

بررسی اثر استفاده از دیوارهای بادشکن در کاهش تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن با استفاده از مدل عددی FLUENT (مطالعه موردی: چاه نیمه شماره ۴ سیستان و بلوچستان)

سید آرمان هاشمی منفرد^{۱*}، مهدی رضاپور^۲، تهمینه ژیان^۳

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه دریانوردی و علوم دریایی چابهار

۳. دانشجوی مهندسی مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۳/۲۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۴/۳۰)

چکیده

پدیده تبخیر به عوامل مختلفی از جمله دما، سرعت باد، رطوبت، شوری آب، عمق آب و... بستگی دارد. بررسی آمار و اطلاعات مربوط به تبخیر، دما، سرعت باد و رطوبت در منطقه مطالعه شده نشان می‌دهد مهم‌ترین عامل تبخیر، سرعت باد است. استفاده از دیوارهای بادشکن یکی از روش‌های کنترل سرعت باد است که به کاهش تبخیر منجر می‌شود. داده‌های استفاده شده در این تحقیق از ایستگاه هواشناسی زهک برداشت شده است. هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی میدان جریان باد عبوری از روی بادشکن با استفاده از مدل عددی FLUENT و تعیین اثر هندسه بادشکن و فاصله بین بادشکن‌ها روی سرعت باد ورودی است. از این رو، در قدم نخست در نرم‌افزار GAMBIT هندسه مسئله برای حل میدان جریان تعیین شد و مش بندی میدان محاسباتی و نوع مرزهای حاکم بر میدان جریان مشخص شد. پس از تهیه شبکه مورد نیاز و تعیین مرزهای میدان جریان، فایل مد نظر توسط FLUENT خوانده شده و شرایط تحلیلی سیال، مشخصات آن، مشخصات شرایط مرزی و... بر هندسه اعمال شده و مسئله حل شد. نتایج نشان می‌دهد در صورت طراحی بادشکن‌هایی به ارتفاع دو متر که فاصله بین آنها ۴۸ متر است و با زاویه ۹۰ درجه در جهت شمال غربی قرار گرفته‌اند، می‌توان به طور مؤثر میزان تبخیر در منطقه را کاهش داد. اگر بخواهیم فقط از سیستم بادشکن برای کاهش تبخیر در سطح چاه نیمه استفاده کنیم، باید از ۱۶۰ ردیف بادشکن استفاده شود که طولی برابر عرض دریاچه دارند.

کلیدواژه‌گان: بادشکن، کنترل تبخیر، مدل عددی FLUENT.

مقدمه

از آنجا که قرن ۲۱ با مشکلات مربوط به افزایش مداوم جمعیت، کاهش منابع طبیعی، تخریب محیط زیست و محدود شدن این منابع همراه است [۱]، مدیران و محققان منابع باید روش‌هایی برای بهره‌برداری مطلوب و کنترل تبخیر و حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده به کار گیرند [۲]. فناوری بادشکن یکی از ابزارهای مقابله با این بحران است. بادشکن‌ها سازه‌هایی هستند که برای کاهش سرعت باد به کار گرفته شده و به صورت زنده یا غیرزنده احداث می‌شوند. بادشکن‌های غیرزنده می‌توانند به صورت موانع مصنوعی از جنس فلز، چوب، پلاستیک و یا دیواره‌های سنگی باشند، ولی بادشکن‌های زنده معمولاً از یک یا چند ردیف درخت یا درختچه تشکیل شده‌اند. یکی از کاربردهای مهم بادشکن‌ها، کاهش میزان تبخیر است که این کار را از طریق تغییر در سرعت باد، جهت باد و تلاطم هوا انجام می‌دهند. از این‌رو، فرایند تبخیر را به‌طور غیرمستقیم و تا فاصله‌ای از خود تحت تأثیر قرار می‌دهند. این فاصله به تداخل (نسبت مساحت فضاهای خالی به کل مساحت بادشکن) آن، جهت باد غالب و ارتفاع بادشکن بستگی دارد.

تا کنون به‌منظور بررسی اثر بادشکن‌ها بر میزان تبخیر، تحقیقات متعددی انجام شده است. برای نمونه، تحقیقی که اسکیدمور و هگن در سال ۱۹۷۰ روی بادشکن‌های با تداخل ۶۰، ۴۰ و صفر درصد انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که وقتی تداخل مانع کاهش یابد، کمترین مقدار سرعت باد به سمت مانع حرکت می‌کند. کمترین سرعت باد در تداخل ۶۰ درصد در ΔH ارتفاع بادشکن برحسب متر است) رخ می‌دهد در حالی که با ۴۰ درصد و صفر درصد تداخل این حالت به ترتیب در $\Delta H/3$ و H رخ می‌دهد. همچنین، میزان تداخل روی تلاطم هوا اثر می‌گذارد، به طوری که بعد از اینکه سرعت باد به کمترین حد برای تداخل ۶۰ درصد می‌رسد، به تدریج به شرایط میدان باز برحسب فاصله از مانع افزایش می‌یابد، اما این حالت برای موارد با تداخل کمتر صدق نمی‌کند. سرعت باد مانع با تداخل ۴۰ درصد تمایل دارد که بعد از رسیدن به کمترین مقدار بلافاصله و به سرعت افزایش یابد. بعد از اینکه سرعت باد نزدیک مانع بدون تداخل به کمترین مقدار رسید، تا فاصله $5H$ به سرعت افزایش می‌یابد [۳].

لوماس و شلزینگر در سال ۱۹۷۱ کاهش تبخیر و سرعت

باد را در مناطق با وجود انرژی فرارفت و بدون آن (انرژی فرارفت به حرکات افقی تغییرات دما به وسیله باد گفته می‌شود). بررسی کرده و نتایج را با روابط پنمن مقایسه کردند. نخستین آزمایش آنها در شهرک میوتاهیم واقع در منطقه بوسور در شمال شرقی صحرای نگو و حدود ۲۰ کیلومتری ساحل دریای مدیترانه در فصل تابستان و آزمایش دوم در صحرای کیوتص ایلات در فصل زمستان انجام شد. نتایج تحقیق آنها نشان می‌دهد در منطقه میوتاهیم هیچ نشانه‌ای از انرژی فرارفت نیست و بنابراین وجود بادشکن تأثیر خاصی بر تبخیر ندارد. این در حالی است که در ایلات، انرژی فرارفت غالب است و تبخیر را به میزان درخور توجهی کاهش می‌دهد. همچنین، نشان دادند روابط پنمن می‌تواند تخمین مناسبی از میزان تبخیر داشته باشد و اگر بسیاری از داده‌ها توسط ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی برداشت شده باشند و مستقیم در محل آزمایش ثبت نشده باشند، باز هم این روابط نتایج معناداری ارائه خواهند داد [۴].

رین و استیونسون در سال ۱۹۷۷ آزمایش‌هایی را روی حصارهای حفاظتی با تداخل صفر، ۲۰، ۳۴ و ۵۰ درصد به‌منظور اندازه‌گیری میانگین سرعت باد در تونل باد انجام دادند. آزمایش این حصارها با نفوذپذیری متفاوت ثابت کرد که حصار با نفوذپذیری ۲۰ درصد بهترین کاهش کلی میانگین سرعت باد در پشت بادشکن را به وجود می‌آورد و به‌طور کلی بادشکن‌های با نفوذپذیری کم تا متوسط کاهش کلی بهتری در میانگین سرعت باد نسبت به بادشکن‌های توپر دارند [۵].

ویلسون در سال ۱۹۸۷ سرعت متوسط باد و آشفستگی جریان پشت دو قطعه حصار با نفوذپذیری ۵۰ درصد را، که فقط در توزیع قائم تداخل تفاوت داشتند، اندازه‌گیری کرد. یکی از حصارها به‌طور یکنواخت متداخل و حصار دیگر در قسمت نزدیک به زمین نسبتاً متراکم است. نتایج تحقیق ایشان نشان می‌دهد کاهش سرعت متوسط بیشتری برای حصارهایی که در قسمت نزدیک به زمین متراکم‌تر بوده، مشاهده می‌شود و همچنین هیچ افزایش زیان‌باری در آشفستگی نداشته است، اما درباره فواصل طولانی نسبت به حصار یکنواخت اثربخشی کمتری دارد [۶].

هیزلر و دیواله در سال ۱۹۸۸ نتیجه گرفتند که کارایی بادشکن‌ها در کاهش سرعت باد بیشتر به ارتفاع، جهت‌گیری نسبت به باد غالب و تداخل آنها بستگی دارد. اگر مانع

۱۹۹۷ مطالعه کردند که آیا درختان (گونه چریش) بادشکن در همان عمقی آب استفاده می‌کنند که محصولات زراعی مجاور، آب مصرف می‌کنند یا خیر. در دره ماجیا، درختان بخش عظیمی از آب مورد نیاز خود را از لایه‌های سطحی خاک پس از بارش باران و زمانی که آب فراوان بود، به دست می‌آوردند. به هنگام خشکسالی، ریشه‌های درختان آب را از سفره آب زیرزمینی یا ذخایر عمیق آب در خاک استخراج کردند، در حالی که محصول گندمی که در همان ناحیه است، آب مورد نیاز خود را از ناحیه‌ای نزدیک به سطح بالایی پروفیل خاک به دست می‌آورد. در مقابل، در سادوره هم درختان و هم محصولات نیازهای آبی خود را از عمق دو تا سه متری بالایی خاک در سراسر سال تأمین می‌کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان می‌دهد استفاده از آب توسط درختان بادشکن و محصولات بیشتر به در دسترس بودن آب زیرزمینی برای ریشه درختان وابسته است. در نتیجه، به احتمال زیاد رقابت بر سر آب در چنین محل‌هایی کاهش می‌یابد، اما ممکن است در جایی که سطح آب زیرزمینی قابل دسترس نیست روی بهره‌وری سیستم‌های بادشکن تأثیر بگذارد. برای به حداکثر رساندن مزایای بادشکن‌ها، مهم است که برنامه‌ریزان، استراتژی‌هایی را توصیه کنند تا در مکان‌هایی که آب زیرزمینی برای ریشه‌های درختان قابل دسترس نیست رقابت برای آب میان درختان و محصولات کاهش یابد [۱۲].

کلو در سال ۱۹۹۸ چگونگی تأثیرگذاری تراکم بادشکن‌های طبیعی را بر الگوهای جریان در مقادیر مختلف وزش باد بررسی کرد و به این نتیجه رسید که در سمت موافق باد، فشار هوا در حوالی بادشکن‌های خیلی متراکم افزایش می‌یابد، در حالی که در سمت مخالف یک ناحیه کم‌فشار شکل می‌گیرد. فشار هوای موافق باد، هوا را از درون و بالای بادشکن با فشار جلو می‌راند، در حالی که ناحیه کم‌فشار در پشت بادشکن هوایی را که از روی بادشکن در حال عبور است به سمت خود می‌کشد. اگر بادشکن خیلی متراکم باشد، جریان هوا در ناحیه آرام می‌تواند تغییر جهت دهد و یک جریان گردابی ایجاد کند [۱۳].

وجیاک و همکارانش در سال ۲۰۰۳ مدلی برای تلفیق تأثیرات بادشکن حفاظتی با سیستم اطلاعات جغرافیایی ارائه کردند. بادشکن حفاظتی برحسب کاهش سرعت مدل‌سازی شد که خود تابعی از سرعت و جهت باد، فاصله

متراکم باشد، جریان هوا از بالای آن عبور خواهد کرد و به دلیل فشار کمتر در سمت پشت به باد یک اغتشاش هوایی در این سمت ایجاد می‌شود. از این‌رو، روش یادشده در مقایسه با بادشکن‌های نسبتاً نفوذپذیر یک ناحیه مؤثر محدود را در سمت پشت به باد ایجاد می‌کند [۷].

اثر اصلی همه سیستم‌های بادشکن کاهش سرعت باد است، این کاهش بر فرایندهای انتقال آشفته تأثیر می‌گذارد و به اصلاحات کوچک اقلیمی در منطقه حفاظت‌شده منجر می‌شود. نانتن در سال ۱۹۸۸ روابط انتقال آشفته و این تغییرات کوچک اقلیمی را توصیف کرد. او دو منطقه کوچک اقلیمی مجزا را در بادپناه بادشکن‌ها به نام منطقه آرام و منطقه احیا تعریف می‌کند که بیشترین حفاظت در منطقه آرام رخ می‌دهد، در حالی که در منطقه احیا، آشفته‌گی بیشتر از مقادیر آن در هوای آزاد است [۸].

برندل و فینچ در سال ۱۹۹۱ به این نتیجه رسیدند که ارتفاع، تخلخل و جهت بادشکن‌های طبیعی تأثیر زیادی در کاهش سرعت باد دارند و پارامتر ارتفاع مهم‌ترین عامل در کاهش سرعت باد است. بادشکن‌هایی که ارتفاع بین ۲H تا ۵H دارند می‌توانند تا مسافت ۳۰H بر سرعت باد تأثیر بگذارند، ولی بیشترین تأثیر در فاصله ۵H اتفاق می‌افتد [۹].

وانگ و تکل در سال ۱۹۹۵ با استفاده از یک مدل عددی به بررسی بادشکن‌ها با تخلخل مختلف به‌منظور یافتن تخلخل بحرانی پرداختند و در پایان تخلخل ۰/۳ را به‌عنوان تخلخل بحرانی، که به ایجاد جریان گردابی منجر می‌شود، در نظر گرفتند [۱۰].

ریچاردسون و ریچاردز در سال ۱۹۹۵ تحقیقی را روی مقیاس آشفته‌گی در جهت جریان در مجاورت یک بادشکن انجام دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد در تراز پایین بادشکن، تکرار مقیاس آشفته‌گی به گونه‌ای مرتبط با کاهش در سرعت متوسط کاهش یافته است، اما در عین حال در بالای حصار به تولید آشفته‌گی با تکرار زیاد منجر شده که در حالت کلی میزان تکرار این آشفته‌گی‌ها با تغییرات سرعت مرتبط است [۱۱].

میزان آبی که توسط درختان و محصولات مصرف می‌شود می‌تواند تحت تأثیر مجاورت آب‌های زیرزمینی با سطح خاک باشد. این موضوع می‌تواند پیامدهای مهمی برای برنامه‌ریزی و مدیریت کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک مانند ساحل غرب آفریقا داشته باشد. اسمیت و همکارانش در سال

سرعت باد کمتر (یک متر بر ثانیه) در مقایسه با سرعت باد ۱/۸ متر بر ثانیه در شرایط جوئی ناپایدار مشاهده شد که در آن همرفت رواج داشت.

۲. دما تأثیر کمی روی پراکندگی بو برای هر سه شرایط جوئی خنثی، پایدار و ناپایدار داشت.

۳. جهت باد تعیین‌کننده جهت پراکندگی بو و طول آن بود. کوتاه‌ترین توده بو در جهت باد ۴۵ درجه مشاهده شد، اما این جهت بیشترین طول بو را ایجاد کرد که تا انتهای پایین بادشکن امتداد داشت [۱۶].

پنگ یه و جین یانگ در سال ۲۰۱۰ یک سری شبیه‌سازی با استفاده از معادلات ناویر استوکس انجام دادند تا تأثیر بادشکن‌های متخلخل در جلوگیری از فرسایش بادی را بررسی کنند. شبیه‌سازی به‌طور خاص روی تأثیرات تخلخل حصار، هندسه حصار بادی و جهت باد عملیاتی تمرکز دارند. به‌طور کلی، نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهند راندمان کنترل باد در بادشکن اساساً به جهت باد وابسته است. علاوه بر این، نشان داده شد که یک حصار بادی مستطیلی اثر حمایتی ضعیفی برای مقابله با باد با زاویه ۴۵ درجه فراهم می‌کند، اما برای بادهایی که در جهت عمود هشت‌ضلعی در زوایای مورب وزش باد راندمان کنترل بیشتری دارد، اما در وزش عمودی راندمان کمتری دارد. همچنین، نتایج نشان دادند حصار بادی با تخلخل ۳۰ درصد به کاهش مؤثر فرسایش بادی منجر شد [۱۷].

لی و همکارانش در سال ۲۰۱۰ از یک سیستم اسکن لیزری برای اندازه‌گیری خصوصیات هندسی بادشکن درخت استفاده کردند و کاربرد آن را در تخمین درصدی کاهش سرعت در یک بادشکن گزارش دادند. بادشکنی با قرارگیری مجموعه‌ای از درختان گلدانی ایجاد شد و بادهایی که توسط دستگاه دمنده در سرعت‌های کم و زیاد ایجاد شدند که به مراکز بادشکن‌های درختی هدایت می‌شدند. همبستگی خطی میان خصوصیات هندسی پوشش درختی و درصدی کاهش سرعت باد تجزیه و تحلیل شد. نتیجه پژوهش آنها نشان داد عملکرد سیستم اسکن لیزری در تخمین درصد کاهش سرعت باد می‌تواند بسته به نوع درخت متفاوت باشد چرا که مشخصات پارامترهای پوشش درختی و رفتار نفوذپذیری جریان هوا در میان درختان می‌تواند متفاوت باشد [۱۸].

از مانع، ارتفاع، ضریب تخلخل و جهت بادشکن است. نخستین کاربرد این مدل در یک محدوده مطالعاتی در انگلستان با یک شبکه بادشکن گسترده انجام شد. ویژگی‌های بادشکن مانند نوع، ارتفاع، تخلخل و موقعیت ثبت شد. به‌منظور ارزیابی تأثیر شبکه، شاخص بادشکن حفاظتی شبکه‌ای برحسب کاهش متوسط سرعت در منطقه پیشنهاد شد و درنهایت این نتیجه به دست آمد که شبکه حفاظت مناسبی را ارائه می‌دهد، ولی توزیع بادشکن نسبت به توزیع جهت باد، بهینه نیست. این مدل تلفیقی محدودیت‌هایی دارد که نباید نادیده گرفته شود که مهم‌ترین آنها ساده‌سازی در خصوص تأثیرات موانع چندگانه و بادهای مورب است [۱۴].

هفلر و همکارانش در سال ۲۰۰۹ تحقیقی را به‌منظور شبیه‌سازی اثر بادشکن‌های طبیعی بر میزان تبخیر آب از سد ویونهو، که روی رودخانه بریزین ساخته شده است، انجام دادند. در این تحقیق سه ارتفاع مختلف ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متری برای درختان بادشکن در نظر گرفته شد که همه موانع تخلخل یکسان داشتند. بادشکن‌ها به‌صورت موازی با طول سد قرار داده شدند و جهت وزش باد طوری تعیین شده بود که عمود بر خط بادشکن‌ها باشد. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد کاهش در سطوح تبخیر سالانه برابر با ۲/۵، ۳/۶ و ۵/۶ درصد می‌تواند به ازای بادشکن‌های ۲۰، ۳۰ و ۴۰ متری به دست آید [۱۵].

بادشکن‌های طبیعی به‌منظور افزایش پراکندگی بوی احشام و بهبود محیط روستایی می‌توانند به کار روند. لین و همکارانش در سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی، اثر شرایط آب و هوایی روی پراکندگی بو در مسیر باد از بادشکن‌های طبیعی را بررسی کردند. مدل $K-\Omega(SST)$ انتقال تنش برشی برای شبیه‌سازی بو استفاده شد که توسط یک منبع بو آزادسازی شده و در مسیر باد و از میان یک ردیف درخت مخروطی به ارتفاع ۹/۲ متر و ضخامت هفت سانتی‌متر و تخلخل ۰/۴ پراکنده شد. شبیه‌سازی به منبع انتشار تک‌نقطه‌ای محدود بود. تعداد ۲۱ شبیه‌سازی برای تعیین تأثیرات سرعت و جهت باد و دمای هوا را تحت شرایط ناپایدار، خنثی و پایدار بررسی شد. مقایسه شبیه‌سازی‌ها نشان داد:

۱. به‌طور کلی، با افزایش سرعت باد، توده‌های کوتاه‌تری ایجاد می‌شود، اما توده‌های بوی کوتاه‌تر در

مربع خطاهای (RMSE) برابر $0.4\% \pm 0.5\%$ ارائه می‌کند. سپس، مدل روی داده‌های موجود در منابع دیگر نیز اعمال شد تا وابستگی سرعت نسبی باد روی تخلخل بادشکن مشخص شود. یک شبیه‌سازی با مقیاس میدانی از یک سیستم چرای گوسفندان، شامل توصیفی صریح از تأثیرات سرمایه‌گذاری باد، به‌منظور تخمین دریافت خالص همراه با یک بادشکن روی بهره‌وری گوسفندان انجام شد. بیشترین بهره‌وری (۲۷ درصد) در تخلخل 0.5 و سرعت باد 12 متر بر ثانیه به دست آمد. آثار سرمایه‌گذاری باد دوباره برای زمین‌های بالادست و پایین‌دست نیز شبیه‌سازی شد و به حدود گرمایی مربوط به گوسفند نسبت داده شد. نتایج پاسخی متمایز به سرعت‌های بادی کاهش‌یافته بین مکان‌های مختلف نشان داد، که نشان‌دهنده سطوح مختلفی از خطرات حرارتی برای چارپایان و همچنین مزایای متفاوت و مخصوص به هر اقلیم بادشکن برای هر منطقه است. مدل‌های ساده‌سازی شده که در این تحقیق پیشنهاد شده‌اند، یک چارچوب کلی برای یک تعریف دقیق و مؤثر از تأثیرات بادشکن و بهینه‌سازی طراحی سیستم‌های بادشکن ارائه می‌کند. با مطالعه نتایج تحقیق می‌توان به این نتیجه رسید که مدل‌های پیشنهادی در این مقاله، در عین ساده بودن، در ثبت شرایط واقعی هواشناسی و آثار این‌ها بر تنش حرارتی، که توسط گوسفندان تحمل می‌شود، بسیار مؤثر است. سرمایه‌گذاری باد این پتانسیل را دارد که با افزایش بهره‌وری مزرعه، رفاه حیوان را نیز فراهم سازد؛ بادشکن‌ها با کاهش سرعت باد محلی، سبب تخفیف این امر می‌شوند و از طریق همرفت به کاهش حرارت از چارپایان منجر می‌شوند [۲۱].

همان‌گونه که گفته شد، تا کنون مطالعات بسیار اندکی در خصوص کاربرد بادشکن‌های مصنوعی در کاهش تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن انجام شده است و در زمینه چگونگی آرایش مناسب بادشکن‌ها روی سطح دریاچه‌ها و مخازن، تا کنون نتیجه‌گیری جامعی به دست نیامده است. بنابراین، هدف اصلی تحقیق حاضر، بررسی دقیق‌تر عملکرد بادشکن‌ها در کنترل سرعت باد و کاهش تبخیر از سطح دریاچه‌ها و مخازن است. به این منظور، ابتدا تأثیر باد در منطقه مطالعه شده بررسی شد و سپس بر اساس مطالعات پیشین و شرایط حاکم بر منطقه ابعاد و اندازه‌های مدل و بادشکن و فواصل بهینه این بادشکن‌ها تعیین شده است.

بیتوگ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ خصوصیات جریان حول درختان بادشکن با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی را بررسی کردند. هدف از این تحقیق، پیش‌بینی اثر شکاف بین درختان، ردیف‌های درختان و چیدمانشان برای کاهش سرعت باد است. نتایج مطالعات شبیه‌سازی ثابت کرد که فاصله شکاف فاکتور بسیار مهمی در تأثیرگذاری درخت بادشکن است. کاهش سرعت برای درخت بادشکنی که فاصله شکافی برابر 0.5 متر دارد می‌تواند در مسافت جریان $15H$ به 20 درصد برسد. برای شکاف 0.75 متر و یک متر این کاهش به ترتیب 11 و 41 درصد بود. همچنین، وقتی آرایش درختان به صورت دو ردیف یک‌درمیان باشد، بیشترین تأثیر را در کاهش سرعت باد نسبت به حالت‌های یک‌ردیفی و دوردیفی دارد [۱۹].

گینونویس و همکارانش در سال ۲۰۱۵ به طراحی پنل‌های بادشکن با تکیه‌گاه الاستیک با استفاده از مدل تحلیل ترکیبی CFD پرداختند و نتایج به دست آمده را با پنل‌های دارای تکیه‌گاه گیردار مقایسه کردند. برای آزمایش‌های میدانی تکیه‌گاه الاستیک با استفاده از فنرهای انبساطی حاصل شد که در واکنش به بارگذاری باد به آن اجازه دوران در تکیه‌گاه مفصلی پایه می‌داد. فشارهای بادی روی پنل برای موقعیت‌های مختلف تعادلی، که تحت وسعت‌های مختلف باد به آن رسیدند، اندازه‌گیری شدند. نتایج این تحقیقات نشان داد تکیه‌گاه الاستیک به کاهش درخور توجهی از فشارهای باد و تنش‌های حاصله روی بادشکن منجر شد [۲۰].

این موضوع مسئله‌ای شناخته شده است که بادشکن‌ها می‌توانند شرایط مطلوبی را برای چارپایان فراهم آورند. برای تعیین مزایای هر یک از سیستم‌های بادشکن، ابتدا لازم است اثر بادشکن‌ها بر اقلیم باد مشخص شود. یوفنگ و همکارانش در سال ۲۰۱۷ یک مدل پارامتری ساده را برای تخمین کاهش سرعت باد در اطراف بادشکن ارائه دادند. به لحاظ تحلیلی، پارامترهای مدل رابطه نزدیکی با رفتارهای واقعی مشخص‌کننده بادشکن‌ها نشان می‌دهند. اعتبار این مدل با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی در یک کشتزار در انگلستان بررسی شد؛ به‌منظور اندازه‌گیری خطاهای احتمالی پارامترهای مدل، از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. نتایج نشان داد مدل تطابق بسیار زیادی با سرعت نسبی باد (به این معنا که نزدیک به سرعت باد محیط است) با جذر میانگین

مواد و روش‌ها

مشخصات مدل عددی

نرم‌افزار FLUENT از کامل‌ترین و کاربردی‌ترین نرم‌افزارهای تحلیل جریان‌های دو و سه‌بعدی در زمینه دینامیک سیالات است که از معادلات ناویر استوکس در تحلیل جریان استفاده می‌کند. در صورتی که جریان آشفته باشد، معادلات حاکم به معادلات رینولدز تغییر ماهیت می‌دهد و از مدل‌های یک‌معادله‌ای، دو‌معادله‌ای، سه‌معادله‌ای، چهارمعادله‌ای و پنج‌معادله‌ای استفاده می‌شود که کاربرد نوع مدل مد نظر را معین می‌کند [۲۲]. حلگرهای FLUENT مبتنی بر روش حجم محدود هستند. در روش حجم محدود دامنه حل به مجموعه محدودی از حجم کنترل‌ها تجزیه می‌شود و سپس معادلات بقا برای جرم، مومنتوم و انرژی در این مجموعه از حجم کنترل‌ها حل می‌شود. سپس، با گسسته‌سازی معادلات حاکم بر جریان در حجم کنترل‌ها معادلات دیفرانسیل جزئی به یک دستگاه از معادلات جبری تفکیک می‌شود و پس از آن همه معادلات جبری به صورت عددی حل می‌شوند تا میدان حل به دست آید [۲۲].

فرم کلی معادلات به شکل زیر است:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\phi} \rho d\phi + \iint_s \rho \vec{V} \cdot d\vec{S} = 0$$

معادله مومنتوم:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\phi} U d\phi + \iint_s \vec{F} \cdot d\vec{S} = \iint Q_v d\phi + \iint_s Q_s \cdot d\vec{S}$$

معادله انرژی:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\phi} E_t d\phi + \iint_s \vec{E}_t \cdot d\vec{S} = \iiint_{\phi} (\rho \vec{q} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V}) d\phi$$

مدل‌های آشفتگی تعریف شده در FLUENT عبارت‌اند از

مدل یک‌معادله‌ای (SPALART- ALLMARAS)، مدل دو‌معادله‌ای (K- ω ، K- ϵ)، مدل سه‌معادله‌ای (TRANSITION K-KL-OMEGA)، مدل چهارمعادله‌ای (TRANSITION SST) و مدل پنج‌معادله‌ای (REYNOLDS STRESS).

در این تحقیق مدل آشفتگی K- ϵ ، RNG به منظور مدل‌سازی جریان باد پشت بادشکن صلب استفاده شده است. این مدل از متداول‌ترین مدل‌های دو‌معادله‌ای است که شامل دو معادله انتقال اضافی برای محاسبه خواص آشفتگی جریان می‌شود. نخستین متغیر انتقالی، انرژی

آشفتگی جنبشی (K) است و دومین متغیر انتقالی در این مدل، اتلاف آشفتگی (E) است.

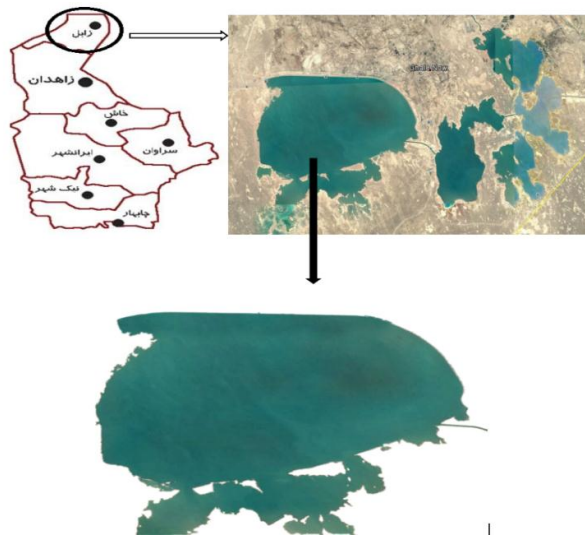
منطقه مطالعه شده

منطقه سیستم از جمله مناطقی است که رویدادهای حدی نظیر سیل و خشکسالی در آن به‌وفور به وقوع می‌پیوندد و شرایط ویژه هیدرولیکی - هیدرولوژیکی و مکانی آن، خصوصیات منحصر به فردی به آن ناحیه می‌بخشد. قرار گرفتن در انتهای یک حوضه آبریز بسته، سیستم پیچیده هیدرولیکی رودخانه هیرمند و تالاب هامون، شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر مخزن چاه نیمه و همچنین وزش بادهای ۱۲۰ روزه که طی سه ماه تابستان از جهت شمال غرب به صورت شبانه‌روزی می‌وزد و با وجود خشکسالی‌های اخیر، که سبب افزایش میزان ریزگردها و آلودگی هوا شده و به شدت زندگی مردم منطقه را تحت تأثیر قرار داده است، شرایطی را به وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. افزون بر آن، مواردی مانند بارندگی ناچیز سالانه، دمای زیاد و خاک با نفوذپذیری کم، محدودیت منابع آب زیرزمینی و منابع آب سطحی مشترک با کشور همسایه نیز وجود دارد. یکی از منابع مهم آب سطحی در سیستم، مخزن چاه نیمه است. مخزن چاه نیمه از چهار گودال طبیعی ساماندهی شده تشکیل شده است که در بخش شمالی دلتای رود هیرمند در منطقه سیستم ایران در محدوده جغرافیایی با عرض ۳۰° ۴۵'، طول ۶۱° ۳۸' و ارتفاع متوسط ۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. این مخزن در سال‌های پربابی پهنه واحدی را تشکیل می‌دهد و در سال‌های خشک، پهنه‌های آبی جداگانه‌ای را به وجود می‌آورد. مخزن چاه نیمه با بیشترین گنجایش تقریبی ۶۳۰ میلیون مترمکعب و مساحتی حدود ۴۷ کیلومتر مربع، منبع آب شرب شهرستان زابل، زاهدان و سایر نواحی مسکونی سیستم را تشکیل می‌دهد و آب آبیاری حدود هشت هزار هکتار اراضی این منطقه را تأمین می‌کند. در ساحل شمالی یک ایستگاه تبخیرسنجی احداث شده است، همچنین دو ایستگاه سینوپتیک در شهر زهک و تبخیرسنجی پایاب زهک که در فاصله پنج کیلومتری شمال مخزن و در مجاورت یکدیگر واقع شده‌اند که آمار ثبت شده در آنها مناسب تشخیص داده شده است و برای انجام مطالعات استفاده می‌شود [۲۳].

در این رابطه E میزان تبخیر برحسب میلی‌متر، T دما برحسب سانتی‌گراد، W سرعت باد برحسب متر بر ثانیه و M میزان رطوبت نسبی است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تبخیر با دما و سرعت باد رابطه مستقیم و با رطوبت رابطه معکوس دارد. یعنی با افزایش دما و سرعت باد، میزان تبخیر در منطقه افزایش می‌یابد. از طرفی، بزرگ‌ترین ضریب مربوط به پارامتر سرعت باد است. در نتیجه یک واحد تغییر در سرعت باد بیشترین میزان تبخیر را نسبت به سایر پارامترها ایجاد می‌کند. به همین دلیل می‌توان باد را مهم‌ترین عامل تبخیر در منطقه چاه نیمه سیستان دانست.

سالانه ۳۵۵ میلیون مترمکعب آب از چاه نیمه‌های سیستان تبخیر می‌شود که حدود ۱۸ درصد از کل تبخیر موجود در کشور است. این میزان تبخیر علاوه بر تأثیر روی کمیت آب موجود در منطقه، بر کیفیت منطقه هم تأثیر می‌گذارد. برای بررسی عوامل مؤثر بر تبخیر در منطقه چاه نیمه داده‌های مربوط به تبخیر، دما، سرعت باد و رطوبت مربوط به ایستگاه زهک برای یک سال از سازمان هواشناسی جمع‌آوری شد. پس از آنالیز داده‌ها و ارائه چندین رابطه خطی به وسیله نرم‌افزار SPSS، رگرسیون خطی زیر به‌عنوان بهترین رابطه برای تبخیر معرفی شد.

$$E = -1/452 + (0/464 * T) + (0/686 * W) - (0/102 * M) \quad (1)$$



شکل ۱. منطقه مطالعه شده (چاه نیمه چهارم سیستان)

مدل اصلی با مقیاس ۱ به ۲۴ کوچک شده است. حالت کلی تشابه رینولدز چنین است:

$$\begin{aligned} (RE)_m &= (RE)_p \\ V_m * L_m &= V_p * L_p \\ V_m &= V_p * (L_p / L_m) \end{aligned}$$

شبیه‌سازی مدل

گام بعدی، ساخت محدوده جریان مدل است. برای ایجاد محدوده جریان، اعمال شرایط مرزی و مش‌زدن از نرم‌افزار GAMBIT استفاده شد. نخستین مرحله در ایجاد محدوده جریان، تعیین ارتفاع مناسب برای مدل است (منظور از ارتفاع مناسب، ارتفاعی است که روی سرعت باد ورودی تأثیر نمی‌گذارد). طبق تحقیقات وانگ و تکل در سال ۱۹۹۵ ارتفاع مدل باید هشت برابر ارتفاع بادشکن یا بیشتر باشد. نخستین

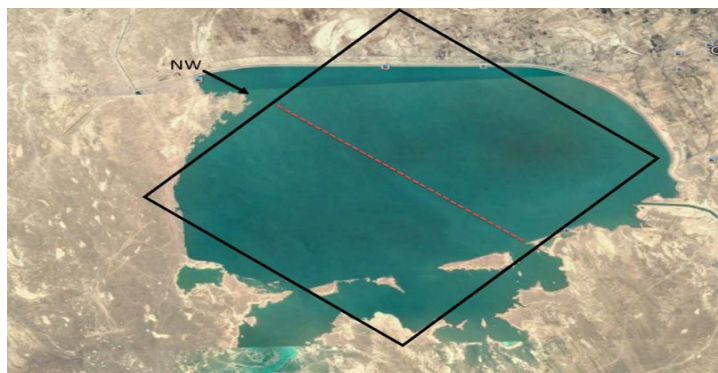
شبیه‌سازی عددی جریان باد

تشابه هیدرولیکی مدل

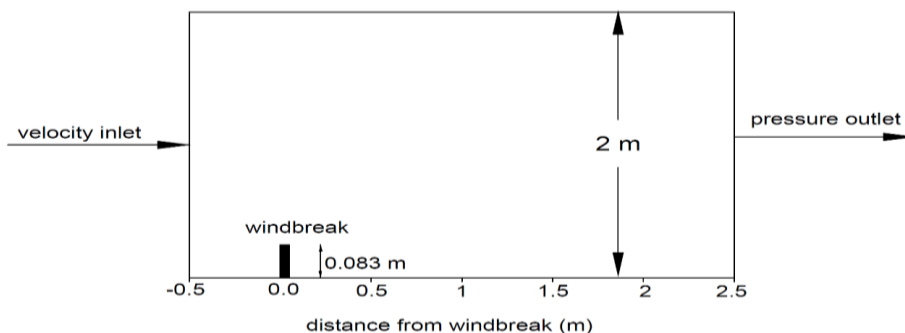
معمولاً، طراحان و مهندسان برای ارائه و طرح یک پروژه، با مراجعه به تأسیسات مشابه موجود و با در نظر گرفتن فرمول‌های تجربی و تئوری در هیدرولیک، ابعاد تأسیسات مد نظر را محاسبه می‌کنند. در این پژوهش چون ابعاد منطقه مطالعه شده بسیار گسترده و شبیه‌سازی آن دشوار است باید از تشابه دینامیکی برای کوچک کردن ابعاد منطقه مطالعه شده استفاده کرد. در این تحقیق از تشابه رینولدز استفاده شده است. عدد رینولدز نسبت اینرسی به لزجت است که برای همه جریان‌ها با سطح آزاد یا بدون سطح آزاد استفاده می‌شود. با استفاده از تشابه رینولدز

متر در نظر گرفته شد. پارامتر بعدی تعیین طول مدل است که طبق تحقیقات گذشته طول محدوده جریان باید به اندازه $30H$ تا $50H$ بعد از بادشکن باشد که طول محدوده جریان در این تحقیق $30H$ (ارتفاع بادشکن بر حسب متر) بعد از بادشکن در نظر گرفته شد.

انتخاب استفاده از بادشکن به ارتفاع دو متر است که با مقیاس ۱ به ۲۴ ارتفاع آن برابر 0.083 متر می شود. پس ارتفاع مدل (ارتفاع قسمتی که باد از آن عبور می کند) برابر 0.16 متر خواهد شد که در این تحقیق برای اطمینان از اینکه ارتفاع مدل هیچ گونه تأثیری روی سرعت باد ندارد، ارتفاع مدل دو



شکل ۲. مقطع محدوده جریان (برش قائم از سطح مخزن چاه نیمه)



شکل ۳. محدوده جریان و بادشکن صلب شبیه سازی شده در GAMBIT (ارتفاع مدل دو متر، ارتفاع بادشکن 0.083 متر)

جدول ۱. مشخصات سیال هوا در شبیه سازی

چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱/۲۲۵
گرمای ویژه (ژول بر کیلوگرم - درجه کلوین)	۱۰۰۶/۴۳
ضریب هدایت گرمایی (وات بر متر - درجه کلوین)	۰/۰۲۴۲
ویسکوزیته (کیلوگرم بر متر - ثانیه)	۱/۷۸۹۴e-۵

همان طور که قبلاً گفته شد، در این تحقیق از مدل آشفتگی $k-\epsilon$, RNG برای بادشکن صلب به منظور مدل سازی جریان باد بهره گرفته شده است که به عنوان آخرین گام حل نرم افزار است. در این مرحله اگر نتایج همگرا نشود یعنی مش انتخابی مناسب است در غیر این صورت باید مش را تغییر دهید و دوباره مسئله را حل کنید. این مراحل را برای بادشکن های صلب با ارتفاع $2/5$ ، 3 ، 4 و 5 متر هم انجام می دهید.

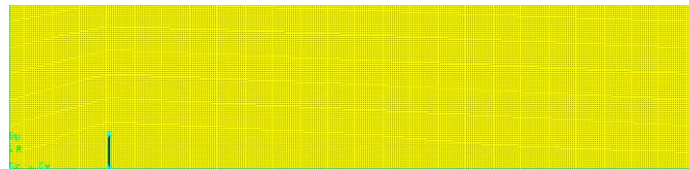
پس از تعیین ابعاد محدوده جریان باید شرایط مرزی اعمال شود که برای ورودی VELOCITY INLET و برای خروجی PRESSURE OUTLET در نظر گرفته شده است. در آخرین مرحله مدل ساخته شده را مش بندی می کنیم. ابعاد بهینه شبکه بر مبنای دقت لازم و زمان اختصاص یافته برای انجام محاسبات، انتخاب شده است و خروجی های به دست آمده از گمبیت را وارد FLUENT می کنیم. در نرم افزار FLUENT باید میزان سرعت ورودی، نوع سیال، ویژگی های سیال، نوع معادله آشفتگی تعیین شود. بیشترین سرعت باد در منطقه 19 متر بر ثانیه است که با توجه به مقیاس ۱ به ۲۴ این عدد برابر با 456 متر بر ثانیه است. بنابراین، در شرایط مرزی در قسمت VELOCITY INLET مقدار سرعت را 456 متر بر ثانیه و در جهت X تعریف می کنیم.

حدود زیادی مشابه مدل پژوهش حاضر باشد، مقایسه کرد. در پژوهش حاضر از کار تجربی اسکیدمور و هگن [۳] برای اعتبارسنجی نتایج استفاده شده است. به این منظور طبق مقاله انتخاب شده پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۲/۴۴ متر در ارتفاع ۱/۴۲ متری و سرعت باد ۴/۳ متر بر ثانیه رسم شد. با ملاحظه شکل ۶ می‌توان گفت که مطابقت بسیار خوبی بین نتایج کار عددی حاضر و پژوهش اسکیدمور و هگن وجود دارد. خطای نسبی این دو کار برابر با ۱/۵۶۸ درصد محاسبه شد که محدوده قابل قبولی دارد. شایان یادآوری است که بخشی از خطای یادشده به خطای به تعیین ارتفاع و طول محدوده جریان در مدل عددی مربوط است.

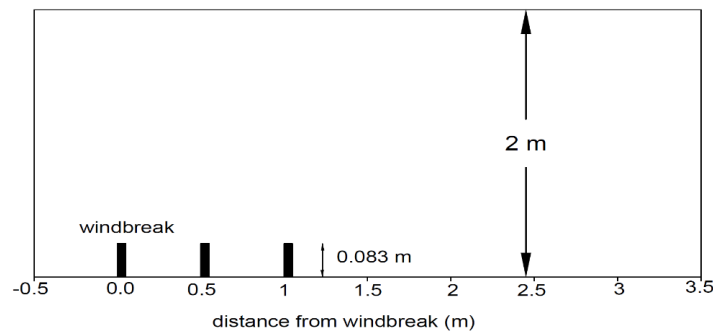
همان‌گونه که در بخش مقدمه گفته شد، تا کنون مطالعاتی اندک در خصوص چینش بادشکن‌ها و تعیین فاصله بین آنها انجام شده است. به این منظور در پژوهش حاضر به بررسی الگوی مناسب طراحی پرداخته شده است. یکی از پارامترهای مهم تعیین فاصله بین بادشکن‌ها، که از مهم‌ترین پارامترهای طراحی است، بسته به میزان درصد کاهش سرعت باد می‌تواند تعیین شود. همچنین، این فاصله باید به گونه‌ای انتخاب شود که پروژه از نظر اقتصادی به صرفه و قابل اجرا باشد.

اعتبارسنجی نتایج عددی

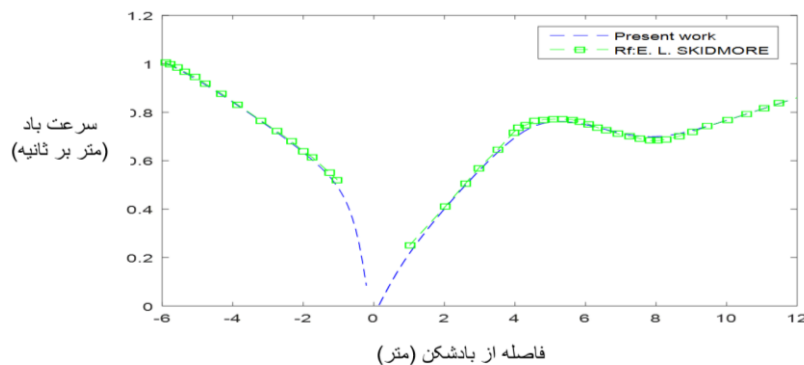
برای اطمینان از صحت نتایج عددی و اعتباربخشی به آن، باید نتایج را با یک کار آزمایشگاهی یا عددی مرجع، که تا



شکل ۴. مش انتخابی در GAMBIT (برای بادشکن با ارتفاع دو متر)



شکل ۵. نمایی از فاصله بین بادشکن‌های صلب (ارتفاع مدل دو متر، ارتفاع بادشکن ۰/۰۸۳ متر)



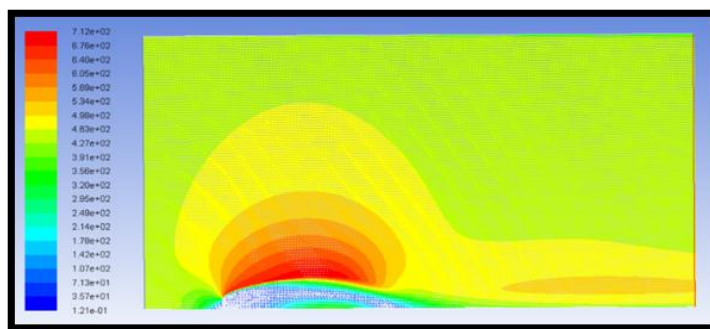
شکل ۶. مقایسه پروفیل سرعت باد بین پژوهش حاضر و پژوهش اسکیدمور و هگن [۳]

نتایج

زمانی که مانع متراکم باشد جریان هوا از بالای آن عبور خواهد کرد و به دلیل فشار کمتر در سمت پشت به باد، یک اغتشاش هوایی در این سمت ایجاد می‌شود. در بالای بادشکن ($Z/Z_H > 1$) ارتفاع از سطح زمین) باد به سمت بالا منحرف شده و خطوط جریان هوا فشرده می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، سرعت‌های زیاد باد فقط در نواحی بالای بادشکن رخ می‌دهد، ولی در ارتفاعی کمتر از ارتفاع بادشکن ($Z/Z_H < 1$) سرعت باد در پشت یک مانع سخت به مقدار درخور توجهی کاهش می‌یابد. به ناحیه‌ای که در آن سرعت به مقدار درخور توجهی کاهش می‌یابد، ناحیه آرام گفته می‌شود. طول این ناحیه معمولاً بین $5H$ تا $10H$ فرض می‌شود. اگر بادشکن بسیار متراکم باشد، جریان هوا در ناحیه آرام تغییر جهت می‌دهد و یک جریان گردابی ایجاد می‌کند. پس از ناحیه آرام در جهت بادپناه، ناحیه بیداری قرار دارد که جریان هوا در آن به تدریج در جهت باد سرعتش را بازیابی می‌کند. این ناحیه تا فاصله $30H$ تا $50H$ وسعت دارد. هرچند در فواصل بیش از $25H$ از بادشکن سرعت تقریباً به مقدار اولیه خود می‌رسد. همچنین، میزان جریان‌های گردابی در ناحیه بیداری بسیار کاهش می‌یابد و جریان باد به صورت

خطوط منظم درمی‌آید. شکل ۷ تأثیر ارتفاع مدل بر جریان هوای عبوری از روی بادشکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ارتفاع بیش از 0.8 متر سرعت باد تقریباً با مقدار اولیه خود یعنی 456 متر بر ثانیه در حال عبور است پس یعنی برای بادشکن $0.83H$ متری باید ارتفاع مدل $9H$ در نظر گرفته شود. در نتیجه، افزایش بیش از حد ارتفاع مدل هیچ تأثیری بر جریان باد عبوری از بالای بادشکن ندارد.

برای تعیین بهترین ارتفاع بادشکن پنج ارتفاع $0.83H$ ، $0.1H$ ، $0.125H$ ، $0.167H$ و $0.208H$ برای بادشکن در نظر گرفته شده است. همچنین، نمودار سرعت باد روی سطح آب برای تعیین میزان تغییرات کاهش سرعت باد تا فاصله $30H$ بعد از بادشکن رسم شد. جدول ۲ میزان کاهش سرعت باد به ازای ارتفاع‌های مختلف بادشکن را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بادشکن‌های به ارتفاع $0.167H$ متر و $0.208H$ متر (۴ و ۵ متر در واقعیت) سبب افزایش سرعت باد می‌شوند و بادشکن‌های به ارتفاع $0.83H$ متر و $0.1H$ متر (۲ و $2/5$ متر در واقعیت) بیشترین میزان کاهش سرعت باد را ایجاد می‌کنند و به‌عنوان ارتفاع مناسب بادشکن به‌عنوان انتخاب اولیه تعیین می‌شوند.



شکل ۷. پروفیل سرعت باد برای بادشکن $0.83H$ متری

جدول ۲. میزان کاهش سرعت باد به‌ازای ارتفاع‌های مختلف بادشکن

تک بادشکن	
ارتفاع بادشکن (متر)	درصد کاهش سرعت باد
$0.83H$	۳۷/۱۴
$0.1H$	۲۶/۱۶
$0.125H$	۴/۶۷
$0.167H$	-۳/۵۵
$0.208H$	-۲/۲۶

می‌دهیم. برای انتخاب بهترین فاصله بین بادشکن‌ها، فاصله بین آنها را تا ۵۰H افزایش می‌دهیم با توجه به جدول ۵ در فاصله دو متر میزان کاهش سرعت باد به بیشترین مقدار خود یعنی ۷۳/۷۱ درصد می‌رسد و بعد از آن با افزایش فاصله، میزان کاهش سرعت باد کاهش می‌یابد. به همین دلیل در پژوهش حاضر فاصله مناسب بین بادشکن‌های صلب دو متر (۴۸ متر در واقعیت) در نظر گرفته می‌شود.

برای اینکه بادشکن‌ها کارایی لازم را داشته باشند باید عمود بر جهت باد غالب قرار بگیرند. برای تعیین جهت باد غالب و قرارگیری بادشکن‌ها روی سطح مخزن، داده‌های مربوط به سرعت باد مطابق شکل ۸ جمع‌آوری و دسته‌بندی شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، جهت باد غالب از سمت شمال غرب است، بنابراین بادشکن‌ها در این جهت قرار داده می‌شوند.

برای انتخاب بهترین ارتفاع بادشکن میزان درصد کاهش سرعت باد تا فاصله ۳۰H بعد از بادشکن برای بادشکن‌های به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و ۰/۱ متر در جدول ۳ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در بادشکن به ارتفاع ۰/۱ متر در فواصل ۲/۷۵ و ۳ متر با افزایش سرعت باد مواجه می‌شویم، بنابراین بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر (۲ متر در واقعیت) بهترین ارتفاع بادشکن برای مخزن چاه نیمه است.

برای چینش بادشکن و یافتن بهترین فاصله، مدل‌هایی با دو و سه ردیف بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر ساخته شد. جدول ۴، میزان کاهش سرعت باد برای دو و سه ردیف بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سه ردیف بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر بیشتر از دو ردیف بادشکن سبب کاهش سرعت باد می‌شود. بنابراین، سه ردیف را به‌عنوان معیار قرار

جدول ۳. میزان کاهش سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ و ۰/۱

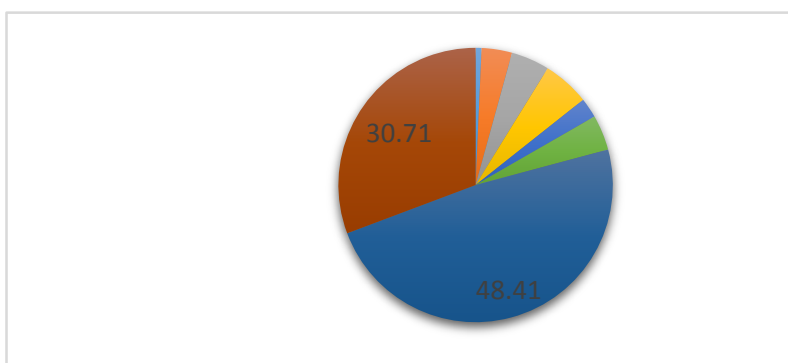
ارتفاع بادشکن (متر)	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	درصد کاهش سرعت باد
۰/۰۸۳	۰/۷۵	۷۸/۰۷۰۱۷۵۴۴
	۱	۳۹/۶۹۲۹۸۲۴۶
	۱/۲۵	۲۸/۵۰۸۷۷۱۹۳
	۱/۵	۷۸/۰۷۰۱۷۵۴۴
	۱/۷۵	۴۵/۱۷۵۴۳۸۶
	۲	۱۶/۶۶۶۶۶۶۶۷
	۲/۲۵	۶/۷۹۸۲۴۵۶۱۴
	۲/۵	۴/۱۶۶۶۶۶۶۶۶۷
	۰/۷۵	۷۵/۴۳۸۵۹۶۴۹
	۱	۲۸/۷۲۸۰۷۰۱۸
	۱/۲۵	۶/۷۹۸۲۴۵۶۱۴
	۱/۵	۲۸/۷۲۸۰۷۰۱۸
۰/۱	۱/۷۵	۹۱/۸۸۵۹۶۴۹۱
	۲	۲۵/۸۷۷۱۹۲۹۸
	۲/۲۵	۸/۹۹۱۲۲۸۰۷
	۲/۵	۱/۳۱۵۷۸۹۴۷۴
	۲/۷۵	-۳/۰۷۰۱۷۵۴۳۹
	۳	-۳/۰۷۰۱۷۵۴۳۹

جدول ۴. میزان کاهش سرعت باد برای دو و سه ردیف بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر

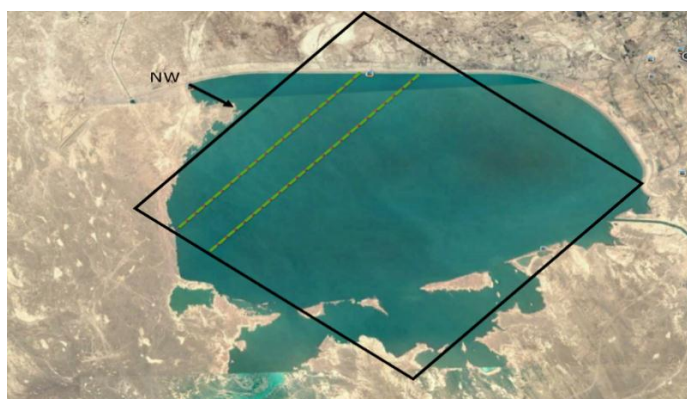
تعداد ردیف‌های بادشکن	ارتفاع بادشکن (متر)	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	درصد کاهش سرعت باد
۲	۰/۰۸۳	۰/۵	۳۴/۰۲
		۰/۷۵	۳۳/۹۴
۳	۰/۰۸۳	۰/۵	۴۱/۴۴
		۰/۷۵	۶۰/۲۳

جدول ۵. مقادیر کاهش سرعت باد برای بادشکن ۰/۰۸۳ متری در فواصل مختلف

ارتفاع بادشکن (متر)	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	درصد کاهش سرعت باد
۰/۰۸۳	۰/۵	۴۱/۴۴
	۰/۷۵	۶۰/۲۳
	۱	۶۵/۸۳
	۱/۲۵	۶۴/۴۵
	۱/۵	۶۳/۶۶
	۱/۷۵	۵۸/۸۷
	۲	۷۳/۷۱
	۲/۲۵	۶۱/۱۳
	۲/۵	۵۹/۵
	۲/۷۵	۴۹/۴
	۳	۴۳/۶۲
	۳/۲۵	۳۸/۹۲
	۳/۵	۳۸/۰۶
	۳/۷۵	۳۶/۷۳
	۴	۳۳/۰۳



شکل ۸. چگونگی توزیع باد در چاه نیمه



شکل ۹. قرارگیری بادشکن‌ها روی مخزن چاه نیمه

نتیجه‌گیری

بررسی آمار و اطلاعات مربوط به تبخیر، دما، سرعت باد و رطوبت نشان می‌دهد در منطقه مطالعه‌شده مهم‌ترین عامل زیادبودن تبخیر باد است. به همین علت، اثر باد در افزایش میزان تبخیر در یک منطقه بادخیز روی مخازن آب بررسی شده است. برای کنترل سرعت باد روی سطح آب مخازن از بادشکن‌های مصنوعی پیشنهاد شده است. اثر کاربرد بادشکن‌ها بر کاهش تبخیر و جریان باد در منطقه مدل‌سازی و پیش‌بینی شده است. نتایج نشان می‌دهد بادشکن به‌تنهایی نمی‌تواند تبخیر را کنترل کند، ولی آن را تا مقدار زیادی کاهش می‌دهد. از بادشکن‌های با ارتفاع‌های مختلف و همچنین با فواصل متفاوت برای کنترل باد استفاده شده است. با توجه به شرایط هیدرولوژیکی منطقه، بیشترین کارایی بادشکن برای کنترل تبخیر در مخزن چاه نیمه چهارم زمانی حاصل می‌شود که از ۱۶۰ ردیف بادشکن موازی به فاصله ۴۸ متر و به ارتفاع دو متر، که طولی برابر عرض منطقه مطالعه‌شده دارند و در جهت شمال غربی، عمود بر جهت باد قرار گرفته‌اند، استفاده شود. همچنین، در منطقه چاه نیمه نمی‌توان از بادشکن‌های طبیعی استفاده کرد زیرا بادشکن‌های طبیعی یک سیستم پویا هستند که در طول حیاتش توسعه می‌یابند و تغییر می‌کنند و برای مؤثربودن باید به‌طور مستمر مدیریت شوند تا تأثیر حشرات و بیماری‌ها به کمترین حد برسد و بتوانند در طولانی‌مدت مزایای بهینه‌ای را فراهم کنند. همچنین، زمان زیادی برای رشد کامل آنها نیاز است. بادشکن‌های طبیعی باید آب مورد نیاز خود را از سفره آب زیرزمینی و یا آب‌های سطحی تأمین کنند که این مسئله با توجه به بحران آب در منطقه سیستان میسر نیست. از طرفی، خود این بادشکن‌ها سبب اتلاف مقداری آب از طریق تبخیر و تعرق می‌شوند که این موضوع با هدف تحقیق حاضر مغایرت دارد. به همین دلیل با توجه به همه موارد یادشده از بادشکن مصنوعی برای کنترل سرعت باد و تبخیر در منطقه چاه نیمه استفاده می‌شود.

منابع

- [1]. Najafi M, Azimi V, Shayan Nezhad M. Estimation of accuracy of intelligent methods and analysis of sensitivity of evapotranspiration of reference plant to meteorological parameters in two different climates. *Journal of Eco Hydrology*. 2014;1(1):17-24. [Persian].
- [2]. Nazari R, Kaviani A. Estimation of Potential Evapotranspiration and Peptic Evaporation Methods with Lysymmetric Values in a Semi-Dry Climate (Case Study: Ghazvin Flat). *Journal of Eco Hydrology*. 2016;3(1):19-30. [Persian].
- [3]. Skidmore EL, Hagen LJ. Evaporation in sheltered areas as influenced by windbreak porosity. *Agricultural Meteorology*. 1970 Jan 1;7:363-74.
- [4]. Lomas J, Schlesinger E. The influence of a windbreak on evaporation. *Agricultural meteorology*. 1971 Jan 1;8:107-15.
- [5]. Raine JK, Stevenson DC. Wind protection by model fences in a simulated atmospheric boundary layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 1977 Jun 1;2(2):159-80.
- [6]. Wilson JD. On the choice of a windbreak porosity profile. *Boundary-Layer Meteorology*. 1987 Jan 1;38(1):37-49.
- [7]. Heisler GM, Dewalle DR. 2. Effects of windbreak structure on wind flow. *Agriculture, ecosystems & environment*. 1988 Aug 1;22:41-69.
- [8]. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 22/23 (1988) 15-16 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam -- Printed in The Netherlands
- [9]. Brandle JR, Finch S. How windbreaks work. University of Nebraska – Lincoln 1991 January.
- [10]. Wang H, Takle ES. A numerical simulation of boundary-layer flows near shelterbelts. *Boundary-Layer Meteorology*. 1995 Jul 1;75(1-2):141-73
- [11]. Richardson GM, Richards PJ. Full-scale measurements of the effect of a porous windbreak on wind spectra. *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*. 1995 Feb 1;54:611
- [12]. Smith DM, Jarvis PG, Odongo JC. Sources of water used by trees and millet in Sahelian windbreak systems. *Journal of Hydrology*. 1997 Nov 1;198(1):140-53.
- [13]. Cleugh HA. Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields. *Agroforestry systems*. 1998 Apr 1;41(1):55-84.
- [14]. Vigiak O, Sterk G, Warren A, Hagen LJ. Spatial modeling of wind speed around windbreaks. *Catena*. 2003 Jul 1;52(3):273-88.
- [15]. Helfer F, Zhang H, Lemckert C. Evaporation reduction by windbreaks: Overview, modelling and efficiency. *Urban Water Security Research Alliance*; 2009.

- [16]. Lin XJ, Barrington S, Choiniere D, Prasher S. Effect of weather conditions on windbreak odour dispersion. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2009 Dec 31;97(11):487-96.
- [17]. Yeh CP, Tsai CH, Yang RJ. An investigation into the sheltering performance of porous windbreaks under various wind directions. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 2010 Nov 30;98(10):520-32..
- [18]. Lee KH, Ehsani R, Castle WS. A laser scanning system for estimating wind velocity reduction through tree windbreaks. *Computers and electronics in agriculture*. 2010 Jul 31;73(1):1-6.
- [19]. Bitog JP, Lee IB, Hwang HS, Shin MH, Hong SW, Seo IH, Kwon KS, Mostafa E, Pang Z. Numerical simulation study of a tree windbreak. *Biosystems engineering*. 2012 Jan 31;111(1):40-8..
- [20]. Giannoulis A, Mistriotis A, Briassoulis D. Design and analysis of the response of elastically supported wind-break panels of two different permeabilities under wind load. *Biosystems Engineering*. 2015 Jan 31;129:57-69.
- [21]. He Y, Jones PJ, Rayment M. A simple parameterisation of windbreak effects on wind speed reduction and resulting thermal benefits to sheep. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2017 May 28;239:96-107.
- [22]. Towhidi A, Ghafari Ghahroudi H. ANSYS FLEUNT Guideline. 1st Vol, Cultural and Art Institute of Dybaran, Tehran: 2nd Ed, 2015 March. [Persian].
- [23]. Mianeh Ro M. Determining Desertification in vulnerable areas of Iran based on climatic indicators using mathematical models. Master's Degree Thesis of Climatology, Islamic Azad Unievrstity, Shahr-e Ray Branch, 2001, p 145. [Persian].