تأثیر ساختار پارچه سه بعدی بر راندمان جمع‌آوری مه

عطیه الماسی زفره‌ئی/ محمد شیخ‌زاده

چکیده

ساختارهای جمع‌آوری کننده مه، پارچه‌هایی با ساختار باز هستند که به منظور جداسازی قطرات معلق موجود در جریان مه در نواحی کم بارش با وقوع پدیده مه زیاد به کار گرفته می‌شوند. در این مقاله تاثیر آرایش الیاف لایه میانی در پارچه‌های سه بعدی تهیه شده از مونوفیلامنت‌های آبگریز بر راندمان جمع‌آوری مه با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی بررسی شده است. به منظور شبیه‌سازی جریان مه عبوری از پارچه روش اویلری لاگرانژی به کار گرفته شد. نتایج حاکی از آن است که - آرایش مورب فضایی الیاف بیشترین راندمان را در مقایسه با سایر حالات قرار گرفتن نخ در پارچه سه بعدی دارد.

۱.مقدمه

در دنیای کنونی رشد جمعیت، گسترش صنعت و کشاورزی از یک سو و مدیریت نادرست منابع آب از طرف دیگر در بسیاری از نقاط جهان بشر را با مشکل کم آبی مواجه ساخته است.

این مشکل در نواحی کم بارش به صورت جدی‌تری بروز کرده است. از بررسی روش‌های به کار گرفته شده توسط گیاهان و جانوران ساکن نواحی بیابانی و نیمه بیابانی برای تامین آب می‌توان دریافت که استخراج آب از رطوبت موجود در جو و یا جمع‌آوری قطرات مه راه حلی مناسب در غلبه بر مشکل کم آبی در سال‌های آتی خواهد بود. از این‌رو در سال‌های اخیر طراحی ساختارهای جمعآوری کننده مه با الهام از ساختارهای طبیعی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است.

روشی که در دهه‌های اخیر به صورت عملی برای تامین آب در نواحی کم بارش با وقوع پدیده مه زیاد به کار گرفته شده، جمع‌آوری قطرات مه توسط پارچه با فاکتور پوشانندگی اندک بوده است.

در این روش پارچه عمود بر راستای جریان باد نصب می‌گردد و قطرات آب موجود در مه به همراه جریان باد به سمت آن به حرکت در می‌آید. در اثر برخورد و نشست قطرات بر سطح الیاف تشکیل دهنده پارچه و ادغام آنها با یکدیگر، قطرات بزرگ‌تر تشکیل می‌شود که در اثر نیروی وزن خود بر نیروی چسبندگی غلبه کرده و به سمت مخزن جمع‌آوری آب سقوط می‌کند.

مقدار آب به دست آمده از مه تحت تاثیر عوامل مختلف شامل میزان آب محتوی مه، اندازه قطرات و توزیع اندازه آنها، سرعت جریان باد و خصوصیات پارچه جمعآوری کننده مه است؛ از این میان تنها عامل قابل کنترل و تاثیرگذار بر راندمان جمع‌آوری مه، ساختار مورد استفاده در جمع‌آوری قطرات است. بنابراین بهبود ساختار پارچه‌های جمع‌آوری کننده مه مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است .

مطالعه تئوری راندمان جمع‌آوری قطرات مه [۳] شامل مطالعه سه بخش راندمان آیرودینامیک (η_{ace})، راندمان دریافت (η_{cap}) و راندمان انتقال قطرات (η_{dra}) است:

$$\eta = \eta_{ace}\eta_{cap}\eta_{dra}$$

راندمان آیرودینامیک عبارت است از نسبت قطرات موجود در جریان مه که به سمت الیاف ساختار تجمیع‌کننده در حال حرکت است، به کل قطرات مایع در حال حرکت به سمت ساختار تجمیع‌کننده در دور دست. با توجه به این تعریف راندمان آیرودینامیکی به فاکتور پوشانندگی سطح جمعآوری کننده (CF)، ضریب افت فشار آن (C_p) ضریب پسای کل ساختار در صورتی که ساختار نفوذناپذیر باشد (C_D) وابسته است و برابر است با :

$$\eta_{ace} = \frac{CF}{1+\sqrt{C_p/C_D}}$$

راندمان دریافت مه به صورت نسبت قطرات دریافت شده توسط الیاف، به کل قطرات موجود در مسیر برخورد به الیاف، تعریف می شود. با توجه به خصوصیات جریان مه و ساختارهای جمعآوری کننده مه، مکانیزم غالب در دریافت قطرات مه، مکانیزم برخورد در اثر اینرسی است .

راندمان انتقال قطرات عبارت است از نسبت قطرات ذخیره شده در مخزن جمعآوری قطرات به کل قطرات دریافت شده توسط ساختار جمع آوری کننده. در این تحقیق برای محاسبه راندمان جمع‌آوری مه به روش شبیه سازی راندمان انتقال قطرات برابر با صد درصد فرض شده است.

در این تحقیق با الهام از ساختار سه بعدی گیاهان ساکن نواحی بیابانی، ساختار پارچه سه بعدی تهیه شده از الیاف مونوفیلامنت‌های آبگریز، برای جمعآوری قطرات مه پیشنهاد شده است و تاثیر آرایش الیاف لایه میانی بر راندمان جمع‌آوری مه، با به کارگیری شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی، مورد بررسی قرار گرفته است.

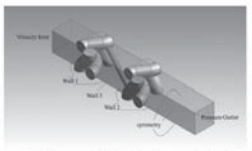
۲ . شبیه‌سازی عددی

جریان مه یک جریان دو فازی متشکل از قطرات کوچک آب، با اندازه ۱ تا ۵۰ میکرومتر، و جریان هوا است که هیچگونه انتقال جرم یا انتقال انرژی بین دو فاز آن روی نمیدهد. این موضوع سبب می‌گردد تا یک ارتباط یک طرفه در جریان مه برقرار باشد. بدین معنا که فقط جریان هوا بر رفتار قطرات مه تاثیرگذار است و

تاثیر حضور قطرات بر جریان هوا قابل صرف نظر کردن است و بین قطرات نیز هیچگونه برهمکنشی وجود ندارد. سرعت کم جریان مه در ناحیه محاسباتی سبب می‌گردد تا جریان حالت آرام داشته باشد و قطرات پس از برخورد به سطح الیاف به طور کامل توسط ساختار دریافت شوند.

در شکل ۱ تصویری نمادین از یک واحد ساختاری پارچه سه بعدی، که در محیط نرم‌افزار AutoCAD ۲۰۱۴ رسم شده است، نشان داده می‌شود. در این شکل هندسه هر یک از لایه‌های بیرونی پارچه سه بعدی، مشابه یکدیگر و به صورت بافت پارچه تاری پودی تافته است که بر مبنای مدل پیرس رسم گردید و برای مسیر عبور نخ‌های اتصال دهنده لایه میانی، سه آرایش مختلف مطابق شکل ۲ در نظر گرفته شد. سپس ناحیه محاسباتی شامل فضای سیال در برگیرنده واحد ساختاری پارچه تعیین گردید و با استفاده از المان‌های هرمی توسط نرم‌افزار ۱۵/۱ Ansys Meshing مش‌زنی شد.

توزیع این المان‌ها به نحوی است که در سطح الیاف بیشترین تراکم را داشته و به تدریج با افزایش فاصله از سطح الیاف از تراکم آنها کاسته شود.



شکل ۱- ناحیه محاسباتی شرایط مرزی اعمال شده

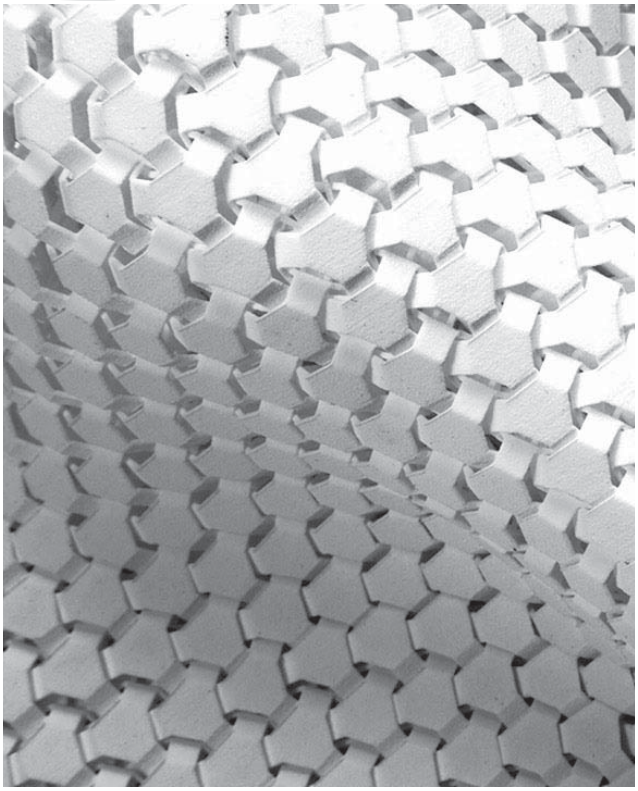
شکل ۲- تصویر نمادین از حالات مختلف قرارگیری نخ‌های اتصال دهنده

در شکل ۱ همچنین شرایط مرزی اعمال شده بر ناحیه محاسباتی نشان داده شده است. جریان هوای حامل قطرات مه با سرعت ثابت و برابر ۲ متر در ثانیه وارد ناحیه محاسباتی شده و با فشاری برابر فشار جو از ناحیه محاسباتی خارج می‌شود. در صفحات جانبی ناحیه محاسباتی شرط مرزی تقارن در نظر گرفته شد. بدین معنا که هیچگونه تغییر در متغیرها در راستای عمود بر این سطوح وجود ندارد. در سطح این الیاف شرط مرزی دیواره غیرلغزشی اعمال گردید.

زیرا با توجه به عدد بدون بعد نادسون بر مبنای قطر مونوفیلامنت‌های تشکیل دهنده پارچه، رژیم جریان در فاز گازی حالت پیوسته خود را حفظ میکند و لغزش جریان در مجاورت سطح الیاف وجود نخواهد داشت.همچنین قطرات مه با اندازه برابر ۳ میکرومتر و با سرعتی برابر با سرعت جریان هوای ورودی، در فواصل برابر از یکدیگر و با نرخ ۴۰۰ میلیلیتر در ساعت از صفحه ورودی به ناحیه محاسباتی تزریق شد.

در این تحقیق، به منظور شبیه‌سازی عبور جریان مه از درون پارچه روش اویلری لاگرانژی به کار گرفته شد. در این روش ابتدا با حل عددی معادلات پیوستگی و ناویر استوکس جزئیات جریان هوا در ناحیه محاسباتی محاسبه می‌گردد و سپس با به کارگیری قانون دوم نیوتن در حرکت مسیر عبور هریک از قطرات به صورت جداگانه مشخص میشود.

حل معادلات جریان سیال، با فرض پایا بودن جریان و با استفاده از الگوریتم SIMPLE توسط نرم‌افزار Ansys Fluent ۱۵،۱ بر مبنای روش گسسته‌سازی حجم محدود انجام شد و تا رسیدن مقادیر پسماند تمامی معادلات جریان به مقدار کمتر از ۴ – ۱۰ روند حل تکرار شد. پس از حل معادلات جریان مسیر عبور قطرات



و سرعت آن در هر نقطه از مسیر محاسبه شد. با توجه به اینکه نتایج آزمایشات تجربی پیشین تایید کننده صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی بوده است،

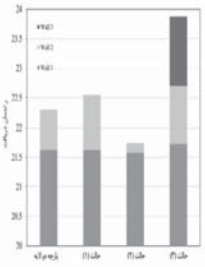
می‌توان راندمان آیرودینامیک و راندمان دریافت قطرات را با استفاده از داده‌های حاصل از شبیه‌سازی محاسبه کرد. راندمان آیرودینامیک با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد. بدین منظور ضریب افت فشار پارچه از نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی، فاکتور پوشانندگی پارچه با استفاده از خصوصیات هندسی واحد ساختاری و ضریب پسای کل ساختار با توجه به مقادیر گزارش شده در کتب دینامیک سیالات محاسباتی برای ضریب پسای صفحات مستطیلی شکل و با در نظر گرفتن ابعاد ساختارهای جمعآوری کننده مه بزرگ (ارتفاع ۴ متر و عرض ۱۰ متر) به دست آمد.

شکل ۳- تغییرات سرعت جریان در صفحات موازی گذرا از واحد ساختاری پارچه سه بعدی

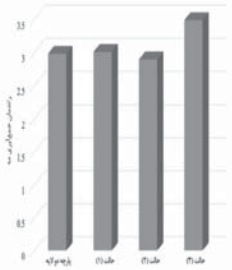
راندمان دریافت قطرات از ردیابی قطرات تزریق شده به قسمت ورودی ناحیه محاسباتی، تعیین میگردد. چنانچه قطرهای در مسیر حرکت خود به سطح الیاف برخورد کنند، به صورت کامل توسط الیاف دریافت می‌شود و از ناحیه محاسباتی حذف می‌شود و در غیر این صورت پس از رسیدن آن به قسمت خروجی ناحیه محاسباتی حذف می‌گردند بنابراین راندمان دریافت قطرات را میتوان از تقسیم تعداد

جدول ۱- تاثیر آرایش نخ اتصال دهنده بر مقادیر ضریب افت فشار و راندمان آیرودینامیک

	پارچه دو لایه	پارچه سه بعدی در حالت (۱)	پارچه سه بعدی در حالت (۲)	پارچه سه بعدی در حالت (۳)
ضریب افت فشار	۴۰/۴۷	۴۰/۶۰	۴۰/۹۲	۴۲/۸۳
راندمان آیرودینامیک	۱۳/۳۶	۱۳/۳۳	۱۳/۳۰	۱۴/۶۱



شکل ۴- تاثیر آرایش نخ‌های اتصال دهنده بر راندمان دریافت قطرات



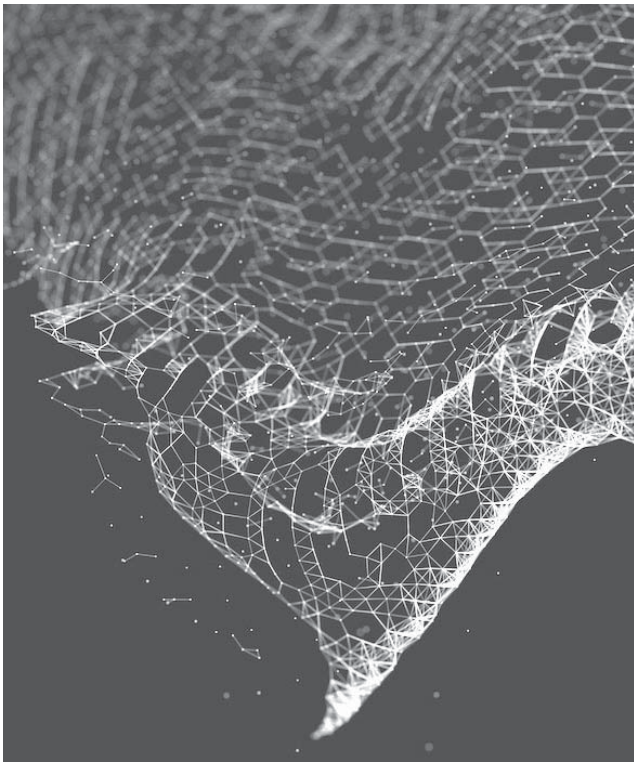
شکل ۵- تاثیر آرایش نخ‌های اتصال دهنده بر راندمان دریافت قطرات

قطراتی که به سطح الیاف برخورد کرده‌اند به تعداد کل قطرات تزریق شده به ناحیه محاسباتی محاسبه کرد.

۳. بحث و نتایج

در شکل ۳ تغییرات سرعت جریان در سه صفحه مجزای گذرنده از واحد ساختاری پارچه سه بعدی نشان داده شده است. از بررسی تغییرات سرعت در هر یک از این صفحات مشخص می‌شود که سرعت جریان پس از ورود به واحد ساختاری پارچه به افزایش پیدا می کند.

سپس با افزایش فاصله از لایه اول سرعت جریان کاهش یافته و در نواحی مجاور مونوفیلامنت لایه میانی به صفر میرسد و مجددا با خروج جریان از پارچه سرعت



افزایش پیدا می کند.

جدول ۱ بیانگر مقادیر ضرایب افت فشار و راندمان آیرودینامیک پارچه دو لایه و پارچه سه بعدی، در حالات مختلف آرایش نخ های اتصال دهنده (شکل ۲)و سرعت جریان ورودی ۲ متر بر ثانیه، است.

با توجه به این جدول، تاثیر حضور نخ های اتصال دهنده در حالت ۱ و ۲ بر ضریب افت فشار در مقایسه با پارچه دو لایه ناچیز است ولیکن حضور نخ‌های اتصال دهنده در حالت ۳ یا آرایش مورب فضایی موجب افزایش ضریب افت فشار پارچه و فاکتور پوشانندگی پارچه، در مقایسه با دو نمونه دیگر، می‌گردد که این امر موجب افزایش راندمان آیرودینامیک این نمونه شده است.

در شکل ۴ تاثیر آرایش نخ‌های اتصال دهنده بر راندمان دریافت قطرات مه نشان داده شده است.

با توجه به این شکل در حالت ۱ و ۲ آرایش نخ‌های اتصال دهنده، هیچ قطرهای توسط الیاف لایه میانی دریافت نمی‌شود و راندمان دریافت قطرات در این دو حالت تقریبا برابر با حالت دو لایه است.

در حالی که در حالت ۳ که نخ‌ها آرایش مورب فضایی دارد، راندمان دریافت قطرات نسبت به دو نمونه دیگر افزایش پیدا می کند.

شکل ۵ تاثیر آرایش نخ‌های اتصال دهنده را بر راندمان جمع‌آوری مه (رابطه۱) را با فرض صد درصد بودن راندمان انتقال نشان می‌دهد.

بر اساس این شکل، در حالت ۳ با آرایش مورب فضایی نخ‌های لایه میانی، بیشترین راندمان جمع‌آوری مه را دارد و در حالت ۱ و ۲حضور نخ اتصال دهنده تاثیر چندانی بر راندمان جمع‌آوری مه ندارد.

٤. نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک سیالات محاسباتی راندمان جمع‌آوری مه در پارچه‌های سه بعدی مطالعه شد و تاثیر آرایش الیاف اتصال دهنده لایه میانی بر راندمان جمع‌آوری مه مورد بررسی قرار گرفت.

بدین منظور سه حالت مختلف از آرایش الیاف در لایه میانی در نظر گرفته شد و راندمان آیرودینامیک و راندمان دریافت قطرات در حالات مختلف با به کارگیری روش اویلری لاگرانژی محاسبه شد.

نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که از میان سه حالت قرارگیری نخ‌های اتصال دهنده، آرایش مورب فضایی راندمان جمع آوری بیشتری را نسبت به دو حالت دیگر مورد بررسی دارد. ز

در این حالت اگرچه راندمان آیرودینامیک ساختار جمع‌آوری کننده مه به دلیل تغییر خصوصیات نفوذپذیری پارچه و فاکتور پوشانندگی آن تغییر پیدا می‌کند ولیکن راندمان دریافت قطرات به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.

پی‌نوشت:

۱ – دانشکده نساجی دانشگاه صنعتی اصفهان