهستگی نسبت به زمان کاهش می‌یابد و عملکرد غشای PVDF بهتر از غشای PP می‌باشد.

منصورزاده و اسلامی [۷] در تحقیقی به بررسی ایجاد ساختار یک غشا pvdv نامتقارن خالی برای جذب CO_2 پرداختند. نتایج نشان داد که تقریباً ۲۵٪ کاهش شار CO_2 به تدریج پس از دوره ۲۴ ساعت اول اتفاق می‌افتد و پس از آن شار CO_2 برای بیش از ۱۴۰ ساعت عملیات ثابت باقی می‌ماند.

۲- روش تحقیق

غشاهای بروس پوشش دهی با محلول پلی دی متیل سیلوکسان اصلاح شدند و با استفاده از روش های مرسوم مشخصه بندی می گردند و بهترین غشاهای جهت جذب دی اکسید کربن مورد استفاده قرار می گیرند. شکل (۱) فلو چارت طراحی آزمایشات را نشان می دهد که شامل پنج مرحله اصلی می باشد:



۲-۱- مواد مصرفی

برای ساخت غشاء، ذرات شفاف و شیشه ای پلی سولفون با مارک تجاری Udel® p-1700 از شرکت SOLVAY تهیه گردید. پلی دی متیل سیلوکسان (PDMS) معمولترین پلی سیلوکسان بکار گرفته شده به عنوان بایندر است که آبگریز می باشد و به همین منظور جهت افزایش آبگریزی الیاف تو خالی مورد استفاده قرار گرفته می‌شود. این پلیمر دارای دانسیته ۰/۹۷۱ است و در آب غیر قابل حل می باشد.

نرمال هگزان یک ترکیب آلی از دسته آلکان ها با شش اتم کربن (C_6H_{14}) می باشد که به عنوان حلال پلی دی متیل سیلوکسان است و برای تهیه محلول پوشش دهی استفاده می‌شود. این ترکیب از شرکت مرک آلمان تهیه شد.

ان-متیل-۲-پیرولیدون با فرمول مولکولی C_5H_9NO از شرکت مرک آلمان تهیه شده و به عنوان حلال پلیمر در محلول استفاده شد. اتانول یک الکل است و با فرمول شیمیایی C_2H_5OH از شرکت آلمان تهیه شده و به عنوان تصفیه کننده انتهایی برای تهیه غشاهای تازه جهت جلوگیری از تخریب حفره ها حین خشک شدن در هوا استفاده می‌شود.

۲-۲- تهیه محلول پلیمری و محلول پوشش دهی

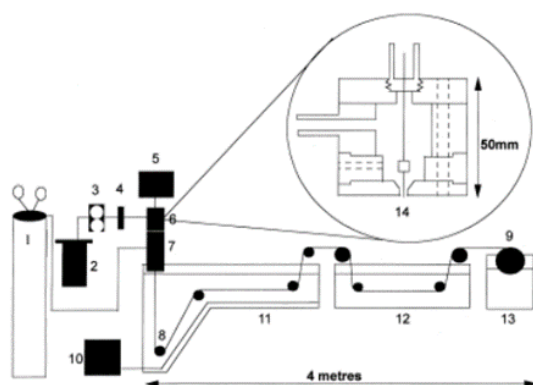
ساختار و کارایی نهایی غشاء تولیدی به شدت متأثر از ترکیب محلول پلیمری می باشد. جهت ساخت غشاهای بسیار متخلخل از نوع الیاف توخالی ترکیب محلول پلیمری معمولاً شامل ۱۵-۲۰٪ پلیمر و ۵-۱۰٪ افزودنی غیر حلال بالانس با حلال می باشد. شکل (۲) نمای کلی دستگاه تهیه محلول پلیمری برای ساخت غشاء را نشان می دهد. در این تحقیق از حلال آلی متیل پیرولیدون که دارای قدرت حلالیت بالای انواع پلیمرها می باشد استفاده شده است. ابتدا حلال در فلاسک مخصوص ریخته شده و سپس همزن را روشن می نماییم. به اندازه ۵٪ وزنی افزودنی غیر حلال گلیسرول را به حلال اضافه می نماییم تا کاملاً حل گردد. گلیسرول باعث افزایش سرعت تغییر فازی می گردد که می تواند غشاهای بسیار متخلخل را موجب گردد.



شکل (۲): دستگاه تهیه محلول پلیمری

سپس به اندازه ۱۸٪ وزنی ذرات پلی سولفون بتدریج اضافه می گردند تا از کلوخه شدن و چسبیدن ذرات جلوگیری گردد و محلول کاملاً هموژن حاصل گردد. دمای محلول با هیتر روی ۶۰ درجه سانتیگراد تنظیم می گردد تا باعث تسهیل حل شدن ذرات گردد. پس از حدود ۲۴ ساعت محلول یکنواخت پلیمری در ظرف درب دار ریخته شده و با سیستم آلتراسونیک حبابهای آن حذف می گردند که در این حالت محلول جهت تهیه غشاء آماده می باشد. جهت تهیه محلول پوشش دهی پلی دی متیل سیلوکسان پیش پلیمر و سخت کننده را به نسبت ۱۰:۱ درون ظرف حاوی حلال نرمال هگزان ریخته و هم میزنیم تا کاملاً یکنواخت گردد. با تنظیم مقدار پلیمر پلی دی متیل سیلوکسان در هگزان محلول با درصد وزنی ۱٪ تهیه می شود که برای اصلاح سطحی غشاها مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۲- ساخت غشاهای الیاف توخالی با روش جداسازی فازی



شکل (۳): سیستم تهیه غشاء از نوع الیاف توخالی [۸].

- (۱) - سیلندر گاز نیتروژن ۲ - تانک محلول پلیمری ۳ - پمپ انتقال دنده ای ۴ - فیلتر ۵ - پمپ سرنگی ۶ - دستگاه ریسنده ۷ - فاصله تا ظرف تغییر فازی ۸ - ظرف آب تغییر فازی ۹ - غلطک جمع کننده غشاء ۱۰ - سیستم سرمایش ظرف آب ۱۱ - ۱۲ - ۱۳ - ظروف شوینده نهایی

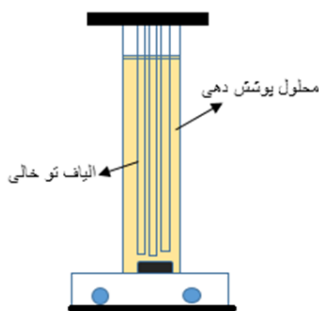
در روش جداسازی فازی در واقع محلول پلیمری مایع پس از تماس با یک غیر حلال قوی (در این حالت از آب استفاده شده است) به حالت جامد غشاء تبدیل می گردد. جهت ساخت غشاهای بسیار متخلخل سرعت تغییر فاز و غلظت پلیمر در محلول پارامترهای مهمی می باشند. شکل (۳) نمای کلی از سیستم تهیه غشاء از نوع الیاف توخالی را نشان می دهد. ابتدا ظروف تغییر فازی و شوینده را پر از آب می نماییم که در این حالت آب نقش تغییر فاز از حالت مایع پلیمری به جامد غشاء را بازی می نماید. محلول پلیمری بدون حباب در تانک مخصوص ریخته می شود و با پمپ دنده ای به درون دستگاه ریسنده فشرده می گردد. سپس با استفاده از پمپ سرنگی سیال قسمت تیوب غشاء که معمولاً آب یا ترکیبی از حلال و آب می باشد به درون اسپینرنت فشرده می گردد.

محلول پلیمری خروجی از دستگاه ریسنده بلافاصله وارد آب می گردد تا تغییر فاز رخ داده و غشاء از نوع الیاف توخالی تهیه گردد. ظروف شوینده باعث حذف حلال و افزودنی غیرحلال از غشاء شده و در نهایت غشاء جوان بر روی غلطک جمع آوری می گردد. سپس جهت خارج نمودن همه حلال و افزودنی غیرحلال از غشاء آنها را در ظرف آب مقطر بمدت سه روز نگهداری می نماییم. قبل از خشک کردن الیاف در هوا آنها را بمدت ۱۵ دقیقه در اتانول غوطه ور می کنیم تا حین خشک شدن از چروکیدگی و تخریب حفره های غشا جلوگیری گردد. پس از خشک شدن غشاها بر روش پوشش دهی سطحی با پلی دی متیل سیلوکسان هگزان اصلاح می گردند. در این حالت غشاها آماده مشخصه بندی شدن و تست کردن می باشند. جدول (۱) شرایط مربوط به ریسندگی الیاف توخالی را نشان می دهد.

جدول (۱): شرایط ریسندگی الیاف خالی

سرعت اکستروژن محلول پلیمری (mL/min)	2.0
شدت جریان سیال حفره (mL/min)	0.4
ترکیب سیال حفره (wt.%)	NMP/H ₂ O 80/20
انقباض ساز خارجی	آب لوله
فاصله هوایی (cm)	0.0
ریسنده (o.d./i.d. (mm)	0.7/0.3
دمای محلول پلیمری (°C)	25
دمای انقباض ساز خارجی (°C)	25

۴-۲- پوشش دهی سطحی الیاف به روش غوطه‌وری



شکل (۴): نمای کلی سیستم پوشش دهی غوطه‌وری

پس از تهیه محلول ۱٪ پلی دی متیل سیلوکسان غشاهای الیاف تو خالی بطول ۳۰ سانتیمتر درون ظرف محلول به صورت معلق قرار می گیرند. ظرف محلول پوشش دهی تحت همزن مغناطیسی یکنواخت می باشد. غشاها به مدت ۲ ساعت در محلول قرار گرفته و سپس جهت خشک شدن به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۶۰ درجه سانتیگراد در خشک کن تحت خلا قرار می گیرند. غشاهای اصلاح شده جهت مشخصه بندی و تست جذب گاز مورد استفاده قرار می گیرند. شکل (۴) نمای کلی سیستم پوشش دهی غوطه‌وری را نشان می دهد.

۵-۲- تست تراوایی گاز

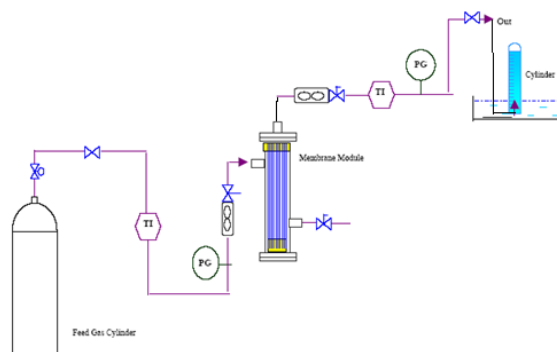
ابتدا ماژول غشاء مخصوص تست گاز با قرار دادن دو عدد غشا فیبری بطول ۱۰ سانتیمتر ساخته می گردد و سپس در سیستم تست مطابق با شکل (۵) قرار می گیرد. در این سیستم براساس جابجایی حجمی میزان تراوایی گاز سنجیده می گردد. گاز نیتروژن با استفاده از فشار سیلندر در قسمت پوسته ماژول فشرده می گردد و فلو جریان گاز خروجی از قسمت تیوب غشاء ها با استفاده از روش جابجایی حباب صابون در لوله مدرج اندازه گیری می شود. فلاکس تراوایی گازی غشاء به ازای واحد سطح خارجی محاسبه می گردد. برای غشاهای متخلخل محاسبه اندازه گیری متوسط حفره و تخلخل سطحی جهت مطالعه انتقال جرم در فرایند جذب گاز با غشا بسیار مهم می باشد. یاسودا و تسای جهت محاسبه تخلخل سطحی به روش تراوایی گازی روشی پیشنهاد نمودند [۹]. لی و همکاران همچنین از یک روش بهینه شده تراوایی گازی برای محاسبه متوسط اندازه حفره و تخلخل سطحی موثر بر واحد ضخامت غشا ارائه نمودند [۱۰]. اما محاسبه مقادیر اندازه متوسط حفره و تخلخل سطحی بروش تست تراوایی گازی تنها نشانگر پارامترهای کیفی هستند که تنها جهت مقایسه غشاهای با شرایط ساخت متفاوت مفید می باشند. برای یک غشا متخلخل ساخته شده بروش جداسازی فازی تراوایی گازی کلی می تواند مجموع نفوذ نادن و پویزل در نظر گرفته شود [۱۱]. با در نظر گرفتن حفره‌های استوانه در لایه سطحی غشا داریم:

$$J_A = \frac{2rp\varepsilon}{3RTL_p} \left(\left(\frac{8RT}{\pi M} \right)^{0.5} \right) + \frac{r_p^2}{8\mu RT L_p} \frac{\varepsilon}{P} \bar{P} \quad \text{یا} \quad J_A = K_0 + P_0 \bar{P} \quad (1)$$

J_A تراوایی گاز می باشد که ترم اول نشان دهنده نفوذ نادن و ترم دوم نفوذ پویزل می باشد. با رسم تراوایی بصورت تابعی از فشار متوسط گاز و با استفاده عرض از مبدا و شیب نمودار حاصله می توان اندازه متوسط حفره‌های غشاء و تخلخل سطحی را تخمین زد.

$$r_p = 5.333 \left(\frac{P_0}{K_0} \right) \left(\frac{8RT}{\pi M} \right)^{0.5} \mu \quad (2)$$

$$\frac{\varepsilon}{L_p} = \frac{8 \mu RT P_0}{r_p^2} \quad (3)$$



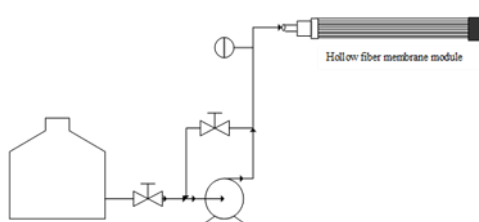
شکل (۵): سیستم مخصوص تراوایی گاز [۱۱].

۵-۲- مطالعه ساختار غشا با روش میکروسکوپی الکترونی روبشی

از این روش جهت مشاهده ساختار سطحی داخلی و خارجی و سطح مقطع غشا استفاده می‌گردد که می‌توان اندازه حفره ها و ریخت شناسی غشا را تشریح نمود. در این روش ابتدا تکه هایی از غشا در نیتروژن مایع شکسته می‌شوند و بر روی پایه های آلومینیومی کوچک کاشته می‌شوند سپس با سیستم مخصوص بوسیله طلا پوشش داده می‌شوند که غشا در این حالت جهت تست ساختار با دستگاه مورد نظر آماده می‌باشد. نمای کلی از دستگاه SEM در شکل (۶) نشان داده می‌شود.

۶-۲- تست فشار مرطوب شدن

از این تست جهت مشخص کردن میزان مقاومت غشا در مقابل مرطوب شدن استفاده می‌گردد. در این سیستم از همان ماژول غشا جهت تست تراوایی گاز استفاده می‌گردد. در این روش آب مقطر توسط پمپ دیافراگمی در قسمت تیوب غشا فشرده می‌گردد. فشار را بتدریج در اندازه های ۰/۵ اتمسفر اضافه می‌کنیم و در هر فشار بمدت نیم ساعت صبر می‌نمایم اولین قطره مایع که بر روی سطح خارجی غشا ظاهر می‌گردد نشانگر فشار بحرانی ورود آب می‌باشد. شکل (۷) نمای کلی سیستم فشار مرطوب شدن را نشان می‌دهد.



شکل (۷): نمای کلی سیستم فشار مرطوب شدن



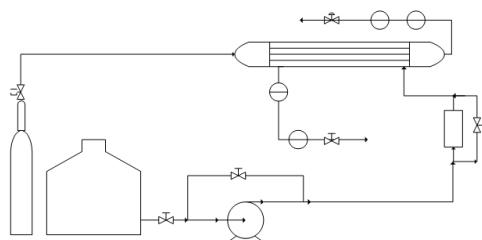
شکل (۶): نمای کلی از دستگاه SEM

۷-۲- تست اندازه گیری زاویه تماس

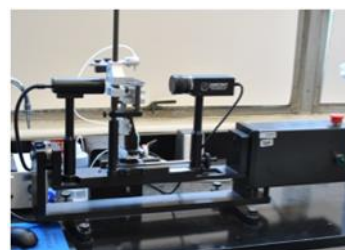
برای اندازه گیری زاویه تماس، نمونه های الیاف توخالی در آون خلاء در $60 \pm 2^\circ\text{C}$ برای مدت ۱۲ ساعت خشک شدند. روش قطره چسبیده با استفاده از یک زاویه یاب (مدل Ramé-hart، مدل ۲۰۰) برای اندازه گیری زاویه تماس سطح خارجی الیاف توخالی به کار گرفته شد. مقادیر زاویه تماس هرنمونه در ده حالت مختلف نمونه اندازه گیری شد و سپس برای به حداقل رسانیدن خطاهای آزمایشگاهی، کلیه داده های زاویه تماس با میانگین گرفتن از چند اندازه گیری مختلف به دست آمد. زاویه تماس با استفاده از تصویربرداری ویدئویی دیجیتال از قطره بر غشاء محاسبه شد. سپس از برنامه پردازش تصویر برای تخمین زاویه تماس با استفاده از ارتفاع و پهنای قطره استفاده شد. شکل (۸) زاویه یاب را نشان می‌دهد.

۸-۲- تست جذب دی اکسید کربن در تماس دهنده غشایی

ابتدا ماژول مناسب تماس دهنده غشائی شامل ۱۵ عدد غشاء الیاف توخالی با طول مؤثر ۱۵ سانتیمتر ساخته می‌شود و در سیستم آزمایشگاهی جذب گاز دی اکسید کربن مطابق شکل (۹) قرار می‌گیرد.



شکل (۹): سیستم آزمایشگاهی تماس دهنده غشایی [۱۲].



شکل (۸): زاویه یاب Ramé-hart

در این تحقیق جهت تست کارایی جذب دی اکسیدکربن غشاهای ساخته شده از گاز خالص دی اکسید کربن و مایع جاذب آب مقطر استفاده می گردد. شرایط عملیاتی مورد استفاده در جدول (۲) آمده است.

جدول (۲): شرایط عملیاتی تست جذب دی اکسید کربن

۱ bar	فشار گاز
۱/۲ bar	فشار مایع
۲۰۰ ml/min	شدت جریان گاز
۲۶ °C	دما

ابتدا آب در دمای محیط توسط پمپ دیافراگمی در قسمت پوسته ماژول غشائی با فشار ۱/۲ بار فشرده می گردد. سپس جریان گازی با استفاده از فشار سیلندر در قسمت تیوب غشاها با فشار یک بار برقرار می گردد. شدت جریان گاز و مایع با استفاده از فلومتر و شیر کنترل تنظیم می گردند. قبل از گرفتن نمونه آزمایش سیستم به مدت نیم ساعت در سرویس قرار می گیرد تا به حالت پایدار برسد. میزان دی اکسیدکربن جذب شده در مایع خروجی از ماژول با استفاده از روش تیتراسیون شیمیایی محاسبه می گردد. در تیتراسیون، نمونه اب همراه با گاز بامحلول (NaOH (M05/0 با استفاده از معرف فنل فتالین تیترا میگردد. حجم NaOH مصرفی پس از تغییر رنگ محلول از بیرنگ به ارغوانی یادداشت میگردد. میزان دی اکسید کربن در محلول براساس استیوکیومتری واکنش اندازه گیری شد. میزان فلاکس جذب گاز به ازاء سطح خارجی غشا محاسبه می گردد و بصورت تابعی از شدت جریان مایع ترسیم می شود. جدول مشخصات ماژول غشائی را نشان می دهد.

جدول (۳): مشخصات ماژول غشایی

۱۴	قطر داخلی ماژول (mm)
۲۷۰	طول ماژول (mm)
۱۵۰	طول مؤثر الیاف (mm)
۰/۶۵	قطر خارجی الیاف (mm)
۰/۳	قطر داخلی الیاف (mm)
۱۵	تعداد الیاف

تصویر ماژول غشایی و سیستم تماس دهنده غشایی در شکل (۱۰) آورده شده است.



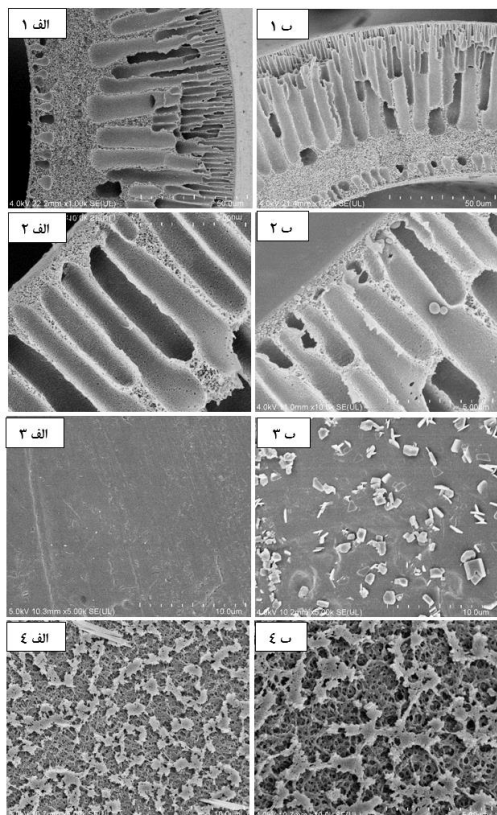
شکل (۱۰): ماژول غشایی و سیستم تماس دهنده غشایی

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی مورفولوژی غشاها با میکروسکوپ الکترونی

تصاویر سطح مقطع، پوسته خارجی، سطح داخلی و خارجی غشاهای الیاف توخالی در شکل (۱۱) نشان داده شده اند. غشاها تقریباً دارای قطر داخلی و خارجی متوسط به ترتیب ۳۵۰ و ۶۵۰ میکرومتر می باشند. از تصاویر سطح مقطع هر دو غشا دارای ساختاری تقریباً بند انگشتی می باشند که دارای یک لایه داخلی نازک با ساختار اسفنجی اند. بطور کلی ساختار غشاهای پلیمری تحت تاثیر خواص ترمودینامیکی و سینتیکی محلول پلیمری در حین فرایند جداسازی فازی می باشد. افزودن گلسیرول به محلول پلیمری باعث ناپایداری ترمودینامیکی و افزایش سرعت جداسازی فازی و تشکیل حفره های بند انگشتی می گردد. از طرفی با

افزودن غیر حلال گلیسرول به محلول پلیمری ویسکوزیته محلول افزایش یافته که باعث کاهش سرعت نفوذ حلال به آب در حمام انعقاد می گردد و ساختاری اسفنجی را موجب می گردد. بنظر میرسد اثر ترمودینامیکی غالب بوده و ساختاری تقریباً بند انگشتی حاصل شده است.



شکل (۱۱): تصاویر میکروسکوپ الکترونی غشاهای (الف) PSF (ب) PSF پوشش داده شده با PDMS (۱) سطح مقطع (۲) پوسته خارجی (۳) سطح خارجی (۴) سطح داخلی

پوسته خارجی غشاهای نشان دهنده حفره‌های بند انگشتی با لایه بسیار نازک سطحی می باشد که لایه نازک پوشش داده شده برای غشا اصلاح شده مشخص می باشد. نازک بودن لایه سطحی باعث کاهش مقاومت غشا و افزایش میزان تراوایی و شار جذب گاز می گردد. با بررسی سطح داخلی غشاهای الیاف توخالی به دلیل استفاده از محلول آبی ۸۰٪ از حلال NMP جداسازی فازی از داخل تیوب غشاهای اتفاق نمی افتد و ساختاری بدون پوسته با حفره‌های بزرگ میکرومتری تشکیل می گردد. این ساختار باعث به حداقل رساندن مقاومت غشاهای می گردد. در سطح خارجی غشای اصلاح شده کریستال‌های سطحی از PDMS مشاهده می گردد که نشان دهنده تشکیل پوسته سطحی پوشش داده شده می باشد. در حقیقت با پوشش دادن سطحی غشا حفره‌های سطحی کوچک‌تر یا مسدود می شوند که میتواند باعث کاهش تراوایی گازی غشا گردد که این پدیده برای تماس دهنده غشایی مطلوب نمی باشد. از طرفی افزایش آبگریزی سطحی باعث افزایش مقاومت مرطوب شدن می گردد که پایداری غشاهای را افزایش می دهد.

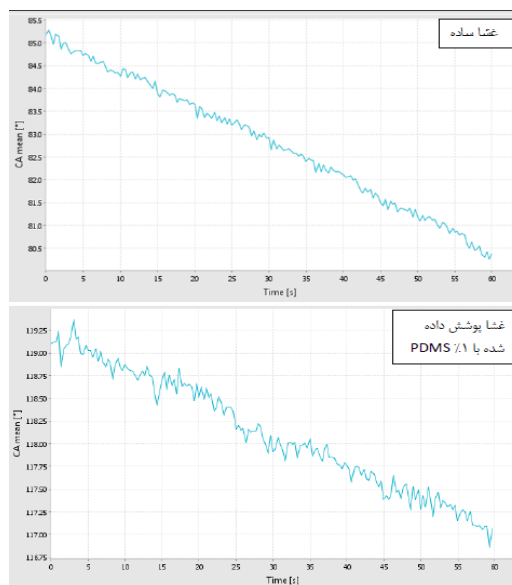
۳-۲- بررسی ساختار غشاهای الیاف توخالی

همان‌طور که قبلاً گفته شد غشاهای الیاف تو خالی پلی سولفون بروش جداسازی فازی ساخته شدند. غشاهای با پوشش دهی بوسیله پلی دی متیل سیلوکسان اصلاح شدند و ساختار آنها بررسی و نتایج تست های تراوایی نیتروژن، فشار مرطوب شدن و زاویه تماس در جدول (۴) آورده شده‌اند.

جدول (۴): مشخصات غشاهای الیاف توخالی تولید شده

غشا الیاف توخالی	تراوایی نیتروژن در 100 kPa (GPU)	حفره قطر متوسط (nm)	تخلخل موثر سطحی ϵ/L_p (m^{-1})	فشار مرطوب شدن (bar)	زاویه تماس ($^\circ$)
ساده	۴۰۵۰	۱۸	۸۷۲	۵	$82/81 \pm 1/38$
پوشش داده شده	۸۲۰	۹	۳۵	۸	$118 \pm 0/63$

آبگریزی سطحی غشاهای با تست زاویه تماس سطحی بررسی شده است و نتایج در جدول (۴) نشان داده شده‌اند. افزایش زیاد زاویه تماس از مقدار تقریبی ۸۳ به ۱۱۸ درجه نشان دهنده پوشش خوب پلی دی متیل سیلوکسان بر روی سطح خارجی غشاهای پلی سولفون می باشد. افزایش آبگریزی سطحی غشاهای الیاف توخالی باعث افزایش مقاومت مرطوب شدن غشاهای می گردد که در نهایت به پایداری عملیات جذب گاز در تماس دهنده غشایی منجر می گردد. تغییر زاویه تماس غشا ساده و اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان بصورت تابعی از زمان در شکل (۱۲) آورده شده است.

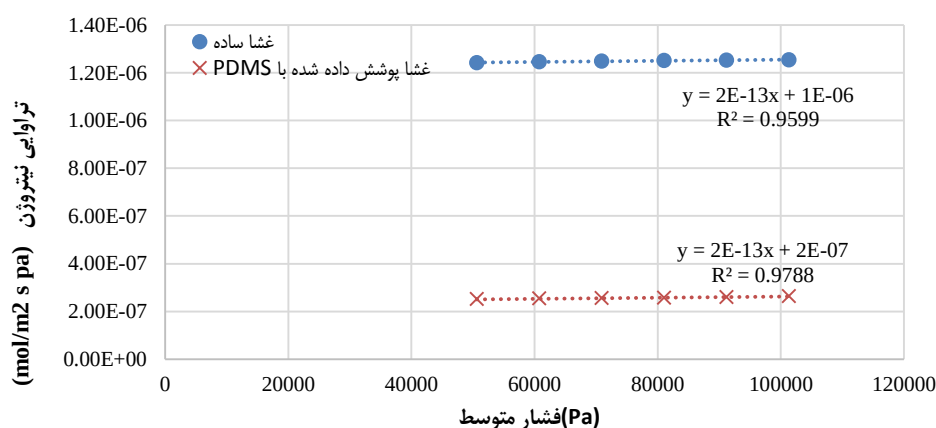


شکل (۱۲): زاویه تماس سطحی غشاهای لیاف توخالی بصورت تابعی از زمان.

برای غشا ساده در مدت زمان یک دقیقه زاویه تماس از ۸۵ به ۸۰ درجه کاهش یافته است در صورتی که برای غشا اصلاح شده تغییرات زاویه تماس از ۱۱۹ به ۱۱۷ درجه می باشد که این نشان می دهد غشای اصلاح شده در مقابل نفوذ آب به غشا و تغییر زاویه تماس مقاوم تر بوده است. همچنین شکل (۱۲) نشان دهنده میزان آبریزی بیشتر غشا اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان می باشد. نتایج بدست آمده برای فشار مرطوب شدن در جدول (۴) نشان می دهد که غشای اصلاح شده دارای مقاومت مرطوب شدن بالاتری می باشد. در حقیقت با پوشش دهی سطحی غشاها با پلی دی متیل سیلوکسان علاوه بر اینکه بر آبریزی سطحی افزوده می شود اندازه حفره ها نیز کوچک تر می گردد که این دو عامل باعث افزایش فشار مرطوب شدن می گردد. مطابق رابطه لاپلاس-یانگ برای مرطوب شدن غشای متخلخل پارامترهایی نظیر اندازه حفره، کشش سطحی سیال، زاویه تماس سطح جامد و اختلاف فشار دو طرف غشا مهم هستند [۱۳]:

$$\Delta P = \frac{-4\gamma \cos(\theta)}{d_{p,max}} \quad (4)$$

در این رابطه θ زاویه تماس سطحی و γ کشش سطحی سیال می باشد. $d_{p,max}$ اندازه بزرگترین حفره سطحی و ΔP اختلاف فشار مورد نیاز برای ورودی سیال به حفره غشا جامد می باشد. تراوایی نیتروژن غشاها برحسب فشار متوسط در شکل (۱۳) نشان داده شده اند. همان طور که مشاهده می گردد تراوایی با افزایش فشار بیشتر می گردد و این مقدار برای غشای اصلاح شده بیشتر است. میزان تراوایی غشاها در فشار یک اتمسفر در جدول (۴) نشان داده شده اند. به دلیل پوشش دهی سطحی غشای اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان مقدار تراوایی شدت کاهش یافته است. در حقیقت لایه پوشش داده شده باعث کاهش تخلخل سطحی غشا شده و اندازه حفره ها را کاهش می دهد.

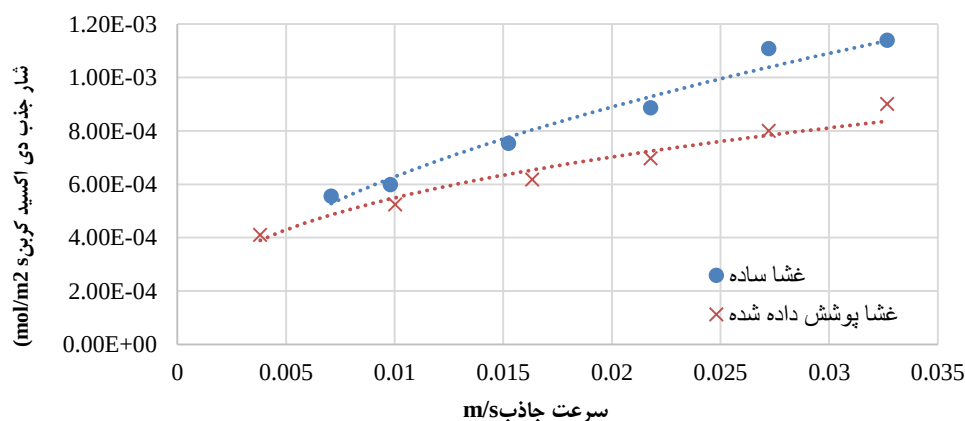


شکل (۱۳): تراوایی نیتروژن غشاها تابعی از فشار متوسط

با داشتن شیب و عرض از مبدا خطوط تراوایی در شکل (۱۳) و با استفاده از روابط (۲) و (۳) مقدار تخلخل سطحی و اندازه متوسط حفره ها اندازه گیری شده و در جدول (۴) نشان داده شده‌اند. غشاهای اصلاح شده دارای حفره‌های کوچک‌تر با تخلخل سطحی نسبتاً کمتری هستند که با توجه به تصاویر میکروسکوپ الکترونی تایید می گردد.

۳-۳- بررسی شار جذب دی اکسید کربن غشاها

غشاهای ساخته شده در ماژول غشایی قرار گرفته و توسط یک سیستم تماس دهنده غشایی گاز- مایع شار جذب دی اکسید کربن اندازه گیری شده است. شکل (۱۴) شار جذب غشاها بصورت تابعی از سرعت فاز مایع را نشان می دهد.



شکل (۱۴): شار جذب غشاها بصورت تابعی از سرعت فاز مایع.

برای همه غشاها با افزایش سرعت مایع شار جذب گاز افزایش می یابد. در حقیقت با افزایش سرعت مایع از ضخامت لایه مرزی غلظت اطراف غشاها کاسته شده و نیروی محرکه انتقال جرم افزایش می یابد که باعث افزایش شار جذب می گردد. همچنین افزایش سرعت مایع مانع از اشباع شدن فاز مایع در اطراف غشاها در ماژول غشایی می گردد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است غشاهای اصلاح شده دارای شار جذب کمتری هستند. این مقدار کمتر شار را میتوان به ساختار پوشش داده شده با تراوایی گازی کمتر نسبت داد. در حقیقت برای غشاهای متخلخل در تماس دهنده غشایی گاز مایع دو فاکتور تراوایی و آبگریزی نقش بسیار اساسی بازی می کنند [۱۳]. کمتر شدن تراوایی گازی و تخلخل سطحی باعث کاهش سطح تماس گاز-مایع شده و در نهایت شار جذب گاز را کاهش میدهد. در شرایط عملیاتی یکسان و در سرعت فاز مایع 0.03 m/s غشاهای ساده بیشترین شار جذب تقریبی $10^{-4} \times 1.2$ mol/m² s نشان دادند که تقریباً ۳۷٪ از شار جذب غشاهای اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان بیشتر می باشد. اگرچه غشای پوشش داده شده با پلی دی متیل سیلوکسان دارای شار جذب کمتری نسبت به غشا ساده می باشد ولی بنظر میرسد به دلیل افزایش مقاومت مرطوب شدن غشاهای اصلاح شده پایداری بالاتری داشته و برای عملیات طولانی مدت جذب گاز در تماس دهنده غشایی مناسب ترند. میزان کارایی جذب غشاهای اصلاح شده در این تحقیق با غشاهای آبگریزی پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF) گزارش شده در تحقیقات پیشین مقایسه شده و نتایج در جدول (۵) آورده شده‌اند.

جدول (۵): مقایسه شار جذب غشاهای الیاف توخالی

منبع	شار جذب CO ₂ (mol/m ² s)	سرعت مایع (m/s)	اندازه حفره (nm)	قطر داخلی/قطر خارجی (mm/mm)	غشا الیاف توخالی
[۱۴]	6.5×10^{-4}	0.3	-	-	PVDF تجاری
[۱۲]	6.3×10^{-4}	0.03	4	0.75/0.42	PVDF740
[۱۵]	7.5×10^{-4}	0.03	385	0.9/0.5	PVDF740 اصلاح شده
-	8.1×10^{-4}	0.03	9	0.65/0.35	غشا پوشش داده شده این تحقیق

با مقایسه نتایج دیده می‌شود که غشاهای پلی سولفون پوشش داده شده با پلی دی متیل سیلوکسان دارای شار جذب CO₂ بیشتری در شرایط عملیاتی یکسان می‌باشند. این تایید کننده ساختار توسعه یافته غشاهای تولیدی در این تحقیق با تراوایی بالا و آبگریزی بالا می باشد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق غشاهای متخلخل الیاف توخالی پلی سولفون بروش جداسازی فازی با دستگاه ریسندگی الیاف توخالی تهیه شدند. با روش پوشش دهی غوطه‌وری سطح خارجی غشاها با پلیمر پلی دی متیل سیلوکسان آگریز شدند و ساختار غشاها از نظر مورفولوژی، تراوایی گازی، مقاومت مرطوب شدن و زاویه تماس سطحی مقایسه گردیدند. غشاهای ساخته شده در یک سیستم تماس دهنده غشایی برای اندازه گیری شار جذب CO_2 مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از این تحقیق بشرح زیر می باشد:

- از نظر مورفولوژی غشاها دارای ساختار تقریباً بند انگشتی داشته و دارای پوسته نازک سطحی اند. به دلیل استفاده از محلول ابی ۷۰٪ حلال به عنوان سیال حفره غشا دارای سطح داخلی بدون پوسته و کاملاً متخلخل می باشد.
- تراوایی نیتروژن غشاهای پوشش داده شده بسیار کمتر از غشای ساده می باشد که به دلیل کاهش تخلخل سطحی و کوچک‌تر شدن حفره ها می باشد.
- غشاهای اصلاح شده دارای متوسط حفره ۹ نانومتر و غشاهای ساده اندازه متوسط حفره ۱۸ نانومترند. از طرفی تخلخل سطحی غشاهای اصلاح شده بسیار کمتر می باشد.
- به دلیل کوچک‌تر بودن حفره‌های سطحی و آگریزی بیشتر سطحی غشای اصلاح شده مقاومت مرطوب شدن بیشتر از غشای ساده می باشد.
- غشای اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان دارای آگریزی بیشتر با زاویه تماس ۱۱۸ درجه می باشد در صورتی که زاویه تماس سطحی غشا ساده تقریباً ۸۳ درجه است.
- دو نوع غشا ساخته شده به دلیل دارا بودن ساختار توسعه یافته شار جذب بالایی در مقایسه با غشاهای پلی وینیلیدین فلوراید (PVDF) تجاری و آزمایشگاهی نشان دادند. غشای ساده بیشترین شار جذب $1/1 \times 10^{-2} \text{ mol/m}^2 \text{ s}$ در سرعت مایع $0/3 \text{ m/s}$ نشان داد که تقریباً ۳۷٪ بیشتر از شار غشا اصلاح شده با پلی دی متیل سیلوکسان می باشد.

منابع

1. Rongwong W, Boributh S, Assabumrungrat S, Laosiripojana N, Jiratananon R. Simultaneous absorption of CO_2 and H_2S from biogas by capillary membrane contactor. *Journal of membrane science*. 2012;392:38-47.
2. Mansourizadeh A, Mousavian S. Structurally developed microporous polyvinylidene fluoride hollow-fiber membranes for CO_2 absorption with diethanolamine solution. *Journal of Polymer Research*. 2013;20(3):99.
3. Rajabzadeh S, Yoshimoto S, Teramoto M, Al-Marzouqi M, Ohmukai Y, Maruyama T, et al. Effect of membrane structure on gas absorption performance and long-term stability of membrane contactors. *Separation and Purification Technology*. 2013;108:65-73.
4. Wang L, Zhang Z, Zhao B, Zhang H, Lu X, Yang Q. Effect of long-term operation on the performance of polypropylene and polyvinylidene fluoride membrane contactors for CO_2 absorption. *Separation and Purification Technology*. 2013;116:300-6.
5. Hashim NA, Liu Y, Li K. Stability of PVDF hollow fibre membranes in sodium hydroxide aqueous solution. *Chemical engineering science*. 2011;66(8):1565-75.
6. Khaisri S, Tontiwachwuthikul P, Jiratananon R. Comparing membrane resistance and absorption performance of three different membranes in a gas absorption membrane contactor. *Separation and Purification Technology*. 2009;65(3):290-7.
7. Mansourizadeh A, Ismail AF. A developed asymmetric PVDF hollow fiber membrane structure for CO_2 absorption. *International Journal of Greenhouse Gas Control*. 2011;5(2):374-80.
8. Saljoughi, E., Sadrzadeh, M., Shahidi, K. and Mohammadi, T., "Preparation and characterization of a composite PDMS membrane on CA support", *Polym. Adv. Technol.*, 2010, 21, 568-577.
9. Shi L., Wang R., Cao Y. (2009). Effect of the rheology of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF-HFP) dope solutions on the formation of microporous hollow fibers used as membrane contactors. *J. Membr. Sci.* 344: 112-122.
10. Shi L., Wang R., Cao Y., Liang D.T., Tay J.H. (2008). Effect of additives on the fabrication of poly(vinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene) (PVDF-HFP) asymmetric microporous hollow fiber membranes. *J. Membr. Sci.* 315:195-204.
11. Srikanth, G. Membrane Separation Processes-Technology and business Opportunities, *International. Water conditioning and purification magazine*, 50(4) (2008)1-4.

12. Wang R, Zhang H.Y., Feron P.H.M., Liang.D.T., Influence of membrane wetting on CO₂ capture in microporous hollow fiber membrane contactors”, “Sep.Purif. Technol.”, 2005,46,33-40.
13. Stengaard, F.F., (1988).Characteristics and performance of new types of ultrafiltration membranes with chemically modified surfaces. Desalination 34:207–224.
14. Wongchitphimon S., Wang R., Jiratananon R. (2011). Surface modification of polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (PVDF–HFP) hollow fiber membrane for membrane gas absorption. J. Membr. Sci. 381:183– 191.
15. Wongchitphimon S., Wang R., Jiratananon R., Shi L., Loh C.H. (2011). Effect of polyethylene glycol (PEG) as an additive on the fabrication of polyvinylidene fluoride-co-hexafluoropropylene (PVDF-HFP) asymmetric microporous hollow fiber membranes, J. Membr. Sci. 369:329–338.

تحلیل و بررسی تأثیر مؤلفه‌های ریسک بر پروژه‌های خطوط انتقال آب با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره TOPSIS
سبحان الله داوودی، محمدجواد طاهری امیری

شبیه‌سازی ایرو دینامیکی نیروی هوا در اسکی به روش دینامیک سیالات محاسباتی
ایمان مبرز، محمد افتخاری یزدی

ارزیابی و تحلیل شبکه‌های حسگر مبتنی بر رویکرد الگوی سازی
محمدجواد صفائی، سیدعلی رضوی ابراهیمی، زهرا جورمند

بهینه‌سازی تخلیه ساکنین در برج‌های بلند در شرایط اضطراری، با استفاده از پل‌های هوایی بین برج‌ها
علیرضا مشبکی اصفهانی، یعقوب شهبازی، محمدرضا مشبکی اصفهانی

مروری بر طراحی انواع شمارنده‌ها در سیستم‌های دیجیتالی و معرفی شمارنده‌های دیکد ری و مالتی پلکسری
آرینا شکوری، مانده آربونی، سید عمیدالدین موسوی

بررسی متغیرهای مؤثر بر لپ‌نکاری تخت قطعه کارهای آلومینیومی
جمال‌الدین زارعی، حسین امیرآبادی

شبیه‌سازی چتر پاشش و بررسی پروفیل قطر قطرات اسپری در انژکتور موتور موشک سوخت مایع
میلاد رضایی، محمد مهدی اسماعیلی

اصلاح سطحی غشاهای الیاف توخالی پلی سولفون توسط پلی دی متیل سیلوکسان بروش پوشش دهی غوطه‌وری
بنفشه نوری دمیه، ابوطالب قدمی جدول قدم

پژوهش‌های نوین مهندسی

۰۲۱ ۳۳۳ ۲۰ ۲۴۸۷ ۰۲۱ ۴۳۳ ۸۵۷۱ ۲۴
۰۲۶ ۳۲۷۲ ۴۷۸۷ ۰۲۶ ۳۲۷۴ ۷۱۵۸
تهران: افسریه، ۱۵ متری چهارم، کوچه ۳۸، پلاک ۲۸، واحد ۲
کرج: چهارراه هفت‌تیر، خیابان لاله ۱، پلاک ۱۴، طبقه همکف