

پروژه پژوهشی شرکت آب منطقه ای سیستان و بلوچستان - وزارت نیرو

عنوان:

روشهای کاهش تبخیر در مخازن با کاهش اثرات باد

پژوهشگران:

دکتر سید آرمان هاشمی منفرد

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر مهدی اژدری مقدم

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر غلامرضا عزیزیان

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه سیستان و بلوچستان

دکتر مهدی رضاپور

عضو هیات علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه دریانوردی چابهار

سپاسگزاری

از اداره محترم هواشناسی سیستان و بلوچستان و شرکت آب منطقه ای و آب و فاضلاب سیستان و بلوچستان جهت در اختیار نهادن آمار و اطلاعات و همکاری برای انجام برخی آزمایشات تشکر و قدردانی می‌گردد.

چکیده

در نواحی خشک و نیمه خشک بخش قابل توجهی از منابع آبی بر اثر تبخیر و تعرق تلف می‌شود. پدیده تبخیر از سطح آب به عوامل محیطی مختلفی بستگی دارند که مهمترین آنها درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت می‌باشند. روش‌های جلوگیری از تبخیر سال‌هاست که توسط محققین مختلف بررسی و دنبال می‌شود اما جهت تعیین روش مناسب برای کاهش تبخیر از آب‌های سطحی در هر منطقه ابتدا باید مهمترین عوامل موثر بر تبخیر با توجه به شرایط اقلیمی منطقه شناسایی شوند. این پژوهش با هدف تعیین مهمترین عامل تبخیر در منطقه سیستان و ارائه راهکاری مناسب جهت کنترل تبخیر با در نظر گرفتن عوامل متعدد خصوصاً باد انجام گرفته است. بررسی آمار و اطلاعات مربوط به تبخیر، درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مهمترین عامل تبخیر، سرعت و پایداری باد می‌باشد. باد یکی از عناصر اصلی در اقلیم منطقه سیستان است که تغییرات آن می‌تواند بر روی پدیده‌هایی مانند طوفان‌های گرد و غباری و شدت تبخیر تاثیرگذار باشد. استفاده از دیوارهای بادشکن یکی از روش‌های کنترل سرعت باد است که منجر به کاهش تبخیر می‌شود. فاصله، ارتفاع و چینش این دیوارها جهت استفاده آنها بسیار مهم است. در این مطالعه جهت شبیه‌سازی میدان جریان باد عبوری از روی بادشکن از مدل عددی **ANSYS FLUENT** و تعیین اثر هندسه بادشکن و فاصله بین بادشکن‌ها بر روی سرعت باد ورودی استفاده شده است. در مرحله بعد امکان استفاده از صفحات خورشیدی، همزمان به عنوان پوشش فیزیکی برای کاهش تبخیر و تولید انرژی با راندمان بالا مورد بررسی قرار گرفته است. سپس اولویت بندی کاهش تبخیر و تولید انرژی به میزان یکسان در نظر گرفته شده است. استفاده از مدل سازی میزان جریان عبوری از روی صفحات خورشیدی و زاویه قرارگیری افقی و شیب برای به دست آوردن بهترین کاهش تبخیر با استفاده از مدل عددی **ANSYS FLUENT** و تعیین بهترین زاویه افقی و شیب برای بدست آوردن بهترین راندمان خروجی با توجه به در نظر گرفتن فاکتور هزینه استفاده شده است. در ادامه با هدف مکان‌یابی نیروگاه بادی در محل مخزن چاه‌نیمه شماره ۴ سیستان انجام گرفته است. در این قسمت از مطالعه، به شبیه‌سازی میدان جریان باد عبوری از مخزن چاه‌نیمه در حضور بادشکن، و تعیین محل تجمع باد و مکان مناسب جهت نصب توربین بادی پرداخته شده است. یکی دیگر از روش‌های پر کاربرد کاهش تبخیر از سطح مخازن، به‌کارگیری پوشش‌های فیزیکی است. این پوشش‌ها از ورود اشعه خورشید به سطح مخازن جلوگیری کرده و همچنین مانعی جهت خروج بخار آب به شمار می‌روند. به همین دلیل این پوشش‌ها کمک زیادی به کاهش تبخیر می‌کنند. در

پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار فلونت و روش طراحی آزمایشات تاگوچی به بررسی اثرات به‌کارگیری پوشش‌های فیزیکی بر کاهش تبخیر از چاه‌نیمه سیستان نیز پرداخته شد. نتایج نشان داد که در صورت طراحی بادشکن‌های صلب و دارای بازشو به ارتفاع ۲ متر که به ترتیب فاصله بین آنها ۴۸ متر و ۶۶ متر است و با زاویه ۹۰ درجه در جهت شمال غربی قرار گرفته اند، به‌طور مؤثر میزان تبخیر در منطقه را می‌توان کاهش داد. استفاده از بادشکن ذکر شده در منطقه چاه نیمه می‌تواند میزان تبخیر را به مقدار قابل توجهی کاهش دهد اما نمی‌تواند بطور کامل کنترل کند، به همین دلیل بادشکن‌های مورب که با افق زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه دارند با هدف استفاده ترکیبی با سایر روش‌های کنترل تبخیر مانند صفحات خورشیدی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد بادشکن‌های با زاویه ۶۰ درجه بیشترین میزان کاهش تبخیر به مقدار ۳۰/۰۸ درصد را ایجاد می‌کنند و می‌توانند بصورت ترکیبی با سایر روش‌های کنترل تبخیر استفاده شوند. همچنین نتایج مدلسازی باد بر سطح مخزن در حضور باد شکن نشان داد که در اثر برخورد باد به بادشکن‌ها، مسیر باد به اطراف مخزن چاه‌نیمه منحرف می‌شود به طوری که بیشترین محل تجمع باد سمت جنوب شرقی مخزن چاه‌نیمه می‌باشد که محل قرارگیری توربین‌های بادی است. حداکثر سرعت باد در این ناحیه ۲۲/۶۵ متر بر ثانیه و در ارتفاع ۱۵ متری می‌باشد.

فهرست مطالب

۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- تعریف تبخیر.....	۳
۱-۳- عوامل موثر بر تبخیر.....	۳
۱-۳-۱- درجه حرارت.....	۳
۱-۳-۲- رطوبت.....	۳
۱-۳-۳- سرعت باد.....	۳
۱-۳-۴- شوری آب.....	۴
۱-۳-۵- سطح تبخیر.....	۴
۴-۱- روش‌های کنترل تبخیر.....	۴
۱-۴-۱- روش‌های فیزیکی - مکانیکی.....	۴
۱-۴-۱-۱- پوشش‌های شناور ^۲	۴
۱-۴-۱-۲- پوشش‌های چند قسمتی.....	۵
۱-۴-۱-۳- سازه‌های سایه انداز.....	۵
۱-۴-۱-۴- بادشکن.....	۶
۱-۴-۱-۵- کیسه‌های آب.....	۸
۱-۴-۱-۶- صفحات شناور بتن سبک پرلیتی.....	۹
۱-۴-۱-۷- توپ سایه.....	۹
۱-۴-۲- روش‌های شیمیایی.....	۱۰
۱-۴-۳- روش‌های زیستی.....	۱۱
۱-۴-۴- روش طراحی ویژه مخازن.....	۱۲
۱-۴-۵- روش‌های مدیریتی.....	۱۲
۱-۵- استحصال انرژی از باد.....	۱۳
۱-۵-۱- اشکال انرژی.....	۱۳
۱-۵-۲- مزایای انرژی تجدیدپذیر.....	۱۴
۱-۵-۳- مقایسه انرژیهای تجدیدپذیر.....	۱۴
۱-۵-۴- انرژی باد.....	۱۵

۱۵	۱-۵-۵- توربین‌های بادی
۱۸	۱-۵-۶- ظرفیت استفاده از انرژی باد در جهان
۱۸	۱-۵-۷- ظرفیت استفاده از انرژی باد در ایران
۲۰	۱-۶- ضرورت انجام پژوهش
۲۱	۱-۷- بیان سوال‌های اصلی تحقیق
۲۱	۱-۸- فرضیات تحقیق
۲۳	۲-۱- مقدمه
۲۳	۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته
۴۷	۲-۳- جمع‌بندی
۴۹	۳-۱- مقدمه
۴۹	۳-۲- تعریف سیال و خواص آن
۴۹	۳-۳- طبقه‌بندی انواع سیال
۴۹	۳-۳-۱- سیال ایده‌آل و سیال حقیقی
۵۰	۳-۳-۲- سیال نیوتنی و سیال غیر نیوتنی
۵۱	۳-۴- معرفی روش تحلیل جریان
۵۱	۳-۵- دینامیک سیالات محاسباتی
۵۳	۳-۶- نمای کلی حل مسائل با CFD
۵۴	۳-۷- معرفی و کاربرد نرم‌افزار FLUENT
۵۶	۳-۸- معادلات حاکم بر جریان
۵۶	۳-۸-۱- معادلات ناویر استوکس
۵۷	۳-۸-۱-۱- معادله پیوستگی
۵۷	۳-۸-۱-۲- معادله مومنتوم
۵۸	۳-۸-۱-۳- معادله انرژی
۵۸	۳-۹- انواع جریان
۵۸	۳-۹-۱- معادلات حاکم برای جریان آرام
۵۸	۳-۹-۲- معادلات حاکم برای جریان آشفته
۵۸	۳-۹-۲-۱- معادله پیوستگی برای جریان آشفته
۵۹	۳-۹-۲-۲- معادله مومنتوم برای جریان آشفته
۵۹	۳-۱۰- روش حل در FLUENT
۶۰	۳-۱۱- معرفی نرم‌افزار GAMBIT

۶۰	.....	۳-۱۲-۳- معرفی نرم افزار SPSS
۶۱	.....	۳-۱۲-۱- تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از SPSS
۶۱	.....	۳-۱۲-۲- وارد کردن داده‌ها در SPSS
۶۲	.....	۳-۱۲-۳- انتخاب آزمون و روش آماری مناسب
۶۳	.....	۳-۱۳- منطقه مورد مطالعه
۶۳	.....	۳-۱۳-۱- مشخصات طبیعی و تقسیمات کشوری
۶۴	.....	۳-۱۳-۲- آب و هوا
۶۵	.....	۳-۱۳-۳- چاه‌نیمه‌های سیستان
۶۶	.....	۳-۱۴- باد و نحوه تشکیل آن
۶۷	.....	۳-۱۴-۱- انواع باد
۶۸	.....	۳-۱۴-۲- بادهای ۱۲۰ روزه سیستان
۶۸	.....	۳-۱۴-۲-۱- عوامل موثر بر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان
۷۰	.....	۴-۱- مقدمه
۷۰	.....	۴-۲- تعیین رابطه مناسب برای تبخیر با استفاده از نرم‌افزار SPSS
۷۴	.....	۴-۳- انتخاب سیستم بادشکن
۷۴	.....	۴-۳-۱- تعریف بادشکن
۷۴	.....	۴-۳-۲- بادشکن غیرزنده (مصنوعی)
۷۵	.....	۴-۳-۳- بادشکن زنده (طبیعی)
۷۶	.....	۴-۴- شبیه‌سازی بادشکن صلب
۷۷	.....	۴-۴-۱- تشابه هیدرولیکی مدل
۷۸	.....	۴-۴-۲- تعیین هندسه با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT
۷۸	.....	۴-۴-۲-۱- تعیین ابعاد محدوده جریان
۸۰	.....	۴-۴-۲-۲- تعیین ابعاد بادشکن
۸۰	.....	۴-۴-۲-۲-۱- ارتفاع بادشکن
۸۰	.....	۴-۴-۲-۲-۲- طول بادشکن
۸۰	.....	۴-۴-۲-۲-۳- ضخامت بادشکن
۸۱	.....	۴-۴-۲-۳- تعیین شرایط مرزی با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT
۸۱	.....	۴-۴-۲-۳-۱- انواع شرایط مرزی در نرم‌افزار GAMBIT
۸۲	.....	۴-۴-۲-۳-۲- شرایط مرزی SPECIFY BOUNDARY TYPES در نرم‌افزار GAMBIT
۸۳	.....	۴-۴-۲-۴- شبکه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT

۸۴	.....۴-۴-۳-۳ حل مساله با استفاده از نرم افزار FLUENT
۸۴	.....۴-۴-۳-۱-۱ معیار همگرایی
۸۴	.....۴-۴-۳-۲-۱ انتخاب مواد
۸۵	.....۴-۴-۳-۳-۱ مقداردهی شرایط مرزی
۸۵	.....۴-۴-۳-۴-۱ انتخاب مدل آشفتگی و حل مساله
۸۷	.....۴-۴-۴-۱ صحت سنجی بادشکن صلب
۹۰	.....۴-۵-۱ شبیه سازی بادشکن دارای بازشو
۹۲	.....۴-۶-۱ چگونگی آرایش بادشکن های صلب و دارای بازشو
۹۴	.....۴-۷-۱ شبیه سازی بادشکن های مورب (تحت زاویه)
۹۴	.....۴-۸-۱ تعیین جهت قرارگیری بادشکن ها بر روی مخزن چاه نیمه
۹۵	.....۴-۸-۱-۱ تقسیم بندی باد از نظر سمت
۹۵	.....۴-۸-۲-۱ تقسیم بندی باد از نظر سرعت
۹۹	.....۴-۹-۱ مدل سازی صفحات خورشیدی
۹۹	.....۴-۹-۱-۱ تشابه هیدرولیکی
۱۰۰	.....۴-۹-۲-۱ تعیین هندسه با نرم افزار ANSYS
۱۰۰	.....۴-۹-۲-۱-۱ ایجاد محدوده جریان
۱۰۱	.....۴-۹-۲-۲-۱ ایجاد صفحات خورشیدی
۱۰۱	.....۴-۹-۲-۲-۱-۱ ارتفاع صفحات خورشیدی
۱۰۲	.....۴-۹-۲-۲-۲-۱ ضخامت صفحات خورشیدی
۱۰۲	.....۴-۹-۲-۳-۱ مش بندی (شبکه بندی) در نرم افزار ANSYS
۱۰۳	.....۴-۹-۳-۱ تحلیل مسئله در نرم افزار ANSYS به وسیله FLUENT
۱۰۳	.....۴-۹-۳-۱-۱ همگرایی
۱۰۳	.....۴-۹-۳-۲-۱ نوع سیال
۱۰۴	.....۴-۹-۳-۳-۱ اعمال شرایط مرزی در نرم افزار ANSYS
۱۰۴	.....۴-۹-۳-۴-۱ شرایط مرزی BOUNDARY CONDITIONS
۱۰۵	.....۴-۹-۳-۵-۱ وارد کردن مقادیر مرزی در نرم افزار ANSYS
۱۰۶	.....۴-۹-۳-۶-۱ انواع مدل های آشفتگی
۱۰۶	.....۴-۱۰-۱ طراحی آزمایشها به روش تاگوچی
۱۰۷	.....۴-۱۰-۱-۱ ایجاد طراحی آزمایش تاگوچی
۱۰۹	.....۴-۱۰-۲-۱ انتخاب مدل آشفتگی و حل مسئله

۱۱۱	۴-۱۰-۳- معیار همگرایی
۱۱۲	۵-۱- مقدمه
۱۱۳	۵-۲- نتایج
۱۱۳	۵-۲-۱- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن صلب
۱۱۶	۵-۲-۲- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن دارای بازشو
۱۱۹	۵-۲-۳- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن مورب
۱۲۱	۵-۲-۴- انتخاب ارتفاع بادشکن
۱۲۳	۵-۲-۵- انتخاب فاصله بین بادشکن‌های صلب
۱۲۶	۵-۲-۶- انتخاب درصد بازشو برای بادشکن
۱۲۷	۵-۲-۷- انتخاب فاصله طولی بین بادشکن‌های دارای بازشو
۱۲۸	۵-۲-۸- انتخاب زاویه بادشکن مورب
۱۳۰	۵-۳- میزان باد در اطراف مانع
۱۳۰	۵-۳-۱- ابعاد صفحات خورشیدی
۱۳۰	۵-۳-۲- زوایای شیب و جهت صفحات خورشیدی
۱۳۷	۵-۴- بهترین زاویه شیب و زاویه افقی با توجه به فاکتور هزینه
۱۳۸	۵-۵- درصد راندمان انرژی خروجی تحت زوایای مختلف افقی و شیب
۱۴۰	۵-۶- محل قرارگیری نیروگاه بادی
۱۴۰	۵-۷- تحلیل تاگوچی
۱۴۱	۵-۷-۱- تحلیل تاگوچی تغییرات سرعت باد در پایین دست
۱۴۴	۵-۷-۲- تحلیل تاگوچی تغییرات سرعت باد در بالادست
۱۴۷	۵-۸- انتخاب توربین بادی
۱۴۷	۵-۹- مشخصات توربین بادی پیشنهادی
۱۴۹	۶-۱- مقدمه
۱۴۹	۶-۲- نتیجه‌گیری
۱۵۲	مراجع

فهرست علائم

نشانه	علامت
ضریب ثابت آشفتگی	C_m
سرعت سیال	du
تبخیر	E
طول اختلاط	l
طول مشخصه‌ای از میدان	L
ارتفاع مدل	L_m
ارتفاع واقعی	L_p
رطوبت نسبی	M
رینولدز	Re
درجه حرارت	T
شدت آشفتگی	T
سرعت متوسط جریان	V_{ave}
سرعت مدل	V_m
سرعت واقعی	V_p
سرعت باد	W
فاصله طولی بادشکن‌ها	X
تنش برشی	τ
لزجت دینامیکی	μ
چگالی آب	ρ
زاویه بادشکن مورب نسبت به افق	α

فصل اول

کلیات

آب یکی از مهمترین عوامل در ایجاد موجودات زمینی است لذا آب را مایه حیات و زندگی دانسته‌اند با اینکه بیش از دوسوم سطح زمین را آب اشغال کرده و قاره‌ها را آب‌های اقیانوس‌های بزرگی چون آرام و اطلس احاطه کرده‌است، با این همه مشکل بخش عظیمی از موجوداتی که در خشکی زندگی می‌کنند کمبود آب به ویژه آب شیرین است. در حال حاضر منازعاتی در جهان شکل گرفته که از آن به جنگ آب یاد می‌شود. در جهان امروز، تسلط و مدیریت آب به معنای تسلط بر ثروت و قدرت است.

کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه‌خشک قرار دارد که متوسط سهم آن از بارندگی های کره زمین کمتر از ۰/۲ درصد می باشد و این درحالی است که هدررفت آب در ایران معادل ۵۲ درصد است که در مقایسه با متوسط مقدار اتلاف در دنیا (حدود ۱۵ درصد)، رقم بسیار قابل توجهی می‌باشد.

کشور ایران دارای منابع کافی آب شیرین نبوده و ریزش‌های جوی در همه‌جای آن یکسان نمی‌باشد و با رشد جمعیت نیز مواجه است. از طرفی هر چند سال یکبار با وقوع خشکسالی‌های گسترده بخش عظیمی از منابع آبی خود را از دست می‌دهد. همچنین با عنایت به این مساله که پدیده خشکسالی بطور مستقیم یا غیرمستقیم بر زندگی، بهداشت، سطح درآمد، حجم محصولات کشاورزی و دامی و محیط زیست اثر گذاشته و آنها را دچار مخاطره می‌نماید، مدیریت منابع آب و حفظ کمیت این منابع ارزشمند از اهمیت خاصی برخوردار می‌گردد.

سالانه ۴۳۲ میلیارد مترمکعب بارش در کشور رخ می‌دهد که حدود ۷۰ درصد بارندگی سالیانه کشور به میزان ۲۹۶ میلیارد مترمکعب به صورت تبخیر از دسترس خارج می‌گردد. متوسط سالانه تبخیر در کشور حدود ۷۰ تا ۷۱ درصد بارندگی سالانه برآورد شده‌است که تنها قاره افریقا با ۷۹ درصد و استرالیا با ۸۰ درصد تبخیر در شرایط نامساعد نزولی مشابه با ایران می‌باشند.

از این رو بررسی و یافتن راه‌های عملی و علمی جهت کنترل تبخیر از منابع آب سطحی و کانال های آبیاری مزارع اهمیت خود را نشان می‌دهد.

۱-۲ تعریف تبخیر

عمل تبخیر^۱ یک فرآیند کاملاً فیزیکی است که در آن انرژی حرارتی موجب تغییر آب از حالت مایع به گاز می‌گردد. فرآیند تبخیر به عوامل مختلفی از جمله رطوبت، درجه حرارت، سرعت باد، شوری آب، سطح تبخیر، مدت تابش، عرض جغرافیایی و... بستگی دارد.

۱-۳-۱ عوامل موثر بر تبخیر

۱-۳-۱-۱ درجه حرارت^۲

تبخیر، همانطور که گفته شد، عمل تبدیل آب به بخار است. این عمل فقط در صورت وجود انرژی امکان‌پذیر است. برای تبدیل هر گرم آب به بخار حدود ۶۰۰ کالری حرارت لازم است. بنابراین تبخیر می‌تواند در طول روز و حتی در شب، چنانچه انرژی در اختیار باشد، صورت گیرد. اصولاً مقدار انرژی که بتواند عمل تبخیر را انجام دهد در روز بیشتر از شب و در تابستان بیشتر از زمستان است. عرض جغرافیایی محل نیز که انرژی دریافت شده از خورشید به آن بستگی دارد در این امر دخالت دارد.

۱-۳-۱-۲ رطوبت^۳

هر چه هوای مجاور سطح آب، ذرات بیشتری مایع را در خود جای داده باشد تعداد زیادتری از همان ذرات قادرند از هوا به داخل مایع بازگردند و از این رو میزان خالص تبخیر کم می‌شود. به همین دلیل در هوای خشک، تبخیر بیشتر از هوای مرطوب صورت می‌گیرد.

۱-۳-۱-۳ سرعت باد^۴

بلافاصله پس از تبخیر، لایه نازک هوایی که در حد فاصل سطح مرطوب و هوا قرار گرفته است از بخار آب اشباع می‌شود اگر این لایه در جای خود ساکن باقی بماند عمل تبخیر متوقف می‌شود زیرا در یک هوای اشباع مقدار خالص تبخیر برابر صفر است بنابراین برای تداوم تبخیر لازم است لایه اشباع شده به خارج رانده شود این عمل در طبیعت توسط باد انجام می‌شود بنابراین سرعت و تداوم باد در این مورد از اهمیت زیادی برخوردار است.

-
- 1- Evaporation
 - 2- Temperature
 - 3- Moisture
 - 4- Wind Speed

۴-۳-۱- شوری آب

تبخیر با شوری آب رابطه عکس دارد، یعنی هر چه آب شوری بیشتری داشته باشد، میزان تبخیر کمتر خواهد بود. در شرایط مساوی، سرعت تبخیر در آب اقیانوس‌ها ۵ درصد کمتر از آب خالص می‌باشد. دلیل این امر افزایش پتانسیل اسمزی آب در اثر وجود نمک می‌باشد. در شرایطی که پتانسیل اسمزی آب بالا باشد خارج شدن مولکول‌های آب از سطح مایع به سختی صورت می‌گیرد.

۴-۳-۵- سطح تبخیر

اگر دو مقدار آب با حجم مساوی موجود باشد، آبی که با سطح بیشتر در معرض هوا قرار می‌گیرد به مقدار بیشتری تبخیر خواهد شد.

۴-۱- روش‌های کنترل تبخیر

روش‌ها و استراتژی‌های کاهش تبخیر از منابع آب‌های سطحی، مخازن ذخیره آب و سدها بسته به شرایط محیطی، تکنولوژی‌ها و تجهیزات موجود در محل می‌توانند متفاوت باشند. همچنین هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی هستند. این روش‌ها شامل روش‌های فیزیکی-مکانیکی، روش‌های شیمیایی، روش‌های زیستی، روش طراحی ویژه مخازن و روش‌های مدیریتی است.

۴-۱-۱- روش‌های فیزیکی - مکانیکی^۱

۴-۱-۱-۱- پوشش‌های شناور^۲

این نوع پوشش که در شکل ۱-۱ مشاهده می‌شود، عموماً به صورت یک پرده نفوذناپذیر که بر روی کل سطح آب شناور است، عمل کاهش تبخیر را انجام می‌دهد، این پوشش‌ها شامل پلی‌اتیلن، موم، کف و پل استر می‌باشند. این نوع مواد می‌توانند با کاهش نفوذ نور و ایجاد جلبک مانع تبخیر آب گردند. حداکثر مساحت مناسب برای استفاده این محصولات تقریباً ۱ هکتار می‌باشد و بهتر است مخزن تمام سال دارای آب باشد. عیب این محصولات هزینه اولیه بالا، تاثیر بر برخی جنبه‌های کیفی آب، محدودیت حیات پرندگان و ماهی‌ها و آسیب دیدن در اثر وزش بادهای شدید می‌باشد.

1- Physical-Mechanical Methods
2- Floating Covers



شکل ۱-۱. نمایی از پوشش‌های شناور

۱-۴-۱-۲- پوشش‌های چند قسمتی^۱

دقیقا شبیه پوشش‌های شناور می‌باشد با این تفاوت که این پوشش از چند بخش مجزا تشکیل شده و با اتصال تمام قطعات به یکدیگر می‌توان یک پوشش بزرگتر ایجاد نمود، این نوع پوشش به صورت پیش‌ساخته و یا درجا در محل مورد استفاده قرار می‌گیرند. معایب این روش هزینه اولیه بالا، عمر کم، تخریب در اثر بادهای شدید، دشواری اجرا و قابل استفاده بودن برای سطوح بزرگ نمی‌باشد.

۱-۴-۱-۳- سازه‌های سایه انداز^۲

این نوع سازه‌ها عموماً توسط کابل بر روی سطح آب معلق می‌گردند و بر روی سطح آب سایه می‌اندازند (شکل ۱-۲). که باعث کاهش تابش مستقیم نور خورشید، سرعت باد و افزایش رطوبت هوا در زیر پوشش می‌شود که همگی عوامل موثر در کاهش میزان تبخیر می‌باشند. مزیت این روش کاهش میزان جلبک به علت جلوگیری از نفوذ نور و عدم تاثیر بر کیفیت آب به دلیل در تماس بودن سطح با اکسیژن و همچنین اجازه ورود آن به داخل مخزن است. عیب این روش هزینه اولیه بالا و دشواری اجرا در شرایط بادی است. فاکتور مهم در این روش توانایی در ایجاد ساختار کابل‌ها است.

1- Modular Covers
2- Shade Structures



شکل ۱-۲. نمایی از سازه‌های سایه‌انداز

۱-۴-۱-۴- بادشکن^۱

معمولاً این روش در گوشه‌ها و یا بر روی سطح مخزن به دو صورت طبیعی مثل درخت و یا مصنوعی اجرا می‌گردد. بادشکن‌ها با کنترل سرعت باد باعث کاهش میزان تبخیر می‌شوند. علاوه بر آن به عنوان پوشش سایه مانع تابش نور خورشید بر سطح آب می‌شوند. تاثیرات بادشکن بر حسب نسبت فاصله بادشکن به ارتفاع آن بیان می‌گردد. از مهمترین معایب بادشکن‌های مصنوعی، می‌توان سخت شدن دسترسی به مخزن و تخریب کناره‌ها و خاکریز مخزن توسط ریشه درختان نام برد.

بادشکن یکی دیگر از روش‌های فیزیکی- مکانیکی کاهش تبخیر استفاده از انواع بادشکن‌ها می‌باشد. بادشکن‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- بادشکن‌های مصنوعی، ۲- بادشکن‌های زنده

بادشکن‌های زنده از درختان و درختچه نباتات مانند آفتابگردان، ذرت و نظایر آن تشکیل شده است. بادشکن‌های مصنوعی مانند دیوارهای سنگی، فلزی، حصاری و مانند آنان می‌باشند. این نوع بادشکن‌ها می‌توانند نیمه نفوذپذیر و یا غیر قابل نفوذپذیر باشند. بادشکن‌های مصنوعی قابلیت شناور کردن بر روی سطح آب را هم دارند که می‌توان هم از خاصیت کاهش از سرعت باد آنها استفاده کرد و هم به عنوان پوشش سایه انداز که مانع تابش نور خورشید می‌شوند از آن استفاده کرد (شکل ۱-۳).

1- Windbreak



شکل ۳-۱. بادشکن‌های مصنوعی و طبیعی (Google)

مانند شکل بادشکن می‌تواند از ساخت دیوارهای بلند تا کاشت درخت در اطراف منبع تشکیل شود. حتی‌الامکان، بهتر است منبع آب در محلی قرار گیرد که بتوان از عوارض طبیعی مثل تپه‌ها به منظور کاهش دادن سرعت باد در پیرامون آن بهره برد. به کار بردن درختان به‌عنوان بادشکن مزایای زیادی دارد، که از این میان می‌توان به عمر مفید طولانی اشاره کرد. هرچند باید توجه داشت که درختان نباید خیلی نزدیک به منبع آبی قرار گیرند، زیرا در این صورت ریشه آن‌ها آب بیشتری از مخزن جذب خواهد کرد. مناسب‌ترین انواع درختان برای استفاده به‌عنوان بادشکن، درختان مخروطی مانند کاج، سرو، اقاچیا و اکالیپتوس هستند.



شکل ۴-۱. تصویری از بادشکن‌های رایج

۵-۱-۴-۱- کیسه های آب^۱

این نوع پوشش که در شکل ۵-۱ مشاهده می‌شود معمولاً از مواد پلی‌اتیلن است، و یک آستر کامل در بالا و پایین مخزن ذخیره آب تشکیل می‌دهد. پوشش بالای مخزن، دیواره‌های آن با سطح آب مخزن بالا و پایین می‌رود و تبخیر و تراوش از منبع آب را توأمًا کاهش می‌دهد. این روش مزایا و معایبی مشابه با سایر پوشش‌های شناور دارد.



شکل ۵-۱. نمایی از استفاده از کیسه آب بعنوان مخازن بدون تبخیر

۶-۱-۴-۱- صفحات شناور بتن سبک پرلیتی

صفحات شناور بتنی مجوف از نظر عملکرد کاهش تبخیر مشابه با سایر پوشش‌های شناور هستند اما این صفحات می‌توانند نور مورد نیاز را به درون آب انتقال دهند و مشکلاتی را که در مورد سایر صفحات شناور موجود دارد را تا حدودی مرتفع سازد. این روش در کاهش تبخیر از مخزن آبی با مساحت ۱۰۰۰ متر مربع در آفریقای جنوبی استفاده شده است که نتایج مثبت توصیف شده است.

۷-۱-۴-۱- توپ سایه^۱

دپارتمان آب و انرژی لس آنجلس در سال ۲۰۱۵ از سیستم جدیدی برای حفاظت از کمیت و کیفیت آب شهری پرده برداشت و این سیستم جدید چیزی نیست جز هزاران توپ مشکی رنگ که در شکل ۶-۱ نشان داده شده است. استفاده از هزاران توپ مشکی رنگی که روی سطح مخازن آب غوطه‌ور شده و مانع بخار آب می‌شوند. توپ سایه، توپ‌های پلاستیکی با قطر ۱۰ سانتی متر هستند. جنس این توپ‌ها پلی‌اتیلن با چگالی بالا می‌باشد و به رنگ مشکی و از تثبیت کننده‌های اشعه ماورای بنفش تولید شده است. از این توپ‌ها برای دفع اشعه یو وی یا ماورای بنفش استفاده می‌شود. که هر چه بیشتر نور خورشید را بازگرداند، و مانع جذب تقریباً ۴۰ تا ۵۰ درصد اشعه خورشید شود، میزان تبخیر را بیشتر کاهش می‌دهد. این روش هیچ خطری برای آبزیان و کیفیت آب نخواهد داشت. فضای خالی بین توپ‌ها باعث می‌شود اکسیژنی که برای آن‌ها لازم است به آب رسد و نور مورد

1- Shade Ball

نیاز موجوداتی که در آب زندگی می‌کنند هم تامین شود. این روش در سال ۲۰۱۵ در کالیفرنیا مورد آزمایش قرار گرفت و حدود ۹۶ میلیون توپ مشکی رنگ به درون مخزن آبی در سیلمار ریخته شد.



شکل ۶-۱. نمایی از رهاسازی توپ سایه جهت کاهش تبخیر در مخزن یک سد

۲-۴-۱- روش‌های شیمیایی^۱

همان‌طور که در شکل نشان داده شده است در روش‌های شیمیایی کاهش تبخیر، یک لایه شامل ترکیبات شیمیایی کاهنده تبخیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اصولاً تأثیر روش‌های شیمیایی در کاهش میزان تبخیر به اندازه روش‌های فیزیکی نمی‌باشد. مقدار متوسط بازدهی روش‌های شیمیایی در کاهش میزان تبخیر را می‌توان در حدود ۲۰ تا ۴۰ درصد بیان نمود. اجرای این نوع پوشش در مقیاس کوچک با دست و در مقیاس بزرگ به وسیله دستگاه انجام می‌گیرد. امروزه این پوشش‌ها از جمله مناسب‌ترین روش‌ها جهت استفاده در مخازن با سطح بزرگ‌تر از ۱۰ هکتار محسوب می‌شوند. همچنین برای مخازن آبی که در تمام طول سال آب ندارند نیز قابل استفاده هستند.

-
- 1- Chemical Methods
 - 2- Monolayers



شکل ۷-۱. روش شیمیایی کاهش تبخیر

۳-۴-۱- روش‌های زیستی

برخی از پوشش‌های زیستی مانند برگ‌های شناور زنبق‌آبی، نی و خزه توانایی کاهش میزان تبخیر از سطوح آبی محل حیات خود را دارند (شکل ۸-۱). در یک زمان این گیاهان به آب برای زنده ماندن و بخار پس‌دادن احتیاج دارند. بنابراین، نتیجه نهایی ممکن است افزایش تبخیر باشد. بازدهی کاهش تبخیر در این روش خیلی کمتر از روش‌های موجود دیگر بوده و این روش‌ها کمتر توصیه می‌گردند. روش‌های زیستی همواره برای ادامه حیات گیاه احتیاج به آب دارند و در هنگام خشکسالی باعث تخریب محیط زیست می‌گردند. در مورد این نوع پوشش‌ها باید دقت شود که در صورت بیشتر بودن Albedo (درصد بازتاب نور از سطح یک جسم) مربوط به گیاه از مقدار مربوط به سطح آب میزان تبادلات تشعشعی و در نتیجه میزان تبخیر افزایش خواهد یافت.



شکل ۸-۱. نمایی از کاربرد روش زیستی برای کاهش تبخیر

۴-۴-۱- روش طراحی ویژه مخازن

می توان از همان ابتدا مخازن را عمیق تر و با سطح کمتر طراحی و اجرا نمود. به این منظور می توان ساختار سلولی ایجاد نمود که در آن مخازن بزرگ به سلول های کوچک تقسیم می شوند تا بتوان سرعت و تاثیر باد را کاهش داد و با انتقال آب میان سلول ها و استفاده از بادشکن حول مخزن عمق آب را حداکثر نمود. عیب این روش این است که عموماً ساخت یک مخزن جدید در مقایسه با ایجاد سلول در مخزن ساخته شده ساده تر و به صرفه تر می باشد.

۴-۴-۱- روش های مدیریتی

هرگاه بیش از یک مخزن دارای روش های مدیریتی مختلف باشند می توان میزان تبخیر را کاهش داد. آب را می توان بین مخازن پمپ نمود تا سطح مقطع در واحد حجم آب ذخیره شده حداقل گردد. مخازنی که توسط جریان موجی یا آشفته، پر نگه داشته می شوند حجم کل را بدون افزایش محسوس در سطح آزاد آبی بالا خواهند برد. چرخش آب همچنین می تواند باعث کاهش دمای سطح آب و نزول نرخ تبخیر گردد.

با توجه به کمبود سوخت های فسیلی، توسعه منابع انرژی تجدید پذیر توجه زیادی را در سراسر جهان به خود جلب کرده است. انرژی خورشیدی به عنوان یکی از مهم ترین منابع انرژی تجدید پذیر دارای پتانسیل بسیار بالایی و کاربرد گسترده ای را دارا می باشد. زیرا پاک، آزاد و فراوان است. انرژی خورشیدی می تواند به طور مستقیم از

طریق صفحات خورشیدی به برق تبدیل شود و فریم شیب صفحات خورشیدی به‌طور قابل‌توجهی بر میزان خروجی تأثیر می‌گذارد. بنابراین، بسیاری از تحقیقات در دهه‌های گذشته بر روی الگوریتم بهینه‌سازی زاویه شیب برای به حداکثر رساندن خروجی صفحات خورشیدی متمرکز شده است. به‌طور کلی زاویه شیب مطلوب با شرایط مختلفی مانند دوره بهره‌برداری، عرض جغرافیایی، آب‌وهوا، محیط و عوامل دیگر جغرافیایی، مانند گردوغبار و آلودگی هوا مؤثر است. (شکل ۹-۱).



شکل ۹-۱. استفاده از انرژی خورشیدی به‌وسیله‌ی صفحات خورشیدی شناور (Google)

۵-۱- استحصال انرژی از باد

انرژی باد به دلیل مزایای فراوانی که دارد از اهمیت بالایی در بین منابع انرژی‌های تجدیدپذیر برخوردار است. ایران کشور پهناوری است که نواحی بادخیز گسترده‌ای دارد. با استفاده از انرژی باد می‌توان در آینده، قسمت قابل توجهی از نیاز کشور به انرژی را تامین نمود. در این فصل ابتدا به مقایسه انرژی‌های تجدیدپذیر و مزایا و معایب آن پرداخته می‌شود و سپس در مورد انرژی باد، توربین‌های بادی و انواع آن مطالبی بیان می‌شود. در پایان فصل نیز تحقیقات پیشین در خصوص مکانیابی نیروگاه بادی به روش‌های مختلف در داخل و خارج از کشور بیان می‌شود.

۱-۵-۱- اشکال انرژی

انرژی انواع گوناگونی دارد و به دو گروه تقسیم‌بندی می‌شود:

۱- انرژی‌های تجدیدناپذیر: انرژی‌های تجدیدناپذیر انرژی‌هایی هستند که مصرف آن‌ها باعث کاهش ذخایرشان می‌گردد و در نهایت به اتمام می‌رسند. منبع اکثر انرژی‌های تجدیدناپذیر از سوخت‌های فسیلی مانند نفت، زغال‌سنگ و گاز می‌باشد.

۲- انرژی‌های تجدیدپذیر: انرژی‌های تجدیدپذیر از منابع طبیعی مانند نور خورشید، باد و گرمای درونی زمین بدست می‌آیند و در تئوری هرگز به پایان نمی‌رسند و مجدد جایگزین می‌گردند؛ مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی زمین‌گرمایی و انرژی جذر و مد دریا.

۲-۵-۱- مزایای انرژی تجدیدپذیر

۱- مزایای زیست‌محیطی:

✓ عدم تولید زباله و پسماند.

✓ عدم ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی و گازهای مضر.

۲- مزایای استراتژیک:

✓ قابلیت تولید و بهره‌برداری به صورت منطقه‌ای و محلی.

✓ عدم محدودیت در بهره‌برداری و پایان‌ناپذیری.

۳- مزایای اجتماعی و اقتصادی:

✓ پیشرفت مناطق روستایی و دورافتاده به جهت نصب و راه‌اندازی تجهیزات مورد نیاز بهره‌برداری از

انرژی‌های تجدیدپذیر در این مناطق.

✓ توسعه فناوری‌های ملی و ایجاد فرصت‌های شغلی.

۳-۵-۱- مقایسه انرژی‌های تجدیدپذیر

با توجه به مقایسه توان خروجی انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای مختلف جهان درمی‌یابیم که استفاده از انرژی باد در جهان رو به افزایش است. طبق آمار ارائه شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی باد تا سال ۲۰۵۰ بیش از یک سوم کل تقاضای برق بازار جهانی را تأمین خواهد نمود. بهره‌برداری از انرژی باد با استفاده از توربین‌های بادی در مقایسه با سایر منابع انرژی تجدیدپذیر به دلایل زیر بسیار مناسب است:

۱- قیمت پایین توربین‌های بادی در مقایسه با سایر اشکال انرژی‌های نو.

۲- ایجاد موقعیت شغلی در کشور: ایجاد فرصت شغلی این صنعت در مقایسه با دیگر صنایع انرژی بیشتر است. در اروپا نصب یک مگاوات برق بادی برای ۱۵ الی ۱۹ نفر اشتغال ایجاد می کند که در کشورهای در حال توسعه این عدد به دو برابر می رسد.

۳- عدم انتشار آلاینده های زیست محیطی: مطابق آمار، تولید انرژی الکتریکی به میزان یک کیلووات ساعت توسط باد در مقایسه با نیروگاه های سوخت فسیلی، از انتشار حدود یک کیلوگرم دی اکسید کربن جلوگیری خواهد شد. در مجموع اگر هر ۱ درصد انرژی برق بادی جایگزین انرژی برق تولیدی از نیروگاه های سوخت فسیلی گردد، از انتشار گازهای آلاینده حدود ۳ درصد کاسته می شود.

بهره برداری از انرژی باد و توربین های بادی معایبی نیز دارد که برخی از آن ها عبارتند از:

۱- وابستگی تولید انرژی الکتریکی توسط توربین های بادی به سرعت باد و عدم تولید انرژی در سرعت های خیلی کم و خیلی زیاد.

۲- افت کیفیت گیرنده های رادیویی و تلویزیونی با ایجاد فرکانس های طبیعی و نویز فرکانسی.

۳- ایجاد آلودگی های صوتی و تاثیر مخرب بر زندگی پرندگان و انسان ها.

۴- بالا بودن هزینه تعمیر و نگهداری نیروگاه های بادی با توجه به فرآیند مکانیکی و ارتفاع نصب در مقایسه با سایر نیروگاه ها مانند نیروگاه خورشیدی.

۵- اثرات مخرب زیست محیطی نظیر خطر احتمال برخورد پرندگان به پره های توربین بادی.

۶- آسیب پذیر بودن توربین های بادی در مقابل برخورد صاعقه، بادهای شدید و ...

۴-۵-۱- انرژی باد

باد هوای در حال حرکت می باشد. در مواقعی که تابش خورشید به سطوح ناهموار زمین به صورت نابرابر برسد فشار و دما تغییر می کند و در پی این تغییرات باد به وجود می آید. همچنین به دلیل حرکت وضعی زمین، اتمسفر موجب انتقال گرما از مناطق گرمسیر به مناطق سردسیر می شود که این پدیده نیز موجب وزش باد می گردد.

۵-۵-۱- توربین های بادی

جهت تولید انرژی الکتریکی از طریق توربین های بادی، ابتدا انرژی جنبشی باد توسط پره های توربین بادی به انرژی مکانیکی تبدیل می شوند. سپس شفت موجب انتقال انرژی مکانیکی به ژنراتور می شود و انرژی الکتریکی

تولید می‌گردد. به طور کلی اساس کار توربین‌های بادی به این صورت است که دو یا سه پره‌ای که به دور روتور توربین بادی قرار دارد توسط انرژی باد شروع به چرخیدن می‌کنند. در اثر چرخش روتور ژنراتور نیز به چرخش درمی‌آید زیرا توسط یک شفت مرکزی به روتور متصل است و در نهایت الکتریسیته تولید می‌شود. اقتصاد نیروگاه بادی به شدت بستگی به سرعت باد دارد. شکل ۱-۱۰ نمونه‌ای از یک مزرعه بادی را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۰. شماتیکی از یک مزرعه بادی

توربین‌ها با توجه به جهت چرخش و زاویه آن به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- توربین بادی محور عمودی^۱: طراحی این توربین‌ها به گونه‌ای است که باد در یک طرف بیشتر جذب توربین می‌شود و به همین دلیل سیستم دچار لنگر می‌شود و به چرخش درمی‌آید. از آنجایی که بازده کار این توربین‌ها پایین است از آن‌ها کمتر در نیروگاه‌ها استفاده می‌شود. توربین‌های بادی ساوینیوس، داریوس، صفحه‌ای و کاسه‌ای از جمله توربین‌های بادی با محور عمودی می‌باشند. شکل ۱-۱۱ نمونه‌ای از توربین بادی با محور عمودی را نشان می‌دهد.

1- Vertical Axis Wind Turbine



شکل ۱-۱۱ . توربین بادی با محور عمودی

۲- توربین بادی محور افقی^۱: در این نوع توربین‌های بادی سطح تمامی پره‌ها به صورت برابر و مستقیم در راستای وزش باد قرار می‌گیرند. توربین‌های بادی محور افقی معمولاً دارای ۲ یا ۳ پره هستند و در مقایسه با توربین‌های محور عمودی بیشتر کاربرد دارند. در پژوهش حاضر نیز توربین بادی پیشنهادی از نوع توربین با محور افقی می‌باشد. شکل ۱-۱۲ نمونه‌ای از این نوع توربین‌ها را نشان می‌دهد.

1- Horizontal Axis Wind Turbine



شکل ۱-۱۲. توربین بادی با محور افقی

۶-۵-۱- ظرفیت استفاده از انرژی باد در جهان

امروزه استفاده از انرژی باد و توربین‌های بادی رشد صعودی داشته است به طوری که ظرفیت بهره‌برداری از انرژی باد در نیروگاه‌های بادی جهان به ۵۴۲ گیگاوات رسیده است. در این میان آسیا تا پایان سال ۲۰۱۹ با ظرفیت بیش از ۲۹۲ گیگاوات، بزرگ‌ترین بازار منطقه‌ای انرژی بادی بوده است. پس از آن، اروپا با ۲۴٪، آمریکای شمالی با ۱۶٪ و آمریکای لاتین با ۶٪، بیشترین نیروگاه‌های بادی را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین در میان کشورها، چین بیشترین بهره‌برداری از انرژی باد را دارد و ایالات متحده، انگلستان، هند و اسپانیا پس از چین قرار می‌گیرند. این ۵ کشور ۷۰٪ از ظرفیت نصب سالانه توربین‌های بادی را به خود اختصاص می‌دهند.

۷-۵-۱- ظرفیت استفاده از انرژی باد در ایران

محققان در طی ۱۰ سال وضعیت باد کشور را در ایستگاه‌های هم‌مدیدی مورد بررسی قرار دادند و طبق نتایج، ایران نواحی بادخیز بی‌شماری را شامل می‌شود. به عنوان مثال جزایر خلیج فارس و کرانه‌های دریای عمان، مناطق ساحلی خوزستان، خراسان رضوی، سیستان و بلوچستان، به علاوه چند منطقه متفرق مانند رفسنجان، بیجار، منجیل و اردبیل از پتانسیل قابل قبولی جهت تولید برق بادی به خصوص در فصل تابستان برخوردار

هستند. از جمله علل این پتانسیل بالا می‌توان به وجود کوه‌های بلند، دشت‌های وسیع و سواحل طویل اشاره کرد.

در ایران استحصال انرژی از نیروی باد، از سال ۱۳۷۳ آغاز گردید و منجیل و رودبار جزء اولین مناطقی بودند که جهت تولید برق بادی مورد توجه قرار گرفتند. به تدریج ظرفیت استفاده از انرژی برق بادی در کشور افزایش یافت به طوری که امروزه به ۲۸۲ مگاوات در سال رسیده‌است. نیروگاه بادی منجیل دارای ۱۷۱ توربین است. این توربین‌ها از نوع توربین با محور افقی هستند که دارای ۳ پره به طول ۱۷ تا ۲۳ متر می‌باشند و قطر روتور آن‌ها به ۳۵ تا ۴۷ متر می‌رسد (شکل ۱۳-۱).



شکل ۱۳-۱. نیروگاه بادی منجیل

پروژه نیروگاه بادی بینالود از سال ۱۳۸۱ در استان خراسان رضوی و در زمینی به مساحت ۷۰۰ هکتار آغاز به کار کرد. وجود باد در بیش از ۳۰۰ روز از سال و سرعت باد بالاتر از ۵/۶ متر بر ثانیه از ویژگی‌های اقتصادی منطقه بینالود است (شکل ۱۴-۱).



شکل ۱۴-۱. نیروگاه بادی بینالود

۱-۶- ضرورت انجام پژوهش

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش، مخزن چاه‌نیمه شماره ۴ می‌باشد. این مخزن در منطقه سیستان و در شمال دلتای رود هیرمند واقع شده است. منطقه سیستان همواره در معرض وزش بادهای شدید از جمله بادهای ۱۲۰ روزه که در طول سه ماه تابستان از جهت شمال غرب بصورت شبانه روزی می‌وزد، قرار دارد. به دلیل سرعت و تداوم باد در این منطقه هر ساله بخش قابل توجهی از آب ذخیره شده در مخازن چاه‌نیمه به صورت تبخیر از بین می‌رود. برای جلوگیری از هدر رفت منابع آبی موجود در منطقه باید از روش‌های صحیح مدیریتی استفاده کنیم. یکی از روش‌های جلوگیری از اتلاف منابع آب توسط تبخیر، استفاده از سیستم بادشکن می‌باشد.

بادشکن‌ها سازه‌هایی هستند که جهت کنترل باد به کار می‌روند. این سازه‌ها می‌توانند به صورت موانع مصنوعی یا کمربند حفاظتی درختی باشند. بادشکن‌ها برای کنترل فرسایش، تولید محصولات کشاورزی، پرورش دام، صرفه جویی در مصرف انرژی، توسعه زیست محیطی، کنترل امواج و تلاطم دریاچه‌ها و غیره استفاده می‌شوند. یکی از مهمترین کاربردها بادشکن‌ها، کاهش میزان تبخیر است که این کار را از طریق تغییر در سرعت باد، جهت باد و تلاطم هوا انجام می‌دهند از این رو فرآیند تبخیر را بطور غیر مستقیم و تا فاصله‌ای از خود تحت تاثیر قرار می‌دهند. این فاصله به تداخل آن، جهت باد غالب و ارتفاع بادشکن بستگی دارد.

با توجه به موقعیت خاص منطقه و عدم وجود پالایشگاه و نیروگاه با ظرفیت بالا و همچنین مشکل سوخت و قاچاق مواد سوختی، با کمبود برق در استان به ویژه در فصل تابستان مواجه هستیم. کمبود انرژی برق و افزایش

مصرف انرژی از یک طرف و پتانسیل بالای منطقه جهت بهره‌گیری از نیروی باد از طرفی دیگر، طرح‌های بهره‌برداری و توسعه انرژی‌های نو در منطقه را توجیه‌پذیر می‌سازد. همچنین استفاده از نیروی باد جهت تولید انرژی در مقایسه با منابع سوخت فسیلی، از آلودگی‌های زیست محیطی جلوگیری می‌کند و میزان تولید آلاینده‌ها به حداقل می‌رسد.

۱-۷- بیان سوال‌های اصلی تحقیق

پس از انجام این پایان‌نامه به سوالات زیر پاسخ داده می‌شود:

- ۱- مهمترین عامل تبخیر در منطقه چاه‌نیمه کدام است؟
- ۲- کدام روش برای کنترل تبخیر چاه‌نیمه مناسب است؟
- ۳- بهترین ارتفاع بادشکن جهت کنترل تبخیر کدام است؟
- ۴- چه نوع بادشکنی از نظر ماهیت (طبیعی یا مصنوعی) برای منطقه مناسب است؟
- ۵- چه نوع بادشکنی از نظر نفوذپذیری (صلب یا متخلخل) برای منطقه مناسب است؟
- ۶- بهترین زاویه بادشکن چیست؟
- ۷- نحوه چینش بادشکن‌ها به چه صورت می‌باشد؟
- ۸- محل نصب توربین بادی در کدام نقطه است و ارتفاع آن چقدر است؟
- ۹- تعداد و قرارگیری صفحات خورشیدی در صورت استفاده چگونه است؟
- ۱۰- در صورت استفاده از پوشش بهینه درصد پوشش چقدر است؟

۱-۸- فرضیات تحقیق

- ۱- تبخیر به سه عامل دما، رطوبت و باد وابسته می‌باشد.
- ۲- پارامترهای دما، رطوبت و سرعت باد مستقل از هم می‌باشند.
- ۲- رابطه تبخیر به صورت خطی در نظر گرفته شد.
- ۳- جریان هوا در مدل بدون ذرات گردوغبار در نظر گرفته شد.
- ۴- جریان هوا پایدار فرض شد.
- ۵- نرم‌افزار انسیس-فلوئنت برای شبیه‌سازی جریان باد در حالت پایدار با توجه به تحقیقات گذشته مناسب می‌باشد.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

منطقه سیستان از جمله مناطقی است که رویدادهایی نظیر سیل و خشکسالی در آن به وفور به وقوع می‌پیوندد. بارندگی ناچیز سالیانه، درجه حرارت بالا، وزش بادهای شدید و محدودیت منابع آب زیرزمینی و سطحی از جمله مشکلات این منطقه می‌باشد. چاه‌نیمه‌ها یکی از مهمترین منابع آب سطحی در سیستان محسوب می‌شوند که هر ساله بخش قابل توجهی از آب ذخیره شده در این مخازن توسط تبخیر از بین می‌رود. برای جلوگیری از هدر رفت منابع آبی موجود در منطقه باید از روش‌های صحیح مدیریتی استفاده کنیم. یکی از روش‌های جلوگیری از اتلاف منابع آب توسط تبخیر، استفاده از سیستم بادشکن می‌باشد.

۲-۲- مروری بر تحقیقات گذشته

از آنجایی که قرن بیست و یکم با مشکلات مربوط به افزایش مداوم جمعیت، کاهش منابع طبیعی، تخریب محیط‌زیست، کاهش منابع آب سطحی و زیرزمینی و محدود شدن این منابع همراه است، مدیران و محققان منابع باید روش‌هایی برای بهره‌برداری مطلوب و کنترل تبخیر و حفظ منابع طبیعی برای نسل‌های آینده اتخاذ نمایند. فرآیند تبدیل آب به بخار را تبخیر گویند. تبخیر ممکن است از سطح آزاد آب، از سطح مرطوب خاک و یا به صورت تعرق از سطح گیاه صورت گیرد. اهمیت تبخیر در چرخه هیدرولوژیکی از آنجا مشخص می‌شود که یادآوری کنیم در مقیاس جهانی حدود ۵۷ درصد آبی که روی خشکی‌ها بصورت نزولات جوی فرو می‌ریزد مستقیماً تبخیر می‌شود. مقدار تبخیر از روی دریاها ۱۱۰ درصد مقدار نزولات جوی روی آنهاست. یعنی بیش از مقدار آبی که روی دریاها بصورت بارندگی ریزش می‌کند از سطح دریاها تبخیر می‌شود. در آب و هوای خشک و نیمه‌خشک همانند کشور ایران قسمت اعظم بارندگی‌های سالانه بلافاصله پس از بارش توسط تبخیر وارد اتمسفر می‌شود.

فناوری بادشکن یکی از ابزارهای مقابله با این بحران است. بادشکن‌ها^۱ سازه‌هایی هستند که برای کاهش سرعت باد بکار گرفته می‌شوند و به صورت زنده یا غیرزنده احداث می‌گردند. 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 گردیده‌اند. یکی از مهم‌ترین کاربردها بادشکن‌ها، کاهش میزان تبخیر است که این کار را از طریق تغییر در سرعت باد، جهت باد و تلاطم هوا انجام می‌دهند. از این رو فرآیند تبخیر را به‌طور

1- Windbreak

غیرمستقیم و تا فاصله‌ای از خود تحت تأثیر قرار می‌دهند. این فاصله به تخلخل^۱ (نسبت مساحت فضاهاى خالی به کل مساحت بادشکن) آن، جهت باد غالب^۲ و ارتفاع بادشکن^۳ بستگی دارد.

تاکنون به منظور بررسی اثر بادشکن‌ها بر میزان تبخیر، تحقیقات متعددی انجام گرفته است برای نمونه تحقیقاتی که اژدری و همکاران در سال ۱۳۹۰ بر روی مخزن چاه‌نیمه انجام دادند. در این تحقیق به مطالعه تجربی روش‌های کاهش تبخیر و مقایسه روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی پرداخته شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که با توجه به عمق چاه‌نیمه استفاده از بادشکن چه به صورت طبیعی یا مصنوعی می‌تواند بدون اثرات منفی بر اکوسیستم منجر به کاهش تبخیر شود.

اسکیدمور و هاگن^۴ تحقیقاتی در سال ۱۹۶۹ بر روی بادشکن‌های با تخلخل ۶۰، ۴۰ و صفر درصد انجام دادند، و به این نتیجه رسیدند که وقتی تخلخل مانع کاهش پیدا کند، مینیمم سرعت باد به سمت مانع حرکت می‌کند. کمترین سرعت باد در تخلخل ۶۰ درصد در $5H$ (ارتفاع بادشکن) رخ می‌دهد در حالی که با ۴۰ و صفر درصد تخلخل این حالت به ترتیب در $3/5H$ و H رخ می‌دهد. همچنین میزان تخلخل بر روی تلاطم هوا اثر می‌گذارد به طوری که بعد از اینکه سرعت باد به یک مینیمم برای تخلخل ۶۰ درصد می‌رسد، به تدریج به شرایط میدان باز برحسب فاصله از مانع افزایش پیدا می‌کند. اما این حالت برای موارد با تخلخل کمتر صدق نمی‌کند. سرعت باد مانع با تخلخل ۴۰ درصد تمایل دارد که بعد از رسیدن به کمترین مقدار بلافاصله و به سرعت افزایش پیدا کند. بعد از اینکه سرعت باد نزدیک مانع بدون تخلخل به کمترین مقدار رسید، تا فاصله $5H$ به سرعت افزایش پیدا می‌کند.

لوماس و شلزینگر^۵ در سال ۱۹۷۰ به بررسی کاهش تبخیر و سرعت باد در مناطق با وجود انرژی فرارفت (انرژی فرارفت به حرکات افقی تغییرات درجه حرارت بوسیله باد گفته می‌شود) و بدون وجود انرژی فرارفت پرداختند و نتایج را با روابط پنمن مقایسه کردند. اولین آزمایش آن‌ها در شهرک میوتاهیم واقع در منطقه بور در شمال شرقی صحرای نگو حدود ۲۰ کیلومتری ساحل دریای مدیترانه در فصل تابستان و آزمایش دوم در صحرای کیبوتص ایلات در فصل زمستان انجام شد. بررسی نتایج تحقیق نشان داد که در منطقه میوتاهیم هیچ نشانه‌ای از انرژی فرارفت وجود ندارد و لذا وجود بادشکن تأثیر خاصی بر تبخیر ندارد. این در حالی است که در ایلات،

-
- 1- Porosity
 - 2- The Direction of the Wind Dominates
 - 3- Windbreak Height
 - 4- Skidmore and Hagen
 - 5- Lomas and Schlesinger

انرژی فرارفت غالب بوده و تبخیر را به میزان قابل توجهی کاهش داد. همچنین نشان دادند که روابط پنمن می‌تواند تخمین مناسبی از میزان تبخیر داشته باشد و اگر بسیاری از داده‌ها توسط ایستگاه‌های اقلیم‌شناسی برداشت شده باشند و مستقیماً در محل آزمایش ثبت نشده باشند بازهم این روابط نتایج معناداری ارائه خواهند داد.

رین و استیونسون^۱ در سال ۱۹۷۷ آزمایش‌هایی را بر روی حصارهای حفاظتی با تخلخل صفر، ۲۰، ۳۴ و ۵۰ درصد به منظور 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 حاصل می‌کند و به‌طور کلی بادشکن‌های با نفوذپذیری کم تا متوسط کاهش کلی بهتری در میانگین سرعت باد نسبت به بادشکن‌های توپر حاصل می‌کنند.

ویلسون^۲ در سال ۱۹۸۶ به اندازه‌گیری سرعت متوسط باد و آشفتگی جریان پشت دو قطعه حصار با نفوذپذیری ۵۰ درصد که تنها در توزیع قائم تخلخل تفاوت داشتند پرداخت. یکی از حصارها به‌طور یکنواخت متخلخل و حصار دیگر در قسمت نزدیک به زمین نسبتاً متراکم است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد، کاهش سرعت متوسط بیشتری برای حصار که در قسمت نزدیک به زمین متراکم‌تر بوده مشاهده می‌شود و همچنین هیچ افزایش زیان باری در آشفتگی نداشته است اما در مورد فواصل طولانی نسبت به حصار یکنواخت از اثربخشی کمتری برخوردار است.

هیزلر و دیواله^۳ در سال ۱۹۸۸ نتیجه گرفتند که کارایی بادشکن‌ها در کاهش سرعت باد عمدتاً به ارتفاع، جهت‌گیری نسبت به باد غالب و تخلخل آن‌ها بستگی دارد. اگر 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 از این رو این روش در مقایسه با بادشکن‌های نسبتاً نفوذپذیر یک ناحیه مؤثر محدود را در سمت پشت به باد ایجاد می‌کند. اثر اصلی همه‌ی سیستم‌های بادشکن کاهش سرعت باد است، این کاهش بر فرآیندهای انتقال آشفته تأثیر می‌گذارد و منجر به اصلاحات کوچک اقلیمی در منطقه حفاظت‌شده می‌شود. ناتن^۴ 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

1- Rain and Steven

2- Wilson

3- Heisler and Dewall

4- Mc Naughton

نام منطقه آرام و منطقه احیا تعریف می‌کند که حداکثر حفاظت در منطقه آرام رخ می‌دهد، درحالی‌که در منطقه احیا، آشفستگی بیشتر از مقادیر آن در هوای آزاد است.

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

وانگ و تکل^۱ 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 منجر به ایجاد جریان گردابی می‌شود در نظر گرفتند.

ریچاردسون و ریچاردز^۲ در سال ۱۹۹۵ تحقیقی را بر روی طیف آشفستگی در جهت جریان در مجاورت یک بادشکن انجام دادند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که در تراز پایین بادشکن، تکرار طیف آشفستگی به نحوی مرتبط با کاهش در سرعت متوسط کاهش یافته است اما درعین حال در بالای حصار منجر به تولید آشفستگی با تکرار بالا شده که در حالت کلی میزان تکرار این آشفستگی‌ها مرتبط با تغییرات سرعت است.

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^۳ و همکارانش در سال ۱۹۹۷ به تحقیق در مورد اینکه آیا آزاد درخت‌های (گونه‌ی چریش) بادشکن در همان عمقی که محصولات زراعی مجاور، آب مصرف می‌کنند، آب استفاده می‌کنند یا خیر. در دره‌ی ماجیا، درختان بخش عظیمی از آب موردنیاز خود را از لایه‌های سطحی خاک پس از بارش باران و زمانی که آب فراوان بود به دست می‌آوردند. در زمان‌های خشک‌سالی، ریشه‌های درختان آب را از سفره آب زیرزمینی یا ذخایر عمیق آب در خاک استخراج می‌کردند، درحالی‌که محصول گندمی که در همان ناحیه است آب مورد نیاز خود را از ناحیه‌ای نزدیک به سطح فوقانی پروفیل خاک به دست می‌آورد. در مقابل، در سادوره هم درختان و هم محصولات نیازهای آبی خود را از عمق ۲ تا ۳ متری فوقانی خاک در سراسر سال تأمین می‌کردند. نتایج تحقیقات نشان داد که استفاده از آب توسط درختان بادشکن و محصولات بیشتر

1- Wang and Takle

2- Richardson and Richards

3- Smite

وابسته به در دسترس بودن آب زیرزمینی برای ریشه درختان است. در نتیجه به احتمال زیاد رقابت بر سر آب در چنین محل‌هایی کاهش می‌یابد، اما ممکن است درجایی که سطح آب زیرزمینی غیرقابل دسترس است 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.

کلو^۱ در سال ۱۹۹۸ چگونگی تأثیرگذاری تراکم بادشکن‌های طبیعی را بر الگوهای جریان در مقادیر مختلف وزش باد بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در سمت موافق باد، فشار هوا در حوالی بادشکن‌های خیلی متراکم افزایش می‌یابد. درحالی‌که در سمت مخالف یک ناحیه کم‌فشار شکل می‌گیرد. فشار هوای موافق باد، هوا را از درون و بالای بادشکن با فشار جلو می‌راند درحالی‌که 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 داده و یک جریان گردابی ایجاد کند.

وجیاک^۲ و همکاران در سال ۲۰۰۳ به ارایه مدلی برای تلفیق اثرات بادشکن حفاظتی با سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. بادشکن حفاظتی برحسب کاهش سرعت مدل‌سازی شد که خود تابعی از سرعت و جهت باد، فاصله از مانع، ارتفاع، ضریب تخلخل و جهت بادشکن است. اولین 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 به منظور ارزیابی تأثیر شبکه، شاخص بادشکن حفاظتی شبکه‌ای برحسب کاهش متوسط سرعت در منطقه پیشنهاد شد و در نهایت این نتیجه حاصل شد که شبکه حفاظت مناسبی را ارایه 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.

هفلر^۳ و همکاران در سال ۲۰۰۹ تحقیقی را به منظور شبیه‌سازی اثر بادشکن‌های طبیعی بر میزان تبخیر آب از سد ویونهو که بر روی رودخانه بریزبین 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 دارای تخلخل یکسان هستند. بادشکن‌ها به صورت موازی با طول سد قرار داده شدند و جهت وزش باد طوری تعیین شده بود که عمود بر خط بادشکن‌ها

1- Clough
2- Vigiak
3- Hefler

باشد. نتایج نشان داد که 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.

بادشکن‌های طبیعی به‌منظور افزایش پراکندگی بوی احشام و بهبود محیط روستایی می‌توانند به کار روند. لین^۱ و همکارانش در سال ۲۰۰۹ با استفاده از مدل دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی اثر شرایط آب و هوایی روی پراکندگی بو در مسیر باد از بادشکن‌های طبیعی پرداختند. 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 ۷ سانتی‌متر و تخلخل ۰/۴ پراکنده شد. شبیه‌سازی به منبع انتشار تک نقطه‌ای محدود بود. تعداد ۲۱ شبیه‌سازی برای تعیین اثرات سرعت و جهت باد و دمای هوا را تحت شرایط ناپایدار، خنثی و پایدار بررسی شد. مقایسه شبیه‌سازی‌ها نشان داد که ۱- به‌طور کلی، سرعت‌های باد بالاتر، توده‌های کوتاه‌تری ایجاد می‌کند اما توده‌های بوی کوتاه‌تر در سرعت باد کمتر (یک متر بر ثانیه) در مقایسه با سرعت باد ۱/۸ متر بر ثانیه در شرایط جوی ناپایدار مشاهده شد که در آن همرفت رواج داشت. ۲- دما تأثیر کمی روی پراکندگی بو برای هر سه شرایط جوی 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.

پنگ یه و جین یانگ^۲ 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 اثرات تخلخل حصار، هندسه حصار بادی و جهت باد عملیاتی تمرکز دارند. به‌طور کلی نتایج نشان داد که راندمان کنترل باد در بادشکن اساساً وابسته به جهت باد 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 عمل می‌کنند از راندمان بیشتری برخوردار است. در مقابل حصار بادی هشت‌ضلعی در زوایای مورب وزش باد راندمان کنترل بیشتری دارد. اما در وزش عمودی راندمان کمتری دارد. همچنین نتایج نشان دادند که حصار بادی با تخلخل ۳۰ درصد منجر به کاهش مؤثر فرسایش بادی شد.

1- Lin

2- Peng Yeh and Jen Yang

لی^۱ و همکاران 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 درصدهای کاهش سرعت باد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نتیجه نشان می‌دهد که 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.

بیتوگ^۲ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به بررسی خصوصیات جریان حول درختان بادشکن با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. هدف این تحقیق پیش‌بینی اثر شکاف بین درختان، ردیف‌های درختان و چیدمان شان برای کاهش سرعت باد بود. نتایج مطالعات شبیه‌سازی ثابت کرد که فاصله شکاف فاکتور بسیار مهمی در تأثیربخشی درخت بادشکن است. کاهش سرعت برای درخت بادشکنی که فاصله شکافی برابر ۰.۵ متر دارد می‌تواند در مسافت جریان ۱۵H به ۲۰ درصد برسد. برای شکاف ۰/۷۵ متر و ۱ متر این کاهش به ترتیب ۱۱ و ۴۱ درصد بود. همچنین وقتی آرایش درختان به صورت دو ردیف یک‌درمیان باشد بیشترین تأثیر را در کاهش سرعت باد نسبت به حالت‌های یک ردیفی و دو ردیفی دارد.

گینونیس^۳ و همکاران در سال ۲۰۱۵ به طراحی پنل‌های بادشکن با تکیه‌گاه الاستیک با استفاده از مدل تحلیل ترکیبی CFD استاتیک 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 توسعه یافته روی پنل برای موقعیت‌های مختلف تعادلی که تحت وسعت‌های مختلف باد به آن رسیدند اندازه‌گیری شدند. نتایج این تحقیقات نشان دادند که تکیه‌گاه الاستیک منجر به کاهش قابل توجهی از فشارهای باد و تنش‌های حاصله روی بادشکن شد.

این موضوع مساله‌ای شناخته شده است که بادشکن‌ها می‌توانند شرایط مطلوبی را برای چارپایان فراهم آورند. جهت تعیین مزایای هر یک از سیستم‌های بادشکن، در ابتدا لازم است اثر بادشکن‌ها بر روی اقلیم باد مشخص

1- Lee
2- Bitog
3- Giannoulis

شود. یوفنگ هی^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۷ یک مدل پارامتری ساده را برای تخمین کاهش سرعت باد در اطراف بادشکن ارائه دادند. به لحاظ تحلیلی، پارامترهای مدل رابطه‌ی نزدیکی با رفتارهای واقعی مشخص‌کننده‌ی 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 دادند که مدل، تطابق فوق‌العاده‌ای با سرعت نسبی باد (بدین معنی که نزدیک به سرعت باد محیط است) با جذر میانگین مربع خطاهای (RMSE) برابر 0.04 ± 0.05 ، ارائه می‌کند. سپس مدل بر روی داده‌های موجود در منابع دیگر نیز اعمال شد تا وابستگی سرعت نسبی باد بر روی تخلخل بادشکن مشخص شود. یک شبیه‌سازی با مقیاس میدانی از یک سیستم چرای گوسفندان، شامل توصیفی صریح از اثرات سرمایه‌ی باد، به‌منظور تخمین دریافت خالص همراه با یک بادشکن بر روی بهره‌وری گوسفندان انجام شد. حداکثر حصول بهره‌وری (۰.۲۷٪) در تخلخل ۰/۵ و سرعت باد ۱۲ متر بر ثانیه به دست آمد. اثرات سرمایه‌ی باد مجدداً 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 نشان‌دهنده‌ی 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 اثرات 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 هواسنجی و اثرات حاصل از این‌ها بر روی تنش حرارتی که توسط گوسفندان تحمل می‌شود بسیار مؤثر است. سرمایه‌ی باد دارای این پتانسیل است 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 منجر به کاهش حرارت از چارپایان می‌شوند.

افزایش سریع جمعیت جهان و سرانه مصرف آب با توجه به استانداردهای رو به رشد سطح زندگی و سطوح فعالیت‌های اقتصادی تا حد زیادی تقاضا را برای آب در سراسر جهان شدت بخشیده است. برای رفع این تقاضا تفکرهای جدی درباره روش‌های محافظت به عمل آمده است. لذا از این جهت توجهات بسیار زیادی به سوی منابع طبیعی سوق داده شده است و به دنبال راهکارهای مختلفی برای مقابله با کاهش آن می‌باشند. یکی از منابع طبیعی، منابع آب می‌باشد که به موضوع بسیار مهمی برای جوامع مختلف امروزه تبدیل شده و تحقیقات

1- Yufeng He

فراوانی برای حفظ و نگهداری آن صورت گرفته است. تبخیر یکی از عوامل مهم و اصلی در امر ازدست دادن منابع آب است. روش‌های مختلفی برای کاهش تبخیر وجود دارد که در چهارگروه گنجانده شده است: ۱- شیمیایی ۲- فیزیکی ۳- بیولوژیکی ۴- مکانیکی.

سیستان، بدلیل میانگین سالانه بارندگی خیلی کم و بادهای ۱۲۰ روزه مشکلات بسیار بزرگی مانند خشکسالی و روزمرگی خیلی دشوار را ایجاد کرده است. به همین دلیل چاه نیمه‌های سیستان از اهمیت بسیار بالایی برخوردار هستند. وجود بادهای ۱۲۰ روزه و میزان تابش خورشیدی بالا، میزان هدر رفت منابع آب بالا رفته است. از این رو با استفاده از پوشش‌های فیزیکی- مکانیکی (استفاده از صفحات خورشیدی به عنوان بادشکن) باعث کاهش محسوس میزان تبخیر آب می‌شود.

عوامل اصلی کنترل تبخیر آب بررسی شدند. مطالعات نشان می‌دهند که برای دوره‌های زمانی کوتاه‌تر از روز، تبخیر آب آزاد هیچ رابطه‌ای با تابش خالص ندارد؛ سرعت باد مهمترین عامل تعیین کننده نرخ تبخیر است و پس از آن دما در آبهای سطح زمین و کنترل فشار بخار سطح آب می‌باشند. دوره سطح آب‌های آزاد می‌تواند به دو رژیم تبخیری متمایز تقسیم شود: در بهار که دمای سطح زمین از دمای آب گرمتر است، که جریان‌های آشفته در بالای سطح آب سرکوب می‌شوند. و دوره خنک، زمانی که آب گرمتر از زمین است، جریان‌های آشفته بالای آب افزایش می‌یابد.

بادشکن‌ها به عنوان یک روش موثر برای تضعیف امواج جریان ورودی محسوب می‌شوند. اسکیدمور و هاگن در سال ۱۹۷۰ بر روی بادشکن‌های نیمه نفوذپذیر با درصد تخلخل ۴۰ تا ۶۰ درصد تحقیقاتی را انجام دادند و دریافتند که میزان تخلخل بر روی تراکم هوا اثر می‌گذارد و حداقل سرعت باد با وجود درصد تخلخل ۶۰ درصد در فاصله ۵H (ارتفاع بادشکن) رخ می‌دهد.

بیتوک^۱ و همکارانش در سال ۲۰۱۲ به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به بررسی خصوصیات جریان در اطراف درختان باد شکن پرداختند. هدف این پژوهش، پیش‌بینی میزان تاثیر شکاف‌های موجود بین درختان و ردیف قرارگیری درختان و چیدمان آنها به منظور کاهش سرعت باد بوده است. نتایج شبیه سازی بیانگر این موضوع است، عامل بسیار مهمی که در میزان اثرگذاری درختان به عنوان بادشکن استفاده شده، میزان فاصله شکاف درختان می‌باشد. همچنین نوع آرایش درختان یعنی به صورت دو ردیف درمیان، در مقایسه با نوع آرایش

2- Bitog J.P

یک ردیف و یا دو ردیف، میزان حداکثر تأثیر در کاهش سرعت باد را دارا می‌باشد. گیننوییس و همکاران در سال ۲۰۱۵ با استفاده از مدل تحلیلی ترکیبی CFD طراحی نوعی پنل بادشکن که از تکیه گاه الاستیک برخوردار بودند پرداختند. نتایج بدست آمده را با پنل‌هایی که از تکیه گاه گیردار استفاده شده بودند، مقایسه کردند و دریافتند که پنل های دارای تکیه گاه الاستیک، نیروهای باد و تنش های حاصله از باد بر روی بادشکن را به اندازه‌ی قابل توجهی کاهش داده است. یکی دیگر از راه‌های کاهش تبخیر استفاده از انواع پوشش‌ها از جمله پوشش‌های شناور و معلق می‌باشند. پوشش‌ها شناور شامل مدولار مانند Aqua Cap (نوعی پوشش گرد گنبدی شکل) و مسطح مانند E-VapCap (یک نوع پوشش ورقه ای) بر روی آب شناور بوده و با انعکاس بخشی از انرژی تابش خورشیدی و همچنین ممانعت از خروج بخار آب از سطح آب، باعث کاهش تبخیر می‌شوند. پوشش‌های معلق به پوشش‌هایی گفته می‌شود که بر روی سطح آب به صورت معلق نصب می‌شوند. نوع این پوشش‌ها می‌توانند متخلخل و یا از پلاستیک‌های غیر قابل نفوذ باشند. پوشش‌های معلق، باعث کاهش میزان تبخیر توسط مسدود کردن تابش خورشیدی و کاهش میزان باد روی سطح آب می‌شود، در نتیجه باعث کاهش ورود انرژی حرارتی به سطح آب مخزن می‌شود که به نوبه‌ی خود باعث کاهش دمای سطح آب و پتانسیل تبخیر می‌شود. برخلاف پوشش‌های معلق، پوشش‌های شناور توسط خود آب حمایت می‌شوند. پوشش مدولار عمدتاً آب را نمی‌پوشانند و اجازه می‌دهد آب از طریق شکاف‌های موجود (وجود این شکاف‌ها بین هر یک از ماژول‌هایی که به عنوان پوشش شناور قرار گرفته‌اند اجازه می‌دهند که بخش‌های آب سطحی به طور مستقیم در معرض اتمسفر قرار گیرند) تبخیر شود. پوشش‌های معلق و شناور دارای پتانسیل زیادی در کاهش میزان تبخیر از طریق کاهش مصرف انرژی می‌باشند. نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که اگر در سد Wivenhoe (بر روی رود بریزبن، کوئینزلند، در جنوب استرالیا قرار گرفته است) به طور کامل پوشیده شود، بازده سالیانه کاهش تبخیر برای پوشش‌های معلق ۷۶ درصد و برای پوشش‌های شناور ۶۸ درصد خواهد بود.

امروزه، بدلیل روند رو به رشد تولید انرژی‌های فسیلی و تولید انرژی برق به روش‌های سنتی، به همین منظور یکی از امیدوار کننده‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، استفاده از انرژی خورشیدی است. انرژی خورشیدی می‌تواند کیفیت زندگی را بهبود بخشد و وابستگی به انرژی‌های سنتی را که منبع مهمی در آلودکردن و گرم شدن کره زمین می‌باشند، را کاهش دهد. صفحات خورشیدی دستگاه‌های رایج برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی هستند. برای تعادل بین پایداری و انعطاف پذیری، برآورد دقیق از بارهای باد برای صفحات خورشیدی، ضروری است. استفاده از فتوولتائیک به عنوان یک منبع انرژی تجدید پذیر نوظهور موجب شده تا نگرانی‌هایی از جمله

هزینه‌های اضافی برای سیستم برق به علت متغیر بودن خروجی به کمترین میزان خود برسد. مهمترین راهکار برای کاهش هزینه‌ها، میتواند تغییرات زاویه صفحات خورشیدی در مکانهای مختلف باشد. به طور خاص زاویه افقی و عمودی می‌توانند بر میزان تولید اثر بگذارند. جایانتا دب مندل^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۷ به پژوهش درباره تاثیرگرایش آرایه و جهت‌گیری بر عملکرد یک شبکه فوتوولتاییک متصل به شبکه پرداختند. تاثیر جهت‌گیری سطح پنل‌ها و تمایل به عملکرد سیستم شبکه در شرایط اقلیمی دریایی با استفاده از نرم افزار TRANSYS شبیه سازی شد. حداکثر خروجی صفحات به صورت سالانه، فصلی و ماهانه برای زوایای افقی و عمودی تعیین گردید و دریافتند که حداکثر خروجی برای زاویه عمودی صفحات خورشیدی تحت زاویه ۳۰ درجه به سمت جنوب و حداقل خروجی برای زاویه عمودی ۹۰ درجه در جهت شرق یا غرب به نسبت جنوب بوده است. زاویه عمودی بهینه برای به حداکثر رساندن خروجی بین ۱۰ تا ۷۰ درجه متغیر بوده و میزان تولید نیرو هر چه از سمت جنوب به سمت شرق می‌رود از ۹ درصد به ۴۲/۵ درصد کاهش تولید انرژی خواهند داشت. مهرداد شادمان همکارانش در سال ۲۰۰۹ به ارزیابی میزان نیروی باد بر روی زوایای مختلف صفحات خورشیدی با استفاده از شبه سازی CFD پرداختند. با استفاده از عدد رینولدز در شبیه سازی جهت‌های مختلف زاویه‌های شیب و آزیموت دریافتند که پنل‌های پایینی در یک صف، در شرایط بارگذاری بحرانی هستند. اسچوینگشاکي^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۳ به تاثیر دما بر روی پنل‌های خورشیدی پرداختند. سپس با بررسی اثر خنک کننده باد بر روی مقدار راندمان صفحات خورشیدی دریافتند که سلولهای خورشیدی از اثر باد بسیار تاثیر می‌پذیرند. بنابراین این نتیجه حاصل شد که استفاده از داده‌های باد در فرمول‌ها، باعث بهبود بخشیدن روشهای استاندارد خواهند شد. نوری گگمن و همکاران در سال ۲۰۱۶ به بررسی اثر خنک کننده باد بر روی صفحات خورشیدی در مناطق باد خیز پرداختند. آنها تاثیر مثبت باد را در خنک کردن صفحات خورشیدی ثابت کردند و اذعان داشتند که در صورت نادیده گرفتن حدود ۳.۵ درصد انرژی سالانه کاهش می‌یابد. بنابراین این تیم تحقیقاتی تاکید بسیار بر روی اثر باد بر میزان خروجی داشتند. آلوکسهاو و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی نیروگاه فتوولتاییک شناور تحقیقاتی انجام دادند. آنها بر این باور بودند که فناوری شناور کردن صفحات خورشیدی یک گام نوآورانه است، زیرا میزان تولید انرژی صفحات خورشیدی در مقایسه با نصب پنل‌های خورشیدی بر روی زمین متفاوت است. نتایج نشان می‌دهد که راندمان نیروگاه شناور خورشیدی ۱۱ درصد بالاتر رفته و میزان تبخیر تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد، در صورتی که سرمایه‌گذاری نیروگاه خورشیدی شناور ۱/۲ درصد بیشتر از نیروگاه خورشیدی

1- Schwingshackla.C

معمولی خواهد بود. ترور هک و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی بهینه سازی قدرت و جرم صفحات خورشیدی هیبریدی و ژنراتورهای حرارتی الکتریکی پرداختند. این گروه با استفاده از ژنراتورهای ترمودینامیکی (TEG) که به دلیل بی صدا بودن و پاک بودن، به عنوان یک منبع برق الکتریکی که در بسیاری از کاربردهای زمینی استفاده شده مورد توجه قرار گرفته‌اند دریافتند که سیستم بهینه PV/TEG کارایی بهتری دارند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک NSGA-2 در طراحی سیستم TEG که به منظور خنک کردن صفحات خورشیدی صورت گرفته، توان الکتریکی بالاتری خواهند داشت. یکی از عوامل محیطی که بر روی میزان راندمان صفحات تاثیر می‌گذارد گرد و غبار است. فاردیلا مهدیزیهیدی و همکاران در سال ۲۰۱۶ بر روی علت و چگونگی میزان تاثیر منفی گرد و غبار بر روی صفحات خورشیدی پرداختند. گرد و غبار می‌تواند بر روی کارایی یک پنل تاثیر بگذارد یعنی با ایجاد آسیب‌های فیزیکی، از بین بردن تابش خورشیدی و افزایش درجه حرارت که همه اینها منجر به تغییر ویژگی‌های الکتریکی صفحات شوند، تاثیرگذار باشند. میزان تخریب به طور عمده به تراکم گرد و غبار بستگی دارد. تجمع ۲۰ گرم بر مترمربع گرد و غبار بر روی جریان الکتریکی کوتاه، جریان ولتاژ و بازدهی صفحات به ترتیب به میزان ۱۵-۲۱٪، ۲-۶٪، ۱۵-۳۵٪ را کاهش می‌دهند.

ژیجون پنگ و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی خنک کردن صفحات خورشیدی جهت بهینه سازی راندمان انرژی تحقیقاتی انجام داده‌اند. دریافتند که میزان حرارت، نقش بسیار مهمی در خروجی و کارایی برق دارد. آنها با استفاده از یک سیستم خنک کننده به منظور خنک کردن صفحات خورشیدی استفاده کرده و به افزایش ۳۵ درصدی راندمان دست یافتند. تاباودا و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی سیستم گرمایش خورشیدی و پوشش شناور فوتولتائیک به منظور کاهش تبخیر، بوسیله‌ی نتایج تجربی و مدل‌سازی تحقیقاتی انجام دادند. با ایجاد یک حوضچه همراه با پوشش شناور (صفحات خورشیدی) برای کاهش تبخیر، که به میزان ۹۰ درصد کاهش تبخیر تحت زاویه ۰ درجه دست یافتند و همچنین سلولهای فوتولتائیک به عنوان نوعی پوشش شناور استفاده شده بودند، به توانایی تولید تا ۶۸ وات بر متر مکعب برق دست یافتند.

استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر راه‌حل مناسبی برای غلبه بر مشکل وجود گازهای گلخانه‌ای است. با توجه به این که منابع سوخت‌های فسیلی رو به کاهش است و گرایش برای بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر بیشتر شده است، اخیراً پیشرفت زیادی در خصوص استفاده از انرژی باد حاصل شده است.

کاویانی (۱۳۷۴) ابتدا ساختار، عملکرد و کاربرد توربین‌های بادی را مورد ارزیابی قرار داد و سپس به پتانسیل-سنجی توان باد و امکان احداث و بهره‌برداری اقتصادی از توربین‌های بادی در چندین منطقه از کشور پرداخت.

جهت برآورد و ارزیابی انرژی باد در سطح کشور، ابتدا آمار ۵ ساله باد مربوط به ۶۰ ایستگاه همدیدی در سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۸۵ مورد تحلیل آماری قرار گرفت. نتایج نشان داد که به طور کلی بین ایستگاه‌های کشور، ایستگاه زابل به دلیل سرعت بالای باد از بهترین شرایط احداث نیروگاه بادی برخوردار است. پس از ایستگاه زابل، ایستگاه جاسک در رتبه دوم قرار می‌گیرد و ایستگاه بندرلنگه و جزیره کیش به ترتیب رتبه سوم و چهارم را به خود اختصاص می‌دهند.

گندمکار (۱۳۸۸) به مطالعه آمار سرعت و جهت باد طی یک دوره ۱۰ ساله پرداخت. هدف از این مطالعه شناسایی مناطق بادخیز کشور جهت استفاده از انرژی باد برای تولید برق بادی بود. به همین منظور آمار سه ساعته سرعت و جهت باد در ۱۲۰ ایستگاه همدیدی کشور مورد بررسی قرار گرفت. مطابق نتایج، ایستگاه منجیل دارای بیشترین میانگین سرعت باد در سال با سرعت ۶.۲۵ متر بر ثانیه می‌باشد و ایستگاه زابل پس از آن با سرعت ۶ متر بر ثانیه در رتبه دوم قرار می‌گیرد.

آذری و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی آمار همدیدی ایستگاه‌های استان کرمانشاه و ارزیابی پتانسیل انرژی باد جهت تعیین محل مناسب قرارگیری توربین‌های بادی پرداختند. در گام اول اطلاعات طولانی مدت سرعت و جهت باد در بازه‌های زمانی ۳ ساعته طی یک دوره آماری ۱۱ تا ۲۵ ساله مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج، ایستگاه روانسر از شرایط مناسبی جهت احداث نیروگاه بادی برخوردار است و سرعت باد در این منطقه در بازه سرعت لازم جهت شروع به کار و توقف توربین‌های بادی قرار دارد.

باقری‌نژاد و میرزایی (۱۳۹۱) به بررسی محل مناسب قرارگیری توربین‌های بادی در میان چند منطقه پرداختند. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی^۱ جهت مکان‌یابی استفاده شد. پس از وزن‌دهی معیارها، سرعت وزش باد با بیشترین امتیاز برابر با ۴۷/۲ به عنوان مهم‌ترین معیار برای انتخاب محل مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی باد شناسایی شد. مقایسه متناوب نقاط مختلف جهت ۳۹/۷ به عنوان بهترین مکان جهت بهره‌برداری از انرژی باد انتخاب می‌شود. خاش، خواف و هرزویل به ترتیب پس از تپه چرندق اولویت‌بندی شدند.

محمدی و همکاران (۱۳۹۱) به مطالعه وضعیت باد استان کرمانشاه با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های همدیدی این استان پرداختند. به این منظور اطلاعات ۳ ساعته سرعت و سمت باد ایستگاه‌های همدیدی منطقه در طی سال‌های ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۶ مورد بررسی قرار گرفت. برای ارزیابی داده‌ها از تابع توزیع احتمال ویبول^۲ استفاده شد.

1- Analytic Hierarchy Process

2- Weibull

در نهایت مناطق مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی باد تعیین شدند و ایستگاه روانسر به عنوان بهترین مکان جهت نصب توربین بادی انتخاب شد. پس از آن سرپل ذهاب و کنگاور در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند. گردونی و همکاران (۱۳۹۱) به پتانسیل سنجی احداث نیروگاه بادی به ظرفیت نامی ۳۹ مگاوات در ناحیه معصوم-آباد بینالود، واقع در استان خراسان رضوی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. این پژوهش شامل مطالعه و بررسی پتانسیل باد و نحوه قرارگیری توربین‌های بادی می‌باشد. به این منظور داده‌های باد ایستگاه بادسنجی بینالود طی یک دوره ۳ ساله مورد ارزیابی قرار گرفت و وارد نرم‌افزار Windsim شد. طبق نتایج بدست آمده و با توجه به کلاس بادی منطقه، ۲۶ عدد توربین ۱.۵ مگاواتی جهت استحصال انرژی انتخاب گردید. همچنین مقدار انرژی تولیدی سالانه برای کل نیروگاه بر اساس مدل ویبول، ۱۴۳۵۵۱ مگاوات ساعت در سال تخمین زده شد.

امیدوار و دهقان طرزجانی (۱۳۹۱) به ارزیابی وضعیت باد جهت مکان‌یابی محل مناسب نصب توربین‌های بادی در استان یزد پرداختند. به این منظور اطلاعات باد مربوط به ایستگاه‌های همدیدی استان را با فاصله زمانی ۳ ساعته و در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین طی یک دوره ۱۰ ساله مورد بررسی قرار دادند. ایستگاه‌های مورد مطالعه شامل ایستگاه همدیدی رباط پشت بادام، مرودست، بافق، طبس و یزد می‌باشد. طبق نتایج، از میان ایستگاه‌های حاضر، ایستگاه همدیدی مروست دارای موقعیت مناسبی جهت نصب توربین بادی و بهره‌برداری از انرژی باد می‌باشد. همچنین می‌توان تحت شرایطی از ایستگاه همدیدی یزد نیز جهت استفاده از انرژی باد بهره برد؛ به این صورت که از توربین‌هایی استفاده شود که سرعت شروع به کار آن‌ها ۲/۳۲ متر بر ثانیه و بیشتر و دارای ۵۰ متر ارتفاع محور باشند.

مینائیان و همکاران (۱۳۹۲) به ارزیابی وضعیت باد استان سیستان و بلوچستان در ۳ ایستگاه چابهار، دهک و دلگان پرداختند. در این پژوهش اطلاعات باد مورد نیاز از ایستگاه‌های بادسنجی این مناطق در طی ۱ سال در سه ارتفاع ۱۰، ۳۰ و ۴۰ متری از سطح زمین و هر ۱۰ دقیقه یک بار برداشته شده است. طبق نتایج هر ۳ ایستگاه از پتانسیل مناسبی جهت نصب نیروگاه بادی برخوردار هستند. همچنین در ادامه از میان ۶ توربین با توان‌های خروجی ۱ تا ۱۰۰ کیلووات، توربین‌های بادی ۱۰ کیلوواتی با ۴۰ متر ارتفاع برای هر سه منطقه به عنوان توربین بادی بهینه و اقتصادی انتخاب گردید.

نکوع‌آمال کرمانی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی وضعیت باد استان هرمزگان در طی یک دوره آماری ۱۰ ساله (۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲) پرداختند. جهت ارزیابی پتانسیل انرژی باد داده‌های مورد نظر در بازه زمانی ۳ ساعته و در

ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین از ایستگاه‌های همدیدی قشم فرودگاهی، بندرعباس، کیش، ابوموسی، لنگه، بشاگرد، جاسک، لاوان، پارسیان، سیری قشم دریایی، رودان و بستک برداشت شدند. در نهایت، نقشه منطقه‌بندی پتانسیل انرژی باد با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS. تهیه و نواحی مناسب جهت نصب توربین بادی مطابق جدول طبقه‌بندی سایت‌های بادی آمریکا در استان رتبه‌بندی شدند. طبق نتایج، ایستگاه‌های کیش، ابوموسی، جاسک، لاوان، سیری، رودان، قشم فرودگاهی، لنگه، جهت احداث نیروگاه بادی و بهره‌برداری از انرژی باد مناسب هستند. عزیزی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی محل مناسب احداث نیروگاه بادی در استان اردبیل پرداختند. به این منظور با در نظر گرفتن معیارهای تاثیرگذار در مکان‌یابی، به روش تحلیل شبکه و تحلیل سلسله مراتب فازی، معیارها و زیرمعیارها وزن‌دهی شدند. مطابق نتایج، محل مناسب قرارگیری نیروگاه بادی نواحی شرق شهرستان اردبیل معرفی شد.

قدسی و همکاران (۱۳۹۴) جهت تعیین مکان مناسب قرارگیری توربین بادی بر روی بام یک ساختمان دو طبقه، به شبیه‌سازی جریان باد پرداختند. شبیه‌سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی در حالت ۳ بعدی انجام گرفت و از مدل آشفتگی $k-\omega$ RNG استفاده گردید. طبق نتایج، برای نصب توربین بادی، ۶ نقطه اقتصادی و مناسب انتخاب شدند و این نقاط بر روی نقشه بام ساختمان تعیین شد. همچنین طبق نتایج شبیه‌سازی، با توجه به اینکه بر روی بام موانعی مانند بادگیر، نورگیر و کلکتورهای خورشیدی قرار دارد، این موانع نه تنها موجب کاهش سرعت باد نمی‌شود بلکه برخی از آن‌ها بر روی سرعت باد تاثیر مثبت داشته و باعث افزایش سرعت باد می‌شوند.

فریدونی و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی جریان باد در چهار منطقه از شهر قزوین که در معرض بادهای غالب قرار داشتند پرداختند. هدف از این پژوهش که به کمک دینامیک سیالات محاسباتی انجام گرفت، بررسی رفتار و سرعت جریان باد پس از برخورد به ساختمان‌ها و عبور از کوچه‌های باریک بود. نتایج شبیه‌سازی جریان باد نشان داد که ساخت منازل مسکونی با چیدمان نادرست و یا در جهت نادرست با توجه به شرایط باد غالب و دینامیک سیال، باعث اختلال در شرایط آسایش، امنیت و سلامت ساکنین می‌گردد. این عوامل به صورت جت جریان، جریان‌های گردابه‌ای پشت ساختمان، تله جریان و دنباله‌های جریان هستند که بر نمای ساختمان تأثیر منفی گذاشته یا باعث آلودگی صوتی و پخش شدن ریزگردها می‌شوند. همچنین ایجاد این عوامل در پیاده‌رو می‌تواند برای عابرین مشکل‌ساز شود. با ایجاد موانعی مانند درختان و یا چیدمان صحیح ساختمان‌ها و ایجاد معابر با عرض مناسب با توجه به شبیه‌سازی‌های عددی جریان، می‌توان از بروز این مشکلات جلوگیری کرد.

چمانه‌پور و همکاران (۱۳۹۴) با استفاده از داده‌های سرعت باد ایستگاه‌های هواشناسی سطح استان خراسان- جنوبی و با به‌کارگیری تابع توزیع ویبول، مقدار سرعت باد در یک دوره ۵۰ ساله را محاسبه کردند. سپس با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ^۱ نقشه پتانسیل انرژی بادی استان خراسان جنوبی، در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد. در انتها، نقشه نهایی در ۷ کلاس نامناسب، خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب، خیلی خوب و عالی طبقه‌بندی گردید. بر اساس نتایج، استان خراسان جنوبی از پتانسیل لازم به منظور استفاده از انرژی بادی برخوردار می‌باشد. بهترین منطقه به منظور احداث مزارع بادی، بخش خوسف استان است.

نادری و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی جریان باد در منطقه بسطام استان سمنان با استفاده از مدل هواشناسی WRF و مدل دینامیک سیالات محاسباتی و ترکیب کردن آن دو بر روی سطح زمین با عوارض طبیعی پرداختند و نتایج حاصل از آن را با اطلاعات دکل بادسنجی نصب شده در منطقه مورد مطالعه مقایسه کردند. رسم و شبکه بندی دامنه توسط نرم‌افزار GAMBIT صورت گرفت و برای مرز ورودی از دو پروفیل سرعت لگاریتمی و توانی با مدل استاندارد $k-\epsilon$ با ثوابت پیش‌فرض و اصلاح شده استفاده گردید. نتایج نشان داد که استفاده از مدل استاندارد با ثوابت اصلاح شده تطابق بیشتری با داده‌های خروجی دکل باد دارد.

کردیان همدانی و همکاران (۱۳۹۵) به امکان‌سنجی نصب توربین بادی در شهرستان بهار استان همدان پرداختند. به این منظور به کمک تابع ویبول مناسب، سرعت نامی و توان نامی نیروگاه بادی را محاسبه نمودند و براساس روابط، تعداد توربین‌های قابل نصب در هر ایستگاه را محاسبه کردند.

تناکیان و همکاران (۱۳۹۷) به تعیین معیارهای مؤثر جهت احداث نیروگاه‌های بادی پرداختند. همچنین ارزیابی شایستگی دشت سیستان با توجه به معیارهای انجام شده جهت بهره‌برداری از انرژی باد و اهمیت احداث نیروگاه بادی مورد بررسی آنان قرار گرفت. در این تحقیق، معیارهای مهم جهت احداث نیروگاه بادی از طریق پرسشنامه و نظرات گروه کارشناسان مشخص گردید. با توجه به نتایج، معیار آب و هوایی از معیارهای مهم جهت احداث نیروگاه بادی است. منطقه سیستان با دارا بودن دو ویژگی مهم آب و هوایی (بادهای مداوم، تند و جهت‌بادهای غالب شمالی) برای احداث نیروگاه بادی مناسب می‌باشد. به علاوه، منطقه سیستان به عنوان منطقه‌ای با شایستگی و پتانسیل بالا جهت نصب نیروگاه بادی شناسایی شد.

تقی‌زاده طوسی و همکاران (۱۳۹۷) جهت پتانسیل‌سنجی راه‌اندازی نیروگاه بادی در شهرستان تربت حیدریه و مناطق اطراف آن، به مقایسه سرعت وزش باد در دو شهرستان نیشابور و تربت حیدریه با توجه به وجود نیروگاه

1- Interpolation Kriging

بادی در شهرستان نیشابور پرداختند. به همین دلیل، در طول ۱۱ سال منحنی نمودار سرعت باد برای شهرستان-های نیشابور و تربت حیدریه رسم و مقایسه شد و در مورد تاثیر راه‌اندازی نیروگاه بادی بر توسعه منطقه مطالعاتی صورت گرفت. طبق نتایج، شهرستان تربت حیدریه و مناطقی که در اطراف آن واقع شده‌اند، جهت نصب توربین-های بادی مناسب می‌باشند؛ چرا که طبق آمار سرعت وزش باد در شهرستان تربت حیدریه همیشه از سرعت وزش باد در شهرستان نیشابور بیشتر می‌باشد.

برخورداری و همکاران (۱۳۹۸) امکان احداث نیروگاه بادی با توان ۵۰ مگاوات در شهرستان چابهار را مورد بررسی قرار دادند. جهت تحلیل فنی و اقتصادی و همچنین بررسی آثار زیست‌محیطی این نیروگاه، از نرم‌افزار RET Screen استفاده شد. نتایج بدست آمده حاکی از نرخ بازگشت سرمایه داخلی ۲۳/۲ درصد برای پروژه مورد نظر می‌باشد که بیانگر اقتصادی بودن طرح است. همچنین، انجام آنالیزهای زیست‌محیطی نشان می‌دهد که در اثر احداث این نیروگاه سالانه از ورود ۶۶.۵۸۴ تن گاز دی‌اکسیدکربن به اتمسفر جلوگیری می‌شود.

رضایی و همکاران (۱۳۹۹) به مکان‌یابی محل مناسب قرارگیری توربین‌های بادی در استان سمنان، با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. به این منظور معیارهای موثر جهت مکان‌یابی توربین‌های بادی وزن‌دهی شدند و با توجه به نقشه نهایی، نواحی مناسب جهت قرارگیری نیروگاه بادی مشخص شد. نتایج بدست آمده نشانگر پتانسیل بالای شهرهای دامغان، شمال غرب گرمسار و شرق شاهرود برای احداث نیروگاه بادی می‌باشد. در این پژوهش از میان معیارهای مختلف، معیارهای اقلیمی و جغرافیایی مانند گستردگی و میزان سرعت و تداوم باد به عنوان معیار با اهمیت بسیار زیاد انتخاب شدند.

فراهانی علوی و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی امکان استفاده از انرژی بادی جهت تامین برق مورد نیاز منازل مسکونی در شهرستان نوشهر استان مازندران پرداختند. ارزیابی‌ها بر روی سقف یک ساختمان ۲ طبقه به مساحت ۲۰۰ متر مربع صورت گرفت. طبق بررسی‌های صورت گرفته، سرعت باد باید بالای ۵ متر بر ثانیه باشد تا امکان بهره‌وری از انرژی باد فراهم گردد. با توجه به بررسی اطلاعات موجود در سایت سازمان هواشناسی کشور، در بیشتر روزهای سال می‌توان از انرژی باد در شهرستان نوشهر استفاده نمود. طبق محاسبات، حداکثر توان قابل دستیابی ۰/۶۷ مگاوات برای این ساختمان ارزیابی گردید که می‌تواند در کنار سوخت‌های فسیلی به تامین برق ساختمان کمک کند.

علوی و همکاران (۱۴۰۰) به شبیه‌سازی جریان باد در منطقه وسیعی از شهر شیراز پرداختند. در این پژوهش که به کمک دینامیک سیالات محاسباتی صورت گرفت، الگوی سرعت و فشار باد بر منطقه شهری با توپوگرافی

واقعی در مقیاس بزرگ بررسی شد و به منظور صحت‌سنجی، نتایج حاصل از آن با داده‌های تجربی در شرایط واقعی مقایسه گردید. نتایج نشان داد که عواملی همچون نوع زمین و ویژگی‌های توپوگرافی بر پروفیل سرعت و جهت باد تأثیرگذار است. همچنین از آنجایی که جریان باد تأثیر زیادی بر کیفیت هوا و سلامتی انسان دارد، شبیه‌سازی جریان باد ابزاری مهم برای پیش‌بینی سرعت و فشار باد برای برنامه‌ریزی شهری و بهداشت عمومی است. بنابراین توصیه می‌شود تأثیر توپوگرافی‌ها و موانع مختلف در توپوگرافی واقعی در مقیاس بزرگ بر توزیع جریان باد در نظر گرفته شود.

اسکیدمور و هاگن^۱ (۱۹۶۹) بر روی بادشکن‌هایی با تخلخل ۶۰، ۴۰ و صفر درصد تحقیقاتی انجام دادند و دریافتند زمانی که تخلخل مانع کاهش پیدا می‌کند، مینیمم سرعت باد به آن مانع نزدیک می‌شود. حداقل سرعت باد در تخلخل ۶۰ درصد و در ΔH (ارتفاع بادشکن) شکل می‌گیرد درحالی‌که با تخلخل صفر و ۴۰ درصد حداقل سرعت به ترتیب در $\frac{3}{5}H$ و H رخ می‌دهد. به علاوه درصد تخلخل بر روی تلاطم هوا تأثیرگذار است. به این صورت که بعد از رسیدن سرعت باد به یک مینیمم برای تخلخل ۶۰ درصد، به تدریج به شرایط میدان باز بر حسب فاصله از مانع افزایش پیدا می‌کند. اما این حالت برای موارد با تخلخل کمتر صادق نیست.

ویکس^۲ و همکاران (۲۰۱۰) به مدل‌سازی جریان باد بر روی تپه‌های شنی خلیج میسون در ساحل غربی جزیره استوارت واقع در نیوزلند پرداختند. شبیه‌سازی منطقه مورد مطالعه به کمک دینامیک سیالات محاسباتی و در حالت دوبعدی انجام گرفت. در این پژوهش، سرعت و رفتار جریان باد در ناحیه ساحلی به خصوص مکان‌هایی که پوشش گیاهی و توپوگرافی در حال تغییر دارند، به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی در منطقه و درک عواقب اقداماتی نظیر کاشت یا حذف پوشش گیاهی و یا پیش‌بینی انتقال رسوب، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که توپوگرافی منطقه تأثیر زیادی بر جریان باد دارد و دینامیک سیالات محاسباتی توانایی کمک به مدیریت مناطق ساحلی را دارد ولی باید با دقت مورد استفاده قرار گیرد.

لدو^۳ و همکاران (۲۰۱۱) به شبیه‌سازی جریان باد به کمک دینامیک سیالات محاسباتی پرداختند. شبیه‌سازی باد بر روی سقف‌های مسطح و هرمی تحت سه زاویه ۰، ۴۵ و ۹۰ درجه و در حالت سه بعدی صورت گرفت. هدف این تحقیق مقایسه بین خروجی‌های سرعت و انتخاب حالت بهینه جهت نصب توربین بادی کوچک بود. طبق نتایج تمامی نقاط سقف مسطح مکان مناسبی برای نصب توربین بادی است و برای سقف هرمی فقط موقعیت

1- Skidmore and Hagen
1- Wakes
2- Ledo

گوشه به عنوان محل نصب توصیه می‌شود. همچنین قدرت باد موجود در بالای سقف مسطح به طور مداوم بسیار بالاتر از سقف هرمی است و برای نصب توربین بادی مناسب‌تر می‌باشد.

حمودا^۱ (۲۰۱۲) به امکان‌سنجی احداث نیروگاه بادی با استفاده از تابع توزیع ویبول در قاهره پرداخت. به این منظور، داده‌های نیم ساعته سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری برای یک دوره کامل یک ساله (۲۰۰۹) را مورد بررسی قرار داد. در نهایت طبق نتایج، اگرچه شهر قاهره به جهت پتانسیل انرژی باد در رده متوسط قرار می‌گیرد، اما احداث نیروگاه بادی در این منطقه جهت تامین برق مستقل از شبکه سراسری برق مصر، اقدام موثر و مفیدی خواهد بود.

عبدالال^۲ و همکاران (۲۰۱۸) به مدل‌سازی جریان باد اطراف یک خانه ویلایی با در نظر گرفتن ویژگی‌های زمین به کمک دینامیک سیالات محاسباتی در حالت سه بعدی پرداختند. آنان در مطالعه خود دریافتند که خصوصیات توپوگرافی بر سرعت و جریانات باد تأثیرگذار است و وزش بادهای ناپایدار تهدید قابل توجهی برای سیستم‌های سازه‌ای است.

مقدار آبی که در اثر تبخیر از مخازن آب که سطح نسبتاً وسیعی دارند تلف می‌شود، گاهی بیشتر از مقدار آبی است که برای تولید محصول به کار می‌رود. بنابراین بایستی سیاست‌ها و راهبردهای کارا در نگهداری از منابع آب همراه با پیش‌بینی فناوری‌های مورد نیاز به منظور مقابله با این امر مورد توجه قرار گیرد. از جمله این راهکارها می‌توان به کاهش تلفات تبخیر از سطح مخازن آبی با به‌کارگیری روش‌های فیزیکی و شیمیایی اشاره کرد.

تا کنون مطالعات گوناگونی در زمینه پتانسیل روش‌های کاهش تبخیر از سطح آب انجام شده است. نتایج این مطالعات نشان‌دهنده این است که از میان این روش‌ها، استفاده از پوشش‌های شناور، دارای بیشترین تاثیر در کاهش میزان تبخیر بوده است. این پوشش‌ها با کاهش انرژی ورودی خورشید به توده آبی، به دام انداختن بخار آب و کاهش سرعت باد در سطح آب نقش موثری در کاهش میزان تبخیر خواهند داشت.

اکبرزاده و همکاران (۱۹۹۵) برای کاهش میزان تبخیر از سطح آب، پوشش‌های شناور آکواکپ^۳ را پیشنهاد دادند. آن‌ها بیان کردند که این نوع پوشش علاوه بر این که اجازه ورود اکسیژن نامحلول و تابش خورشید به آب را می‌دهند، می‌توانند میزان تبخیر از سطح آب را تا ۶۵/۴ درصد کاهش دهند.

1- Hamouda
2- Abd-Elaal
3-Aquacap

برستون^۱ (۲۰۰۲) بیان کرد چنانچه سامانه آکواکپ از شکل صفحه‌ای به گنبدی تغییر شکل یابد، میزان کارایی این پوشش تا ۸۹ درصد افزایش می‌یابد.

کریگ^۲ و همکاران (۲۰۰۵) در طی مطالعاتی تاثیر پوشش ای-وپ-کپ^۳ را بر کاهش تبخیر از سطح آب بررسی کردند. طبق نتایج به دست آمده میزان کارایی این پوشش‌ها تا ۹۵ درصد گزارش شد.

آلوارز^۴ و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر پوشش‌های پلی‌اتیلنی تک لایه و دو لایه را بر کاهش تبخیر از سطح آب مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها در طول فصل تابستان آزمایشاتی را بر روی دو تشتک تبخیر طبقه A در کارتاخنا^۵ اسپانیا انجام دادند. نتایج این آزمایشات نشان داد که پوشش‌های سایه انداز تک لایه و دو لایه به ترتیب میزان تبخیر را ۷۵ و ۸۳ درصد کاهش داده و استفاده از این پوشش‌ها برای جلوگیری از تبخیر در جنوب اسپانیا از نظر اقتصادی نیز توجیه‌پذیر می‌باشد.

بارنز^۶ و همکاران (۲۰۰۷) مطالعاتی را در مدت دو سال بر روی پوشش‌های سوپراسپین^۷ در چندین محل انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که چنانچه مواد مغذی کمی وارد آب شود، این پوشش‌ها علاوه بر این که رشد جلبک‌ها را کاهش می‌دهند، می‌توانند میزان تبخیر از سطح آب را نیز تا ۹۰ درصد کاهش دهند.

پیری و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی در شرایط آزمایشگاهی اثر پوشش فیزیکی از جنس پلی‌استایرن را بر کاهش تبخیر از سطح آب بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از پلی‌استایرن با ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر، می‌توان میزان تبخیر را ۳۰ تا ۵۰ درصد کاهش داد. با افزایش ضخامت تا ۵ سانتی‌متر تاثیر قابل توجهی در روند کاهش تبخیر مشاهده نشد، بنابراین از نظر اقتصادی استفاده از ضخامت کمتر به صرفه‌تر است. با پوشش ۸۰ درصد از سطح آب توسط پلی‌استایرن میزان تبخیر به طور قابل توجهی کاهش یافت، اما رشد جلبک‌ها افزایش پیدا کرد. بنابراین استفاده از پوشش‌های ۴۰ و ۶۰ درصدی از سطح آب از نظر اقتصادی و اثرات زیستی و کیفیتی دارای توجیه می‌باشد.

افخمی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی سعی کردند تا با استفاده از لاستیک‌های مستعمل طرحی دوجانبه جهت جلوگیری از ورود ضایعات به محیط زیست و کاهش تبخیر از سطوح آبی ارائه دهند. به همین منظور نوعی

-
- 1- Bureston
 - 2- Craig
 - 3- EVapcap
 - 4- Alvarez
 - 5- Cartagena
 - 6- Barnes
 - 7- Superspan

پوشش فیزیکی کاهنده تبخیر با نام یونورینگ^۱ طراحی و آماده گردید و سپس کارآیی پوشش مذکور در کاهش میزان تبخیر با احداث دو حوضچه ۳ متر مربعی در مجاورت سد رسوب‌گیر مجتمع مس سرچشمه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از سطح دو حوضچه در مدت ۲ ماه و در فاصله زمانی ۳ روز، کارآیی حلقه‌های یونورینگ در کاهش میزان تبخیر را به طور متوسط ۷۸/۳۵ درصد برآورد نموده است.

هاشمی منفرد و همکاران (۱۳۹۶) استفاده از دیوارهای بادشکن را به عنوان روشی برای کنترل تبخیر به منظور کاهش تبخیر در منطقه چاه‌نیمه سیستان مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که در صورت طراحی بادشکن‌هایی به ارتفاع ۲ متر که فاصله آن‌ها ۴۸ متر است و با زاویه ۹۰ درجه در جهت شمال‌غربی قرار گرفته اند، می‌توان به طور موثر تبخیر در منطقه را کاهش داد. با توجه به نتایج به‌دست آمده اگر بخواهیم فقط از بادشکن برای کاهش تبخیر در سطح چاه‌نیمه استفاده کنیم باید از ۱۶۰ ردیف بادشکن استفاده شود که طولی برابر با عرض دریاچه دارند.

کریمی و همکاران (۱۴۰۱) طی تحقیقی، اثر ماده فونیزه را بر کاهش تبخیر از سطوح آزاد آب در دانشگاه بوعلی سینا همدان و با دو بار تکرار آزمایش مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از دو تشتک پلاستیکی یکی به عنوان شاهد و دیگری پوشیده شده با حلقه فونیزه به قطر ۵/۶ سانتی متر استفاده شد. نتایج به دست آمده از این تحقیق حاکی از آن بود که ماده فونیزه در جلوگیری از تبخیر موثر بوده و جهت مدیریت تبخیر در منابع آب می‌توان این ماده را مورد استفاده قرار داد.

افخمی و همکاران (۱۳۹۶) سعی کردند تا برای اولین بار کارآیی سه نوع توپ را به عنوان پوشش‌های کاهنده تبخیر بررسی کنند. توپ‌های مورد استفاده که در مکانیسم عمل، اندازه و جنس متفاوت هستند، شامل دو نوع توپ تک‌روزنه و چندروزنه از جنس پلی‌اتیلن با قطر ۸ سانتی‌متر و یک نوع توپ ریز با قطر یک سانتی‌متر و از جنس پلی‌پروپیلن می‌باشد. به منظور بررسی عملکرد این پوشش‌ها در کاهش تبخیر، مخازن کوچک یک متر مربعی در مجاورت سد رسوب‌گیر سرچشمه احداث و کارآیی پوشش‌های نام‌برده با دو تکرار به مدت یک ماه از ۹۵/۰۱/۱۵ تا ۹۵/۰۲/۱۴ بررسی شدند. نتایج به دست آمده نشان داد توپ‌های تک‌روزنه با کارآیی ۶۵/۱ درصد بیشترین سهم را در کاهش تبخیر داشتند، در حالی که توپ‌های چندروزنه و توپ‌های ریز با کارآیی ۶۵/۱ درصد و ۳۸/۸ درصد در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت توپ‌های تک‌روزنه به دلیل زبری

1-Unoring

مناسب در سطح و ثابت ماندن درصد فضاهای خالی در طول زمان، به عنوان بهترین نوع پوشش کاهنده تبخیر در پژوهش حاضر شناسایی شدند.

مظاهری و جهانگیر عابدی کوپایی (۱۳۹۶) به منظور بررسی اثر پوشش‌های شناور در کاهش تبخیر از سطح مخازن آب از سه نوع پوشش (پلی‌کربنات، پلی‌استایرن و پلی‌استایرن با روکش آلومینیوم) بر روی سطح ۳ مخزن آب (با سه تکرار برای هر پوشش) استفاده کردند. تغییرات عمق آب مخازن پوشش‌دار و بدون پوشش در بازه زمانی آذر ۹۳ تا آبان ۹۴ اندازه‌گیری شد. سپس مقادیر تبخیر اندازه‌گیری شده در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در نرم‌افزار آماری ساس^۱ تحلیل شد و مقایسه میانگین آن‌ها در سطح احتمال ۹۹ درصد ($p < 0.01$) و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن^۲ انجام شد. نتایج نشان داد مقدار کاهش تبخیر نسبت به مخزن شاهد برای سه پوشش پلی‌استایرن، پلی‌استایرن با آلومینیوم و پلی‌کربنات به ترتیب ۸۵/۶، ۸۳، ۷۶/۵ درصد می‌باشد. این اعداد نشان‌دهنده عملکرد خوب سه پوشش در کاهش تبخیر از سطح آب می‌باشد.

سپاس‌خواه (۱۳۹۷) به بررسی روش‌های کاهش تبخیر از مخازن سدها پرداخت. طبق نتایج به دست آمده از این تحقیق، که بیشتر بر روی روش‌های شیمیایی و سطوح شناور متمرکز شده است، مشخص شد که استفاده از مواد شیمیایی می‌تواند تا ۴۰ درصد و سطوح شناور تا ۸۰ درصد سبب کاهش تبخیر شود. همچنین تحلیل‌های اقتصادی در این پژوهش نشان داده است که کاهش تبخیر و حفاظت آب با روش‌های ذکر شده می‌تواند با تولید آب از روش شیرین کردن آب شور و تصفیه فاضلاب رقابت کند.

حسن^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی استفاده از مواد بازیافت شده پاک شناور را به صورت منظم در دو منطقه ساحلی و نیمه‌خشک در استرالیا مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج کاهش تبخیر به طور منظمی نسبت به مساحت پوشیده شده افزایش پیدا کرد. تبخیر در حداکثر تراکم‌پذیری قابل دستیابی برای تک‌لایه‌ای از وسایل شناور، در منطقه ساحلی ۴۳٪ و در منطقه نیمه‌خشک ۳۷٪ کاهش پیدا کرد. اثرات تابش خورشیدی، دما، تبخیر و رطوبت نسبی روی میزان تبخیر در هر دو مکان مطالعاتی در ترم‌هایی از دو مدل پنمن^۴ کلاسیک و پنمن فائو^۵ از طریق تطبیق دادن ضرایب کمی تشتک تعیین شد. نتایج نشان داد که مدل پنمن فائو تبخیر از مخزن باز اشاره شده را بهتر تخمین می‌زند.

1- SAS (Statistical Analysis System)

2- Duncan's Multiple Range Test

3- Hassan

4- Penman

5- FAO (Food and Agriculture Organization)

اسد سایر^۱ و همکاران (۲۰۱۷) یک واحد آزمایشگاهی به منظور آزمایش و مشاهده رفتار حوضچه خورشیدی با شوری متغیر (SGSP) قبل و بعد از پوشش دار شدن با لایه نازکی از پارافین، با هدف سرکوب تبخیر، برای مدت ۷۱ روز در ناصریه عراق اجرا کردند. این لایه با موفقیت تبخیر قابل توجهی را که در حوضچه فاقد پوشش مشاهده می شد حذف کرد. نتایج به دست آمده نشان می دهد که اگر بتوان تبخیر را تا حد زیادی سرکوب کرد، تغییرات شوری حوضچه در جذب و ذخیره گرما تقریباً اثری نخواهد داشت. همچنین نتایج نشان داد که دمای محیط، تابش خورشیدی و رطوبت همبستگی معناداری با نرخ تبخیر داشته و اثر آن ها به صورت فصلی متغیر است. با توجه به تحلیل ها مشخص شد که دما تاثیر بیشتری بر تبخیر داشته و اثر تابش خورشیدی ناچیز است.

تابودا^۲ و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی رفتار تجربی یک سیستم گرمایش آب خورشیدی ترکیب شده با سلول های فتولتائیک و پوشش های شناور را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش از دو حوضچه مشابه برای نگهداری آب، یکی گرم شده و دیگری گرم نشده استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده کاهش تبخیر در حوضچه دارای پوشش در مقایسه با حوضچه فاقد پوشش، بیشتر از ۹۰ درصد بود. به علاوه سلول های فتولتائیک جای گذاری شده روی پوشش شناور wh ۶۸ نیروی الکتریکی تولید کردند و میانگین کلی گرمای خورشیدی روزانه آب که در حوضچه اندازه گیری شد برابر با ۴۲۰ بود.

سیلوا^۳ و همکاران (۲۰۱۷) از پوشش های جزئی شفاف جهت بررسی چگونگی اثرات سرکوب تبخیر بر آب و تعادل انرژی در یک حوضچه خورشیدی در مقیاس آزمایشگاهی استفاده کردند. نتایج نشان داد که با افزایش مساحت پوشیده شده مقدار گرما در حوضچه، کمی افزایش می یابد و این نشان دهنده این است که سرکوب تبخیر ظرفیت حوضچه خورشیدی را از نظر ذخیره گرما بهبود می بخشد. آزمایشات انجام شده نشان می دهد که تاثیر دیسک های شناور استفاده شده به صورت پوشش جزئی شناور شفاف به ریشه سوم مساحت نسبی پوشیده شده وابسته است.

الزبای^۴ و همکاران (۲۰۱۷) برای کاهش تبخیر در دو تانک مربعی و مستطیلی از دو پوشش ساده و شطرنجی برگ خرما استفاده کردند. نتایج نشان دهنده برتری پوشش شطرنجی نسبت به پوشش ساده بود. استفاده از پوشش شطرنجی در دو تانک مربعی و مستطیلی شکل به ترتیب کاهش تبخیری در حدود ۲۰ و ۲۴ درصد بیشتر

1- Asaad Sayer
2- Taboada
3-Silva
4- Elsebaie

از پوشش ساده به همراه داشت. همچنین پوشش شطرنجی میزان تلفات تبخیر را در مقایسه با سطح بدون پوشش در حدود ۷۶ درصد کاهش داد.

حقیقی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی توپ‌های پلاستیکی به عنوان روشی برای کاهش تبخیر پرداختند. این آزمایش در مخزن سد لس‌آنجلس و در شرایط خشک‌سالی، در طول مدت یک سال و نیم انجام گرفت. در نتیجه این آزمایش از طریق کاهش تبخیر میزان ۷/۱ میلیون متر مکعب آب ذخیره شد اما در مقابل اثرات زیست‌محیطی نظیر گازهای گلخانه‌ای آزاد شده در فرآیند تولید توپ‌ها و اثرات درازمدت توپ‌ها بر اکولوژی مخزن سد را به دنبال داشت.

پتر لمن^۱ و همکاران (۲۰۱۸) مطالعه‌ای در مقیاس آزمایشگاهی برای برآورد کارایی عناصر شناور در کاهش تلفات تبخیری از مخازن آب انجام دادند. آن‌ها از دو حوض کوچک یکی با پوشش و دیگری فاقد پوشش، استفاده کردند. حوضچه دارای پوشش یک مخزن آب مربعی به مساحت ۱/۴۴ متر مربع و عمق ۰/۱۶ متر بود و دیسک‌های شناور استایروفومی سیاه و سفید رنگ به قطر ۰/۲ متر و ضخامت ۰/۰۲ متر، ۹۱ درصد از سطح آب را پوشانده بود. تاثیر باد و تشعشعات موج کوتاه بر میزان تبخیر از سطح آب با استفاده از یک تونل باد در بالا دست و چهار منبع نور زنون در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که تبخیر از مخزن دارای پوشش نسبت به سطح آب بدون پوشش ۸۰ درصد کاهش یافت، اما تغییر در رنگ پوشش میزان تبخیر را به طور قابل توجهی تغییر نداد.

شلابی^۲ و همکاران (۲۰۲۱) دو آزمایش برای ارزیابی و مقایسه تاثیر پوشش‌های شناور مدولار^۳ و پیوسته^۴ بر میزان تبخیر با تاکید بر تاثیر آن‌ها بر محیط زیست آبی، با تعیین میزان رشد جلبک به عنوان یک شاخص زیست‌محیطی انجام دادند. در آزمایش اول اثر سه نوع پوشش شناور مدولار شامل بطری‌های پلاستیکی آشامیدنی نیمه‌پر از آب (WPB)، بطری‌های پلاستیکی آشامیدنی پر از هوا (A-PB) و دیسک‌های فومی پلی‌استایرن (STF)، بر روی نرخ تبخیر بررسی شد. در آزمایش دوم، به بررسی اثر پوشش‌های کروی سفید بر سرعت تبخیر در مقایسه با سه نوع پوشش شناور پیوسته شامل ورق پلی‌استایرن (STF)، ورق پلاستیکی سفید (WPS) و ورق پلاستیکی سیاه (BPS)، با درصد پوشش (CF)، ۰/۹ و ۰/۹۵ و ۱ پرداخته شد. نتایج نشان داد که پوشش‌های شناور مدولار و پیوسته نرخ تبخیر را در مدت زمان ۲ ماه به ترتیب برای STF، W-PB و A-PB، به میزان ۵۳/۳، ۴۴/۶ و ۴۳

1- Peter Lehman

2-Shalaby

3-Modular Floating Cover (MFC)

4-Continuous Floating Cover (CFC)

درصد کاهش دادند. در آزمایش دوم کمترین میزان تبخیر با استفاده از پوشش‌های شناور پیوسته در $CF=1$ به دست آمد، که این نشان‌دهنده اهمیت CF نسبت به رنگ پوشش است. با این حال در $CF=0/9$ پوشش‌های کروی سفید بازدهی کاهش تبخیر کمتری نسبت به پوشش‌های شناور پیوسته سفید (ورق STF و ورق WPS) و بازدهی بیشتری نسبت به ورق سیاه (BPS) داشتند. که این نشان‌دهنده نقش رنگ در مقابل نوع پوشش در $CF < 1$ است. با توجه به نتایج پوشش‌های شناور پیوسته (CFC) راندمان کاهش تبخیر بالاتری نسبت به پوشش‌های شناور مدولار (MFC) داشتند. بیشترین میزان صرفه‌جویی در آب با استفاده از پوشش‌های پیوسته در $CF=1$ با اثرات منفی شدید بر اکولوژی آب به دست آمد که برای اصلاح این اثرات میزان CF به $0/95$ کاهش یافت.

۳-۲- جمع‌بندی

با توجه به مطالب بیان‌شده مشخص است که تا کنون پژوهش‌های زیادی در زمینه تاثیر پوشش‌های شناور بر کاهش تبخیر از سطح مخازن صورت گرفته اما با توجه به بزرگی ابعاد هندسه و تنظیمات پیچیده در فیزیک مسئله، از نرم‌افزار انسیس-فلوئنت در هیچ یک از این پژوهش‌ها جهت طراحی و مدل‌سازی پوشش شناور استفاده نشده و اکثر این مطالعات در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده است.

در پژوهش حاضر مخزن چاه نیمه چهارم با حضور پوشش فیزیکی در اشکال، میزان تراکم و چینش‌های مختلف و همچنین سرعت‌های باد متفاوت با ابعاد واقعی در نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شد و نتایج مربوط به تبخیر محاسبه گردید. در فصل بعد به ارائه معادلات حاکم بر شبیه‌سازی و همچنین روش‌های حل و شرایط حاکم بر مسئله پرداخته می‌شود.

با توجه به نوآوری‌های بیان‌شده و هدف تحقیق حاضر که در قسمت اول بررسی داده‌های ایستگاه هواشناسی و یافتن رابطه مناسب بین تبخیر با دما، رطوبت و سرعت باد و در قسمت دوم شبیه‌سازی مدل برای یافتن بادشکن و چینش مناسب است، لازم است قبل از شبیه‌سازی ابتدا مفاهیم و معادلات حاکم بر شبیه‌سازی به طور مفصل توضیح داده شوند و سپس روش‌های مختلف حل این معادلات بیان شود. در فصل بعد به طور مفصل معادلات و روش‌های حل آن توضیح داده شده است.

فصل سوم

مواد و روش‌ها و معادلات حاکم

۳-۱- مقدمه

در فصل گذشته، پیشینه تحقیق انجام گرفته در زمینه بادشکن‌ها بیان شد. اما با توجه به هدف‌ها و نوآوری‌های پیش‌رو در این تحقیق، لازم است در مورد معادلات حاکم بر شبیه‌سازی و روش‌های حل این معادلات بحث بیشتری شود. در این فصل نخست تعریف سیال و خواص آن، دینامیک سیالات محاسباتی، نرم افزارهای مورد استفاده و معادلات حاکم بر آنها به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. در پایان فصل نیز در مورد منطقه مورد مطالعه، باد و تاثیر آن بر پهنه ایران در این تحقیق بحث شده است.

۳-۲- تعریف سیال و خواص آن

سیال ماده‌ای است که جاری می‌شود. سیال در برابر تنش برشی هر چقدر هم کوچک هیچ مقاومتی نمی‌کند و به حرکت در می‌آید. تا وقتی تنش برشی وجود داد، سیال تغییر شکل می‌دهد و حرکت ادامه می‌یابد. به عبارت دیگر، سیال ساکن فاقد تنش برشی است. سیالات بر دو نوع مایعات و گازها هستند. مایعات از مولکول‌های نسبتاً نزدیک هم، با نیروهای چسبنده قوی، تشکیل می‌شوند. مایعات به شکل ظرف حاوی خود در می‌آیند، و در میدان گرانشی و شرایط غیر مقید دارای سطح آزاد هستند. گازها از مولکول‌هایی تشکیل می‌شوند که در فاصله نسبتاً دور از هم قرار دارند، و نیروی چسبنده بین آنها ناچیز است. گازها آزادانه منبسط می‌شوند، یک حجم مشخص ندارند، و فاقد سطح آزاد و آثار گرانشی هستند.

۳-۳- طبقه بندی انواع سیال

۳-۳-۱- سیال ایده‌آل و سیال حقیقی

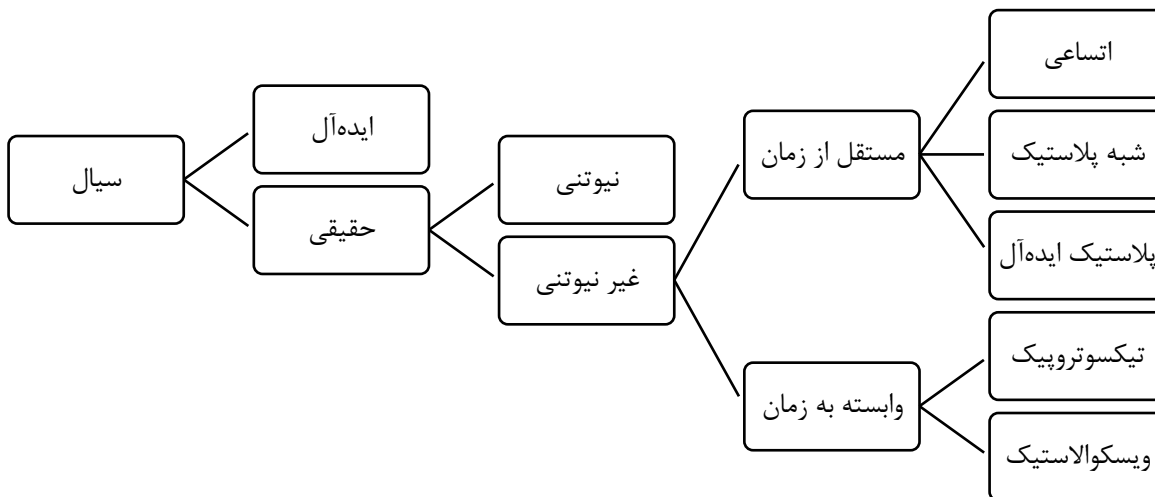
سیال ایده‌آل بنا بر تعریف، سیالی است که غیر قابل تراکم بوده و لزجت آن صفر می‌باشد. اما سیال حقیقی (غیر ایده‌آل) هم لزج و هم تراکم پذیر است. این اختلاف بین سیال ایده‌آل و سیال حقیقی باعث تفاوت نتایج تئوری و تجربه می‌گردد. به طور مثال در حرکت یک جسم در یک سیال، طبق تئوری سیال ایده‌آل نیروهای مقاومتی (پسا اصطکاکی) به جسم وارد نمی‌شود، در صورتی که در سیال حقیقی با وجود لزجت که باعث تنش برشی می‌شود و همیشه نیروهای مقاومتی موجود خواهد بود، چرا که نیروی پسا اصطکاکی به تنش برشی بر سطح جسم ارتباط دارد.

۳-۳-۲- سیال نیوتنی و سیال غیر نیوتنی

سیال نیوتنی، سیالی است که قانون لزجت نیوتن در مورد آن صادق است و دارای ویسکوزیته^۱ ثابت می‌باشد. در واقع در سیال نیوتنی تنش برشی با نرخ تغییر رابطع خطی دارد و در جریان موازی روی سطح، تنش برشی توسط گرادیان سرعت در جهت عمود بر جریان طبق رابطه زیر مشخص می‌شود:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

که τ تنش برشی در جهت X در صفحه عمود بر محور Y و u سرعت در جهت X است که فقط با Y تغییر می‌کند. μ در رابطه (۳-۱) مقدار ثابت رابطه است که آن را لزجت دینامیکی یا ضریب لزجت^۲ می‌نامند. سیالات معمولی مانند هوا، آب اغلب مواد نفتی سبک، سیال نیوتنی بوده و از رابطه (۳-۱) تبعیت می‌کنند. سیال غیر نیوتنی، سیالی است که قانون لزجت نیوتن در آن صدق نمی‌کند و ویسکوزیته معینی ندارد. برای این نوع سیال از ویسکوزیته ظاهری استفاده می‌شود. سیالات غیرنیوتنی معمولاً در کارهای مهندسی وارد نمی‌شوند و در این تحقیق نیز راجع به آن‌ها بحث نخواهد شد.



شکل ۳-۱. طبقه بندی انواع سیال

1- Viscosity

2- Coefficient of Viscosity

۳-۴- معرفی روش تحلیل جریان

حل یک مساله جریان سیال ممکن است شامل نتایج کلی باشد و یا اینکه تمام جزئیات را شامل شود. انتخاب روش بررسی جریان بستگی به دقت مورد نظر و امکان حل جزئیات مساله دارد. بررسی با جزئیات بیشتر معمولاً نیازمند تجزیه و تحلیل پیشرفته می‌باشد و پیچیدگی زیادی نسبت به تشریح با جزئیات کمتر یک مساله دارد. دقت مورد نیاز و همینطور هزینه رسیدن به حل می‌تواند در سطح بررسی یک مساله تعیین کننده باشد. یک مساله را می‌توان در سیستم جرم ثابت یا حجم ثابت بررسی کرد. در مکانیک اجسام صلب عموماً سیستمی مورد مطالعه قرار می‌گیرد که همیشه شامل ذرات یکسان و در نتیجه جرم ثابت باشند. در حل مسائل مختلفی از مکانیک سیالات نیز می‌توان قوانین مکانیک و ترمودینامیک مربوط به جرم ثابت را به کار گرفت. اما در اکثر مسائل جریان سیال به کارگیری یک سیستم شامل حجم کنترل (سیستم باز) به جای جرم ثابت (سیستم بسته) راحت‌تر و مناسب‌تر است. در استفاده از حجم ثابت، یک مجموعه محور مختصات می‌توان تعریف کرد که نسبت به حجم ثابت هستند و جزئیات جریان سیال نسبت به این محور مختصات مورد مطالعه قرار می‌گیرند. چون قوانین مکانیک و ترمودینامیک معمولاً برای سیستم جرم ثابت نوشته می‌شوند این روابط باید به صورتی درآیند که بتوان آن‌ها را در سیستم حجم ثابت به کار گرفت.

۳-۵- دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی¹ (CFD) یکی از شاخه‌های مهندسی مکانیک است که در زمینه مباحث مربوط به تجزیه، تحلیل و طراحی سیستم‌ها در مهندسی عمران و دیگر رشته‌ها تحول ایجاد نموده است. امروزه با پیشرفت کامپیوتر، امکان حل معادلات پیچیده و غیر خطی حاکم بر رفتار و جریان سیالات مختلف در شرایط گوناگون با دانش دینامیک سیالات محاسباتی و کامپیوتر امکان پذیر شده است. با توجه به هندسه‌ها و معادلات پیچیده و غیرخطی حاکم بر رفتار و جریان سیال، وجود نرم‌افزارهای مبتنی بر دینامیک سیالات محاسباتی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. نرم‌افزارهای مختلفی در این زمینه طراحی و تولید شده است. برخی از این نرم‌افزارها شامل FLUENT, FIDAP, POLYFLOW, ANSYS CFX, FLOW3D و غیره می‌باشند.

در واقع دینامیک سیالات محاسباتی، علم پیش‌بینی رفتار جریان سیال، انتقال حرارت و جرم، واکنش‌های شیمیایی و پدیده‌های مرتبط با آن‌ها با استفاده از حل عددی مجموعه معادلات ریاضی حاکم بر آن‌ها می‌باشد.

1- Computational Fluid Dynamics

این معادلات شامل بقای جرم، بقای مومنتوم، بقای انرژی، قانون بقای اجزا (واکنش‌های شیمیایی)، اثرات نیروهای حجمی و... می‌باشد. هدف از تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی رسیدن به مطالعات مفهومی طرح‌های جدید، توسعه محصولات، رفع مشکلات موجود و طراحی مجدد می‌باشد.

معادلات پایداری حرکت سیال از قوانین زیر استخراج می‌شوند:

✓ بقای جرم (پیوستگی)

✓ بقای مومنتوم خطی (قانون دوم نیوتن)

✓ بقای انرژی (قانون اول ترمودینامیک)

در صورتی که در آن‌ها جرم مخصوص در سرتاسر دامنه حل یکنواخت باقی بماند، فرض جریان تراکم‌ناپذیر را به کار می‌بریم. بنابراین در یک جریان تراکم‌ناپذیر، جرم مخصوص ثابت است و دیگر به عنوان مجهول در نظر گرفته نمی‌شود. افزون بر این، تغییرات ضریب لزجت ناچیر است و آن را نیز ثابت فرض می‌کنیم.

در جریان تراکم‌ناپذیر معادله انرژی از دستگاه معادلاتی که شامل معادلات پیوستگی و مومنتوم است، جدا می‌باشد. بنابراین نخست، میدان‌های سرعت و فشار محاسبه می‌شوند و در صورت نیاز، معادله انرژی برای پیدا کردن توزیع دما حل می‌شود. ثانیاً، به علت کاهش تعداد مجهولات در داخل دامنه، ذخیره‌سازی و حافظه کامپیوتر کاهش می‌یابد. ثالثاً، بسته به نوع فرمول‌بندی روش خاصی را باید انتخاب نمود که ارتباط سرعت و فشار را ایجاد کند.

گسسته سازی معادلات به سه روش مختلف انجام می‌پذیرد:

۱- روش حجم محدود^۱: در روش حجم محدود، معادلات عمومی بقا در شکل انتگرالی استفاده می‌گردد. محدوده حل به تعداد معینی حجم کنترل مجاور هم تقسیم شده و معادلات در آن محدوده حل می‌گردد. کمیت‌ها در مرکز گره‌ها محاسبه شده و جهت به‌دست آوردن مقادیر روی سطح باید میان‌بانی انجام گیرد. روش حجم محدود برای تمام هندسه‌ها از جمله هندسه‌های پیچیده کاربرد دارد.

۲- روش تفاضل محدود^۲: روش تفاضل محدود یکی از روشهای عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل است. در این روش مشتق توابع با تفاضلات معادل آنها تقریب زده می‌شود. اساس این روش برای حل معادلات استفاده از تقریب تابع با روش تیلور است.

1- Finite Volume
2- Finite Difference

۳-روش المان محدود^۱: روش اجزاء محدود یا روش المان محدود روشی عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل معادله‌های انتگرالی است. اساس کار این روش حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده‌سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روشهای عددی مانند اویلر حل می‌شوند، می‌باشد.

جدول ۳-۱. مقایسه روش‌های حل معادلات مکانیک سیالات

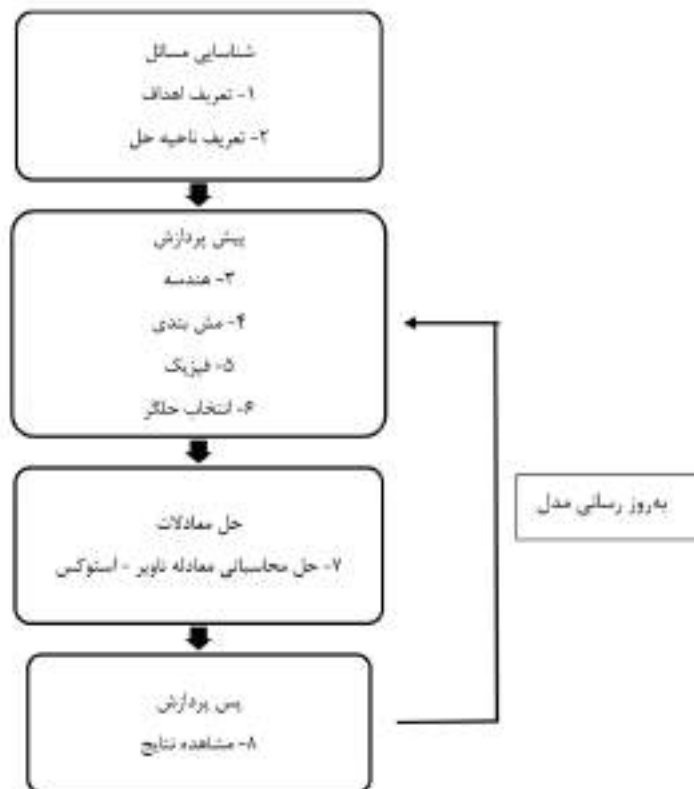
نام روش	محاسن	معایب
آزمایشگاهی و تجربی	- بیان نتایج واقعی و کاملاً معتبر - دقت بسیار بالا	- محدودیت‌های محیط آزمایشگاه - محدودیت‌های ابزار سنجش - بالا بودن هزینه ساخت مدل واقعی - بالا بودن هزینه‌ها به علت صرف زمان بالای آزمایش - خطر در آزمایش برخی از سیالات
تئوری	- استفاده از معادله تعریف شده - ریاضی	- محدودیت‌های معادله بندی - در هندسه‌های پیچیده کاربرد ندارد
CFD	- کاهش زمان دست‌یابی به نتایج - کاهش هزینه ساخت - کاهش هزینه تحقیق - استفاده از روند حل نتایج - حل مسائل پیچیده مهندسی	- نیاز به کامپیوترهای نسبتاً قوی با حافظه بالا در تعریف مسئله می‌باشد - زیرا کوچک‌ترین اشتباه در تعریف مسئله موجب افزایش خطا و عدم همگرایی در جواب‌ها می‌شود

۳-۶- نمای کلی حل مسائل با CFD

برای مدل‌سازی CFD ابتدا باید اهداف مساله تعیین و سپس دامنه مدل‌سازی تعیین گردد. دامنه حل با مش بندی به مجموعه ای از حجم کنترل‌ها تبدیل می‌شود. سپس با تنظیم فیزیک مساله (مدل‌های فیزیکی، ویژگی‌های مواد، ویژگی‌های دامنه، شرایط مرزی و غیره) و تعریف تنظیمات تحلیلگر (روش‌های عددی، کنترل‌های همگرایی و غیره)، می‌توان مساله را حل نمود. پس از حل مساله نتایج پس پردازش می‌گردد. اکنون

1- Finite Element

می توان نتایج را بررسی کرده و در صورت نیاز اصلاحات لازم را روی مدل انجام داد. در شکل ۳-۲ مراحل حل در CFD نشان داده شده است.



شکل ۳-۱. مراحل حل مسائل با CFD

۳-۷- معرفی و کاربرد نرم افزار FLUENT

FLUENT یکی از نرم افزارهای CFD می باشد که در سالیان اخیر کمپانی ANSYS این نرم افزار را خریداری نموده و در زیر شاخه نرم افزار ANSYS نصب می گردد. فلونتت یکی از کامل ترین، قوی ترین و کاربردی ترین نرم افزارهای CFD در دنیا می باشد سهولت استفاده از نرم افزار، قابلیت های فراوان در حل و آنالیز جریان های مختلف سبب شده است از نرم افزار FLUENT در تحقیقات و صنعت استفاده های گسترده ای صورت پذیرد. مهمترین قابلیت های نرم افزار فلونتت عبارتند از:

✓ مدلسازی جریان های تراکم پذیر و تراکم ناپذیر

- ✓ مدلسازی جریان‌های دائم و غیردائم
- ✓ مدلسازی جریان‌های غیرلزج، آرام و درهم
- ✓ مدلسازی حالت‌های مختلف انتقال حرارت سیالات (هدایت، جابجایی و تشعشع)
- ✓ مدلسازی سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی
- ✓ مدلسازی جریان‌های با مرزهای متحرک، دوار
- ✓ مدلسازی فرآیندهای شیمیایی، احتراق و آلودگی ناشی از احتراق
- ✓ مدلسازی جریان‌های دوفازی و چندفازی
- ✓ مدلسازی جریان‌های تغییر فاز
- ✓ مدلسازی جریان‌های سطح آزاد
- ✓ مدلسازی جریان‌های عبوری از مرزهای متخلخل
- ✓ مدلسازی جریان‌های تهویه مطبوع
- ✓ مدلسازی جریان‌های فن، رادیاتور و مبدل‌های حرارتی

فلوئنت قابلیت تعریف مسائل جریان‌های تراکم‌ناپذیر مانند حرکت آب در لوله‌ها، مبدل‌های حرارتی و همین‌طور جریان‌های تراکم‌پذیر مانند جریان هوا درون یک شپیوره یا ایرفویل‌هایی با سرعت‌های فراصوت را دارد. به عبارت دیگر امکان بررسی سیالات تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر با توجه به استفاده از معادلات مربوطه مانند تعریف حالت گاز ایده‌آل برای حالت تراکم‌پذیر در دانسیته سیال، وجود خواهد داشت.

می‌توان مسائل را بصورت دائم و غیردائم تعریف نمود. تعریف مسائل بصورت غیردائم نیازمند تعریف پارامترهایی چون عدد کورانت و گام‌های زمانی مناسب جهت رسیدن به همگرایی و جواب مناسب می‌باشد. با توجه به اینکه در نرم‌افزار امکان انتخاب سیالات مختلف از جمله سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی فراهم می‌باشد، نرم‌افزار FLUENT بدون محدودیت می‌تواند به بررسی رفتار سیالات نیوتنی و غیرنیوتنی بپردازد. در نرم‌افزار FLUENT می‌توان از سه رژیم جریان آرام، آشسته و انتقالی جهت معادله‌بندی مدل با توجه به شرایط عدد رینولدز در شرایط مسئله پرداخت، که در حالت درهم از معادلات مطرحی چون $K-\epsilon$ یا $K-\omega$ می‌توان بهره کافی برد.

یکی از محدودیت‌هایی که در نرم‌افزارهای CFD وجود داشت این بود که این نرم‌افزارها تنها به بررسی معادلات جریان سیالات می‌پرداختند ولی امکان تعریف و بررسی انتقال حرارت در سیال وجود نداشت. نرم‌افزار FLUENT بطور گسترده به بررسی جریان‌های ناشی از انتقال حرارت و توزیع دما در سه حالت کلی انتقال حرارت یعنی هدایت، جابجایی و تشعشع می‌پردازد. در تعریف معادله انتقال حرارت امکان تعریف مرزها در حالت‌های دما ثابت، فشار ثابت، تولید گرما، تعریف جابجایی (ضریب انتقال حرارت جابجایی) و تشعشع در چند حالت کلی وجود خواهد داشت.

با توجه به اهمیت موضوع انتقال حرارت در صنعت و کاربردهای آن استفاده از FLUENT بسیار رو به افزایش می‌باشد. وجود قابلیت‌های منحصر به فرد در نرم‌افزار FLUENT در خصوص فرآیندهای شیمیایی از جمله جریان‌های احتراق، محصولات ناشی از احتراق، ترکیب سیالات در جریان‌های چند فازی سبب گردید که متخصصین و محققین علم شیمی نیز در بررسی و شبیه‌سازی‌های خود به پیش‌بینی‌های خوب و قابل قبولی دست یابند. یکی دیگر از قابلیت‌های نرم‌افزار فلوئنت در صنعت شیمی تعریف فرآیندهای تغییر فاز در سیالات و همچنین حالت‌های عبور از مرزهای متخلخل مانند صافی‌های صنعتی می‌باشد.

یکی از مهمترین قابلیت‌های نرم‌افزار FLUENT امکان تعریف مرزهای متحرک یا دوار جهت مسائل مختلف و متنوعی مانند توربو ماشین‌ها، فن‌ها، توربین‌ها، دمنده‌ها، پمپ‌ها و لوله‌های دوار می‌باشد. با استفاده از این قابلیت می‌توان به نتایج خوب و قابل قبولی از جمله افت‌های سیالات، تنش‌های جداری، ضرایب دراگ، افت‌های فشار و سرعت، محاسبه توان و راندمان این تجهیزات پرداخت. نرم‌افزار FLUENT می‌تواند جریان‌های گردش هوا درون یک فضای بسته را جهت کاربردهای تهویه مطبوع را بررسی نماید. استفاده از نرم‌افزار سبب می‌گردد تا قبل از نصب و راه‌اندازی تجهیزات تهویه مطبوع میزان و نوع جریان گردش هوا و توزیع حرارت درون یک اتاق یا سالن پیش‌بینی شود.

۸-۳- معادلات حاکم بر جریان

۸-۳-۱- معادلات ناویر استوکس

معادلات ناویراستوکس، یک مدل ریاضی کامل برای سیال ارائه می‌دهند. به دلیل پیچیده بودن این معادلات در فرم کامل ناویراستوکس، حل تحلیلی غیرممکن است، بنابراین روش‌های عددی به کمک رایانه بهترین گزینه برای حل بخشی از این معادلات می‌باشند. پیشرفت سریع در زمینه تکنولوژی رایانه در چند دهه اخیر

باعث استفاده گسترده دینامیک سیالات محاسباتی در حل عددی مسائل جریان سیال شده است. با توجه به اینکه تمامی حل کننده های معادلات ساده شده ناویراستوکس نیازمند زمان پردازش و حافظه زیادی میباشند، بنابراین مقداری ساده سازی در حل این معادلات ناویراستوکس برای کاهش منابع محاسباتی مورد احتیاج، لازم است. FLUENT یک نرم افزار تحلیلی برای جریان های 2D و 3D می باشد که از معادلات ناویر استوکس در تحلیل جریان استفاده می کند.

۱-۱-۸-۳- معادله پیوستگی

اصل اساسی که از آن در مکانیک سیالات استفاده می شود اصل بقاء جرم است. این اصل بیان می دارد که جرم نه تولید می شود و نه از بین می رود و توسط معادله پیوستگی بیان می گردد:

فرم کلی معادله پیوستگی به شکل زیر است:

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

برای سیالات تراکم پذیر:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0$$

برای سیالات تراکم ناپذیر:

$$(\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = 0$$

۲-۱-۸-۳- معادله مومنوم

مکانیک سیالات تنها با داشتن معادله پیوستگی مشخص نمی شود بلکه باید اصل بقاء اندازه حرکت یا قانون دوم نیوتون را درباره آن بیان کرد. اندازه حرکت حاصل ضرب جرم در سرعت است. قانون دوم نیوتن بیان می کند که برآیند نیروهایی که بر یک جسم اثر می کند برابر است با تغییرات خالص مومنوم. فرم کلی معادله مومنوم به صورت زیر می باشد:

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

۳-۸-۱-۳- معادله انرژی

فرم کلی معادله انرژی به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial}{\partial t} \iiint_{\phi} E_t d\phi + \iint_S \overline{E_t V} \cdot d\vec{S} = \iiint_{\phi} (\rho \dot{q} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V}) d\phi$$

۳-۹- انواع جریان

جریانی که در آن ویسکوزیته سیال مهم است می‌تواند از دو نوع آرام یا آشفته باشد. اگر سیال در لایه‌های موازی در حال حرکت باشد، جریان آرام است و اگر جریان به طور تصادفی در حال حرکت است، جریان آشفته است. با محاسبه عدد رینولدز می‌توان پیش‌بینی کرد که جریان آرام یا آشفته است.

۳-۹-۱- معادلات حاکم برای جریان آرام

معادلات ناویراستوکس نیمه بیضوی حاکم بر جریان پایدار، تراکم ناپذیر و دوبعدی در حالت آرام به صورت

زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} = 0$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \frac{\partial^2 v}{\partial y^2}$$

۳-۹-۲- معادلات حاکم برای جریان آشفته

در اعداد رینولدز بالا جریان آشفته می‌شود. بطوریکه یک حالت تصادفی از حرکت در نقاطی که سرعت و فشار بطور پیوسته درون بخش‌های مهمی از جریان نسبت به زمان تغییر می‌کنند، گسترش می‌یابد. در صورتی که جریان آشفته باشد، معادلات حاکم به معادلات رینولدز تغییر ماهیت داده و از مدل‌های یک معادله‌ای، دو معادله‌ای، سه معادله‌ای، چهار معادله‌ای و پنج معادله‌ای استفاده می‌شود.

۳-۹-۲-۱- معادله پیوستگی برای جریان آشفته

برای جریان تراکم پذیر داریم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\overline{\rho u_i}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\overline{\rho' u_i'}) = 0$$

برای جریان تراکم ناپذیر از آنجایی که $\rho' = 0$ می‌باشد، معادله فوق به صورت زیر در خواهد آمد:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

۲-۹-۳- معادله مومنتوم برای جریان آشفته

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \overline{\rho u_i' u_j'} \right]$$

تنها تفاوت معادله مومنتوم فوق با معادله مومنتوم با کمیت های لحظه ای اضافه شدن عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\overline{\rho u_i' u_j'}$ میباشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش رینولدز می‌گوییم. تنها تفاوت معادلات جریان آرام با آشفته نیز فقط حضور همین عبارت میباشد. به طور کلی این عبارت از لحاظ فیزیکی یک تنش نمایشد بلکه بیانگر اثر تبادل اینرسی (مومنتوم) میباشد. فراموش نکنیم که این عبارت از سمت چپ معادله مومنتوم یعنی جایی که با عبارت های اینرسی سر و کار داریم به سمت راست منتقل شده است. بنابراین ریشه و بنیان این عبارت از جنس اینرسی مومنتوم می‌باشد.

۱۰-۳- روش حل در FLUENT:

حلگرهای FLUENT مبتنی بر روش حجم محدود می‌باشند. در روش حجم محدود دامنه حل به مجموعه محدودی از حجم کنترل‌ها تجزیه می‌شود و سپس معادلات عمومی بقا برای جرم، مومنتوم، انرژی و... در این مجموعه از حجم کنترل‌ها حل می‌شود. سپس با گسسته سازی معادلات حاکم بر جریان در حجم کنترل‌ها معادلات دیفرانسیل جزئی به یک دستگاه از معادلات جبری تفکیک می‌شوند و سپس تمام معادلات جبری به صورت عددی حل می‌شوند تا میدان حل بدست آید.

مزیت بزرگ روش حجم محدود این است که سیال در یک شبکه ثابت حرکت می‌کند و در نتیجه به تغییر شکل و بازسازی شبکه نیازی نیست و همچنین جرم‌های سیال می‌توانند بر اساس قوانین دینامیک با هم ترکیب یا از هم جدا شوند و به هیچ منطق خاصی برای تعیین تقاطع سطوح نیاز نیست.

۱۱-۳- معرفی نرم‌افزار GAMBIT

نرم‌افزار GAMBIT (نرم‌افزار ساخت فایل ورودی نرم‌افزار FLUENT با فرمت msh) با هدف کمک به تحلیلگران و طراحان برای ساخت و مش‌بندی مدل‌ها برای دینامیک سیالات محاسباتی و دیگر برنامه‌های علمی طراحی شده و توسعه یافته است. رابط کاربری گرافیکی GAMBIT به طراحان و تحلیلگران دینامیک سیالات محاسباتی کمک می‌کند بسیار راحت‌تر به ساخت، مش‌بندی و تخصیص انواع منطقه برای یک مدل ساده و شهودی بپردازند. گمبیت ورودی مطلوب برنامه FLUENT را فراهم می‌کند.

مهمترین قابلیت‌های نرم‌افزار GAMBIT

- ✓ ساخت شکل هندسه دلخواه و ایجاد مش مناسب
- ✓ تولید فایل‌های با فرمت msh
- ✓ رابط کاربری گرافیکی
- ✓ تولید شبکه برای حل جریان
- ✓ ابزارهایی برای چک کردن کیفیت مش
- ✓ تولید مش مثلثی و چهارضلعی با کیفیت بالا

۱۲-۳- معرفی نرم‌افزار SPSS

SPSS معروف‌ترین نرم‌افزار آماری برای تحلیل داده‌ها به شمار می‌آید. این نرم‌افزار به واسطه سادگی و پوشش نسبتاً مطلوب روش‌های آماری، تبدیل به یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای آماری در کشور ما شده است. برای استفاده از این نرم‌افزار آشنایی کلی با محیط سیستم عامل ویندوز کافی است.

اس پی اس نام یک خانواده فشرده نرم‌افزار رایانه‌ای شامل ۱۴ نرم‌افزار است که در سال ۱۹۶۸ توسط نرمان و هادلای‌هاال توسعه داده و به بازار عرضه شد. اس پی اس اس مخفف بسته آماری برای علوم اجتماعی^۱ می‌باشد. اس پی اس از جمله نرم‌افزارهایی است که برای تحلیل‌های آماری داده‌های پژوهشگران در رشته‌های مختلف به صورت گسترده‌ای از آن استفاده می‌شود. سرعت زیاد در تجزیه و تحلیل داده‌ها، دستیابی سریع به آنچه که برای یک تحلیل آماری لازم است، توانایی تجزیه و تحلیل‌های آماری در همه زمینه‌ها، امکان ارتباط و سازگاری با مجموعه آفیس^۲ سبب شده است که کاربران به راحتی نیازهای خود را برطرف کنند. افزون بر تحلیل‌های آماری، مدیریت مستندسازی داده‌ها نیز از ویژگی‌های این نرم‌افزار است.

۱-۱۲-۳- تحلیل داده‌ها با بهره‌گیری از SPSS

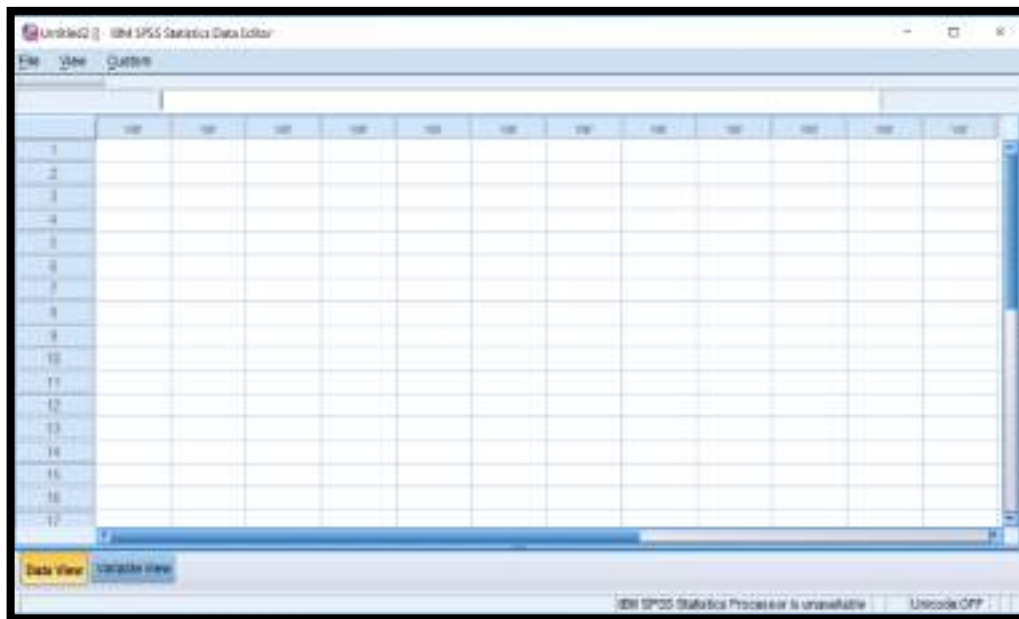
قبل از تحلیل داده‌ها توسط اس پی اس باید با استفاده از قوانین آماری داده‌ها را مورد بررسی قرار دهیم تا میزان خطا در محاسبات کاهش یابد. در تحلیل داده‌ها با استفاده از اس پی اس اس، سه مرحله‌ی اساسی وجود دارد: اول باید داده‌های خام وارد شده و در یک پرونده ذخیره شوند. دوم باید کاربر بر مبنای ماهیت داده‌هایش، تحلیل مورد نیاز را انتخاب نماید. در مرحله سوم کاربر باید نتایج را واری و تحلیل نماید و خروجی‌ها را با توجه با نیاز خویش در قالب رابطه مفهومی یا نمودار از اس پی اس دریافت نماید.

۲-۱۲-۳- وارد کردن داده‌ها در SPSS

برای استفاده از این نرم‌افزار وارد کردن داده‌ها از قدم‌های ابتدایی است. برای این مهم باید از پنجره DATA VIEW داده‌ها را وارد کرد ولی قبل از آن بایستی متغیرهای ورودی را تعریف نمود، برای این کار از پنجره VARIABLE VIEW استفاده می‌شود. این پنجره از ده ستون تشکیل شده که باید اطلاعات متغیرها از قبیل نام، نوع و غیره را در آن وارد کرد. نمای کلی این پنجره در شکل ۳-۳ آمده است.

1- Statistical Package for Social Science

2- Office

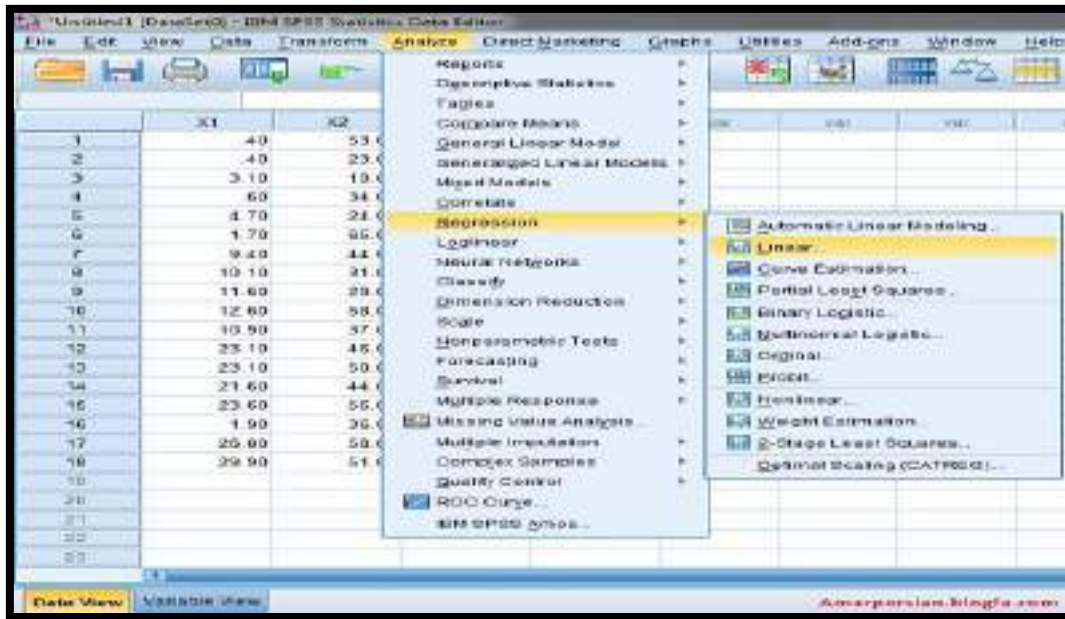


شکل ۳-۲. شمای کلی پنجره تعریف متغیرها در SPSS

۳-۱۲-۳- انتخاب آزمون و روش آماری مناسب

اس پی اس یک نرم‌افزار وسیع با قابلیت فراوان است که هر کاربری باید با توجه به ماهیت مساله، داده‌ها و متغیرهای خویش، آزمون آماری مناسب را انتخاب نماید. در واقع این نرم‌افزار به کاربر نمی‌گوید که از چه آزمونی برای تحلیل داده‌هایش استفاده کند بلکه باید کاربر با توجه به دید و نگرشی که از مساله خود دارد، رابطه و آزمون کلی را حدس زده و سپس با نرم‌افزار، آن را مورد آزمایش قرار دهد. در پژوهش حاضر با توجه به آگاهی از این موضوع که رابطه بین پارامترهای موجود برای پیشنهاد رابطه مفهومی، یک رابطه خطی است. بنابراین از آنالیز رگرسیون خطی^۱ در اس پی اس استفاده شد. لازم به ذکر است که برای انجام این تحلیل و ارائه رابطه، تبخیر به عنوان متغیر وابسته^۲ و درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت به عنوان متغیر مستقل^۳ در نرم‌افزار لحاظ شدند. طریقه دسترسی به نوار ابزار آنالیز رگرسیون خطی در شکل ۳-۴ آمده است.

1- Analyze Regression Linear
 2- Dependent
 3- Independent



شکل ۳-۳. نمایش نوع تحلیل انجام گرفته در SPSS

۱۳-۳- منطقه مورد مطالعه

۱-۱۳-۳- مشخصات طبیعی و تقسیمات کشوری

استان سیستان و بلوچستان با وسعت حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومترمربع معادل ۱۱/۵ درصد مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. این استان بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۹ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۹ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی واقع شده است.

براساس آخرین تقسیمات کشوری استان سیستان و بلوچستان دارای ۱۹ شهرستان، ۳۷ مرکز شهری، ۴۸ بخش، ۱۱۲ دهستان و ۸۹۰۸ آبادی کددار است. این استان از دو منطقه سیستان و بلوچستان تشکیل شده است که از شمال به استان خراسان جنوبی، از جنوب به دریای عمان، از شرق به کشورهای افغانستان و پاکستان و از غرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود شده است.



شکل ۳-۴. موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان

۲-۱۳-۳- آب و هوا

استان سیستان و بلوچستان از لحاظ طبقه بندی اقلیمی در ناحیه اقلیمی بیابانی و خشک می‌باشد. سیستان سرزمینی خشک با نزولات جوی بسیار کم است به طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح کره زمین را که در حدود ۸۶۰ میلیمتر است با متوسط بارندگی سالانه سیستان مقایسه کنیم ملاحظه می‌شود که بارندگی سیستان کمتر از یک دوازدهم متوسط بارندگی در سطح دنیاست.

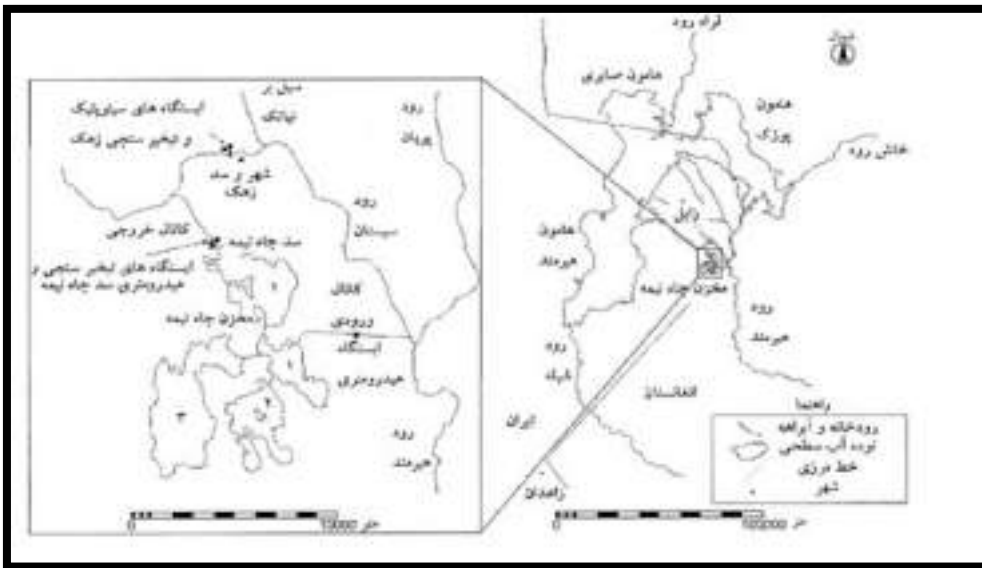
منطقه سیستان از جمله مناطقی است که رویدادهای حدی نظیر سیل و خشکسالی در آن به وفور به وقوع می‌پیوندد و شرایط ویژه هیدرولیکی - هیدرولوژیکی و مکانی آن، خصوصیات منحصر به فردی به آن ناحیه می‌بخشد. قرار گرفتن در انتهای یک حوضه آبریز بسته، سیستم پیچیده هیدرولیکی رودخانه هیرمند و تالاب هامون، شرایط هیدرولوژیکی حاکم بر مخازن چاه‌نیمه و همچنین وزش بادهای ۱۲۰ روزه که در طول سه ماه تابستان از جهت شمال غرب بصورت شبانه روزی می‌وزد و با وجود خشکسالی‌های اخیر باعث افزایش میزان ریزگردها و آلودگی هوا شده است و به شدت زندگی مردم منطقه را تحت تاثیر قرار داده است، شرایطی را به وجود آورده‌اند که این ناحیه موقعیت ویژه‌ای داشته باشد. افزون بر آن، مواردی چون بارندگی ناچیز سالانه، درجه

حرارت بالا و خاک با نفوذپذیری کم، محدودیت منابع آب زیرزمینی، منابع آب سطحی مشترک با کشور همسایه نیز وجود دارد.

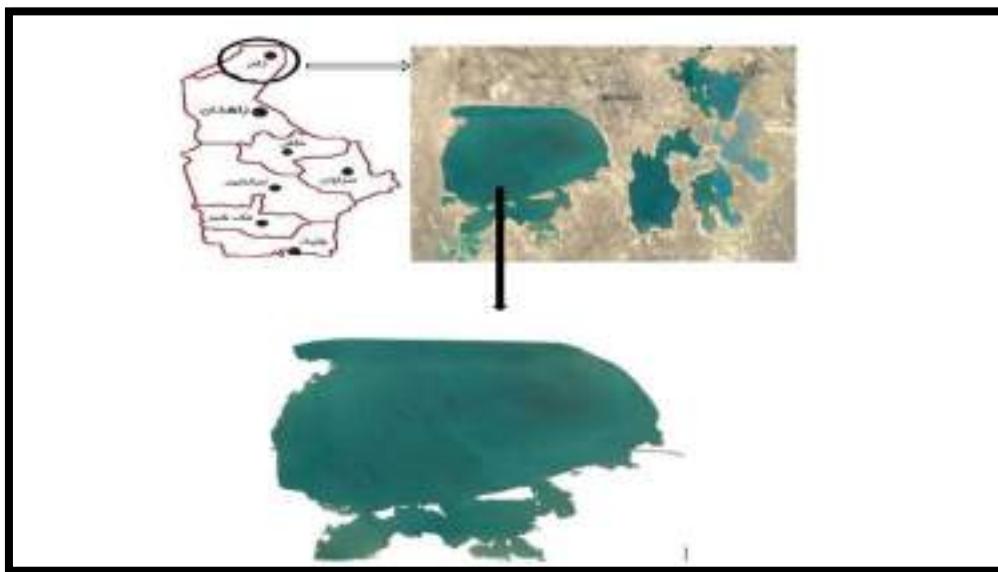
مهمترین منابع آب سطحی سیستان رودخانه هیرمند، دریاچه هامون و مخازن چاه نیمه می باشد. از آنجایی که هدف این پژوهش کنترل تبخیر از مخزن چاه نیمه می باشد فقط به توضیح این منطقه پرداخته می شود.

۳-۱۳-۳- چاه نیمه های سیستان

چاه نیمه ها یکی از مهمترین منابع آب سطحی در سیستان و یکی از منابع تامین آب دشت سیستان محسوب می شوند. مخازن چاه نیمه از چهار گودال طبیعی ساماندهی شده تشکیل گردیده است که در بخش شمالی دلتای رود هیرمند در منطقه سیستان ایران (شکل ۳-۶) در محدوده جغرافیایی با عرض $30^{\circ} 45'$ ، طول $61^{\circ} 38'$ و ارتفاع متوسط ۵۰۰ متر از سطح دریا واقع شده است. عمق متوسط این گودال های طبیعی ۱۲ متر می باشد که با عملیات ساختمانی مختصری به صورت مخازن آب های سیلابی عمل می کنند. پس از خشکسالی سال ۱۳۴۹، دولت گروهی را جهت مطالعه بر روی ایجاد منابع آب مامور نمود و بدین منظور گروهی ژاپنی پس از مطالعه، چاله های چاه نیمه را برای این منظور در نظر گرفتند و با ایجاد کانال هایی، ورود آب به این مخازن را تسهیل نمودند. بنابراین مخازن طبیعی چاه نیمه به منظور ذخیره بخشی از آب مازاد رودخانه هیرمند و استفاده از این ذخیره در فصول کم آبی و خشک مورد استفاده قرار گرفت. این مخازن در سال های پر آبی پهنه واحدی را تشکیل می دهد و در سال های خشک، پهنه های آبی جداگانه ای را بوجود می آورد (شکل ۳-۷). مخازن چاه نیمه با حداکثر گنجایش تقریبی ۶۳۰ میلیون متر مکعب و مساحتی بالغ بر ۴۷ کیلومتر مربع، منبع آب شرب شهرستان زابل، زاهدان و سایر نواحی مسکونی سیستان را تشکیل می دهد و آب آبیاری حدود ۸۰۰۰ هکتار اراضی این منطقه را تامین می نماید. در ساحل شمالی یک ایستگاه تبخیر سنجی احداث شده همچنین دو ایستگاه سینوپتیک در شهر زهک و تبخیر سنجی پایاب زهک که در فاصله پنج کیلومتری شمال مخزن و در مجاورت یکدیگر واقع شده اند که آمار ثبت شده در آنها مناسب تشخیص داده شده است و برای انجام مطالعات مورد استفاده قرار می گیرد.



شکل ۳-۵. نحوه قرارگیری مخزن چاه‌نیمه سیستان



شکل ۳-۶. موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه (چاه‌نیمه شماره ۴ سیستان)

۱۴-۳- باد و نحوه تشکیل آن

باد^۱ بر روی زمین عامل مهمی برای تبادل گرما، رطوبت، انتقال ذرات از نقطه‌ای به نقطه دیگر است. این امر از لحاظ اقلیمی در فراهم آوردن آسایش انسان یا در اختلال آن، چه از جهت گرمایی و چه از لحاظ رفتاری در

1- Wind

محیط نقش مهمی دارد. توجه به جهت و سرعت باد در نواحی که این عنصر اقلیمی نسبت به بقیه عناصر اقلیمی اثرات آسایشی مثبت و منفی عمیق‌تری دارد با اهمیت‌تر می‌باشد.

باد به جابجایی افقی هوا گفته می‌شود که سرعت وزش آن از یک متر بر ثانیه کمتر نباشد. باد در نتیجه‌ی اختلافات فضایی (مکانی) موجود در فشار اتمسفری تشکیل می‌شود و این اختلافات عموماً به علت عدم جذب یکسان تابش خورشیدی در سطح زمین به وجود می‌آیند. باد در طی روز، زمانی که بیشترین اختلافات مکانی در دمای اتمسفر و فشار هوا وجود دارد به بیشترین سرعت خود نزدیک می‌شود.

باد غالباً با دو ویژگی سرعت^۱ و جهت^۲ مشخص می‌شود. سرعت باد شتابی است که توسط حجمی از هوایی که به طور افقی در اتمسفر حرکت می‌کند حاصل می‌شود. سرعت باد غالباً توسط بادسنج بر حسب کیلومتر در ساعت، نات یا متر در ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. جهت باد از سمتی که می‌وزد اندازه‌گیری می‌شود مثلاً باد جنوبی بادی است که از جهت جنوب به شمال می‌وزد.

۱-۱۴-۳- انواع باد

بادها به سه دسته محلی، منطقه‌ای و سیاره‌ای تقسیم می‌شوند. بادهای محلی بر اثر تغییرات روزانه‌ی فشار پدید می‌آیند. بادهای منطقه‌ای بر اثر تغییرات دراز مدت فشار در مقیاس ماه و فصل به وجود می‌آیند و عامل ایجاد آن‌ها بیشتر موارد دینامیکی است. عامل اصلی ایجاد بادهای سیاره‌ای، نابرابری در توزیع انرژی تابشی خورشید در سطح کره زمین است. بادهای سیاره‌ای گردش عمومی هوا را تشکیل می‌دهند و از این طریق تغییرات منطقه‌ای و محلی را کنترل می‌کنند.

مهمترین بادهای محلی ایران عبارتند از ۱- باد منجیل که به دلیل اختلاف فشار بین دریای خزر و فلات داخلی به وجود می‌آید. ۲- باد ۱۲۰ روزه سیستان که در دوره‌ی گرم سال از ارتفاعات شمال شرقی ایران به سرزمین‌های جنوب شرق ایران می‌وزد و بر اثر استقرار کم فشار بر روی خلیج فارس به وجود می‌آید.

در ایران پنج پهنه بادخیز دیده می‌شود که بسته به نحوه تشکیل و تکوین الگوهای منطقه‌ای فشار در بخش‌هایی از کشور در دوره‌ی زمانی معینی پدید می‌آیند، به اوج می‌رسند و ناپدید می‌شوند. پهنه‌ی بادی سیستان وسیع‌ترین و بادخیزترین پهنه‌ی بادی در ایران است. این پهنه تمامی نواحی شرق کشور را از جنوب شرق تا

1- Velocity
2- Direction

شمال شرق و همچنین بیشتر دشت‌های مرکزی کشور از جمله بخش‌هایی از دشت کویر و دشت لوت را دربرگرفته است. مساحت این پهنه حدود ۴۵۵۷۰۰ کیلومترمربع است و بیش از ۲۷/۶ درصد از خاک ایران را به خود اختصاص داده است.

استان سیستان و بلوچستان از جهات مختلف در معرض بادای موسمی و فصلی است که مهمترین آن‌ها باد ۱۲۰ روزه سیستان (لوار)، باد توس، باد هفتم (گاوکش)، باد نمبی، باد شمال (گوریج) و باد غربی می‌باشد. از آنجایی که این تحقیق در منطقه چاه‌نیمه سیستان که تحت اثر بادهای ۱۲۰ روزه است انجام شده فقط به توضیح این باد پرداخته می‌شود.

۲-۱۴-۳- بادهای ۱۲۰ روزه سیستان

بادهای ۱۲۰ روزه سیستان از دو مشخصه سرعت و تداوم زیاد برخوردار است. این بادهای در زابل دارای جهت مشخص‌تر، ثابت‌تر و سرعت بیشتر می‌باشند. وزش بادهای ۱۲۰ روزه را در فصل تابستان و از پانزدهم خرداد لغایت پانزدهم مهرماه ذکر نموده‌اند. که از جهت شمال و شمال غرب به منطقه سیستان وارد می‌شود. شدت بادهای ۱۲۰ روزه به حدی است که با ایجاد غلظت و گردوغبار در آسمان و هجوم ماسه‌های روان در سطح زمین هرگونه فعالیتی را از انسان سلب می‌کند و اختلالاتی را در وضع عمومی به وجود می‌آورد. این بادها شاید قوی‌ترین عامل تخریب محیط زیست و تغییرات هیدرولوژیکی در منطقه سیستان به حساب می‌آیند.

۱-۲-۱۴-۳- عوامل موثر بر بادهای ۱۲۰ روزه سیستان

- ✓ تقابل گرمایی و فشار بین سیستم‌های آب و هوایی حاره‌ای و جنب حاره‌ای به وجود می‌آید.
- ✓ خطوط هم‌فشار بر روی منطقه سیستان در زمان بادهای ۱۲۰ روزه به هم نزدیک می‌شود.
- ✓ در زمان بادهای ۱۲۰ روزه شیب حرارتی معکوس در سطح زمین بین منطقه سیستان و جنوب شرق دریای خزر ایجاد می‌شود.
- ✓ بادهای با سرعت متوسط تحت تاثیر عوامل نرمال شکل می‌گیرند.
- ✓ جهت وزش بادهای ۱۲۰ روزه از جهت ناهمواری‌های منطقه پیروی می‌کند.

فصل چهارم

شبیه‌سازی عددی توسط نرم‌افزار

ANSYS-FLUENT

۱-۴- مقدمه

در نواحی خشک و نیمه خشک بخش قابل توجهی از بارندگی بر اثر تبخیر تلف می‌شود. پدیده تبخیر به عوامل محیطی مختلفی از جمله درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت بستگی دارد. روش‌های جلوگیری از تبخیر سال‌هاست که مورد توجه بسیاری از محققان بوده است. اما جهت تعیین استراتژی مناسب برای کاهش تبخیر از آب‌های سطحی، دریاچه‌ها و مخازن ابتدا باید مهمترین عوامل موثر بر تبخیر با توجه به شرایط اقلیمی منطقه شناسایی شود. به همین دلیل ابتدا در این فصل مهمترین عامل ایجاد تبخیر در مخزن چاه نیمه شناسایی می‌شود. پس از تعیین مهمترین عامل تبخیر در منطقه چاه‌نیمه به شبیه‌سازی مخزن با استفاده از مدل عددی FLUEN پرداخته خواهد شد و با بخش‌های مختلف مراحل شبیه‌سازی آشنا خواهیم شد و سپس مدل عددی را با استفاده از نتایج مدل فیزیکی مورد استفاده در این مطالعه، کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل عددی انجام خواهد گرفت. در انتها اثر هندسه بادشکن در کاهش سرعت باد مورد بررسی قرار گرفته است و پارامترهای بهینه ارتفاع، فاصله بین بادشکن‌ها، تخلخل و زاویه بادشکن جهت کاهش میزان سرعت باد و تبخیر در منطقه به دست آمده‌اند.

۲-۴- تعیین رابطه مناسب برای تبخیر با استفاده از نرم‌افزار SPSS

همانطور که در فصل اول اشاره شد، تبخیر به پارامترهایی نظیر دما، رطوبت و سرعت باد وابسته است. براساس این متغیرهای ورودی، مراجع جهت برآورد تبخیر روابط تجربی بصورت یک معادله ریاضی ارائه داده‌اند که هدف در آن‌ها تخمین تبخیر می‌باشد. روابط ارائه شده برای تبخیر هم به صورت خطی و هم به صورت غیر خطی می‌باشند. مهمترین روابط غیرخطی ارائه شده عبارتند از روابط هارگریوز، پنمن فائو و تورنوایت که روابط بسیار مفید و مناسبی برای تخمین تبخیر می‌باشند.

در این فصل هدف از تعیین رابطه بین تبخیر با درجه حرارت، رطوبت و سرعت باد، تعیین مهمترین عامل موثر بر تبخیر در منطقه چاه‌نیمه و ارائه راهکار مناسب برای کنترل آن می‌باشد. به همین دلیل از روابط خطی استفاده شده است.

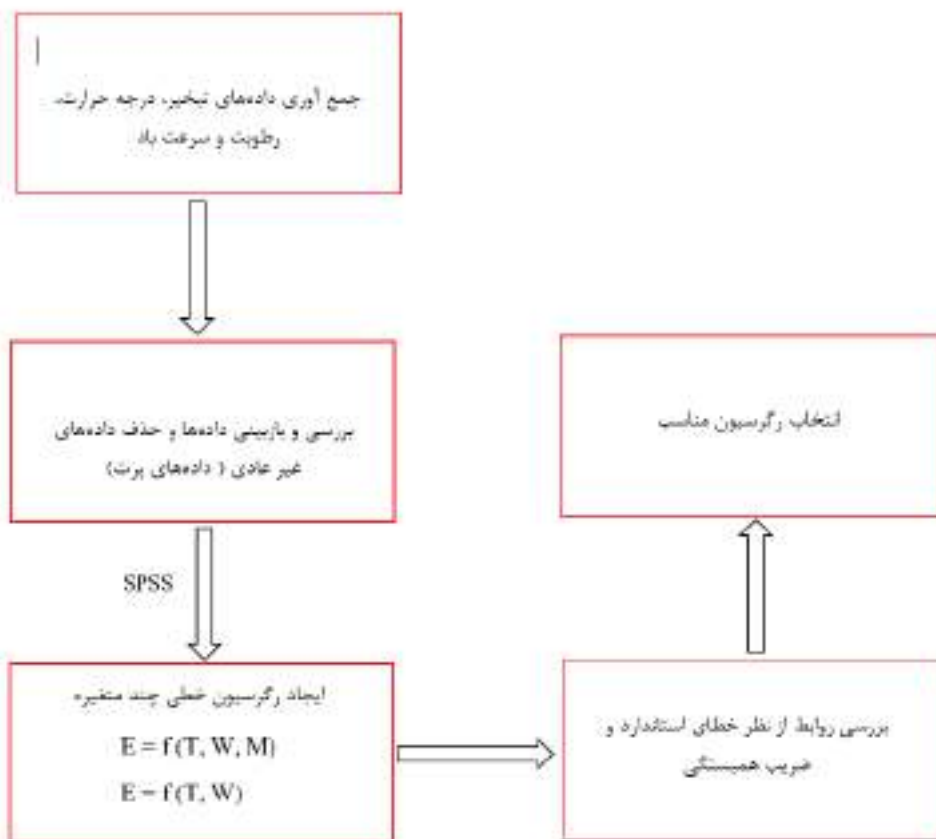
برای تعیین رگرسیون خطی داده‌های مربوط به تبخیر، درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت برای یک سال از سازمان هواشناسی مربوط به ایستگاه زهک به مختصات ۳۰ درجه و ۵۴ دقیقه عرض شمالی و ۶۱ درجه و ۴۱ دقیقه عرض جنوبی که در ارتفاع ۴۹۵ متری از سطح دریا قرار دارد جمع‌آوری شد. میانگین داده‌های استفاده شده جهت تعیین رابطه خطی در جدول ۴-۱ آورده شده است. پیش از وارد کردن داده‌ها به برنامه SPSS، آن‌ها

مورد بررسی و بازبینی قرار گرفتند. همواره احتمال دارد که در داده‌ها با مقادیر غیرعادی مواجه شویم. موارد غیرعادی می‌تواند شامل مقادیر تعریف نشده و مقادیر پرت (دور افتاده) باشد. قبل از انجام هرگونه تحلیل آماری بر روی داده‌ها، باید چاره‌ای در مورد مقادیر پرت بیندیشیم. در این تحقیق مقادیر داده‌های پرت کمتر از پنج درصد کل داده‌ها می‌باشد پس می‌توان طبق قوانین آماری از داده‌های پرت صرف‌نظر کرد. در شکل ۴-۱ مراحل ایجاد رگرسیون خطی بطور کامل توضیح داده شده است.

جدول ۴-۱- میانگین داده‌های مربوط به ایستگاه زهک

تبخیر (میلیمتر)	درجه حرارت (سانتی گراد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	رطوبت نسبی
۱۱/۵۹	۲۳/۸۲	۷/۶۱	۳۱/۹

برای انجام تحلیل و ارائه رابطه خطی در SPSS، تبخیر به عنوان متغیر وابسته و دما، سرعت باد و رطوبت به عنوان متغیر مستقل در نرم‌افزار لحاظ شدند.



شکل ۴-۱- مراحل ایجاد رگرسیون خطی چندمتغیره در SPSS

پس از آنالیز داده‌ها، رگرسیون‌های خطی زیر برای تبخیر معرفی و مقدار خطای استاندارد^۱ و ضریب همبستگی^۲ برای آنها محاسبه گردید:

$$E = -1.452 + (0.464 * T) + (0.686 * W) - (0.102 * M)$$

$$E = -1.311 + (0.485 * T) + (0.756 * W) - (0.147 * M)$$

$$E = 1.643 + (0.275 * T) + (0.412 * W) - (0.076 * M)$$

$$E = -8.294 + (0.6 * T) + (0.736 * W)$$

$$E = -12.952 + (0.739 * T) + (0.816 * W)$$

$$E = -3.208 + (0.365 * T) + (0.436 * W)$$

1- Standard Error

2- The Correlation Coefficient

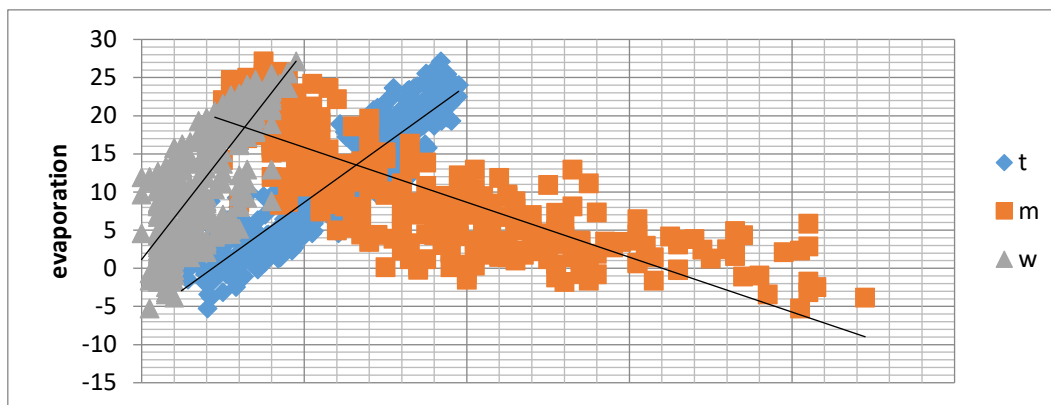
در این روابط E میزان تبخیر برحسب میلی‌متر، T درجه حرارت برحسب سانتی‌گراد، W سرعت باد برحسب متر بر ثانیه و M میزان رطوبت نسبی می‌باشد. جدول ۴-۲ نتایج مربوط به رگرسیون‌های خطی ایجاد شده در نرم‌افزار SPSS را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱. نتایج مربوط به رگرسیون‌های خطی

شماره رابطه	SE	R ²	ضریب T	ضریب W	ضریب M
۱	۳/۲۸۹	۰.۸۵	۰/۴۶۴	۰/۶۸۶	۰/۱۰۲
۲	۳/۴۹۸	۰/۷۷	۰/۴۸۵	۰/۷۵۶	۰/۱۴۷
۳	۲/۲۱۷	۰/۷۰۳	۰/۲۷۵	۰/۴۱۲	۰/۰۷۶
۴	۳/۵۰۲	۰/۸۳۴	۰/۱۶	۰/۷۳۶	-
۵	۳/۲۳۶	۰/۷۵	۰/۷۳۹	۰/۸۱۶	-
۶	۳/۴۲۷	۰/۶۱۷	۰/۳۶۵	۰/۴۳۶	-

همان‌طور که در جدول ۴-۲ مشاهده می‌شود در همه روابط تبخیر با درجه حرارت و سرعت باد رابطه مستقیم و با رطوبت رابطه معکوس دارد. پس یعنی با افزایش درجه حرارت و سرعت باد میزان تبخیر در منطقه افزایش پیدا می‌کند. از طرفی بزرگ‌ترین ضریب در همه روابط مربوط به پارامتر سرعت باد و کوچکترین ضریب مربوط به پارامتر رطوبت می‌باشد. در نتیجه یک واحد تغییر در سرعت باد بیشترین میزان تبخیر را نسبت به سایر پارامترها ایجاد می‌کند و حذف رطوبت تاثیر زیادی بر میزان تبخیر ندارد. از میان روابط ذکر شده رابطه اول کمترین به عنوان رابطه مناسب جهت تبخیر انتخاب می‌شود.

شکل ۴-۲ میزان شیب هریک از پارامترهای دما، رطوبت و سرعت باد را نسبت به تبخیر برای رابطه اول نشان می‌دهد همان‌طور که مشاهده می‌شود شیب سرعت باد بیشتر از شیب سایر پارامترها می‌باشد.



شکل ۴-۲. نمودار تغییرات شیب درجه حرارت، رطوبت و سرعت باد نسبت به تبخیر

پس می‌توان باد را مهم‌ترین عامل تبخیر در منطقه چاه نیمه سیستان دانست که برای کاهش میزان تبخیر باید بتوان باد را کنترل نمود. یکی از روش‌های کنترل سرعت باد استفاده از دیوارهای بادشکن می‌باشد که در این تحقیق مورد توجه قرار گرفته است.

۴-۳- انتخاب سیستم بادشکن

۴-۳-۱- تعریف بادشکن^۱

بادشکن‌ها جزء روش‌های فیزیکی کاهش تبخیر هستند که برای کاهش سرعت باد روی کل سطح آب بکار گرفته می‌شوند. بادشکن‌ها به دو صورت موانع مصنوعی و یا کمربند حفاظتی درختی می‌باشند. این سیستم علاوه بر کاهش سرعت باد به عنوان پوشش سایه نیز عمل می‌نماید.

۴-۳-۲- بادشکن غیرزنده (مصنوعی)^۲

بادشکن غیر زنده می‌تواند به صورت موانعی مانند دیوارهای سنگی، فلزی، چوبی، پلاستیکی، حصیری و دیوارهای تهپه شده از شاخه‌های بریده درختان موجود در منطقه باشد. مهمترین عامل موثر در طراحی بادشکن‌های غیرزنده انتخاب مواد اولیه در دسترس می‌باشد. بادشکن‌های غیرزنده در مواردی که شرایط محیطی اجازه پوشش

1- Windbreak

2- Artificial Windbreak

گیاهی برای ایجاد بادشکن درختی را ندهد و یا در مناطق کشت زودرس که خاک و یا آب ارزش بیشتری دارد مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل ۳-۴ نمونه ای از بادشکن مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴. نمایی از بادشکن غیرزنده (مصنوعی)

۳-۳-۴- بادشکن زنده (طبیعی)^۱

بادشکن‌های درختی معمولاً از یک یا چند ردیف درخت یا درخچه تشکیل گردیده‌اند که عمود بر جهت باد اصلی قرار می‌گیرند. اثر این درختان بسته به نوع درخت، تراکم و ارتفاع آن‌ها دارد. کشت نواری برخی گیاهان مشروط به آنکه نوارها عمود بر جهت باد باشند نیز می‌تواند به عنوان بادشکن عمل کند.

نوع بادشکن‌ها بسته به اینکه از درختان متراکم مانند کاج و سرو و بطور کلی سوزنی برگان تشکیل شده باشد یا از درختان کمتر متراکم و به عبارتی درختان متخلخل بوجود آمده باشد در مقابله با باد و کاهش اثرات تخریبی باد تاثیر فراوان دارد. اگر بادشکن از کاشت ردیفی کاج باشد، در این صورت باد مجبور است جریان خود را تغییر داده و از بالای آن حرکت نماید این وضعیت باعث ایجاد سرعت بیشتر شده و گردباد را منجر میشود ولی اگر از کشت درختان متخلخل بوجود آید، مثلاً از درختان اکالیپتوس، زالزالک و یا چنار، در این شرایط قسمتی از باد بصورت ملایم از قسمت تخلخل (لابه لای درختان) عبور کرده و بخش دیگر با سرعت کمتر از روی آنها عبور

1- Natural Windbreak

می‌نماید و ایجاد گردباد نمی‌کند. در این شرایط کارایی درختان متخلخل ۶۰ درصد خواهد بود. محصولات زراعی که در پشت بادشکن‌های متراکم کشت میشوند از عملکرد خوبی برخوردار نخواهند شد زیرا گردباد ایجاد شد باعث ورس در غلات و کاهش نسبی رطوبت هوا و خسارت به گیاهان جالیزی میشوند و توزیع بارندگی را در اراضی پشت خود کاهش می‌دهند. شکل ۴-۴ نمونه‌ای از بادشکن طبیعی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴. نمایی از بادشکن زنده (طبیعی)

بطور کلی بادشکن زنده (طبیعی) یک سیستم پویاست که در طول حیاتش توسعه و تغییر می‌کند. این نوع بادشکن‌ها برای موثر بودن باید بطور مستمر مدیریت شوند تا تاثیر حشرات و بیماری‌ها به حداقل برسد و بتواند در طولانی مدت مزایای بهینه‌ای فراهم کند همچنین تحقیقات Smith و همکارانش در سال ۱۹۹۷ نشان می‌دهد که بادشکن‌های طبیعی باید آب مورد نیاز خود را از سفره آب زیرزمینی و یا آب‌های سطحی تامین کنند که با توجه به بحران آب در منطقه سیستان امکان‌پذیر نیست و مدت زمان زیادی هم برای رشد آنها نیاز است. از طرفی خود این بادشکن‌ها باعث اتلاف مقداری آب از طریق تبخیر و تعرق می‌شوند. با توجه به تمام موارد ذکر شده و شرایط اقلیمی موجود در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق از بادشکن مصنوعی استفاده شد.

۴-۴- شیب‌سازی بادشکن صلب^۱

1- Solid Windbreak

به منظور شبیه‌سازی عددی جریان باد بر روی مخزن چاه‌نیمه در قدم اول چون ابعاد منطقه مورد مطالعه بسیار گسترده و شبیه‌سازی آن دشوار می‌باشد باید از تشابه دینامیکی برای کوچک کردن ابعاد منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT هندسه مساله 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 مورد نظر توسط FLUENT خوانده شده و شرایط تحلیلی سیال، مشخصات آن، مشخصات شرایط مرزی و... بر هندسه اعمال شده و مساله حل گردید.

۱-۴-۴- تشابه هیدرولیکی مدل

معمولاً طراحان و مهندسين برای ارائه و طرح یک پروژه، با مراجعه به تاسیسات مشابه موجود و با در نظر گرفتن فرمول‌های تجربی و تئوری در هیدرولیک، ابعاد تاسیسات مورد نظر را محاسبه می‌کنند. قوانین تشابه در قالب تشابه هندسی، تشابه سینماتیکی و تشابه دینامیکی بیان می‌شود.

در این پژوهش چون ابعاد منطقه مورد مطالعه بسیار گسترده و شبیه‌سازی آن دشوار می‌باشد باید از تشابه دینامیکی برای کوچک کردن ابعاد منطقه مورد مطالعه استفاده کرد. تشابه دینامیکی زمانی وجود دارد که بین مدل^۱ و نمونه اصلی^۲ تشابه هندسی و سینماتیکی برقرار باشد. یکی از انواع تشابه دینامیکی تشابه رینولدز است، که در این تحقیق از این تشابه استفاده شده است. عدد رینولدز نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت می‌باشد که برای تمامی جریان‌ها با سطح آزاد یا بدون سطح آزاد استفاده می‌شود. با استفاده از تشابه رینولدز مدل اصلی با مقیاس ۱ به ۲۴ کوچک شده است. طبق داده‌های جمع‌آوری شده برای سرعت باد از ایستگاه زهک، ماکزیمم سرعت در منطقه ۱۹ متر بر ثانیه می‌باشد که در مقیاس ۱ به ۲۴ برابر ۴۵۶ متر بر ثانیه خواهد شد و شبیه سازی سرعت باد براساس این سرعت انجام گرفته است. حالت کلی تشابه رینولدز به صورت زیر می‌باشد:

$$(Re)_m = (Re)_p$$

$$V_m * L_m = V_p * L_p$$

$$V_m = V_p * (L_p / L_m) = 19 * 24 = 456 \text{ m/s}$$

در روابط بالا V_m سرعت در مدل بر حسب متر بر ثانیه، L_m ارتفاع بادشکن در مدل بر حسب متر، V_p سرعت در واقعیت بر حسب متر بر ثانیه، L_p ارتفاع بادشکن در واقعیت بر حسب متر می‌باشد.

-
- 1- Model
 - 2- Prototype

۴-۴-۲- تعیین هندسه با استفاده از نرم افزار GAMBIT

۴-۴-۲-۱- تعیین ابعاد محدوده جریان

برای ایجاد محدوده جریان در نرم افزار GAMBIT، دو پارامتر مهم ارتفاع محدوده جریان (ارتفاع قسمتی که باد از آن عبور می کند) و طول محدوده جریان وجود دارد.

ارتفاع محدوده جریان باید به نحوی انتخاب شود که هیچ گونه تاثیری بر روی سرعت باد ورودی نداشته باشد. طبق تحقیقات وانگ و تکل^۱ در سال ۱۹۹۵ ارتفاع محدوده جریان باید ۸ برابر ارتفاع بادشکن یا بیشتر باشد. به عنوان مثال برای بادشکن به ارتفاع ۲ متر که با مقیاس ۱ به ۲۴ ارتفاع آن برابر ۰/۰۸۳ متر می شود. ارتفاع محدوده جریان برابر ۰/۷ متر خواهد شد.

پارامتر بعدی تعیین طول محدوده جریان می باشد که با بررسی مطالعات گذشته میدانیم طول محدوده اثر جریان باد به اندازه ۳۰H تا ۵۰H بعد از بادشکن می باشد. بیشترین میزان تغییرات سرعت باد بعد از بادشکن تا فاصله ۳۰H می باشد که در ۲۵H به بیشترین مقدار خود می رسد و بعد از ۳۰H از مقدار آن تا حد زیادی کاسته می شود. به همین دلیل در این پژوهش طول محدوده جریان در این تحقیق ۳۰H (H ارتفاع بادشکن بر حسب متر) بعد از بادشکن در نظر گرفته شده است. در این تحقیق پنج ارتفاع ۲، ۲/۵، ۳، ۴ و ۵ متر برای بادشکن در نظر گرفته شده است که در جدول ۲-۴ ارتفاع و طول محدوده جریان تعیین شده است:

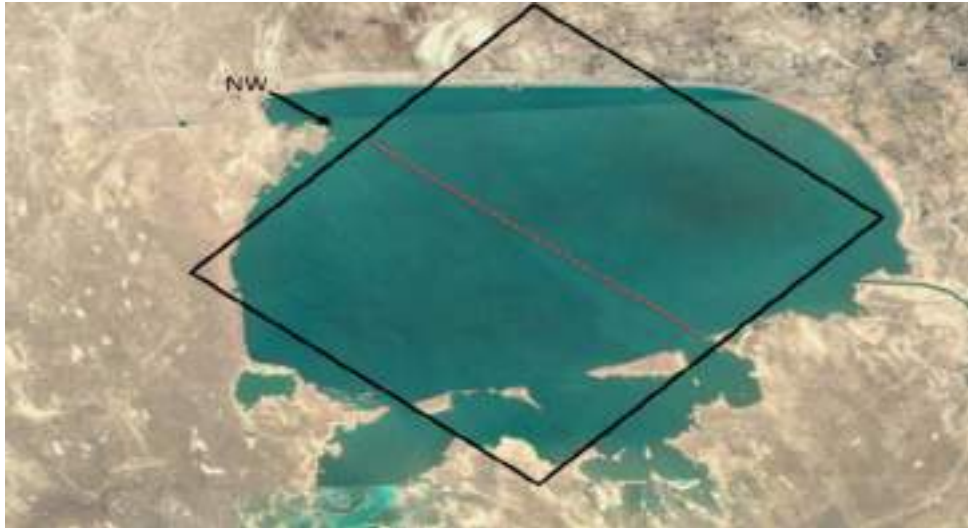
جدول ۳- ۲. تعیین ارتفاع و محدوده جریان

ارتفاع محدوده جریان (متر)	طول محدوده جریان (متر)	ارتفاع بادشکن (متر) با مقیاس ۱ به ۲۴	ارتفاع بادشکن (متر) در واقعیت
۰/۷	۲/۵	۰/۰۸۳	۲
۰/۸	۳	۰/۱	۲/۵
۱	۳/۷۵	۰/۱۲۵	۳
۱/۳۵	۵	۰/۱۶۷	۴
۱/۱۶۵	۶/۲۵	۰/۲۰۸	۵

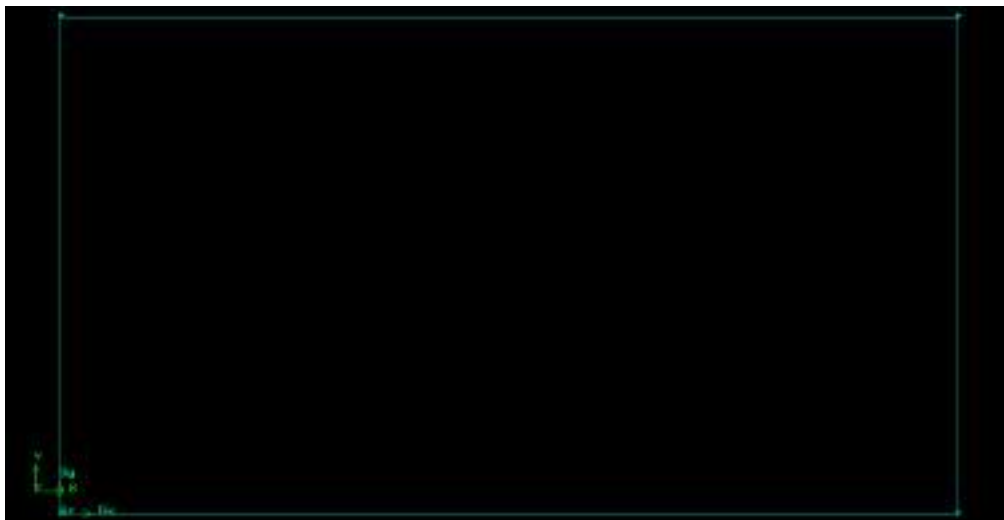
در این تحقیق چون مرز بالایی جریان WALL در نظر گرفته شده است، برای اطمینان از اینکه ارتفاع محدوده جریان هیچ تاثیری بر جریان باد عبوری از روی بادشکن ندارد ارتفاع محدوده جریان تا ۲ متر افزایش داده شد و

1- Wang and Takle

مشاهده شد که اگر ارتفاع محدوده جریان را بیش از ۸ ارتفاع بادشکن در نظر گرفته شود هیچ تاثیری بر حل مساله ندارد. و اگر طول محدوده جریان بیش از ۳۰ برابر ارتفاع بادشکن در نظر گرفته شود فقط باعث افزایش زمان حل می‌شود. چون بعد از این فاصله سرعت باد تقریباً به مقدار اولیه خود نزدیک می‌شود.



شکل ۴-۵. مقطع محدوده جریان (برش قائم از سطح مخزن چاه نیمه)



شکل ۴-۶. نمایی از محدوده جریان در نرم‌افزار GAMBIT

۲-۲-۴-۴- تعیین ابعاد بادشکن

۱-۲-۲-۴-۴- ارتفاع بادشکن^۱

مهمترین پارامتر در ساختار بادشکن، ارتفاع بادشکن می‌باشد زیرا طول منطقه حفاظت شده در جلو و پشت بادشکن به ارتفاع بادشکن بستگی دارد. طول منطقه حفاظت شده در پشت بادشکن معمولاً مضربی از ارتفاع بادشکن است. در این تحقیق پنج ارتفاع برای بادشکن در نظر گرفته شده است که در جدول ۴-۳ با تبدیل مقیاس آورده شده است.

جدول ۴-۲. تعیین ارتفاع بادشکن

ارتفاع بادشکن (متر) در واقعیت	ارتفاع بادشکن (متر) با مقیاس ۱ به ۲۴
۲	۰/۰۸۳
۲/۵	۰/۱
۳	۰/۱۲۵
۴	۰/۱۶۷
۵	۰/۲۰۸

۲-۲-۴-۴- طول بادشکن^۲

ظاهراً طول بادشکن باید برابر عرض منطقه مورد مطالعه باشد، ولی چون در دو انتهای بادشکن سرعت اولیه باد در حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد بهتر است طول بادشکن را بیش از عرض مخزن چاه‌نیمه در نظر گرفت.

۳-۲-۲-۴-۴- ضخامت بادشکن^۳

بررسی‌ها نشان داده است که عرض یا ضخامت بادشکن تأثیری در کاهش سرعت باد ندارد. ولی با این وجود در مورد بادشکن‌های طبیعی سعی می‌شود که از بادشکن‌های ضخیم استفاده شود تا در برابر وزش بادهای شدید و

1- Windbreak Height
2- Windrow Length
3- Windbreak Thickness

سایر عوامل طبیعی از بین نروند. به عنوان مثال از چند ردیف درخت بجای یک ردیف استفاده می‌شود. یکی از معایب عمده بادشکن‌های طبیعی با ضخامت زیاد اینست که درصد زیادتری از سطح زمین را اشغال می‌نمایند.



شکل ۴-۷- نمایشی از محدوده جریان و بادشکن در نرم‌افزار GAMBIT

۳-۲-۴- تعیین شرایط مرزی با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT

اعمال شرایط مرزی^۱ در نرم‌افزار گمبیت یکی از مهمترین اصول شبیه‌سازی جریان سیال است. شرایط مرزی در گمبیت در واقع تعیین کننده شرایط جریان سیال در نواحی مختلف هندسه مسئله می‌باشد. به هر مرز فقط یک نوع از انواع شرایط مرزی را می‌توان نسبت داد. انتخاب یک نوع برای یک مرز با توجه به اطلاعات در دسترس و اطلاعات مورد نیاز نرم‌افزار بر آن نوع مرز صورت می‌گیرد.

۱-۳-۲-۴- انواع شرایط مرزی در نرم‌افزار GAMBIT

در نرم‌افزار گمبیت دو دسته شرایط مرزی وجود دارد:

۱- شرایط مرزی SPECIFY CONTINUUM TYPES که جهت تعریف نواحی پیوستگی می‌باشد. برای

مسائل دو بعدی بایستی FACE و برای مسائل سه بعدی بایستی VOLUME, ENTITY باشد.

1- Boundary Condition

۲- شرایط مرزی SPECIFY BOUNDARY TYPES که جهت تعریف شرایط مرزی برای پاره‌خطها و صفحات می‌باشد.

۲-۳-۲-۴- شرایط مرزی SPECIFY BOUNDARY TYPES در نرم افزار GAMBIT

۱- VELOCITY INLET: این شرایط مرزی برای ورودی جریان است. اگر در مرزهای ورودی جریان پروفیل سرعت مشخص باشد از این شرط مرزی استفاده می‌کنیم. ورودی‌های مورد نیاز نرم‌افزار برای این نوع عبارتست از مولفه‌های سرعت و دما.

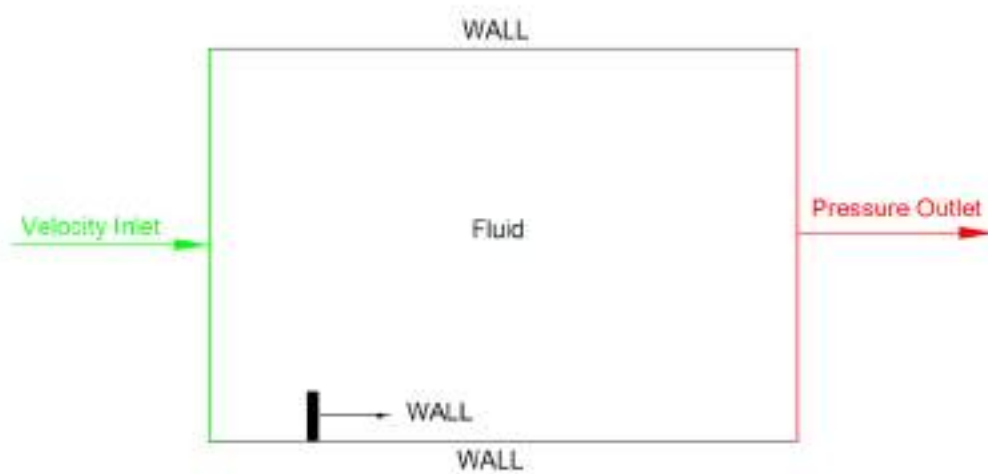
۲- PRESSURE INLET: این شرط مرزی را هم در جریانهای تراکم پذیر و هم در جریانهای تراکم ناپذیر می‌توان به کار برد. اگر بر روی مرزهای ورودی جریان، فشار کل معلوم باشد اما اطلاعاتی از سرعت یا دبی جرمی نداشته باشیم از این شرط استفاده می‌کنیم. فشار کل، دمای کل و جهت جریان ورودی اطلاعات مورد نیاز این نوع مرز است.

۳- PRESSURE OUTLET: در مرزهایی که جریان از طریق آن‌ها از حوزه فیزیکی خارج می‌شوند و فشار استاتیک خروجی معلوم است و یا در شرایط مرزی در قسمت ورودی VELOCITY INLET است استفاده می‌شود. این نوع هم برای جریان تراکم پذیر و هم تراکم ناپذیر به کار می‌رود.

۴- OUT FLOW: از این نوع شرایط مرزی زمانی که در مرزهای خروجی جریان هیچ اطلاعاتی از سرعت و فشار موجود نمی‌باشد و جریان خروجی در بی‌نهایت شکل می‌گیرد استفاده می‌شود. مرزی که این نوع شرایط به آن اعمال می‌شود بهتر است در مکانی باشد که جریان در آن مکان را بتوان توسعه یافته در نظر گرفت. یعنی گرادیان متغیرهای ورودی بجز فشار در راستای عمود بر سطح مرز را بتوان نزدیک صفر فرض کرد. این نوع شرط مرزی را نمی‌توان برای جریانهای تراکم پذیر استفاده کرد.

۵- WALL: برای مشخص کردن مرز یک ناحیه سیال یا جامد از این شرط استفاده می‌شود.

در این تحقیق شرط مرز ورودی VELOCITY INLET، شرط مرز خروجی PRESSURE OUTLET، شرط مرز بالایی، پایینی و بادشکن WALL در نظر گرفته شده است. شکل ۴-۸ نمایی از شرایط مرزی اعمال شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۴-۸- نمایی از شرایط مرزی اعمال شده در نرم‌افزار GAMBIT

۴-۴-۲-۴- شبکه‌بندی با استفاده از نرم‌افزار GAMBIT

پس از تعیین ابعاد و ترسیم محدوده جریان و بادشکن و اعمال شرایط مرزی، برای تحلیل هندسه در نرم‌افزار FLUENT باید هندسه مورد نظر مش‌بندی شود برای مشخص کردن حدود شبکه‌بندی در نرم‌افزار گمبیت می‌توان تعداد نقاط یا اندازه مش را وارد کرد. شکل ۴-۹ شبکه ایجاد شده توسط نرم‌افزار را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹. نمونه‌ای از شبکه تولید شده در نرم‌افزار GAMBIT

بعد از تعریف مش^۱ با استفاده از منوی FILE و منوی EXPORT می‌توانیم برای نرم‌افزار موردنظر یعنی FLUENT، با انتخاب mesh فایل خروجی ایجاد نماییم. در واقع خروجی از نرم‌افزار GAMBIT به عنوان ورودی در نرم‌افزار FLUENT استفاده می‌شود

۴-۴-۳- حل مساله با استفاده از نرم‌افزار FLUENT

پس از رسم شکل و مش زدن هندسه در فضای GAMBIT، هندسه و مش در نرم‌افزار FLUENT مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. مطابق مراحل زیر فایل خروجی نرم‌افزار GAMBIT را در نرم‌افزار FLUENT بازخوانی می‌کنیم.

File > Read > Mesh

۴-۴-۳-۱- معیار همگرایی

معیار همگرایی عبارتست از مقدار عددی یک کمیت یا کمیت‌های مهم که در حل مساله به کمک روش‌های عددی نمود پیدا می‌کند و باید روش عددی به ازای یک بازه مشخص از این معیار یا کمیت (ها) دارای جواب باشد. در این تحقیق معیار همگرایی بر روی عدد ده به توان منفی سه تنظیم شده است.

۴-۴-۳-۲- انتخاب مواد

ناحیه‌ی سیال، مجموعه‌ای از گره‌ها و سلول‌های شبکه می‌باشد که می‌توان تمام معدلات موجود در FLUENT مثل پیوستگی، مومنتوم، انرژی و غیره را در آن حل نمود. تنها ورودی ضروری برای این ناحیه، نوع یا جنس سیال^۲ می‌باشد. سیال شبیه‌سازی شده در این پژوهش، هوا^۳ می‌باشد. مشخصات کلی سیال هوا در جدول ۴-۴ آورده شده است. انتخاب سیال هوا در نرم‌افزار FLUENT بصورت زیر می‌باشد:

Setup > Material > Fluid > Air

جدول ۴-۳. مشخصات سیال هوا در شبیه‌سازی

-
- 1- Mesh
 - 2- Fluid
 - 3- Air

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

۳-۳-۴- مقداردهی شرایط مرزی

در این قسمت باید مقدار شرایط مرزی اعمال شده را وارد نماییم. همانطور که قبلا بیان شد حداکثر سرعت باد در منطقه ۱۹ متر بر ثانیه می باشد که با توجه به مقیاس ۱ به ۲۴ این عدد برابر با ۴۵۶ متر بر ثانیه است. پس در شرایط مرزی در قسمت VELOCITY INLET مطابق مسیر زیر مقدار سرعت را ۴۵۶ متر بر ثانیه و در جهت X تعریف می کنیم.

Setup > Boundary Condition > Velocity Inlet



شکل ۴-۱۰- نحوه اعمال شرایط مرزی در نرم افزار FLUENT

۴-۳-۴- انتخاب مدل آشفتگی و حل مساله

مدل آشفتگی عبارت است از روشی محاسباتی برای بستن معادلات جریان متوسط، به گونه ای که کم و بیش بخش وسیعی از مسائل جریان را بتوان حل کرد. تا کنون صدها مدل توربولانسی ارائه شده اند که هر یک برای رژیم های خاص جریانی و حتی در ناحیه ای خاص از میدان جریان معتبر و دقیق می باشند. لذا آشنایی با ماهیت

و کاربرد مدل‌های آشفتگی می‌تواند ما را در انتخاب مدلی با دقت بالا جهت مدلسازی عددی نوع جریان مورد بررسی، یاری نماید.

مدل‌های آشفتگی تعریف شده در FLUENT عبارت‌اند از:

۱- مدل یک معادله‌ای (SPALART- ALLMARAS): این مدل از یک معادله برای انتقال کمیت آشفتگی استفاده می‌کند. این معادله ارتباط بین مقیاس سرعت نوسانی و کمیت آشفتگی می‌باشد که جذر انرژی جنبشی آشفتگی به عنوان مقیاس سرعت در حرکت آشفته مرنظر می‌باشد و مقدار آن توسط معادله انتقال محاسبه می‌گردد. این مدل بطور خاص برای کاربردهای هوا و فضا شامل جریان‌های محدود به دیواره طراحی شده است و نشان داده است که نتایج خوبی برای لایه‌های مرزی در معرض گرادیان‌های فشار معکوس می‌دهد.

۲- مدل دو معادله‌ای ($K-\omega$, $K-\epsilon$): این مدل‌ها ساده‌ترین مدل‌ها هستند که قادرند نتایج بهتری در جریان‌هایی که مدل طول اختلاط نمی‌تواند بصورت تجربی در یک روش ساده مورد استفاده قرار بگیرند، ارائه دهند. بطور مثال جریان‌های گردابه‌ای از این نمونه‌اند. این مدل‌ها دو معادله دیفرانسیل را حل می‌کنند. به معادله k که از قبل بود، معادله ϵ و ω هم اضافه می‌شود. معادله انرژی جنبشی k ، بیان‌کننده مقیاس سرعت است، به این صورت که اگر قرار باشد سرعت‌های نوسانی مورد بررسی قرار گیرند، می‌توان جذر انرژی جنبشی حاصل از آشفتگی در واحد جرم را بعنوان مقیاس در نظر گرفت، معادله نرخ میرایی انرژی جنبشی، ϵ یا ω ، نیز مقیاس طول است. مدل‌های آشفتگی دیگری نظیر مدل سه معادله‌ای (TRANSITION K-KL-OMEGA)، مدل چهار معادله‌ای (TRANSITION SST) و مدل پنج معادله‌ای (REYNOLDS STRESS) هم برای تحلیل جریان وجود دارد.

در این تحقیق چون جریان سرعت در اثر برخورد با مانع تشکیل گردابه می‌دهد، از مدل آشفتگی دو معادله‌ای $K-\epsilon$ ، RNG استفاده شده است. این مدل به منظور مدل کردن حرکت در مقیاس‌های کوچکتر و تاثیرات آنها به وسیله نرمالسازی مجدد معادلات ناویراستوکس گسترش داده شده است. در مدل استاندارد $K-\epsilon$ ، لزجت گردابی به وسیله‌ی مقیاس طول آشفتگی تعیین میشود، بنابراین پخش آشفتگی محاسبه شده تنها در مقیاس‌های مخصوصی اتفاق می‌افتند. در حالی که در واقعیت، همه مقیاس‌های حرکت در پخش آشفتگی شرکت دارند. روش RNG یک ابزار ریاضی برای استخراج مدل آشفتگی شبیه به مدل $K-\epsilon$ است، منجر به یک قالب اصطلاح شده از معادلات ϵ میشود که برای محاسبه مقیاس‌های متفاوت حرکت، از طریق تغییرات در عبارت‌های معادله ϵ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

معمولاً مقادیر K و ϵ براساس روابط تقریبی زیر تعیین می‌شود:

$$T_i = \frac{u'}{u_{ave}} \cong 0.16(\text{Re}_{D_H})^{-1/8}$$

$$K = \frac{3}{2}(u_{ave} T_i)^2$$

$$\epsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{1.5}}{l}$$

$$l = 0.07L$$

U_{ave} در رابطه فوق عبارت است از سرعت متوسط جریان، T شدت آشفتگی، C_M ضریب ثابت تجربی مدل آشفتگی $K-\epsilon$ است که برابر ۰.۰۹ لحاظ می‌گردد، l طول اختلاط، L طول مشخصه‌ای از میدان می‌باشد. برای انتخاب مدل آشفتگی مراحل زیر باید طی شود:

Setup > Model > Viscous

آخرین گام حل نرم‌افزار می‌باشد. در این مرحله اگر نتایج همگرا^۱ (کمتر از ده به توان منفی سه) شود یعنی مش انتخابی درست است در غیر این صورت باید مش را تغییر دهید و مجدداً مساله را حل کنید. برای حل مساله مراحل زیر باید طی شود:

Setup > Solution Initialization

Setup > Run Calculation

۴-۴-۴- صحت‌سنجی^۲ بادشکن صلب

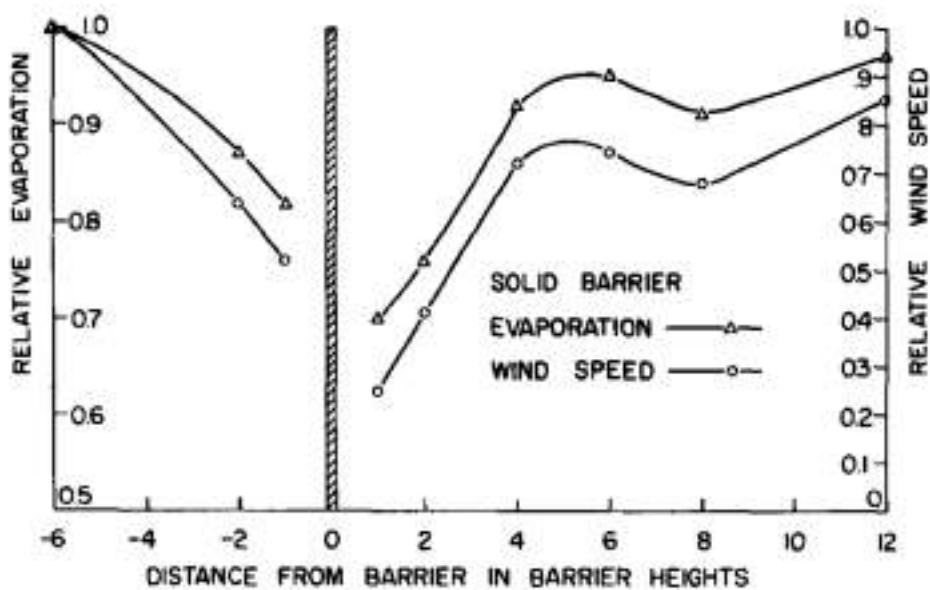
این مرحله که به نوعی تأیید مدل نیز می‌باشد، شامل اثبات اینکه مدل عددی حاضر، برای شرط مورد نظر کالیبره شده است و به درستی کار می‌کند، می‌باشد. نتایج مدل عددی در طی دوره‌ی شبیه‌سازی صحت‌سنجی بایستی با مجموعه‌ی داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردند. در صورت رسیدن به یک میزان قابل قبول از خطا بین داده‌ها و نتایج شبیه‌سازی مدل، می‌توان صحت مدل را حداقل برای شرایط مرزی و شرایط اولیه تعریف شده توسط

-
- 1- Converge
 - 2- Verification

مجموعه داده‌های مرحله صحت‌سنجی و کالیبراسیون مورد تایید قرار داد. در صورتی که حداقل سازگاری قابل قبول تحقق نیابد، در این صورت تجزیه و تحلیل باید برای مشخص نمودن دلایل ممکن برای بازبینی و تغییر اختلاف‌های موجود بین داده‌ها و نتایج شبیه‌سازی مدل انجام گیرد.

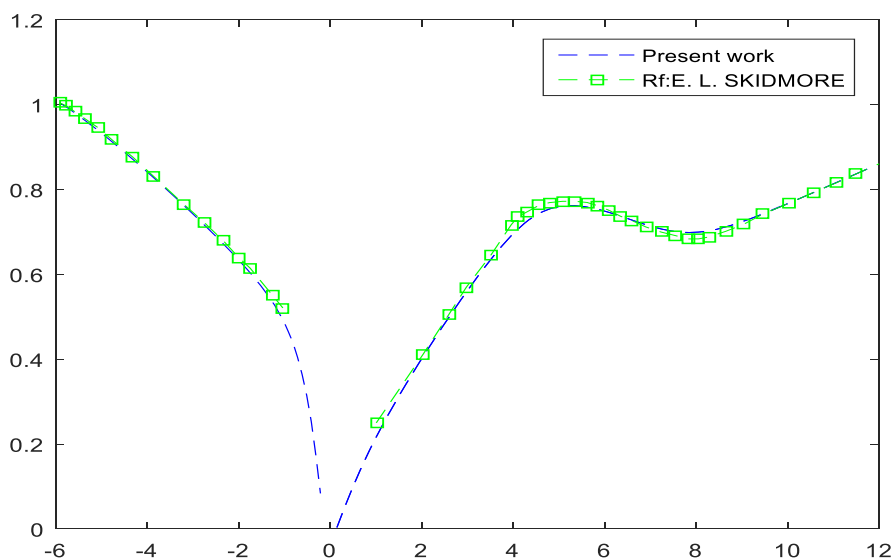
در این مرحله مدل حاضر مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای اطمینان از صحت نتایج عددی و اعتبار بخشی به آن، باید نتایج را با یک کار آزمایشگاهی یا عددی مرجع که تا حدود زیادی مشابه مدل پژوهش حاضر باشد مقایسه نمود. در پژوهش حاضر از کار تجربی اسکیدمور و هاگن^۱ در سال ۱۹۶۹ برای اعتبار سنجی نتایج استفاده شده است. بادشکن‌های مورد استفاده در تحقیق اسکیدمور و هاگن دارای ارتفاع ۲/۴۴ متر و از نرده‌های با تخلخل صفر، ۴۰ و ۶۰ درصد ساخته شد. نرده با تخلخل ۴۰ درصد با ابعاد $1/3 * 3/8 * 244$ سانتی‌متر که به صورت عمودی به همدیگر وصل شدند. نرده با تخلخل ۶۰ درصد متشکل از دو ردیف ۱/۲۲ متری از نرده‌ها بطوری‌که شبیه به حالت ۴۰ درصد ساخته شد بجز فاصله بین اسلایدها که تخلخل را به‌وجود می‌آورد. مانع بدون تخلخل با پوشش دادن نرده‌ها توسط یک لایه پلاستیکی ایجاد شد. یک نرده طولانی به طول ۶۰ متر برای غالب آمدن بر مسیر باد در یک میدان $100 * 200$ متر به صورت عمودی قرار داده شد. نرده‌ها به صورت دوره‌ای عوض شدند و داده‌ها برای چندین دوره اندازه‌گیری شد. برای صحت‌سنجی پژوهش حاضر، بادشکن صلب مورد استفاده در تحقیق اسکیدمور و هاگن مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴-۱۱ نحوه تغییرات سرعت باد قبل و بعد از بادشکن صلب در پژوهش اسکیدمور و هاگن را نشان می‌دهد.

1- Skidmore and Hagen



شکل ۴-۱۱. تغییرات سرعت باد قبل و بعد از بادشکن صلب در پژوهش اسکیدمور و هاگن

با توجه به استفاده از بادشکن صلب در این پژوهش و طبق مقاله انتخاب شده پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۲/۴۴ متر در ارتفاع ۱/۴۲ متری و سرعت باد ۴/۳۶ متر بر ثانیه رسم شد. با ملاحظه شکل ۴-۱۲ می‌توان گفت که مطابقت خیلی خوبی بین نتایج کار عددی حاضر و پژوهش اسکیدمور و هاگن وجود دارد. خطای نسبی این دو کار برابر با ۱/۵۶۸ درصد محاسبه شد. که محدوده قابل قبولی دارد. لازم به ذکر است که بخشی از خطای مزبور به خطای مربوط به تعیین ارتفاع و طول محدوده جریان در مدل عددی می‌باشد.



شکل ۴-۱۲. پروفیل سرعت باد بین پژوهش حاضر و پژوهش اسکیدمور و هاگن

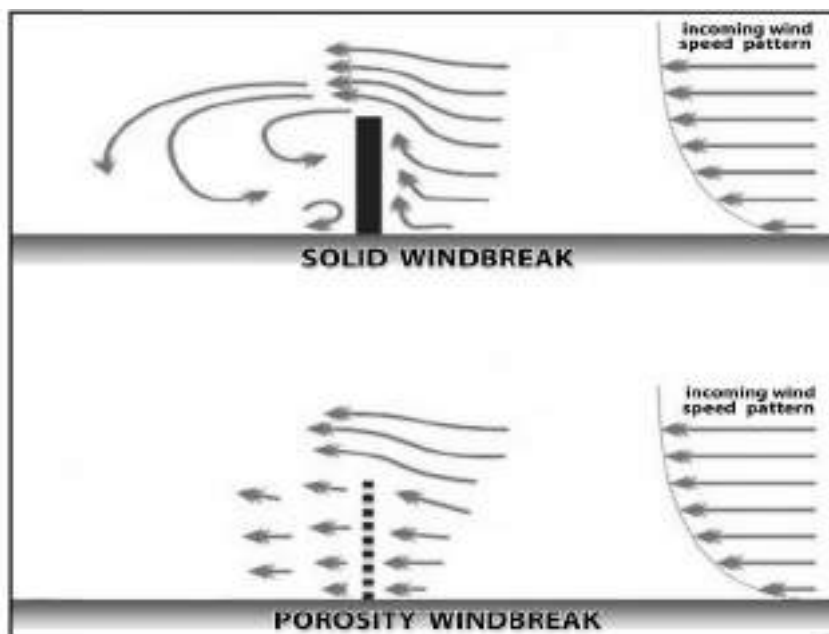
(محور افقی فاصله از بادشکن برحسب متر و محور عمودی سرعت باد بر حسب متر بر ثانیه)

۴-۵- شبیه‌سازی بادشکن دارای بازشو^۱

پس از شبیه‌سازی بادشکن صلب به مدلسازی بادشکن دارای بازشو پرداخته شد. اگر 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 از این رو این روش در مقایسه با بادشکن‌های نسبتاً نفوذپذیر یک ناحیه موثر محدود را در سمت پشت به باد ایجاد می‌کند. بادشکن‌های متخلخل^۲ یکی از انواع بادشکن‌ها می‌باشد که دارای مزیت‌های فراوانی هستند، از جمله این مزیت‌ها می‌توان به کاهش جریان گردابه‌ای در پشت بادشکن‌ها اشاره کرد که این مزیت باعث کم شدن میزان آشفته‌گی و فشار پشت بادشکن‌ها می‌شود، در نتیجه می‌توان فواصل بیشتری بین بادشکن‌ها در نظر گرفت. شکل ۴-۱۳ تفاوت جریان هوا بعد از بادشکن‌های صلب و متخلخل را نشان می‌دهد.

1- Casement Windbreak

2- Porosity Windbreak



شکل ۴-۱۳- تفاوت جریان هوا بعد از بادشکن‌های صلب و متخلخل

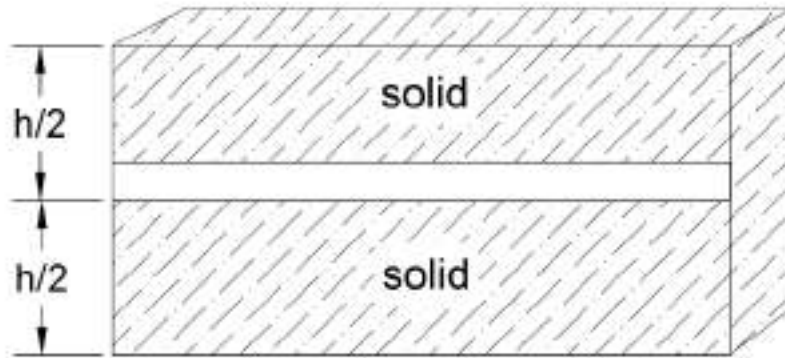
تخلخل^۱ یکی از پرکاربردترین عوامل توصیف ساختار درونی بادشکن‌های مصنوعی می‌باشد. منظور از تخلخل، نسبت مساحت محل سوراخ (فضاهای خالی) به کل سطح بادشکن است. مطالعات گذشته نشان می‌دهد که بادشکن‌های متخلخل بیشتر با هدف جلوگیری از فرسایش بادی، حفاظت دام‌ها، کشاورزی و... بکار گرفته می‌شدند. که عموماً از بادشکن‌های با تخلخل یکنواخت استفاده می‌شده است

ویلسون^۲ در سال ۱۹۸۶ برای اندازه‌گیری سرعت متوسط باد و آشفتگی جریان پشت بادشکن، از دو قطعه حصار با نفوذپذیری ۵۰ درصد که تنها در توزیع قائم تخلخل تفاوت داشتند، استفاده کرد. یکی از حصارها به‌طور یکنواخت متخلخل و حصار دیگر در قسمت نزدیک به زمین نسبتاً متراکم است. نتایج تحقیقات وی نشان می‌دهد، کاهش سرعت متوسط بیشتری برای حصار که در قسمت نزدیک به زمین متراکم‌تر بوده مشاهده می‌شود و همچنین هیچ افزایش زیان باری در آشفتگی نداشته است اما در مورد فواصل طولانی نسبت به حصار یکنواخت از اثربخشی کمتری برخوردار است.

از آنجایی که این تحقیق به منظور کاهش میزان تبخیر از طریق کنترل باد است پس نمیتوان از بادشکن‌های با تخلخل یکنواخت استفاده کرد، بادشکن پیشنهادی در این تحقیق دارای باز شو می‌باشد. شکل ۴-۱۴ بادشکن

1- Porosity
2- Wilson

شبیه سازی شده در این پژوهش را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌کنید، نیمه پایین بادشکن که در نزدیکی سطح دریاچه قرار دارد کاملاً صلب و قسمت بالایی آن با بازشو در نظر گرفته شده است.

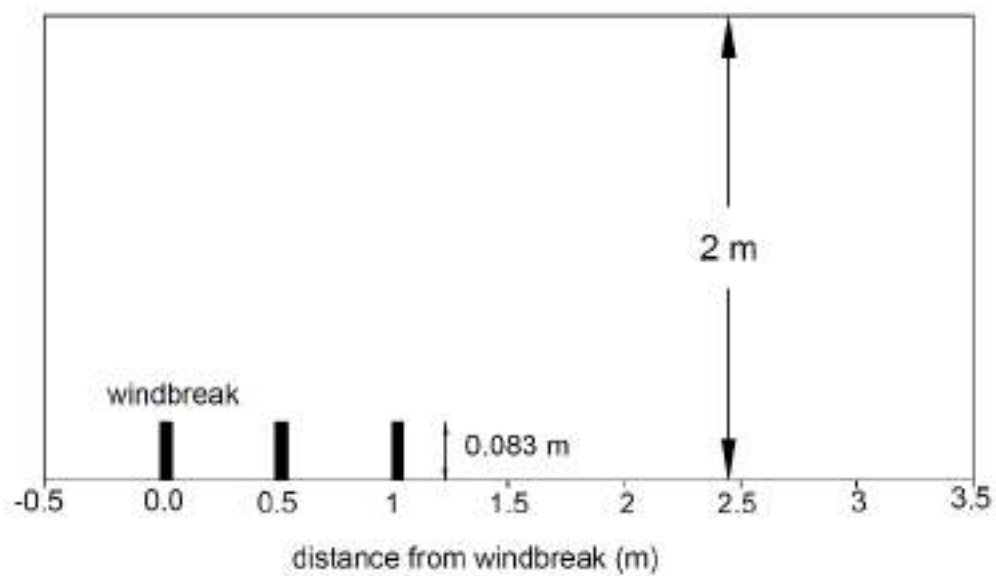


شکل ۴-۱۴. نمایی از بادشکن دارای بازشو مورد استفاده در تحقیق حاضر

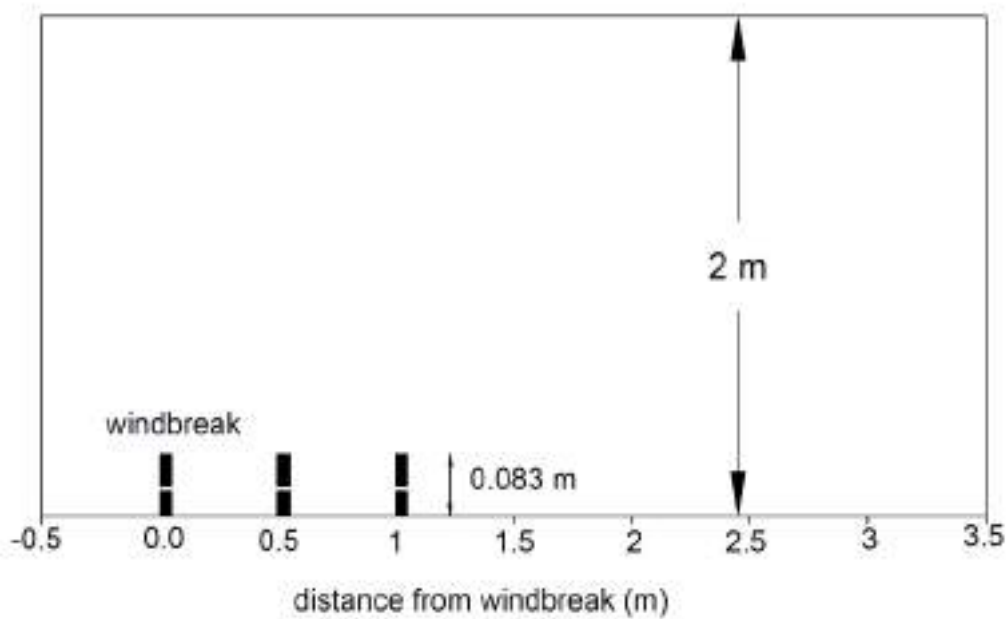
در این پژوهش بادشکن‌های دارای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد بازشو که قابلیت اجرا هم دارند، شبیه‌سازی شد. شبیه‌سازی بادشکن دارای بازشو مشابه بادشکن صلب می‌باشد. ارتفاع محدوده جریان هشت برابر ارتفاع بادشکن و یا بیشتر در نظر گرفته می‌شود و طول محدوده جریان $30H$ می‌باشد. تنها تفاوت در انتخاب مدل آشفتگی می‌باشد که از مدل دو معادله ای $K-\omega$ ، BSL استفاده شده است.

۴-۶ - چگونگی آرایش بادشکن‌های صلب و دارای بازشو

همان‌گونه که در بخش مقدمه ذکر شد، تاکنون مطالعاتی اندکی در خصوص کاربرد بادشکن‌ها به‌منظور کاهش تبخیر انجام شده است، و هیچ‌گونه الگوی طراحی در رابطه با فواصل بادشکن‌ها موجود نیست. به همین منظور در این پژوهش به بررسی الگوی مناسب قرارگیری بادشکن‌ها به‌منظور کاهش حداکثر تبخیر پرداخته شده است. نحوه آرایش بادشکن‌ها و تعیین فاصله بین آنها یکی از مهمترین پارامترها می‌باشد که این فاصله بسته به میزان مورد نظر درصد کاهش سرعت باد می‌تواند تعیین شود همچنین این فاصله باید به گونه‌ای انتخاب شود که پروژه از نظر اقتصادی مقرون به صرفه و قابل اجرا باشد. شکل ۴-۱۵ و ۴-۱۶ نحوه قرارگیری بادشکن‌های صلب و دارای بازشو و فاصله بین آنها را نشان می‌دهد.



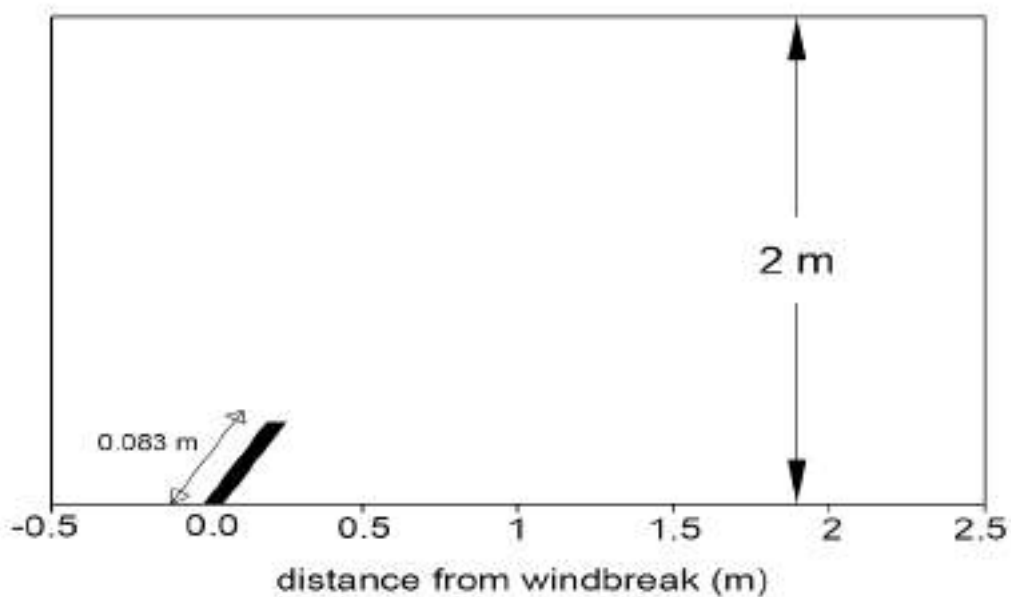
شکل ۴-۱۵. نمایی از فاصله بین بادشکن‌های صلب



شکل ۴-۱۶. نمایی از فاصله بین بادشکن‌های دارای بازو

۴-۷- شبیه‌سازی بادشکن‌های مورب (تحت زاویه)

پس از مدل‌سازی و شبیه‌سازی بادشکن‌های قائم صلب و دارای بازشو، در این مرحله به شبیه‌سازی بادشکن‌های مورب پرداخته شد. به‌منظور تعیین زاویه مناسب بادشکن‌ها، زوایای ۱۵، ۳۰، و ۶۰ درجه انتخاب و توسط نرم‌افزار مدل‌سازی و اجرا شدند. شبیه‌سازی بادشکن مورب مشابه بادشکن صلب و دارای بازشو می‌باشد. ارتفاع محدوده جریان هشت برابر ارتفاع بادشکن و یا بیشتر در نظر گرفته می‌شود و طول محدوده جریان $30H$ می‌باشد. برای آشفته‌گی از مدل دو معادله ای $K-\epsilon$ ، RNG استفاده شده است.



شکل ۴-۱۷. نمایی از بادشکن‌های مورب

۴-۸- تعیین جهت قرارگیری بادشکن‌ها بر روی مخزن چاه‌نیمه

حداکثر کارایی بادشکن‌ها زمانی است که در مقابل باد احداث شوند. پس از مدل‌سازی بادشکن‌های صلب و دارای بازشو با ارتفاع‌های مختلف و فواصل مختلف باید مکان قرارگیری بادشکن‌ها نسبت به باد غالب منطقه مشخص شود. برای تعیین مکان قرارگیری بادشکن‌ها، داده‌های مربوط به سرعت باد در چاه‌نیمه جمع‌آوری شد، و از نظر سرعت و جهت دسته‌بندی شدند.

۱-۸-۴- تقسیم بندی باد از نظر سمت

سمت باد، جهتی است که باد از آن سمت می‌وزد. سمت باد توسط وسیله‌ای ساده ای به نام بادنما^۱ اندازه‌گیری می‌شود. در ایستگاه‌های معمولی هواشناسی، تعیین سمت باد با هر وسیله یا علامت ساده‌ای مانند نگاه کردن به جهت حرکت دود یا خم شدن درخت‌ها تعیین می‌شود.

از نظر سمت معمولاً بادها در هشت گروه مطابق جدول زیر قرار می‌گیرند:

جدول ۴-۴- تقسیم بندی باد از نظر سمت

زاویه	جهت	جهت
۲۲/۵ تا ۳۳۷/۵	N	شمال
۶۷/۵ تا ۲۲/۵	NE	شمال شرقی
۱۱۲/۵ تا ۶۷/۵	E	شرق
۱۵۷/۵ تا ۱۱۲/۵	SE	جنوب شرقی
۲۰۲/۵ تا ۱۵۷/۵	S	جنوب
۲۴۷/۵ تا ۲۰۲/۵	SW	جنوب غربی
۲۹۲/۵ تا ۲۴۷/۵	W	غرب
۳۳۷/۵ تا ۲۹۲/۵	NW	شمال غربی

۲-۸-۴- تقسیم بندی باد از نظر سرعت

سرعت باد در ایستگاه‌های هواشناسی با وسیله‌ای به نام بادسنج^۲ اندازه‌گیری می‌شود، که ساده ترین نوع آن بادسنج فنجانی است. با بررسی داده‌های آماری مربوط به سرعت باد برای چاه‌نیمه برای یک سال مشخص شد که مینیمم سرعت ۲ متر بر ثانیه و ماکزیمم سرعت ۱۹ متر بر ثانیه می‌باشد به همین دلیل از نظر سرعت بادها در چهار گروه زیر تقسیم بندی شدند:

1- Wind Vane
2- Anemometer

۱- بادهای با سرعت بین صفر تا پنج متر بر ثانیه

۲- بادهای با سرعت بین پنج تا ده متر بر ثانیه

۳- بادهای با سرعت بین ده تا پانزده متر بر ثانیه

۴- بادهای با سرعت بین پانزده تا بیست متر بر ثانیه

جدول ۴-۵- تقسیم بندی بادهای از نظر سمت، سرعت و فراوانی در منطقه چاهنیمه سیستان

جهت جغرافیایی	زاویه باد اندازه گیری شده توسط سازمان هواشناسی	سرعت باد			
		۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰
شمال شرقی ۶۷/۵ - ۲۲/۵	۳۰	۱	-	-	-
	۵۰	۱	-	-	-
	۶۰	۲	۱	-	-
فراوانی باد شمال شرقی		۴	۱	-	-
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد شمال شرقی		۰/۵۶	۰/۱۴	-	-
شرق ۱۱۲/۵ - ۶۷/۵	۷۰	۳	-	-	-
	۸۰	۸	۱	-	-
	۹۰	۵	۱	-	-
	۱۰۰	۶	-	-	-
	۱۱۰	۲	-	-	-
فراوانی باد شرقی		۲۴	۲	-	-
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد شرقی		۳/۳	۰/۲۸	-	-
جنوب شرقی ۱۱۲/۵ - ۱۵۷/۵	۱۲۰	۶	۲	-	-
	۱۳۰	۵	۱	-	-
	۱۴۰	۱۲	-	-	-
	۱۵۰	۷	-	-	-
فراوانی باد جنوب شرقی		۳۰	۳	-	-
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد جنوب شرقی		۴/۱۲	۰/۴	-	-

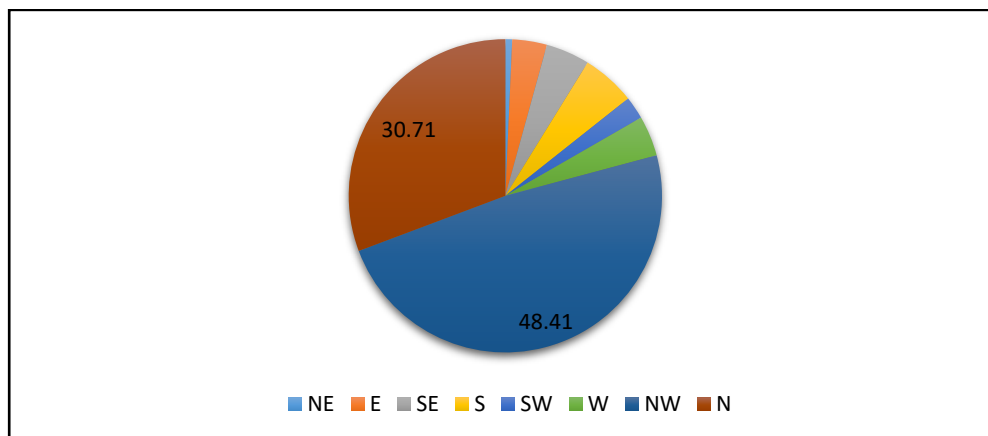
ادامه جدول ۴-۶. تقسیم بندی بادها از نظر سمت، سرعت و فراوانی در منطقه چاهنیمه سیستان

جهت جغرافیایی	زاویه باد اندازه گیری شده توسط سازمان هواشناسی	سرعت باد			
		۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰
جنوب ۱۵۷/۵ - ۲۰۲/۵	۱۶۰	۵	-	-	-
	۱۷۰	۳	-	-	-
	۱۸۰	۱۱	۱	-	-
	۱۹۰	۶	۲	-	-
	۲۰۰	۱۱	۱	-	-
فراوانی باد جنوب		۳۶	۴	-	-
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد جنوب		۴/۹۸	۰/۵۵	-	-
جنوب غربی ۲۰۲/۵ - ۲۴۷/۵	۲۱۰	۶	-	-	-
	۲۲۰	۲	۱	-	-
	۲۳۰	۲	۱	-	-
	۲۴۰	۴	۱	-	-
فراوانی باد جنوب غربی		۱۴	۳	-	-
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد جنوب غربی		۱/۹۴	۰/۴	-	-
غرب ۲۴۷/۵ - ۲۹۲/۵	۲۵۰	۲	۱	-	-
	۲۶۰	۳	-	-	-
	۲۷۰	۴	۲	-	۱
	۲۸۰	۶	-	۲	-
	۲۹۰	۵	۴	-	-
فراوانی باد غربی		۲۰	۷	۲	۱
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد غربی		۲/۷۷	۰/۹۷	۰/۲۸	۰/۱۴

ادامه جدول ۴-۶. تقسیم بندی بادها از نظر سمت، سرعت و فراوانی در منطقه چاهنیمه سیستان

جهت جغرافیایی	زاویه باد اندازه گیری شده توسط سازمان هواشناسی	سرعت باد			
		۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰
شمال غربی ۲۹۲/۵ - ۳۳۷/۵	۳۰۰	۱۸	۸	۴	-
	۳۱۰	۱۶	۱۱	۶	۳
	۳۲۰	۳۰	۴۲	۴۸	۱۲
	۳۳۰	۲۹	۸۰	۳۴	۹
فراوانی باد شمال غربی		۹۳	۱۴۱	۹۲	۲۴
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد شمال غربی		۱۲/۸۶	۱۹/۵	۱۲/۷۲	۳/۳
شمال ۲۲/۵ - ۳۳۷/۵	۳۴۰	۱۷	۴۹	۳۴	۱۲
	۳۵۰	۳۹	۳۶	۸	۵
	۳۶۰	۱۱	۷	۱	-
	۱۰	-	۱	-	-
	۲۰	۱	۱	-	-
فراوانی باد شمال		۶۸	۹۴	۴۳	۱۷
فراوانی نسبی (برحسب درصد) باد شمال		۹/۴۱	۱۳	۵/۹۵	۲/۳۵

مطابق جدول ۴-۶ مجموع بادها در همهی جهات محاسبه شده و در شکل ۴-۱۸ نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، بیشترین درصد بادهای وزیده شده روی مخزن چاهنیمه مربوط به سمت شمال غربی است پس باد شمال غربی به عنوان باد غالب منطقه در نظر گرفته می شود، بادشکن ها در این جهت قرار می گیرند.



شکل ۴-۱۸. نحوه توزیع باد در مخزن چاه نیمه

۴-۹- مدل سازی صفحات خورشیدی

به دلیل محدود بودن سخت افزار جهت مدل سازی کل چاه نیمه و بررسی حرکت باد در مقابل صفحات خورشیدی، با استفاده از تشابه دینامیکی برای کوچک کردن ابعاد منطقه مورد استفاده این مشکل حل گردید. با استفاده از نرم افزار ANSYS FLUENT V16 تمامی مراحل مدل سازی عددی انجام شده است. ایجاد هندسه برای حل جریان، مش بندی میدان محاسباتی و همچنین تعیین شرایط مرزی حاکم مشخص شده است. این مراحل به ترتیب در قسمت های GEOMETRIC و MESHING نرم افزار صورت می گیرد.

مرحله ی بعدی تحلیل سیال و حل مسئله می باشد که توسط FLUENT انجام می شود. نرم افزار FLUENT همانطور که در فصل قبل هم بیان شد زیرمجموعه ی نرم افزار ANSYS قرار گرفته است.

۴-۹-۱- تشابه هیدرولیکی

برای انجام پروژه های مهندسی، با توجه به تأسیسات مشابه و با در نظر گرفتن فرمول های تجربی و تئوری در هیدرولیک، می توان ابعاد را محاسبه کرد. قوانین تشابه در قالب تشابه هندسی، تشابه سینماتیکی و دینامیکی بیان می شود. با توجه به اینکه مدل سازی چاه نیمه ها بسیار مشکل می باشد، لذا از طریق تشابه دینامیکی این امر صورت گرفت و ابعاد و هندسه کوچک شد. تشابه دینامیکی تنها در شرایطی عملی است، که بین نمونه و نمونه ی اصلی تشابه هندسی و سینماتیکی برقرار باشد. تشابه رینولدز یکی از انواع تشابه دینامیکی می باشد که می توان هندسه و همچنین سرعت حدودی را تغییر داد. با استفاده از تشابه رینولدز، مقیاس $\frac{1}{20}$ ابعاد کوچک شده و بر

اساس حداکثر سرعت باد که توسط ایستگاه هواشناسی زهک به ثبت رسیده است. در مقیاس $\frac{1}{20}$ ، سرعت به ۳۸۰ متر بر ثانیه تغییر می‌کند.

تشابه رینولدز به صورت زیر می‌باشد که :

$$(Re)_m \times (Re)_p \quad (4-2)$$

$$V_m \times L_m = V_p \times L_p \quad (4-3)$$

$$V_m = V_p \times (L_p / L_m) = 19 \times 20 = 380 \text{ m}\theta \quad (4-4)$$

۲-۹-۴- تعیین هندسه با نرم‌افزار ANSYS

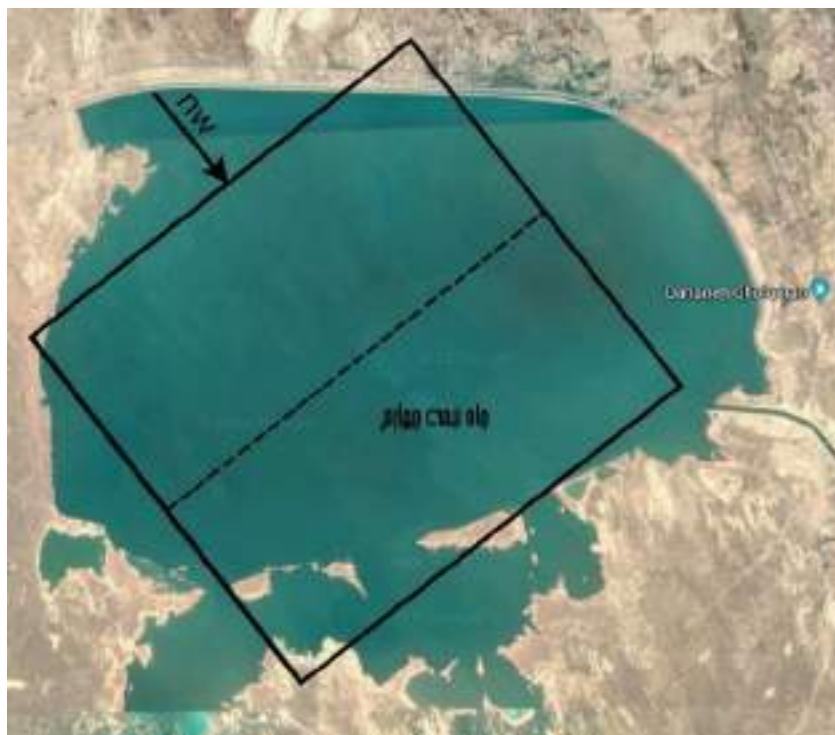
۱-۲-۹-۴- ایجاد محدوده جریان

در قسمت GEOMETRIC نرم‌افزار ANSYS قابلیت مدل‌سازی و تعیین ابعاد هندسی سه بعدی فراهم می‌باشد. در این قسمت دو پارامتر ارتفاع محدوده‌ی جریان (قسمتی از هندسه که جریان باد از آن عبور می‌کند) و مدل محدوده جریان وجود دارد. در واقع به دلیل سرعت‌های گوناگون باد و همچنین تغییر فشار هوا در ارتفاع، جو مانند یک چندلایه‌ای در نظر گرفته می‌شود، که تأثیری بر روی هم نمی‌گذارند. بنابراین موضوع، ارتفاع محدوده‌ی جریان باید به گونه‌ای انتخاب شود که هیچ‌گونه تأثیری بر روی سرعت باد ورودی نداشته باشد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته توسط وانگ و شکل در سال ۱۹۹۵ ارتفاع محدوده جریان باید حداقل ۸ برابر ارتفاع بادشکن (صفحات خورشیدی) در نظر گرفته شود. در این پژوهش ارتفاع بادشکن (صفحات خورشیدی) $\frac{2}{5}$ متر می‌باشد که با مقیاس $\frac{1}{20}$ ، ارتفاع آن 0.125 متر منظور گردید. ارتفاع محدوده جریان به متر در نظر گرفته شده است.

طول محدوده جریان که دومین پارامتر مهم می‌باشد مانند ارتفاع محدوده جریان نباید تأثیری بر روی سرعت ورودی جریان باد داشته باشد. در این پژوهش کل طول جریان $3/75$ متر یعنی $30H$ (H ارتفاع بادشکن) در نظر گرفته شده است ($30H$ طول ناحیه مؤثر از صفحات خورشیدی طبق نتایج مدل‌سازی به دست آمده است).

جدول ۴-۷. تعیین ارتفاع و محدوده جریان

ارتفاع محدوده جریان	طول محدوده جریان (متر)	ارتفاع بادشکن (صفحات خورشیدی) در مقیاس $\frac{1}{20}$ (متر)	ارتفاع بادشکن (صفحات خورشیدی) در واقعیت (بر حسب متر)
۲	۳/۷۵	۰/۱۲۵	۲/۵



شکل ۴-۱۹. مقطع محدوده جریان (Google)

۲-۲-۹-۴- ایجاد صفحات خورشیدی

۱-۲-۲-۹-۴- ارتفاع صفحات خورشیدی

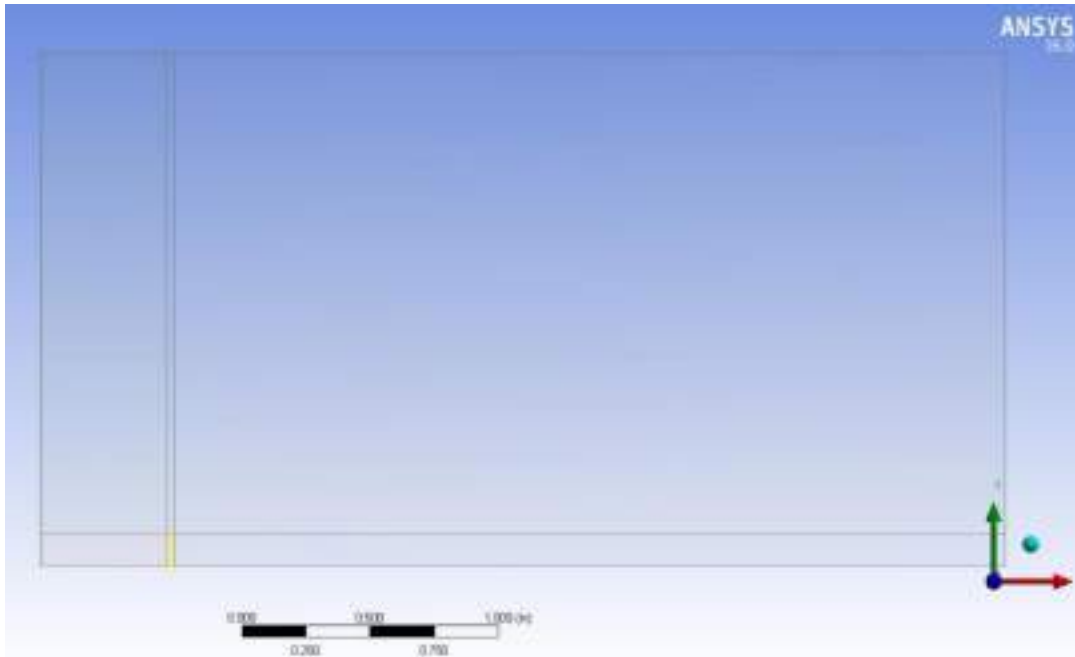
برای تعیین ابعاد، قطعاً یک پارامتر بسیار مهم وجود دارد که اهمیت آن از بقیه بیشتر می‌باشد. در مورد هندسه صفحات، ارتفاع مدل مهم می‌باشد. به این دلیل که هوای منطقه محافظت شده در جلو و پشت صفحات خورشیدی (به عنوان بادشکن) به ارتفاع صفحات خورشیدی بستگی دارد. در این تحقیق ارتفاع صفحات ۰/۱۲۵ متر در نظر گرفته شده است (جدول ۴-۸).

جدول ۴-۸. ارتفاع صفحات خورشیدی

ارتفاع صفحات خورشیدی با مقیاس $\frac{1}{20}$ (متر)	ارتفاع صفحات خورشیدی در واقعیت (متر)
۰/۱۲۵	۲/۵

۴-۹-۲-۲-۲- ضخامت صفحات خورشیدی

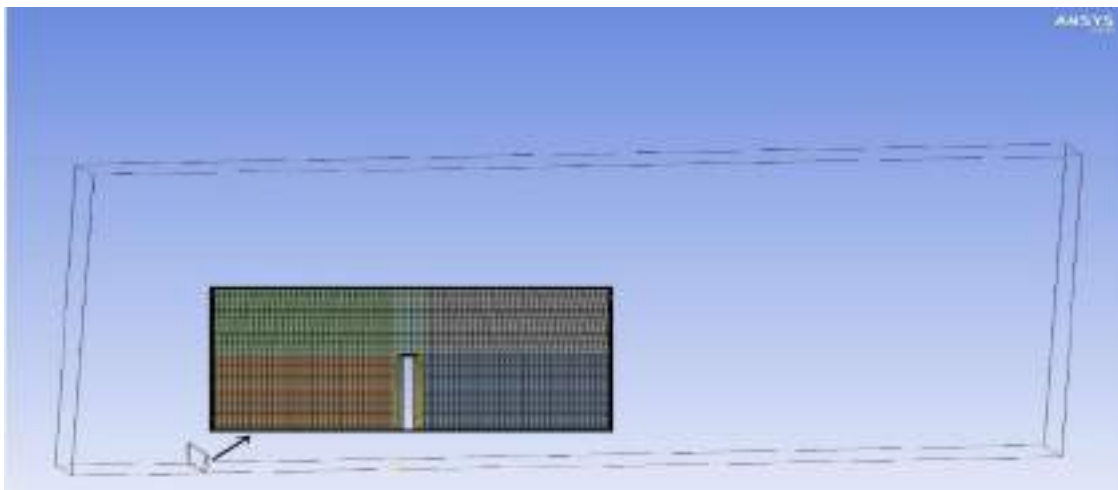
بر اساس آزمایشات و تحقیقات صورت گرفته، ضخامت صفحات خورشیدی تأثیری در نتایج حاصله ندارد. لذا برای به وجود آوردن مدلی کاملاً واقعی و مطابق با واقعیت از ضخامت صفحات صرف نظر نشده است و مقدار تعریف شده است (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰. نمایی از محدوده جریان بادشکن در نرم افزار ANSYS

۴-۹-۲-۳- مش بندی (شبکه بندی) در نرم افزار ANSYS

گام بعدی پس از هندسه‌ی مدل و محدوده جریان، مش بندی هندسه‌ی مورد نظر می‌باشد. این عمل، بسیار مهم برای تحلیل رفتار سیال در نرم افزار ANSYS توسط FLUENT می‌باشد. در این تحقیق مطالعه بر روی رفتار جریان عبوری از صفحات خورشیدی (بادشکن) می‌باشد لذا برای مش بندی صحیح تر از دستور BOOLEAN استفاده می‌شود. دستور BOOLEAN به نرم افزار این امکان را فراهم می‌سازد که سطح جامد (صفحات خورشیدی) را نادیده می‌گیرد تا فقط سطح سیال مدل، شبکه بندی انجام شود. در نهایت نرم افزار به طور پیش فرض سطح جامد را به عنوان دیوار در نظر می‌گیرد (شکل ۴-۲۱).



شکل ۴-۲۱. نمونه‌ی شبکه‌بندی تولیدشده در نرم‌افزار ANSYS

۴-۹-۳- تحلیل مسئله در نرم‌افزار ANSYS به‌وسیله FLUENT

همان‌طور که در فصل قبل اشاره شد، نرم‌افزار کمپانی ANSYS، نرم‌افزار تحلیلی سیال FLUENT را خریداری کرده و زیرمجموعه نرم‌افزار ANSYS شده است.

۴-۹-۳-۱- همگرایی

زمانی همگرایی رخ می‌دهد که کمیت‌های مهم رابطه در حل مسئله به کمک روش‌های عددی نمود پیدا می‌کند. روش‌های عددی به ازای یک بازه مشخص از معیارها یا کمیت‌ها (ها) دارای جواب می‌باشند. اما همگرایی صورت گرفته همیشه ملاک صحیح ارزیابی کردن نرم‌افزار نمی‌باشد. در این پروژه معیار همگرایی 10^{-3} می‌باشد.

۴-۹-۳-۲- نوع سیال

همان‌طوری که بیان شد، هندسه مدل و ناحیه جریان از شبکه‌ها و گره‌های فراوانی جهت بالا بردن دقت محاسبات و تحلیل مسئله تشکیل شده است. همچنین نوع شبکه از اهمیت بالایی در این مورد دارد. در این تحقیق نوع سیال هوا در نظر گرفته شده است و همچنین ابعاد مش در ۶ میلیمتر می‌باشد. که توسط ANSYS FLUENT مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (جدول ۴-۹).

جدول ۹-۴. مشخصات سیال هوا در مدل سازی

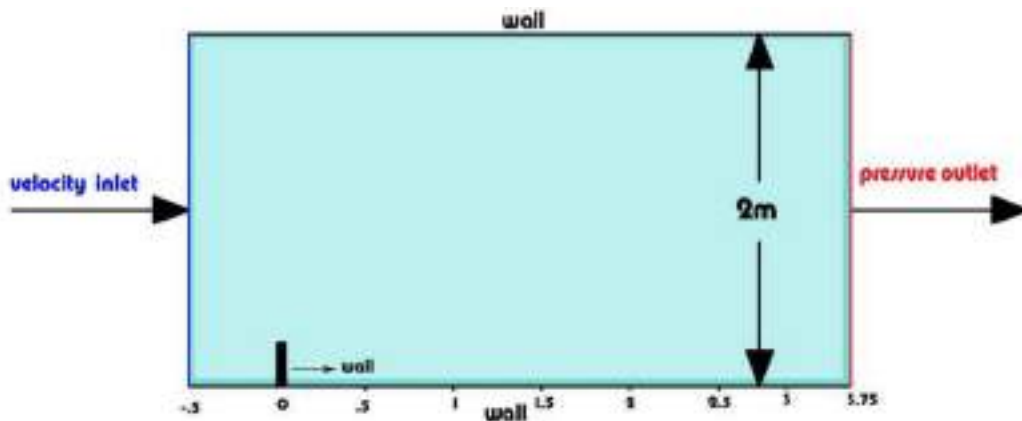
چگالی (Kg/m^3)	گرمای ویژه ($J/kg.k$)	ضریب هدایت گرمایی (W/mk)	ویسکوزیته (Kg/ms)
۱/۲۲۵	۱۰۰۶/۲۵	۰/۰۲۴۲	$۱/۷۸۹۴e^{-۵}$

۳-۳-۹-۴ - اعمال شرایط مرزی در نرم افزار ANSYS

یکی از مهم ترین قسمت های شبیه سازی جریان سیال، تعیین درست و اعمال صحیح شرایط مرزی می باشد. نرم افزار ANSYS این قابلیت را هم در قسمت GEOMETRIC و MESH فراهم ساخته است (شکل ۷-۴).

۴-۳-۹-۴ - شرایط مرزی BOUNDARY CONDITIONS

- WALL: مرز سیال با جامد را مرز WALL در نظر گرفته می شود. در این تحقیق در فضای سه بعدی، وجه بالا، وجه پایین و دو وجه چپ و راست، WALL در نظر گرفته شده است. هدف تعیین مرز WALL، مشخص کردن محدوده ی جریان سیال می باشد.
- VELOCITY INLET: مهم ترین عمل در شرایط مرزی، اعمال داده های صحیح می باشد. لذا برای هر پارامتر، داده ی مخصوص به خود را باید وارد کرد. برای وارد کردن مقدار شرایط مرزی ورودی جریان می بایست در قسمت VELOCITY INLET نرم افزار مقدار مربوطه را وارد نمود.
- PRESSURE INLET: در جریان های تراکم پذیر و تراکم ناپذیر در صورت معلوم بودن فشار کل در قسمت ورودی قابل استفاده می باشد.
- PRESSURE OUTLET: در جریان های تراکم پذیر و تراکم ناپذیر در مقطعی از هندسه است که جریان ورودی از آنجا خارج می شود، قابل استفاده می باشد.

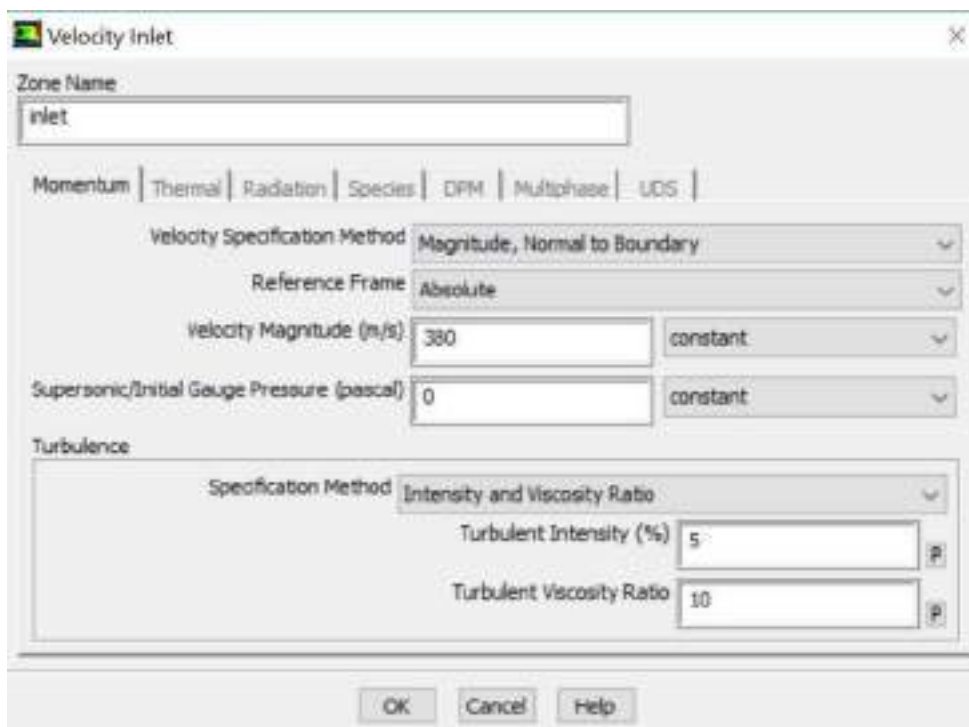


شکل ۴-۲۲. نمایی از شرایط مرزی اعمال شده در نرم افزار ANSYS

۴-۹-۳-۵- وارد کردن مقادیر مرزی در نرم افزار ANSYS

بر اساس داده های ایستگاه هواشناسی زهک در طول یک سال، بیشترین مقدار سرعت برابر با 19 m/s بوده است. با توجه به مقیاس $\frac{1}{20}$ ، این میزان به 380 m/s تغییر می کند، که در قسمت VELOCITY INLET با توجه به شکل زیر وارد می کنیم (شکل ۴-۲۳):

Ansys workbench > Boundary conditions > Velocity inlet



شکل ۴-۲۳. نحوه وارد کردن شرایط مرزی در نرم افزار ANSYS

۶-۳-۹-۴- انواع مدل‌های آشفستگی

- مدل یک معادله‌ای Spalart_Allmars: استفاده از یک معادله برای انتقال کمیت آشفستگی و روابط بین مقیاس سرعت نوسانی و آشفستگی است.
- دو معادله‌ای k_ϵ , k_w : ساده‌ترین نوع مدل، توانایی دسترسی به نتایج بهتر در جریان‌هایی که مدل طول اختلاط نمی‌تواند به صورت تجربی در یک روش ساده مورد استفاده قرار گیرند.
برای انتخاب مدل آشفستگی مراحل زیر باید صورت گیرد:

Setup > model > viscous

در گام آخر، یکی دیگر از اصلی‌ترین عوامل در همگرا شدن مسئله، نوع مش بندی انتخاب شده است. در صورتی که همگرایی اتفاق نیافتد، اولین اقدام برای رفع عدم همگرایی مسئله لازم است نوع مش بندی تغییر کند.

۴-۱۰- طراحی آزمایش‌ها به روش تاگوچی

روش تاگوچی روشی برای بهینه‌یابی سطح پارامترهای مؤثر بر آزمایش است. در روش طراحی آزمایش، عمداً در متغیرهای ورودی فرآیند تغییراتی داده می‌شود تا به این ترتیب مقدار تغییرات حاصل در پاسخ فرآیند مشخص شود. با استفاده از این روش می‌توان عوامل ورودی قابل کنترل را به طور نظام‌مند تغییر داد. گروه اول در طراحی آزمایش‌ها و طراحی پایانی محصول یا فرایند، سطوح معینی دارند و عوامل قابل کنترل نامیده می‌شوند. گروه دوم که عوامل نویز (اغتشاشی) می‌باشند، بر واکنش یک فرآیند اثر می‌گذارند اما به لحاظ اقتصادی نمی‌توانند کنترل شوند. در بیشتر موارد این عوامل منبع اصلی نوسان می‌باشند. به علاوه یکی از مهم‌ترین قابلیت‌های این روش، مشخص شدن میزان مشارکت هر یک از پارامترها در نتایج آزمایش می‌باشد. این قابلیت از طریق جدول آنالیز برای داده‌های آزمایش بدست می‌آید و کمک می‌کند تا پارامترها را براساس اهمیتشان اولویت‌بندی شوند. دو روشی که تاگوچی جهت انجام و کامل کردن تحلیل آزمایش‌ها ارائه می‌دهد به شرح زیر است:

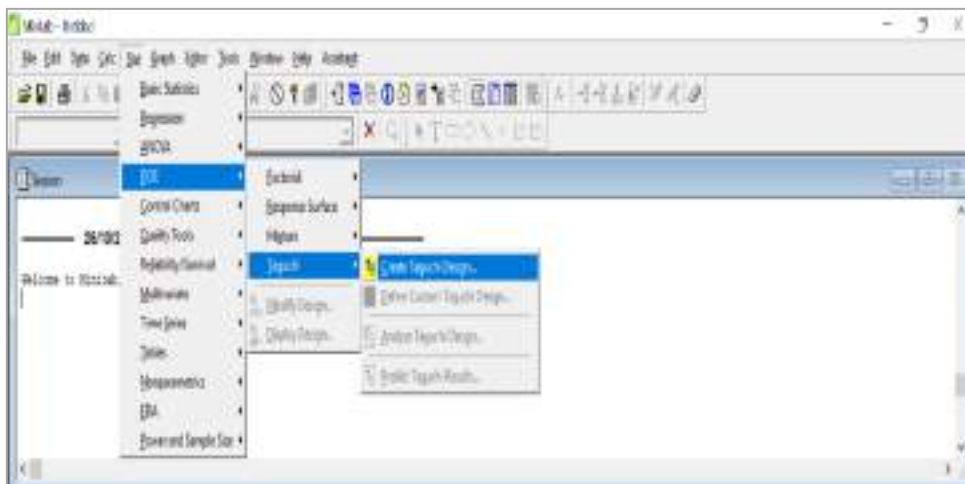
۱- روش استاندارد: در این روش نتیجه یک موقعیت آزمایش و یا میانگین نتیجه بدست آمده از تکرار یک موقعیت آزمایش توسط اثر عمده و آنالیز واریانس پردازش می‌شود.

۲- روش سیگنال به نویز: روشی که تاگوچی برای آزمایش‌های تکرار شونده پیشنهاد می‌کند استفاده از نسبت سیگنال به نویز برای مراحل مشابه در تحلیل می‌باشد. این تحلیل با استفاده از تغییر نتایج، مناسب‌ترین و

قوی‌ترین شرایط کاری را تعیین می‌کند. نسبت سیگنال به نویز پراکندگی حول یک مقدار معین را بیان می‌کند. هر چه این نسبت بیشتر باشد میزان پراکندگی کمتر خواهد شد.

۴-۱۰-۱- ایجاد طراحی آزمایش تاگوچی

سپس در نرم‌افزار MINITAB مطابق شکل (۴-۲۴) برای ایجاد طراحی آزمایش‌های تاگوچی اقدام خواهد شد.



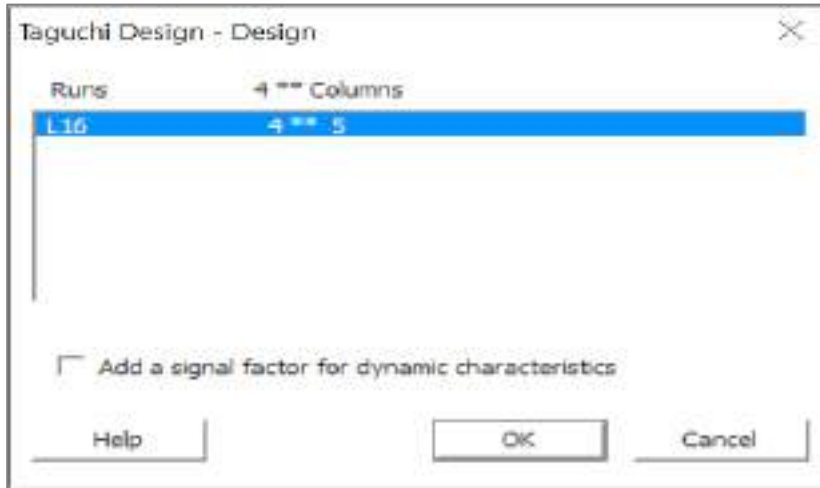
شکل ۴-۲۴. ایجاد آزمایش‌های تاگوچی

در ادامه مطابق شکل (۴-۲۵) جهت برنامه‌ریزی آزمایش، تعداد چهار سطح (تعداد ردیف و پنج فاکتور متغیرهای طراحی بادشکن) انتخاب می‌گردد.



شکل ۲۵-۴. انتخاب مقادیر سطح و فاکتور در طراحی تاگوچی

بعد از تایید مرحله قبل، بر روی آیکن Designs کلیک نموده و تعداد آزمایش‌های بهینه پیشنهادی تاگوچی را تایید می‌نماییم. مطابق شکل (۲۶-۴) تعداد آزمایش‌های بهینه ۱۶ مورد می‌باشد. بعد از تایید ۱۶ آزمایش، تاگوچی طرح پیشنهادی خود را مطابق جدول ۱۰-۴ ارائه می‌دهد.



شکل ۲۶-۴. تعداد آزمایش‌های بهینه

جدول ۱۰-۴. آزمایش‌های ارائه شده تاگوچی

ردیف	ارتفاع بادشکن	زاویه بادشکن	درصد بازشوندگی	فاصله بین بادشکن	تعداد ردیف
۱	۲	۹۰	۱۰	۱۰	۱
۲	۲	۶۰	۱۵	۲۵	۲
۳	۲	۴۵	۲۰	۴۰	۳
۴	۲	۳۰	۲۵	۶۵	۴
۵	۲	۹۰	۱۵	۶۵	۴
۶	۲/۵	۶۰	۱۰	۶۵	۳
۷	۲/۵	۴۵	۲۵	۱۰	۲
۸	۲/۵	۳۰	۱۵	۲۵	۱
۹	۳/۵	۹۰	۱۵	۶۵	۲
۱۰	۳/۵	۶۰	۲۵	۴۰	۱
۱۱	۳/۵	۴۵	۱۰	۲۵	۴
۱۲	۳/۵	۳۰	۱۵	۱۰	۳

۳	۲۵	۲۵	۹۰	۴	۱۳
۴	۱۰	۲۰	۶۰	۴	۱۴
۱	۶۵	۱۵	۴۵	۴	۱۵
۲	۴۰	۱۰	۳۰	۴	۱۶

مطابق آنچه گفته شد برای هر ۱۶ حالت طراحی بادشکن، ارتفاع، زاویه، درصد بازشوندگی، تعداد ردیف و فاصله آن‌ها از یکدیگر مشخص شده است. طول بادشکن در همه حالات برابر عرض منطقه مورد مطالعه (مخزن چاه‌نیمه شماره ۴) می‌باشد. ضخامت بادشکن نیز برابر ۰/۲ متر در نظر گرفته شده است.

۲-۱۰-۴- انتخاب مدل آشفتگی و حل مسئله

مدل آشفتگی یک روش محاسباتی است که به بسته شدن معادلات جریان میانگین کمک می‌کند. تا کنون مدل‌های آشفتگی مختلفی ارائه شده‌است که هر یک برای رژیم‌های خاص جریان معتبر می‌باشند. مدل آشفتگی ایده‌آل به مدلی گفته می‌شود که حداقل پیچیدگی را داشته باشد، در حالی که جواب‌های دقیق از فیزیک پدیده را به درستی نشان دهد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. به همین دلیل آشنایی با انواع مدل‌های آشفتگی می‌تواند جهت انتخاب مدلی مناسب با دقت بالا تأثیرگذار باشد. مدل‌های آشفتگی تعریف شده در FLUENT عبارت‌اند از:

۱- مدل یک معادله‌ای (Spalart-Almaras): این مدل از یک معادله برای انتقال کمیت آشفتگی استفاده می‌کند. این معادله ارتباط بین مقیاس سرعت نوسانی و کمیت آشفتگی می‌باشد که جذر انرژی جنبشی آشفتگی به عنوان مقیاس سرعت در حرکت آشفته مدنظر می‌باشد و مقدار آن توسط معادله انتقال محاسبه می‌گردد. این مدل برای استفاده در صنعت هوا-فضا در شبکه بی‌ساختار توسعه پیدا کرد و برای تحلیل جریان‌های مرزی محدود به دیواره با چرخش‌های ملایم مناسب است. این مدل برای جریان‌های برشی آزاد و نواحی با چرخش شدید ضعیف است.

۲- مدل دو معادله‌ای (K- ω , K- ϵ): این مدل‌ها نسبتاً ساده هستند و برای بسیاری از جریان‌ها تخمین‌های قابل قبولی را ارائه می‌دهند. همچنین محاسبات پایداری دارند و نسبتاً همگرا هستند. در این مدل‌ها دو معادله حل می‌شود. یک معادله برای پیدا کردن k (انرژی جنبشی) و یک معادله برای پیدا کردن ϵ (استهلاک آشفتگی) یا ω (مقیاس زمانی).

مدل‌های آشفتگی دیگری نظیر مدل سه معادله‌ای (TRANSITION K-KL-OMEGA)، مدل چهار معادله‌ای (TRANSITION SST) و مدل پنج معادله‌ای (REYNOLDS STRESS) هم برای تحلیل جریان وجود دارد. در این تحقیق چون جریان در اثر برخورد با مانع تشکیل گردابه می‌دهد، از مدل آشفتگی دو معادله ای K-ε RNG استفاده شده است.

مدل RNG دارای یک ترم اضافی نسبت به مدل Standard k-ε می‌باشد که باعث افزایش دقت محاسبات می‌گردد. این مدل منجر به یک قالب اصلاح شده از معادلات ε می‌شود که برای محاسبه مقیاس‌های متفاوت حرکت، از طریق تغییر در عبارت‌های معادله ε مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً مقادیر K و ε براساس روابط تقریبی زیر تعیین می‌شود:

$$T_i = \frac{u'}{u_{ave}} \cong 0.16(\text{Re}_{D_H})^{-1/8}$$

$$K = \frac{3}{2}(u_{ave} T_i)^2$$

$$\varepsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{1.5}}{l}$$

$$l = 0.07L$$

U_{ave} در رابطه فوق سرعت متوسط جریان، T شدت آشفتگی، l طول اختلاط، L طول مشخصه‌ای از میدان و C_M ضریب ثابت تجربی مدل آشفتگی K-ε می‌باشد که مقدار آن برابر ۰/۰۹ لحاظ می‌گردد. برای انتخاب مدل آشفتگی مراحل زیر باید طی شود:

Define → Model → Viscous

۳-۱۰-۴- معیار همگرایی

از مهم‌ترین بخش‌های هر شبیه‌سازی عددی، رسیدن به همگرایی در حل مسئله است. یکی از روش‌های کنترل همگرایی، بررسی باقیمانده‌های معادلات حاکم بر مسئله می‌باشد. به این صورت که با رسیدن باقیمانده‌ها به یک مقدار مشخص شده توسط کاربر، همگرایی حاصل می‌گردد. معیار همگرایی تعیین شده در این پژوهش عدد ده به توان منفی پنج است.

در مرحله آخر حل مسئله صورت می‌گیرد. چنانچه در این مرحله نتایج موردنظر همگرا^۱ شود و به کمتر از ده به توان منفی پنج برسد، به این معنی است که مش وارد شده صحیح می‌باشد و اگر روند همگرایی قبل از رسیدن به معیار مشخص شده متوقف شود، باید مش انتخابی را تغییر داد و مراحل حل را مجدد تکرار نمود. مراحل حل مسئله در نرم‌افزار FLUENT به صورت زیر است:

Solve → Solution Initialization

Solve → Iterate

1- Converge

فصل پنجم

بحث و بررسی نتایج

۱-۵-مقدمه

بررسی آمار و اطلاعات مربوط به تبخیر، درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه (چاه‌نیمه شماره چهارم) مهمترین عامل بالا بودن 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 مخزن، بادشکن‌های مصنوعی پیشنهاد شده است. اثر کاربرد بادشکن‌ها بر کاهش تبخیر و جریان باد در منطقه

مدلسازی و پیش بینی شده است. در این فصل نتایج و خروجی‌های مربوط به هر یک از مسائل ذکر شده در فصل گذشته، بیان می‌شود.

۲-۵- نتایج

۱-۲-۵- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن صلب

وقتی باد به مانعی در مسیر خود برخورد کند برایش ممکن است یکی از اعمال زیر اتفاق بیفتد:

۱- ممکن است آن را از سر راه خود کنده و به حرکت خود ادامه دهد.

۲- در صورت اتفاق نیفتادن رخداد شماره ۱ ممکن است آنرا دور زده و عبور کند.

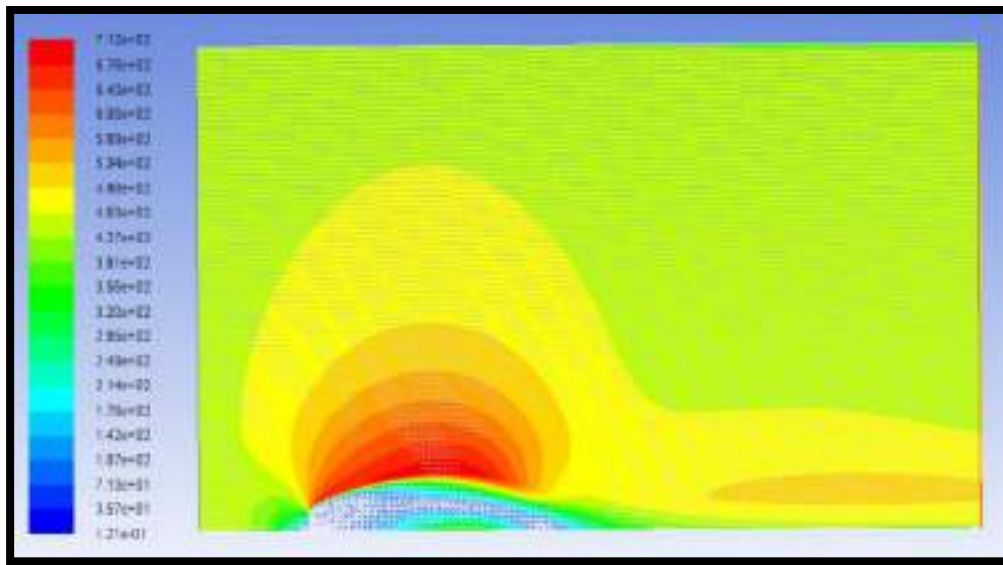
۳- ممکن است بطرف بالا منحرف شده و از بالای آن عبور نماید.

عمل شماره سه درست مانند عکس العمل باد در برخورد با بادشکن می‌باشد. این عکس العمل بسته به سرعت باد و ساختار بادشکن ممکن است متفاوت می‌باشد.

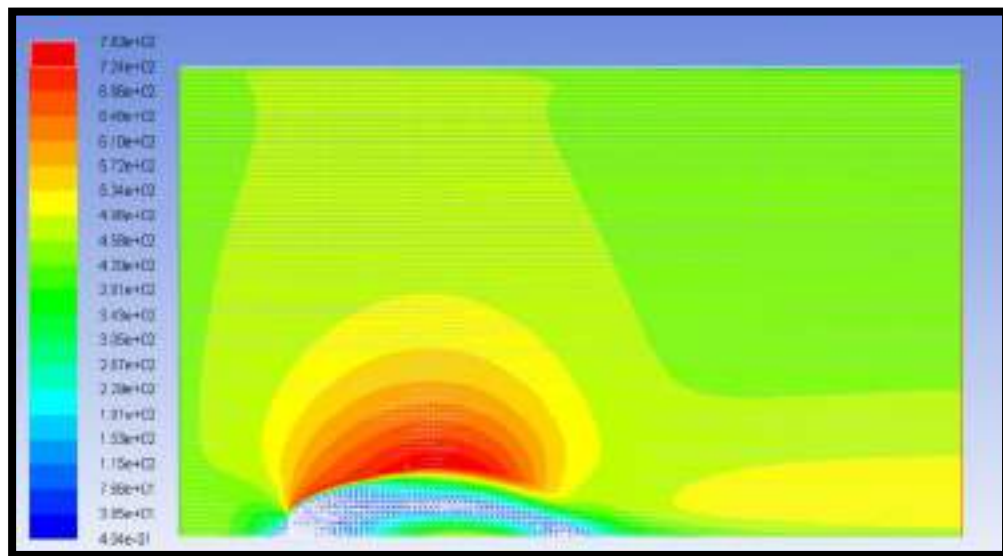
زمانی که مانع متراکم باشد جریان هوا از بالای آن عبور خواهد کرد و به دلیل فشار کمتر در سمت پشت به باد، یک اغتشاش هوایی در این سمت ایجاد می‌شود. در بالای بادشکن ($Z/H > 1$) ارتفاع از سطح زمین) باد به سمت بالا منحرف شده و خطوط جریان هوا فشرده می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۵-۱، مشاهده می‌شود سرعت‌های بالای باد تنها در نواحی بالای بادشکن رخ می‌دهد. ولی در ارتفاعی کمتر از ارتفاع بادشکن ($Z/H < 1$) سرعت باد در پشت یک مانع سخت به مقدار قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند. به این ناحیه که در آن سرعت به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد، ناحیه آرام^۱ گفته می‌شود. طول این ناحیه معمولاً بین $5H$ تا $10H$ فرض می‌شود. اگر بادشکن خیلی متراکم باشد، جریان هوا در ناحیه آرام تغییر جهت داده و یک جریان گردابی ایجاد می‌کند. پس از ناحیه آرام در جهت بادپناه، ناحیه بیداری^۲ 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 پیدا می‌کند و جریان باد به صورت خطوط منظم در می‌آید. شکل ۵-۱، ۵-۲، ۵-۳، ۵-۴ و ۵-۵ پروفیل سرعت باد را برای بادشکن‌های به ارتفاع ۲، ۲/۵، ۳، ۴ و ۵ متری نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود افزایش بیش از حد ارتفاع مدل تاثیری بر جریان باد ندارد و سرعت باد به مقدار اولیه خود می‌رسد.

1- Quiet Zone

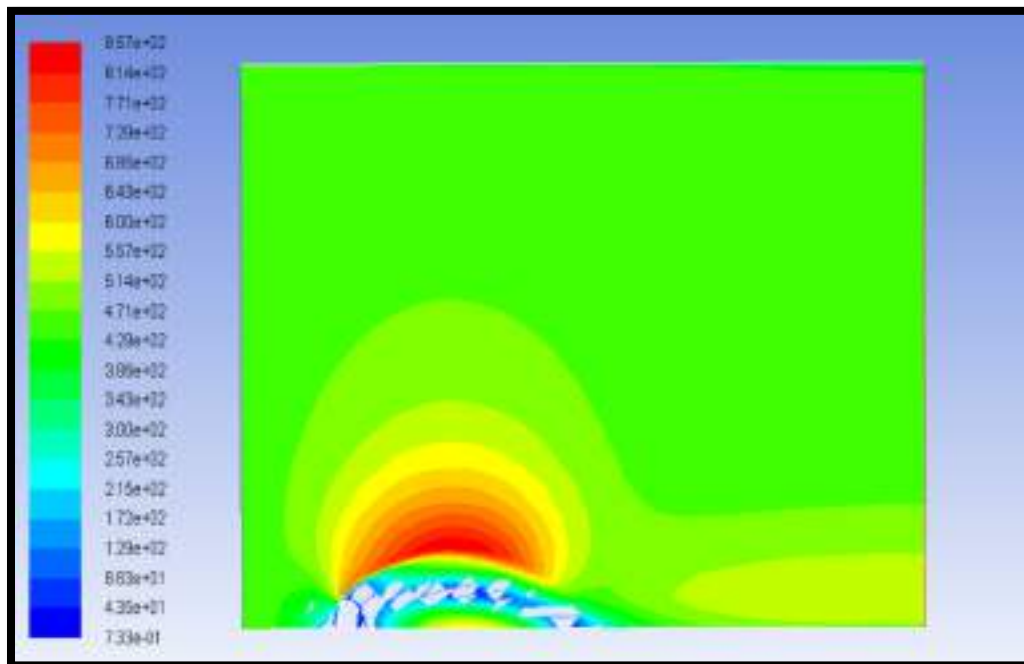
2- Wake Zone



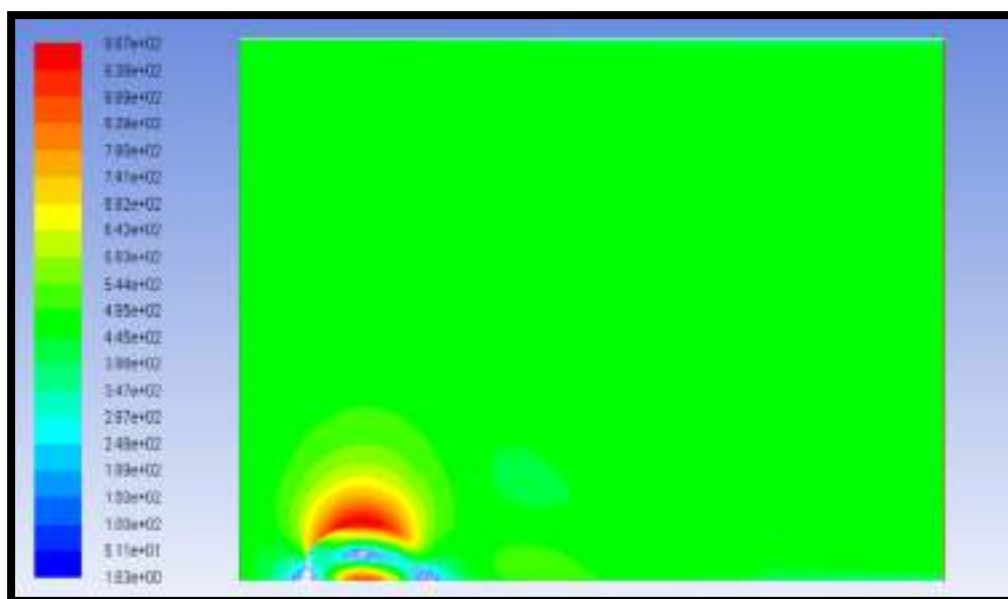
شکل ۵-۱. پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۰/۸۳ متر (۲ متر در واقعیت)



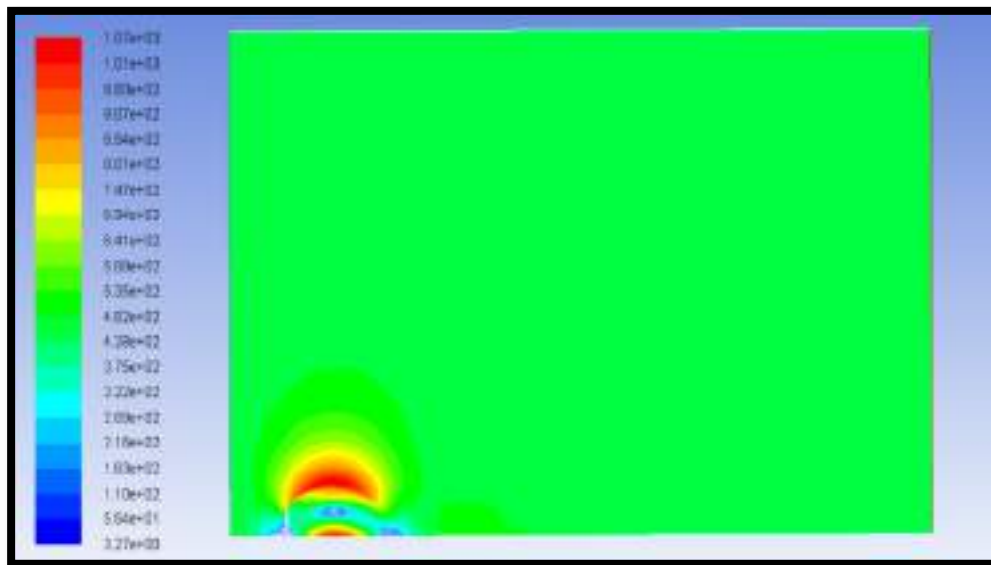
شکل ۵-۲. پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۰/۱ متر (۲/۵ متر در واقعیت)



شکل ۵-۳. پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۰/۱۲۵ متر (۳ متر در واقعیت)



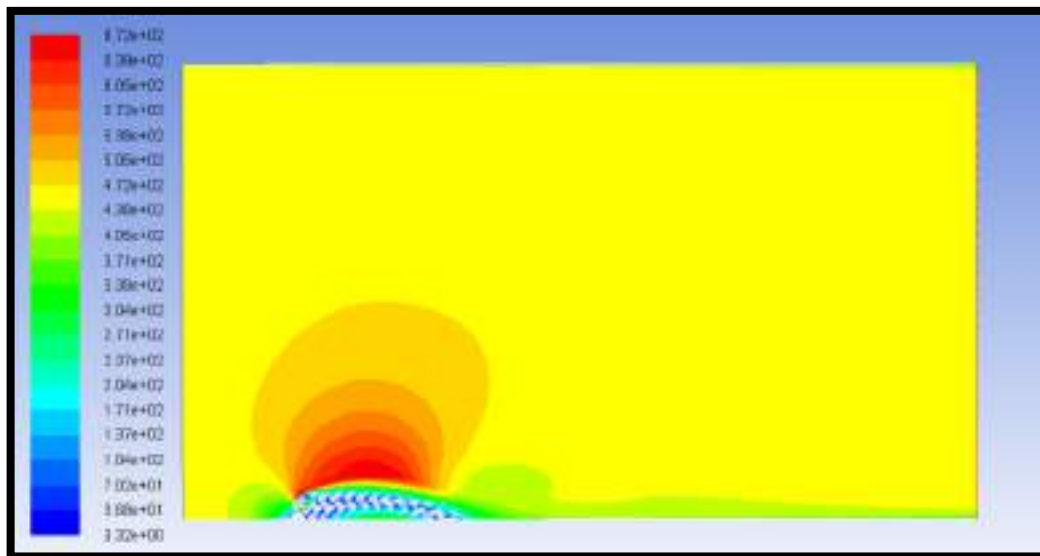
شکل ۵-۴. پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۰/۱۶۷ متر (۴ متر در واقعیت)



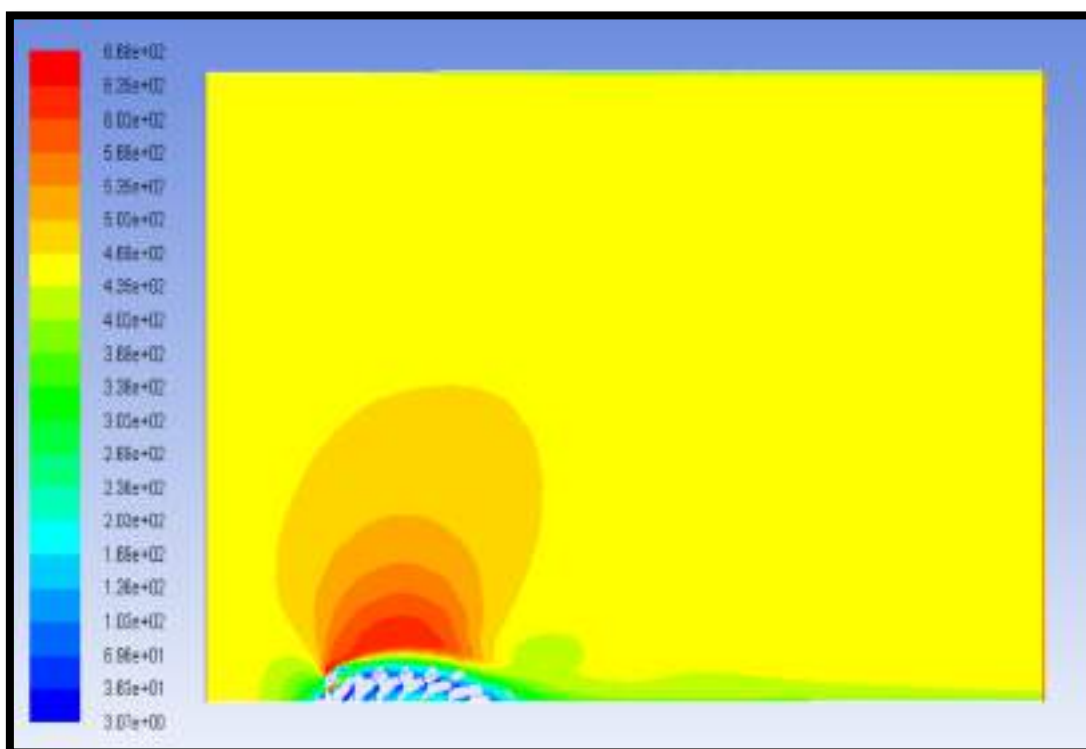
شکل ۵-۵- پروفیل سرعت باد برای بادشکن صلب به ارتفاع ۰/۲۰۸ متر (۵ متر در واقعیت)

۲-۲-۵- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن دارای بازشو

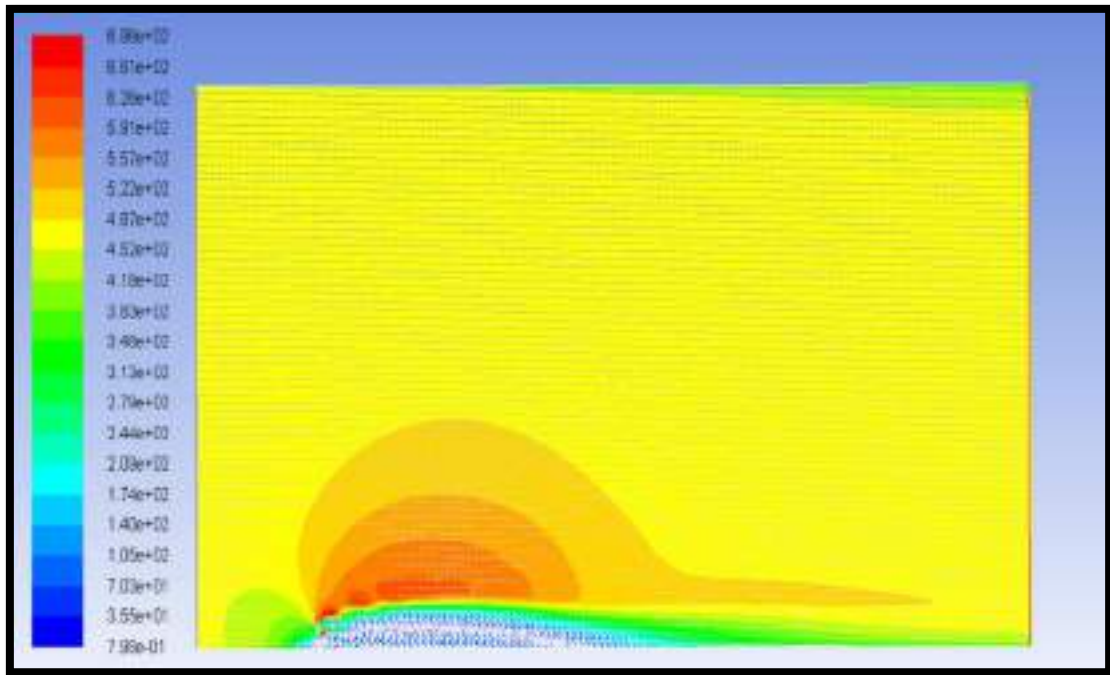
با کاهش تراکم بادشکن، حجم هوای عبوری از درون موانع افزایش می‌یابد و تفاوت فشار بین دو سمت بادشکن کم می‌شود که این مساله باعث افزایش ناحیه موثر در سمت پشت به باد می‌شود. شکل ۵-۶، ۵-۷، ۵-۸، ۵-۹ و ۵-۱۰ پروفیل سرعت باد برای بادشکن دارای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درصد بازشو و ارتفاع ۰/۰۸۳ متر را نشان می‌دهد. در این حالت چون مقدار از حجم باد از درون مانع عبور می‌کند میزان جریان‌های گردابی کاهش یافته و جریان بصورت منظم‌تری ادامه پیدا می‌کند.



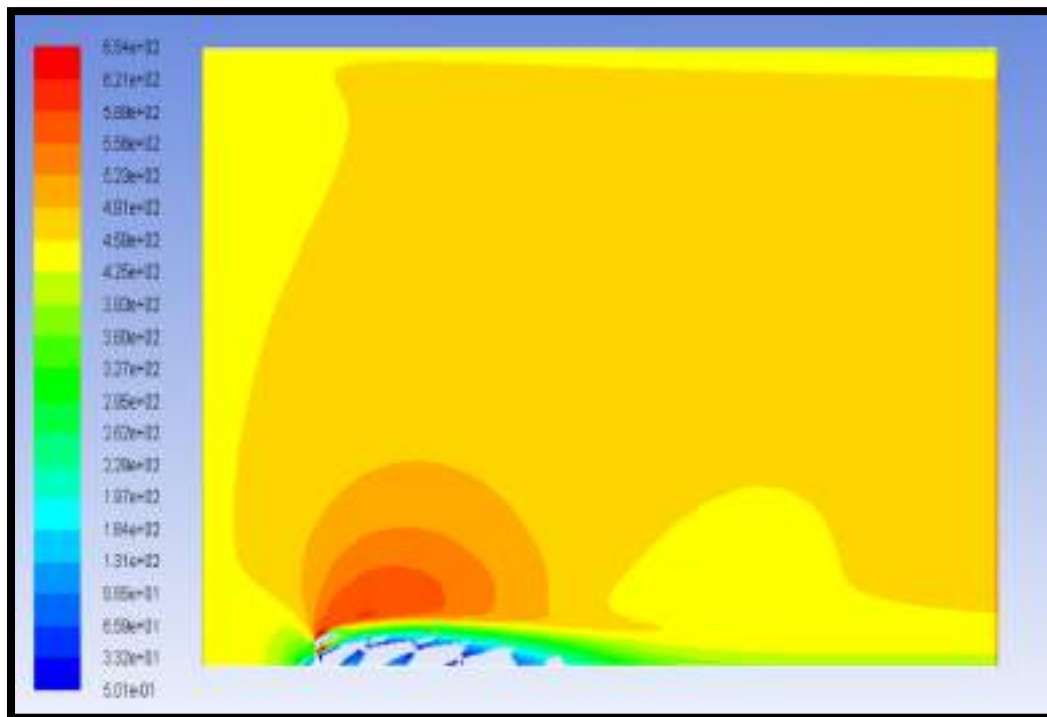
شکل ۵-۶. پروفیل سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و دارای ۱۰ درصد بازشو



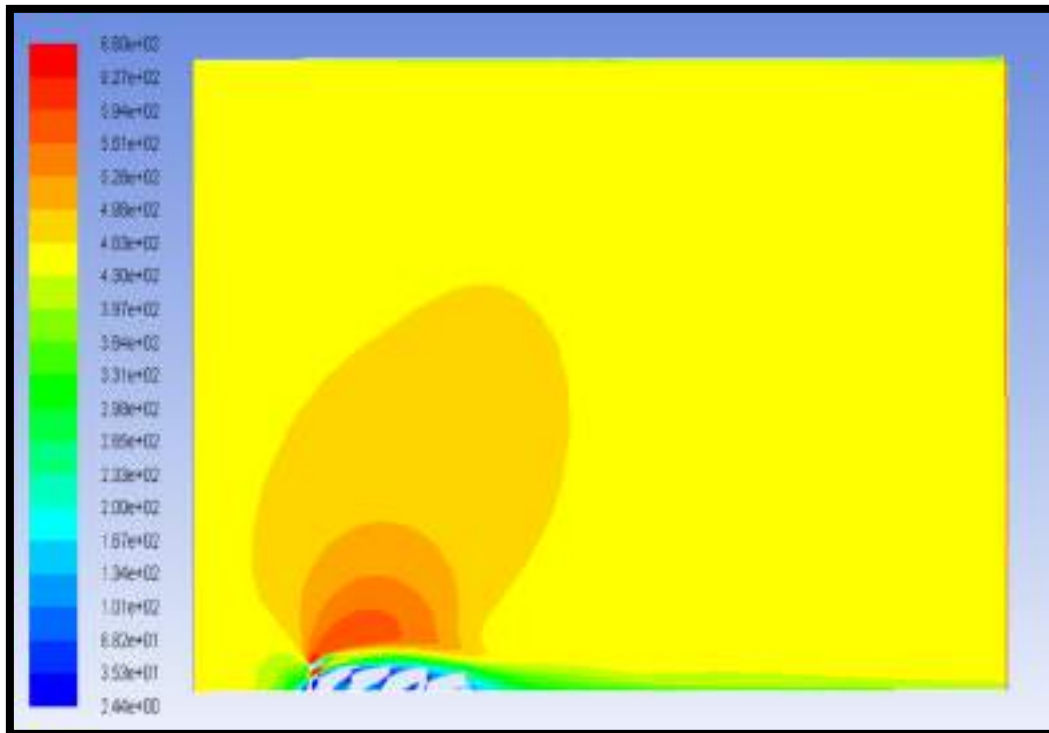
شکل ۵-۷. پروفیل سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و دارای ۱۵ درصد بازشو



شکل ۵-۸. پروفیل سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و دارای ۲۰ درصد بازشو



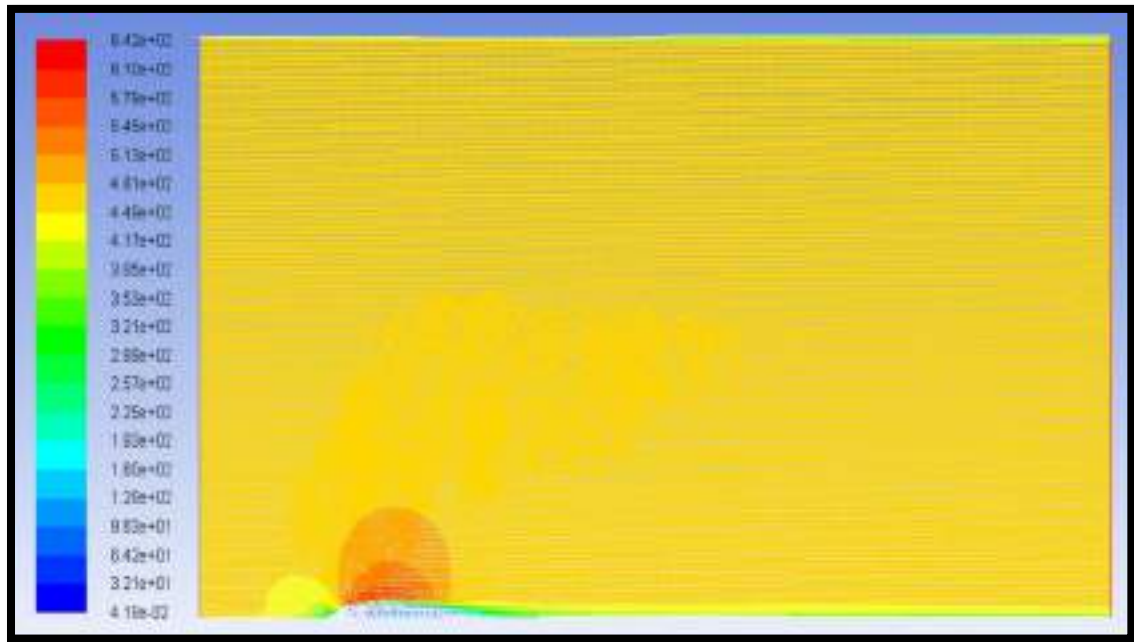
شکل ۵-۹. پروفیل سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و دارای ۲۵ درصد بازشو



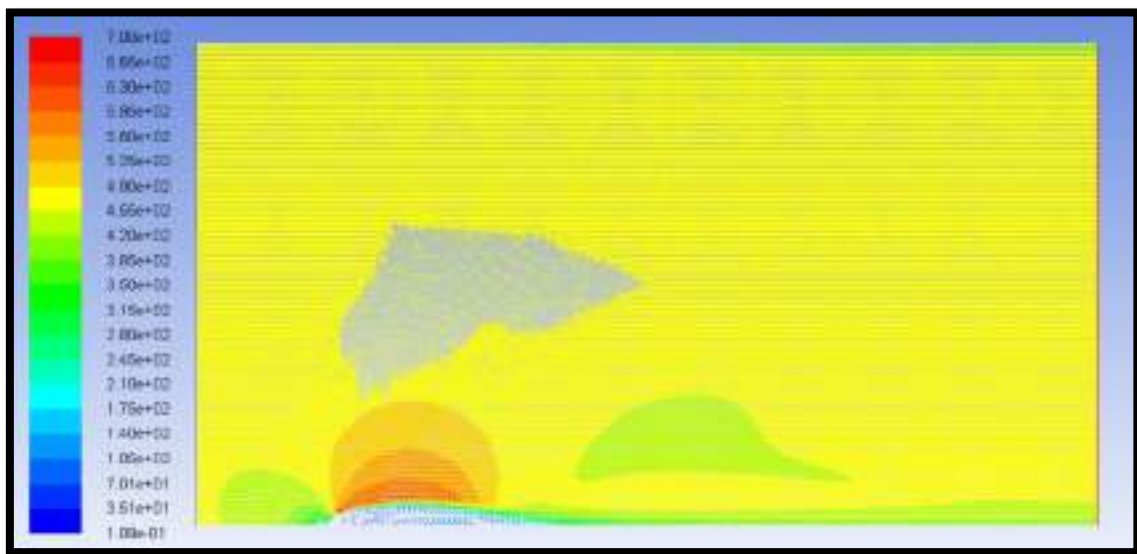
شکل ۵-۱۰. پروفیل سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و دارای ۳۰ درصد بازشو

۳-۲-۵- نحوه تغییرات جریان باد در صورت وجود بادشکن مورب

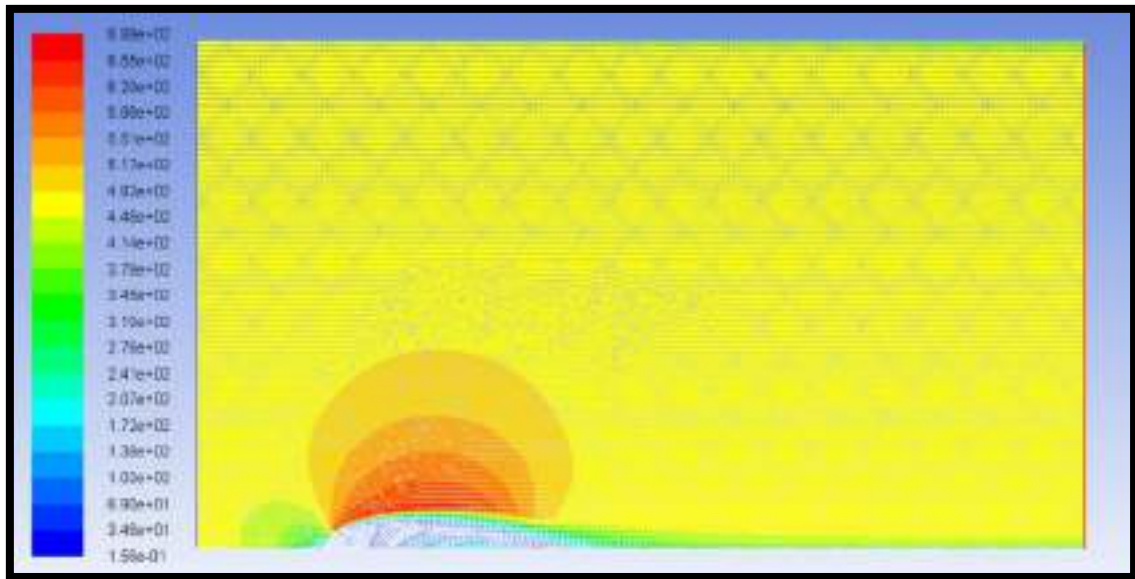
در این حالت چون زاویه بادشکن با افق از حالت ۹۰ درجه خارج شده و کاهش می‌یابد، باد به راحتی از روی مانع عبور می‌کند در نتیجه اختلاف فشار هوا در دو طرف مانع کاهش می‌یابد و جریان‌های گردابی کمتری ایجاد می‌شود. اما به دلیل مورب بودن میزان تاثیر این بادشکن‌ها در کاهش سرعت باد در طول دریاچه کمتر است. هر چه زاویه بادشکن به ۹۰ درجه نزدیک شود میزان کاهش سرعت باد بیشتر می‌شود. شکل ۵-۱۱، ۵-۱۲ و ۵-۱۳ نحوه تغییرات جریان باد بعد از بادشکن‌های مورب با زاویه ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۱. پروفیل سرعت باد برای بادشکن با زاویه ۳۰ درجه



شکل ۵-۱۲. پروفیل سرعت باد برای بادشکن با زاویه ۴۵ درجه



شکل ۵-۱۳. پروفیل سرعت باد برای بادشکن با زاویه ۶۰ درجه

۴-۲-۵- انتخاب ارتفاع بادشکن

همانطور که قبلاً ذکر شد، مهمترین پارامتر در ساختار بادشکن، ارتفاع بادشکن می‌باشد زیرا طول منطقه حفاظت شده در جلو و پشت بادشکن به ارتفاع بادشکن بستگی دارد. طول منطقه حفاظت شده در پشت بادشکن معمولاً مضربی از ارتفاع بادشکن است. برای تعیین بهترین ارتفاع بادشکن پنج ارتفاع ۰/۰۸۳، ۰/۱، ۰/۱۲۵، ۰/۱۶۷ و ۰/۲۰۸ در نظر گرفته شد. برای تعیین میزان کاهش سرعت باد نمودار سرعت باد روی سطح آب بعد از هر کدام از بادشکن‌ها تا فاصله $30H$ بعد از بادشکن رسم شد و میزان تغییرات سرعت باد محاسبه شد. جدول ۵-۱ میزان کاهش سرعت باد را به ازای ارتفاع‌های مختلف بادشکن نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بادشکن‌های به ارتفاع ۰/۱۶۷ و ۰/۲۰۸ (۴ و ۵ متر در واقعیت) باعث کاهش سرعت باد نمی‌شوند از طرفی ساخت این بادشکن‌ها بسیار سخت و پرهزینه می‌باشد. بادشکن‌های به ارتفاع ۰/۰۸۳ و ۰/۱ متر (۲ و ۲/۵ متر در واقعیت) به ترتیب با ۳۰/۲ و ۲۱/۰۷ درصد، بیشترین میزان کاهش سرعت باد بعد از بادشکن را ایجاد می‌کنند پس به عنوان انتخاب اولیه برای ارتفاع بادشکن تعیین می‌شوند.

جدول ۵-۱- میانگین کاهش سرعت باد به ازای ارتفاع‌های مختلف بادشکن

تک بادشکن	
ارتفاع بادشکن (متر)	میانگین درصد کاهش سرعت باد

۰/۰۸۳	۳۰/۲
۰/۱	۲۱/۰۷
۰/۱۲۵	۲/۴۷
۰/۱۶۷	-۱/۹۶
۰/۲۰۸	-۱/۲

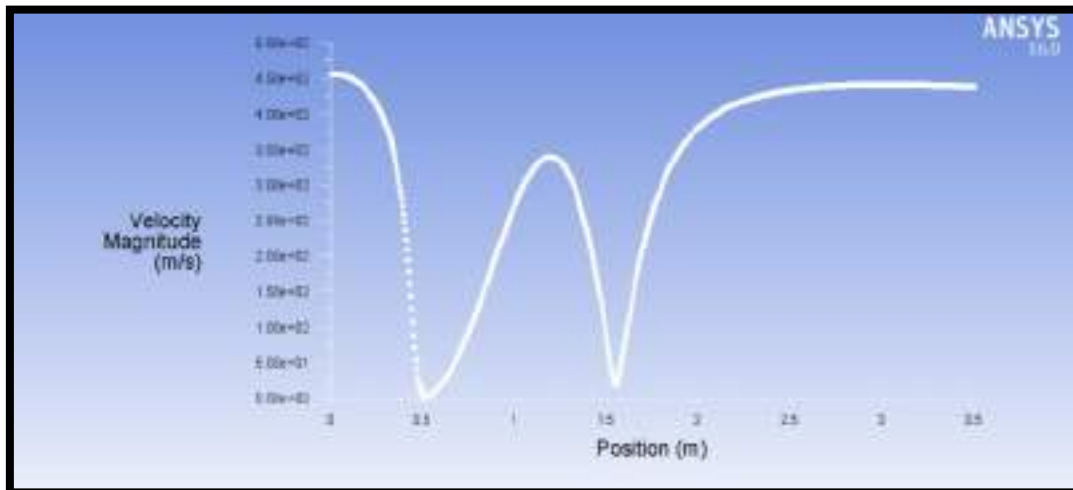
برای انتخاب بهترین ارتفاع بادشکن، میزان درصد کاهش سرعت باد بعد از بادشکن تا فاصله ۳۰ H برای بادشکن‌های به ارتفاع ۰/۰۸۳ و ۰/۱ متر در جدول ۵-۲ آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در بادشکن به ارتفاع ۰/۱ متر در فواصل ۲/۷۵، ۳ متر و بیشتر با افزایش سرعت باد مواجه می‌شویم پس بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر (۲ متر در واقعیت) بهترین ارتفاع بادشکن برای مخزن چاه‌نیمه می‌باشد.

جدول ۵-۲- میزان کاهش سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ و ۰/۱ متر

ارتفاع بادشکن (متر)	فاصله از بادشکن (متر)	درصد کاهش سرعت باد
۰/۰۸۳	۰/۷۵	۸۷/۰۷
	۱	۳۹/۶۹
	۱/۲۵	۲۸/۵۱
	۱/۵	۷۸/۰۷
	۱/۷۵	۴۵/۱۸
	۲	۱۶/۶۷
	۲/۲۵	۶/۸
	۲/۵	۴/۱۷
۰/۱	۰/۷۵	۷۵/۴۴
	۱	۲۸/۷۳
	۱/۲۵	۶/۸
	۱/۵	۲۸/۷۳
	۱/۷۵	۹۱/۸۹
	۲	۲۵/۸۸
	۲/۲۵	۸/۹۹
	۲/۵	۱/۳۲
	۲/۷۵	-۳/۰۷
	۳	-۳/۰۷

نمودار میزان تغییرات سرعت باد در سطح آب برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است. طبق نمودار تا فاصله ۱۴H بعد از بادشکن گرچه با افزایش تدریجی سرعت باد رو به رو شده‌ایم اما میزان

سرعت به مقدار قابل توجهی نسبت به سرعت اولیه کاهش یافته است. بعد از اینکه سرعت باد در $14H$ به ماکزیمم خود یعنی 340 متر بر ثانیه می‌رسد. به تدریج تا $19H$ سرعت باد کاهش می‌یابد. سرعت باد بعد از $19H$ به تدریج افزایش می‌یابد و به مقدار اولیه خود می‌رسد. همانطور که انتظار داشتیم برای بادشکن صلب، مینیمم سرعت در نزدیکی بادشکن و در فاصله H بعد از بادشکن رخ داده است. برای بادشکن به ارتفاع 0.083 متر بعد از فاصله $30H$ سرعت باد به مقدار اولیه خود رسیده و ادامه پیدا می‌کند.



شکل ۵-۱۴. نمودار سرعت باد روی سطح آب برای بادشکن به ارتفاع 0.083 متر

۵-۲-۵- انتخاب فاصله بین بادشکن‌های صلب

همانطور که در بخش‌های قبل ذکر شد، طول بادشکن‌ها باید برابر عرض دریاچه و یا مقداری بیشتر باشد. تا بادشکن‌ها حداکثر کارایی را داشته باشند. برای چینش بادشکن و پیدا کردن بهترین فاصله طولی بین آنها، مدل‌هایی با دو، سه و چهار ردیف بادشکن به ارتفاع 0.083 متر ساخته شد. جدول ۵-۳ میزان کاهش سرعت باد برای دو، سه و چهار ردیف بادشکن به ارتفاع 0.083 متر نشان می‌دهد.

جدول ۵-۳- میزان کاهش سرعت باد برای دو، سه و چهار ردیف بادشکن به ارتفاع 0.083 متر

درصد کاهش سرعت باد	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	ارتفاع بادشکن (متر)	تعداد ردیف
۳۴/۰۲	۰/۵	۰/۰۸۳	۲

		۰/۷۵	۳۳/۹۴
۳	۰/۰۸۳	۰/۵	۴۱/۴۱
		۰/۷۵	۶۰/۲۳
۴	۰/۰۸۳	۰/۵	۴۱/۸۸
		۰/۷۵	۵۹/۶۴

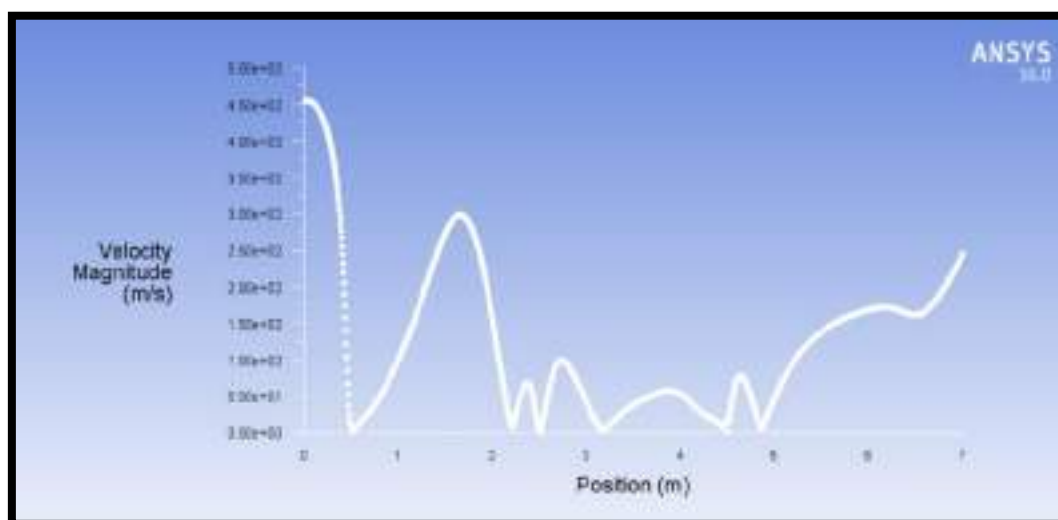
همانطور که مشاهده می‌کنید سه ردیف بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر بیشتر از دو ردیف بادشکن باعث کاهش سرعت باد می‌شود. و چهار ردیف بادشکن نتایج مشابه سه ردیف دارد، پس سه ردیف را به عنوان معیار قرار می‌دهیم و فاصله بین بادشکن‌ها را تا ۵۰H افزایش می‌دهیم تا به فاصله بهینه دست یابیم. با توجه به جدول ۵-۴ در فاصله ۲ متر میزان کاهش سرعت باد به بیشترین مقدار خود یعنی ۷۳/۷۱ درصد می‌رسد که منجر به کاهش ۷۴/۱ درصدی تبخیر می‌شود. با توجه به تمام موارد ذکر شده، در این پژوهش فاصله طولی مناسب بین بادشکن‌های صلب ۲ متر (۴۸ متر در واقعیت) در نظر گرفته می‌شود. همانطور که مشاهده می‌شود نرخ کاهش سرعت باد و تبخیر مشابه می‌باشد.

جدول ۵-۴- میزان کاهش سرعت باد برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر در فواصل مختلف

ارتفاع بادشکن (متر)	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	درصد کاهش سرعت باد	درصد کاهش تبخیر
۰/۰۸۳	۰/۵	۴۱/۴۴	۴۱/۶۴
	۰/۷۵	۶۰/۲۳	۶۰/۵۱
	۱	۶۵/۸۳	۶۶/۱۴
	۱/۲۵	۶۴/۴۵	۶۴/۷۵
	۱/۵	۶۳/۶۶	۶۳/۹۶
	۱/۷۵	۵۸/۸۷	۵۹/۱۵
	۲	۷۳/۷۱	۷۴/۱
	۲/۲۵	۶۱/۱۳	۶۱/۴۱
	۲/۵	۵۹/۵	۵۷/۳۸
	۲/۷۵	۴۹/۴	۴۸/۹۲
	۳	۴۳/۶۲	۴۳/۸۴

	۳/۲۵	۳۸/۹۲	۳۸/۲۴
	۳/۵	۳۸/۰۶	۳۹/۱
	۳/۷۵	۳۶/۷۳	۳۳/۱۹
	۴	۳۳/۰۳	۳۶/۹

شکل شماره ۵-۱۲ نمودار سرعت باد روی سطح آب بین سه بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و به فاصله طولی ۲ متر را نشان می‌دهد. از فاصله ۰/۵ متر که بادشکن اول قرار دارد تا فاصله ۲۰H انتظار داریم با افزایش تدریجی سرعت رو به رو شویم و همانطور که در شکل ۵-۱۵ مشاهده می‌شود این افزایش تدریجی سرعت رخ داده است. اما همچنان میزان سرعت از مقدار اولیه یعنی ۴۵۶ متر بر ثانیه کمتر می‌باشد. ماکزیمم سرعت در ۲۰H رخ می‌دهد و پس از آن تا فاصله ۲۸H سرعت کاهش می‌یابد. از ۲۸H تا ۳۰H که محل قرارگیری بادشکن دوم می‌باشد سرعت باد نامنظم می‌شود. از آنجایی که بادشکن دوم مقداری از سرعت را به سمت بالا منحرف کرده است، میزان کاهش سرعت پشت بادشکن دوم نسبت به بادشکن اول بیشتر است. بین بادشکن دوم و سوم افزایش و کاهش های جزئی در سرعت مشاهده می‌شود. ماکزیمم سرعت بعد از بادشکن دوم در ۳۳H و مینیمم سرعت در ۴۰H رخ می‌دهد. پس از بادشکن سوم که در ۵۴H قرار دارد به تدریج سرعت خود را بازیابی می‌کند تا در نهایت به مقدار اولیه خود برسد.



شکل ۵-۱۵. نمودار سرعت باد روی سطح آب برای سه بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و به فاصله ۲ متر

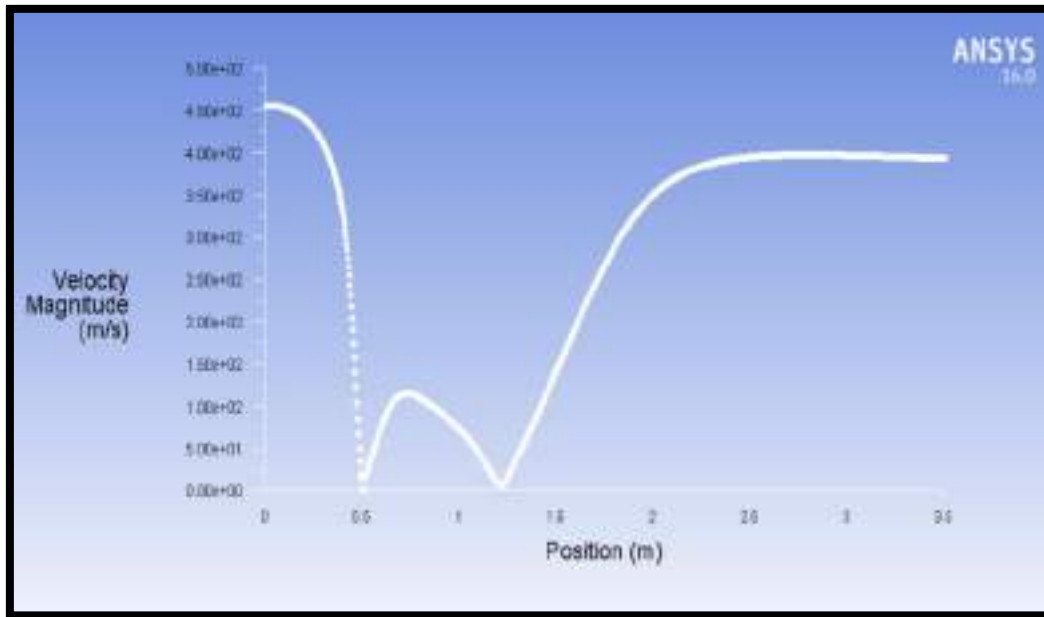
۶-۲-۵- انتخاب درصد بازشو برای بادشکن

یکی از تاثیر گذارترین عوامل در ساختار بادشکن‌ها میزان تخلخل می‌باشد که در این پژوهش طبق شرایط منطقه مورد مطالعه، تخلخل به صورت بازشو در نظر گرفته شده است. نسبت مساحت بازشو به کل مساحت بادشکن، درصد میزان بازشو را مشخص می‌کند. ارتفاع بادشکن دارای بازشو مشابه بادشکن صلب برابر $0/083$ متر در نظر گرفته شده است. جدول ۵-۵ میزان کاهش سرعت باد را به ازای بادشکن‌های با درصد بازشوهایی مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بادشکن با بازشو ۲۵ درصد بیشترین میزان کاهش سرعت باد را ایجاد می‌کند به همین علت این درصد بازشو برای بادشکن در این پژوهش انتخاب شده است.

جدول ۵-۵. میزان کاهش سرعت باد برای بادشکن‌های با درصد بازشوهایی متفاوت

ارتفاع بادشکن (متر)	درصد بازشو	میانگین درصد کاهش سرعت باد
0/083	۱۰	۲۴/۱
	۱۵	۲۸/۲۲
	۲۰	۳۷/۵۳
	۲۵	۳۸/۷۲
	۳۰	۳۵/۸۶

نمودار میزان تغییرات سرعت باد در سطح آب برای بادشکن به ارتفاع $0/083$ متر و بازشو ۲۵ درصد در شکل ۱۶-۵ نشان داده شده است. طبق نمودار تا فاصله $9H$ بعد از بادشکن گرچه با افزایش تدریجی سرعت باد رو به رو شده‌ایم اما میزان سرعت به مقدار قابل توجهی نسبت به سرعت اولیه کاهش یافته است. سپس از فاصله $9H$ تا $14H$ کاهش می‌یابد. بعد از آن به تدریج افزایش می‌یابد تا به مقدار اولیه خود برسد. با مقایسه شکل ۵-۱۴ و شکل ۵-۱۶ می‌توان نتیجه گرفت که سرعت باد پشت بادشکن دارای بازشو نسبت به بادشکن صلب کمتر است، اما سرعت باد در هر دو حالت بعد از رسیدن به کمترین مقدار خود میل به افزایش پیدا می‌کند و پس از $30H$ به مقدار اولیه می‌رسد. و هرچه تخلخل مانع کم می‌شود مینیمم سرعت باد به سمت مانع حرکت می‌کند.



شکل ۵-۱۶. نمودار تغییرات سرعت باد روی سطح آب برای بادشکن به ارتفاع ۰/۰۸۳ متر و بازشو ۲۵ درصد

۵-۲-۷- انتخاب فاصله طولی بین بادشکن‌های دارای بازشو

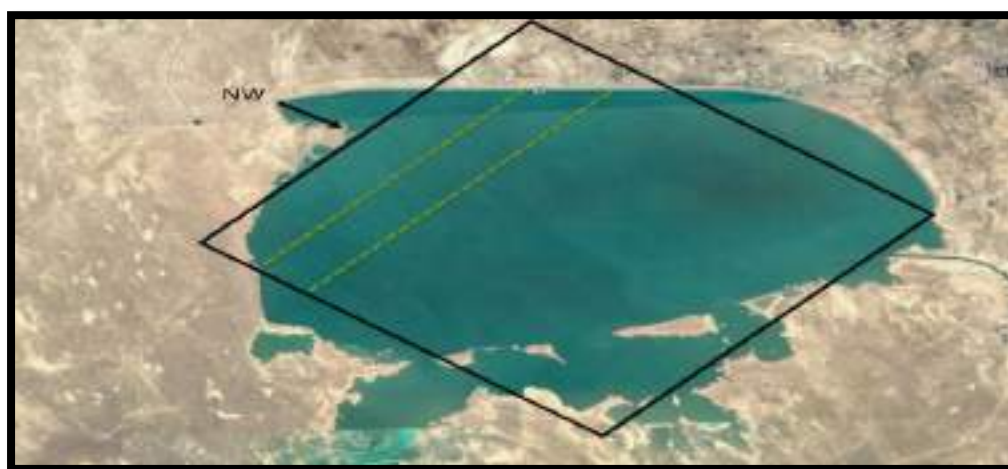
برای تعیین فاصله مناسب بین بادشکن‌های دارای بازشو مشابه بادشکن صلب، سه ردیف بادشکن را به عنوان مبنا قرار می‌دهیم، و فاصله بین بادشکن‌ها را تا $5 \cdot H$ افزایش می‌دهیم تا به فاصله بهینه دست یابیم. با توجه به جدول ۵-۶ در فاصله ۲/۷۵ متر میزان کاهش سرعت باد به بیشترین مقدار خود یعنی ۵۰/۴۴ درصد می‌رسد که منجر به کاهش ۵۰/۶۷ درصدی تبخیر می‌شود پس مشابه حالت صلب کاهش در تبخیر با کاهش در سرعت باد متناسب می‌باشد. به همین دلیل در این پژوهش از بادشکن‌های دارای ۲۵ درصد بازشو که ۲/۷۵ متر (۶۶ متر در واقعیت) از هم فاصله دارند استفاده شد.

جدول ۵-۶. میزان کاهش سرعت باد برای بادشکن دارای ۲۵ درصد بازشو در فواصل مختلف

بادشکن	فاصله بین بادشکن‌ها (متر)	درصد کاهش سرعت باد	درصد کاهش تبخیر
$H = 0.083$ $n = 25\%$	۲	۴۹/۲۱	۴۹/۴۴
	۲/۲۵	۴۹/۸۶	۵۰/۱
	۲/۵	۴۵/۹	۴۶/۱۲
	۲/۷۵	۵۰/۴۴	۵۰/۶۷
	۳	۴۹/۷۹	۵۰/۰۳

	۳/۲۵	۴۲/۱۲	۴۲/۳۱
	۳/۵	۳۸/۵	۳۸/۶۸
	۳/۷۵	۳۸/۵	۳۸/۶۳
	۴	۴۳/۵	۴۳/۶۶

بعد از تعیین ابعاد مناسب برای بادشکن، باید چینش بادشکن روی سطح دریاچه مورد بررسی قرار گیرد. حداکثر کارایی بادشکن‌ها زمانی است که عمود بر مسیر باد روی سطح دریاچه قرار بگیرند. شکل ۵-۱۷ نحوه قرارگیری بادشکن‌های صلب و متخلخل را روی مخزن چاه‌نیمه نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۷. نحوه قرارگیری بادشکن‌های صلب و متخلخل بر روی مخزن چاه نیمه

۸-۲-۵- انتخاب زاویه بادشکن مورب

نتایج بادشکن‌های صلب و دارای باز شو نشان می‌دهد که بادشکن به تنهایی نمیتواند تبخیر را کنترل کند. ولی آنرا تا مقدار زیادی کاهش می‌دهد. به همین دلیل در این پژوهش، بادشکن‌های مورب پیشنهاد داده شده است. دلیل طراحی بادشکن‌های مورب این است که اگر بادشکن به صورت ترکیبی با سایر روش‌های کنترل تبخیر مثل سولار پنل‌ها، پوشش‌ها و یا صفحات شناور بکار گرفته شود می‌تواند بطور کامل تبخیر را کنترل کند. بادشکن‌های مورب می‌توانند علاوه بر کاهش سرعت باد به عنوان سازه سایه انداز عمل کنند و میزان درجه حرارت را هم کاهش می‌دهد همچنین اگر به صورت ترکیبی با صفحات شناور استفاده شود علاوه بر کاهش سرعت باد و ایجاد سایه مانع حرکت این صفحات بر اثر وزش باد می‌شود. همچنین از بادشکن‌های مورب میتوان به عنوان سولار پنل استفاده کرد. جدول ۵-۷ میزان کاهش سرعت باد را به ازای زوایای مختلف بادشکن نسبت به افق نشان

می‌دهد همانطور که مشاهده می‌شود هر چه بادشکن به سمت حالت عمودی تغییر زاویه بدهد میزان کاهش سرعت باد افزایش پیدا می‌کند. بیشترین میزان کاهش سرعت باد برای بادشکنی که با افق زاویه ۶۰ درجه دارد ایجاد می‌شود اما همچنان این مقدار از حالت ۹۰ درجه کمتر می‌باشد.

جدول ۵-۷- میزان کاهش سرعت باد به ازای زوایای مختلف بادشکن

ارتفاع بادشکن (متر)	زاویه نسبت به افق	درصد کاهش سرعت باد
۰/۰۸۳	۳۰	۲۴/۶۹
	۴۵	۲۹/۵۱
	۶۰	۳۰/۰۸
	۹۰	۳۰/۲

بررسی‌های صورت گرفته در خصوص عوامل تأثیرگذار بر روی تبخیر حاکی از این بوده است که، عواملی همچون درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت، بیشترین تأثیر را در منطقه مورد مطالعه (چاه نیمه‌های سیستان) دارا می‌باشند. بر طبق مطالعات صورت گرفته، از میان آن‌ها، مهم‌ترین عامل، سرعت باد تعیین گردید. به علت بادخیز بودن منطقه مورد مطالعه، این عامل مهم‌ترین و بیشترین تأثیر را بر روی تبخیر از سطح چاه نیمه‌ها می‌گذارد. لذا از این جهت، کنترل کردن عامل باد در کاهش تبخیر از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. از جهتی دیگر، تعداد روزهای آفتابی بالا در این منطقه (سیستان) باعث شد تا استفاده از انرژی پاک خورشیدی در جهت تولید برق باراندمان بالا مورد ارزیابی واقع شود. اجرای این طرح، ضمن اشتغال زایی برای مردم آن منطقه، باعث صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در خصوص استفاده از سوخت‌های فسیلی صورت داشت. بدین جهت در این پژوهش، از صفحات خورشیدی هم به عنوان بادشکن‌های مصنوعی به جهت کاهش سرعت باد و نتیجتاً کاهش چشمگیر میزان تبخیر سطحی از سطوح چاه‌نیمه‌ها و همچنین استفاده به‌عنوان کالکتورهای انرژی (صفحات خورشیدی) با راندمان بالای تولید انرژی مورد بررسی قرار گرفت.

در این فصل، نتایج به دست آمده با توجه به شرایط مرزی و منطقه‌ای مورد نظر استفاده از مدل‌سازی‌های صورت گرفته بیان شده است و طرح توجیهی اقتصادی و زاویه بهینه انتخابی برای شیب و جهت افقی صفحات خورشیدی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۵- میزان باد در اطراف مانع

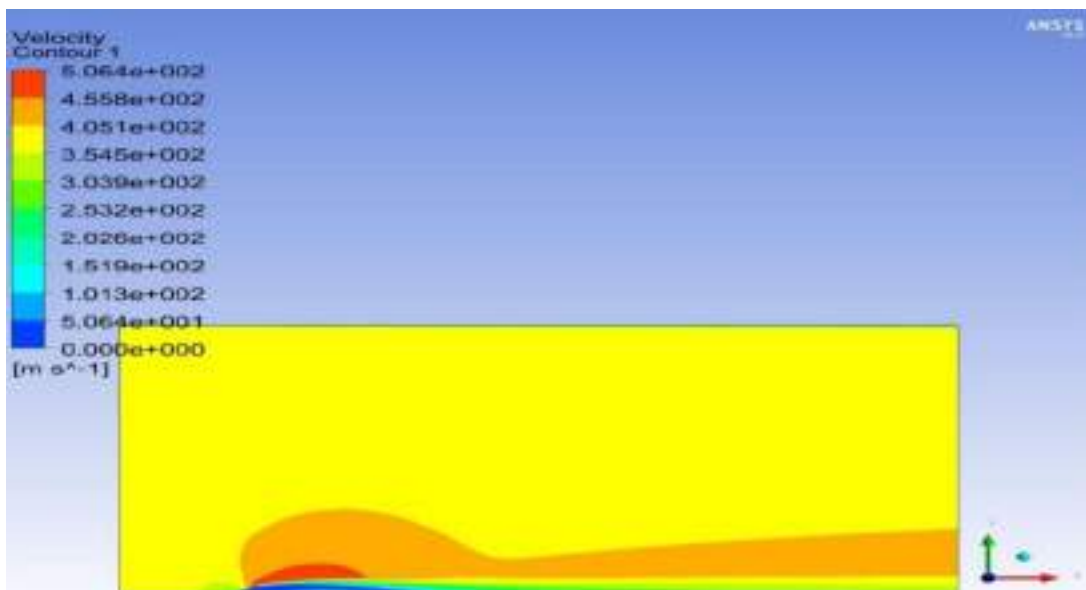
بدیهی است زمانی که سیال در مسیر حرکت خود با موانعی روبه‌رو شود از خود عکس‌العمل نشان خواهد داد. این عکس‌العمل‌ها در بعضی موارد به‌گونه‌ای هستند که سیال توانایی جابه‌جایی مانع را به‌واسطه نیرویی که به مانع وارد می‌کند دارا بوده و باعث حرکت مانع می‌شود. در بعضی موارد موانع به‌گونه‌ای هستند که امکان جابه‌جایی و حذف آن‌ها توسط سیال امکان‌پذیر نیست که این امر باعث می‌شود که سیال تغییری در رفتار خود ایجاد کند. یکی از این تغییرات صورت گرفته شامل تغییر حرکت سیال و کاهش سرعت محسوس سیال می‌باشد. به‌عنوان مثال اگر باد به مانعی همچون بادشکن‌های مصنوعی صلب برخورد کند باعث افت قابل توجه سرعت باد و تغییر مسیر و نوع حرکت باد می‌شود. این‌گونه تغییرات باعث می‌شوند جریان عبوری از بالای بادشکن‌ها به دلیل دارا بودن فشار کمتر در سمت پشت به باد، باعث بروز اغتشاش هوایی در این سمت شوند. سپس مسیر حرکت باد به سمت بالا منحرف شده و از مسیر جریان ورودی خود منحرف شده که باعث می‌شود تا خطوط جریان هوا در آن موقعیت فشرده شوند.

۱-۳-۵- ابعاد صفحات خورشیدی

صفحات خورشیدی مورد استفاده در این پژوهش با ابعاد $2/5 \times 2/5$ متر در نظر گرفته شده‌اند که با توجه به مقیاس $\frac{1}{3}$ (در فصل چهارم محاسبه شده است) این ابعاد به $0/125 \times 0/125$ متر کاهش یافته‌اند. هدف از استفاده از مقیاس این است که شبیه‌سازی نمونه واقعی با ابعاد واقعی بسیار دشوار و زمان‌بر بوده و با امکانات موجود قابل اجرا نخواهد بود. به همین دلیل برای سرعت بخشیدن شبیه‌سازی، مقیاس ذکر شده در نظر گرفته شده است.

۲-۳-۵- زوایای شیب و جهت صفحات خورشیدی

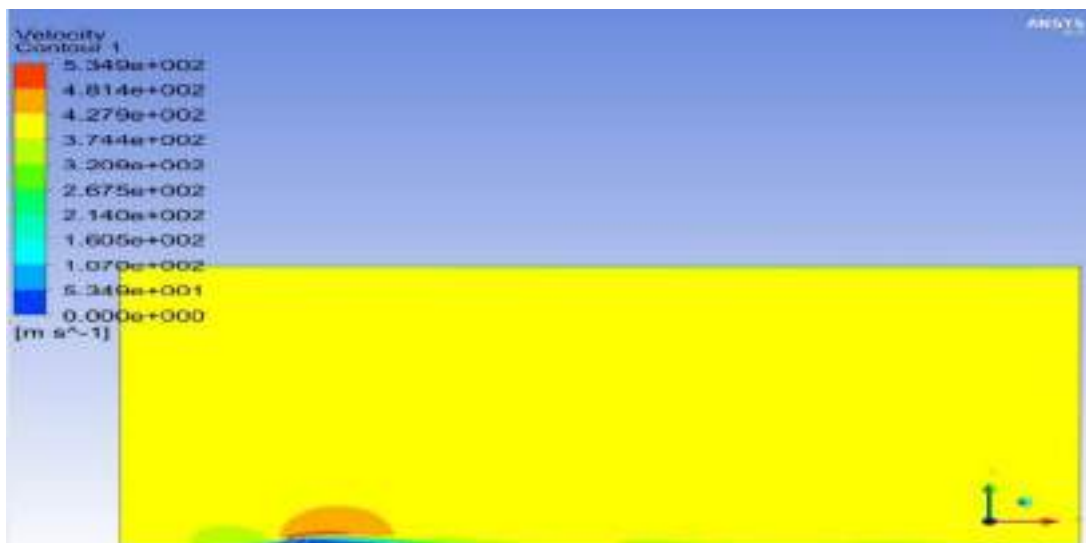
با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه (چاه نیمه‌های سیستان) به این معنا می‌باشد که با توجه به اینکه طلوع خورشید از سمت شرق بوده و وزش بادهای ۱۲۰ روزه از سمت شمال غرب، از این رو توجه به هر دو زاویه افقی و شیب صفحات خورشیدی امری ضروری و مهم می‌باشد. مدل کردن صفحات خورشیدی برای هر دو زاویه، تغییرات سرعت و میزان راندمان تولید انرژی با توجه به تغییرات در هر دو زاویه مورد بررسی قرار گرفته شده است. بررسی نوع رفتار جریان‌های باد بعد از برخورد با صفحات خورشیدی تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زوایای افقی از ۰ تا ۱۸۰ درجه در شکل‌های زیر قابل مشاهده می‌باشند.



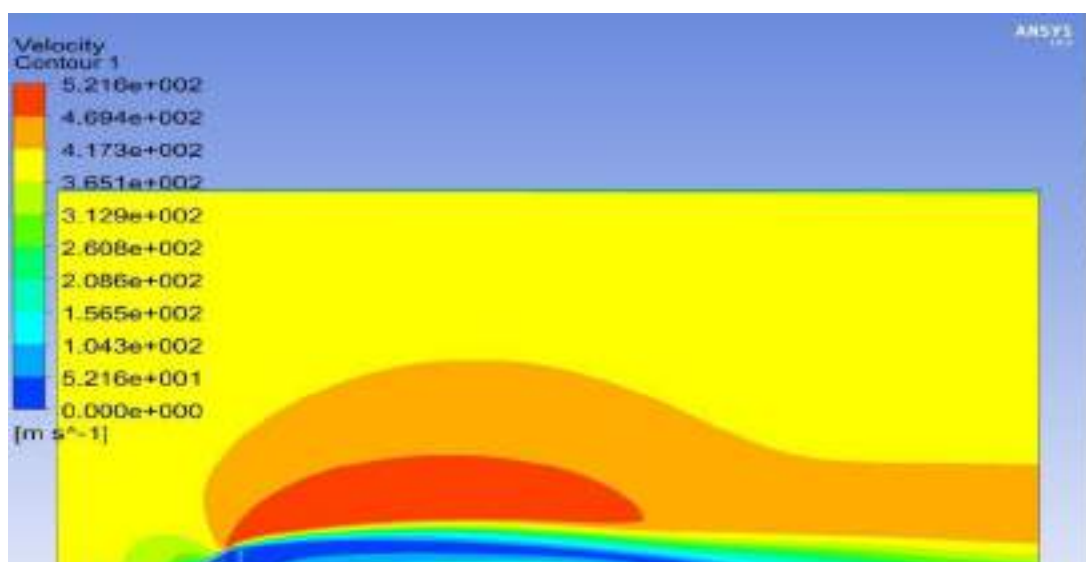
شکل ۵-۱۸. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۰ درجه



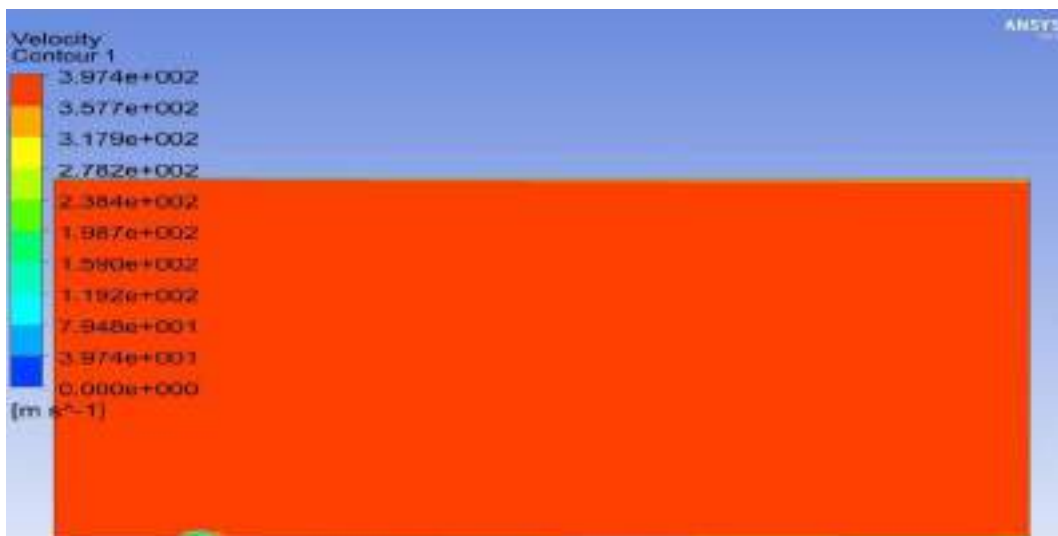
شکل ۵-۱۹. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۳۰ درجه



شکل ۵-۲۰. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۴۵ درجه



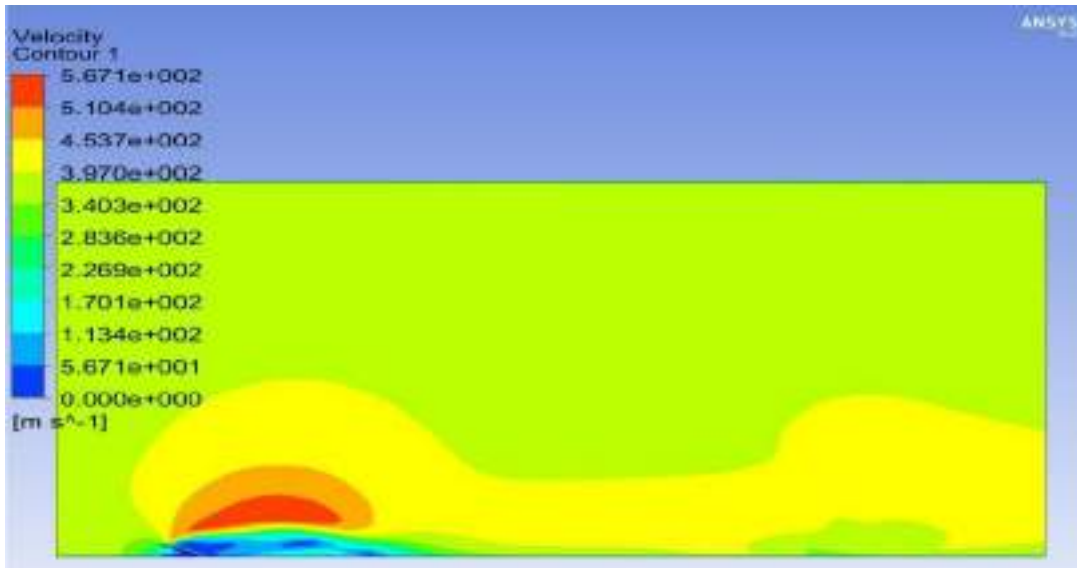
شکل ۵-۲۱. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۶۰ درجه



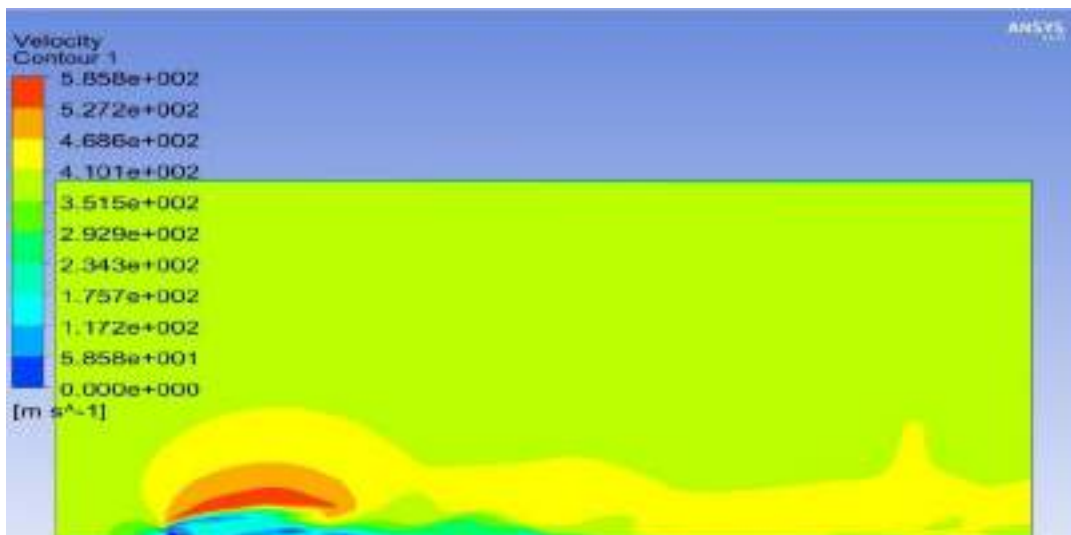
شکل ۵-۲۲. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۹۰ درجه



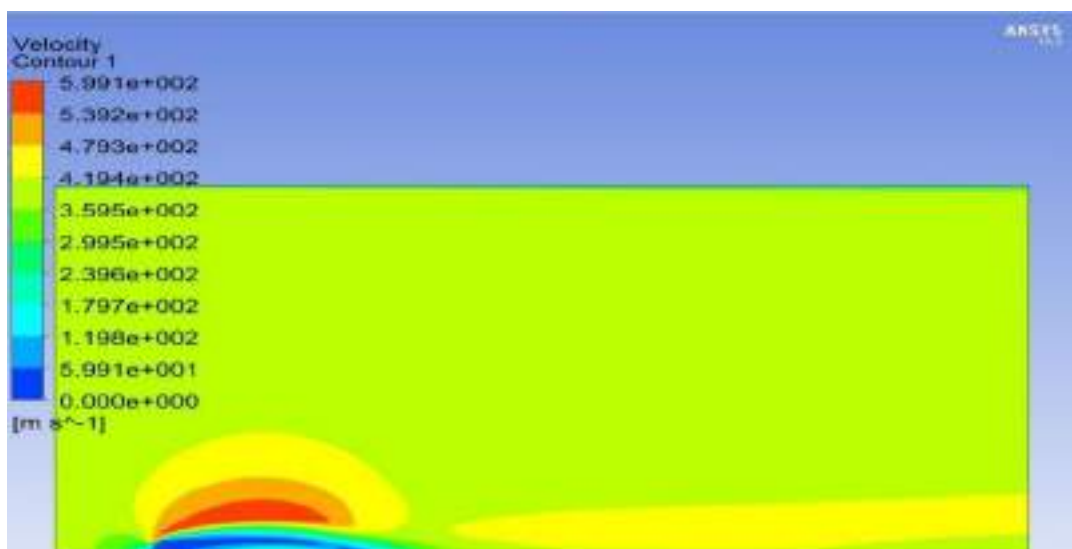
شکل ۵-۲۳. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۱۲۰ درجه



شکل ۵-۲۴. نتیجه مدل سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۱۳۵ درجه



شکل ۵-۲۵. نتیجه مدل سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۱۵۰ درجه



شکل ۵-۲۶. نتیجه مدل‌سازی جریان باد در ANSYS تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۱۸۰ درجه

نتایج میانگین سرعت باد حاصل از مدل‌سازی جریان باد در نرم‌افزار ANSYS در جدول ۵-۱ قابل مشاهده می‌باشد. با توجه به جدول ۵-۱، میانگین بیشترین کاهش سرعت جریان باد بعد از صفحات خورشیدی، تحت زاویه شیب ۶۰ درجه و افقی ۰ درجه اتفاق افتاده است. کمترین میانگین سرعت باد با استفاده از صفحه‌ی خورشیدی صلب به عنوان بادشکن، به میزان ۳/۷۶ متر بر ثانیه رسیده است. به این معناست که، با استفاده از مدل‌سازی زاوایای مختلف بهترین حالت ممکن یعنی زاویه شیب ۶۰ درجه و زاویه افقی ۰ درجه با کاهش ۸۰/۲۱ درصدی سرعت باد نسبت سرعت حداکثر باد (به میزان ۱۹ متر بر ثانیه) روبه‌رو هستیم. مدل‌سازی صفحات خورشیدی (به عنوان بادشکن‌ها) که تحت زاوایای ۰ درجه و ۱۸۰ درجه افقی و زاویه شیب ۹۰ درجه (حالت ایستاده قائم) انجام پذیرفت تا بتوان بادشکن ایستاده قائم را با حالت شیب‌دار مقایسه کرد. نتایج بدست آمده (جدول ۵-۸) نشان می‌دهد استفاده از بادشکن در حالت استقرار شیب‌دار تأثیر بیشتری بر کاهش میانگین سرعت باد نسبت به حالت قائم دارد.

جدول ۵-۸. میانگین سرعت باد حاصل از مدل‌سازی جریان باد در نرم‌افزار ANSYS

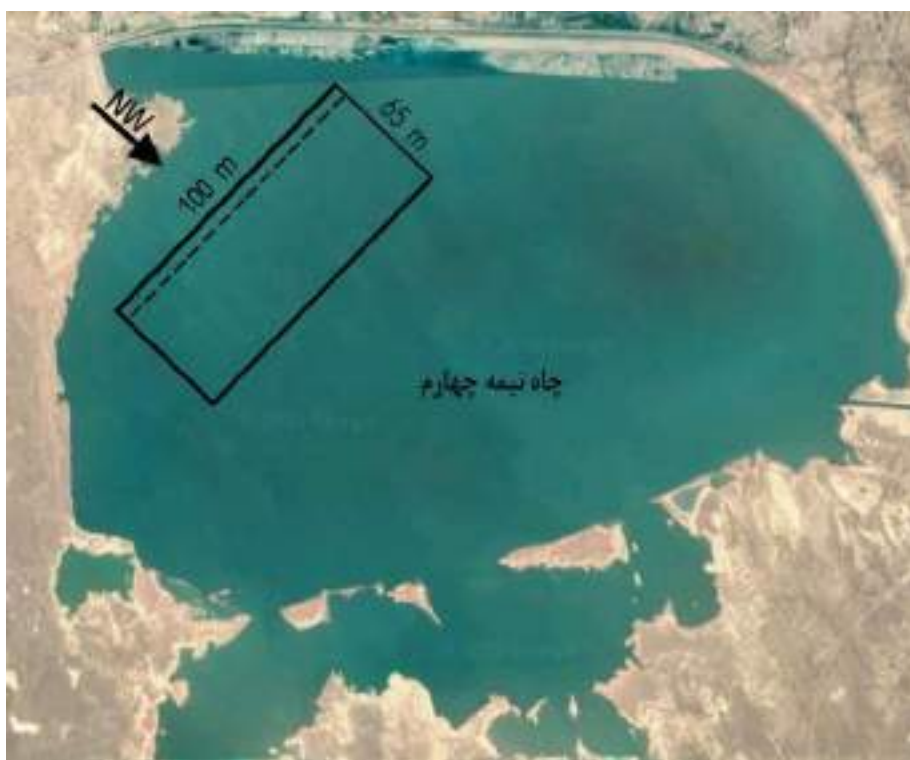
زاویه افقی	زاویه شیب	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)
۰	۳۰	۶/۱۳
۰	۴۵	۷/۴۶
۰	۶۰	۳/۷۶

زاویه افقی	زاویه شیب	میانگین سرعت باد(متر بر ثانیه)
۰	۹۰	۱۰/۲۸
۳۰	۳۰	۶/۹۵
۳۰	۴۵	۴/۲۱
۳۰	۶۰	۴/۱۳
۴۵	۳۰	۷/۷۶
۴۵	۴۵	۵/۶
۴۵	۶۰	۸/۱
۶۰	۳۰	۵/۸۴
۶۰	۴۵	۳/۸۲
۶۰	۶۰	۷/۸۶
۹۰	۳۰	۹/۹۳
۹۰	۴۵	۱۰/۶۵
۹۰	۶۰	۱۰/۵۶
۱۲۰	۳۰	۸/۵۸
۱۲۰	۴۵	۴/۴۵
۱۲۰	۶۰	۶/۱۹
۱۳۵	۳۰	۸/۳۳
۱۳۵	۴۵	۴/۸
۱۳۵	۶۰	۱۰/۹۶
۱۵۰	۳۰	۹/۰۶
۱۵۰	۴۵	۵/۸۱
۱۵۰	۶۰	۶/۹۴
۱۸۰	۳۰	۹/۵۶

میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	زاویه شیب	زاویه افقی
۴/۰۳	۴۵	۱۸۰
۹/۸۱	۶۰	۱۸۰
۱۰/۲۸	۹۰	۱۸۰

۴-۵- بهترین زاویه شیب و زاویه افقی با توجه به فاکتور هزینه

برای تخمین هزینه‌ی درآمد حاصل از ذخیره آب و تولید انرژی، به‌طور فرضی یک سطح به ابعاد ۱۰۰×۶۵ متر بر روی یکی از چاه‌نیمه‌ها در نظر گرفته شده است. صفحات خورشیدی با توجه به زوایای تعیین شده بر روی طول ۱۰۰ متر مدل‌سازی شده‌اند (شکل ۵-۱۰). لازم به ذکر است ۶۵ متر برابر با $۲۶H$ که H ارتفاع صفحات خورشیدی می‌باشد ($۲۶H$ طول ناحیه مؤثر از صفحات خورشیدی طبق نتایج مدل‌سازی به دست آمده است). سپس میزان کاهش تبخیر و درآمد حاصل از جلوگیری از تبخیر آب در آن سطح و تولید انرژی در همان سطح به‌صورت جداگانه بیان شده است.



شکل ۵-۲۷. شماتیک سطح در نظر گرفته شده بر روی چاه نیمه ۴ (Google Map)

۵-۵- درصد راندمان انرژی خروجی تحت زوایای مختلف افقی و شیب

همان طور که در قسمت‌های قبل هم بیان شد، مهم‌ترین فاکتور برای میزان انرژی خروجی، جهت قرارگیری صفحات خورشیدی می‌باشد.

با توجه به اطلاعات به دست آمده از نیروگاه خورشیدی دانشگاه سیستان و بلوچستان و همچنین با توجه به نتایج بدست آمده توسط جایانتا دب مندل، هر چه جهت صفحات خورشیدی به سمت جنوب باشد، راندمان بیشتری از تولید انرژی به دست خواهد آمد. به این دلیل چون موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در نیم کره‌ی شمالی است بهترین حالت برای تولید انرژی با حداکثر راندمان برابر با زاویه شیب ۳۰ درجه و بهترین زاویه آزیموث (افقی) ۱۸۰ درجه نسبت به شمال جغرافیایی (رو به سمت جنوب) می‌باشد که انحراف صفحات نسبت به زاویه افقی ۱۸۰ درجه از راندمان انرژی تولیدی کاسته می‌شود (۱۸) (جدول ۵-۹). با توجه به اینکه در این تحقیق زاویه وزش باد غالب (در جهت شمال غرب) ۰ درجه در نظر گرفته شده است، زاویه به سمت جنوب برابر با ۱۳۵ درجه می‌باشد.

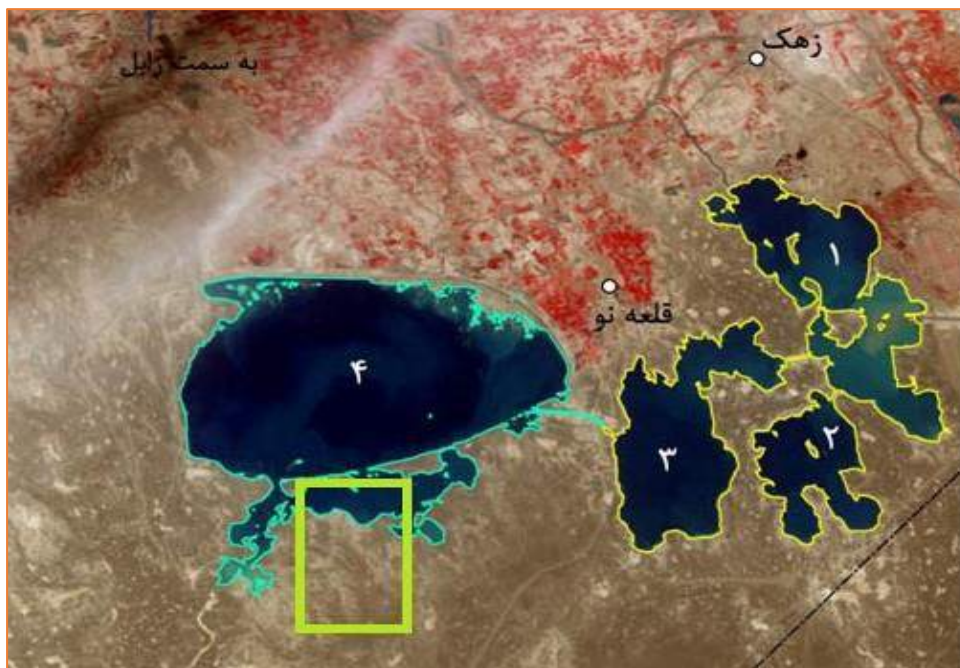
جدول ۵-۹. میزان درصد راندمان خروجی با توجه به زوایای شیب و افقی

راندمان انرژی (درصد)	زاویه شیب	زاویه افقی
۹۵/۶۴	۳۰	۰
۹۱/۵۸	۴۵	۰
۸۳/۲۷	۶۰	۰
۵۶/۶	۹۰	۰
۹۹/۴۵	۳۰	۳۰
۹۶/۳۲	۴۵	۳۰
۸۸/۲۷۵	۶۰	۳۰
۸۴/۹	۳۰	۴۵
۷۸/۲۸	۴۵	۴۵
۶۹/۱۹	۶۰	۴۵
۸۸/۹۵	۳۰	۶۰

زاویه افقی	زاویه شیب	راندمان انرژی (درصد)
۶۰	۴۵	۸۳/۳۱
۶۰	۶۰	۷۴/۵۵
۹۰	۳۰	۹۵/۶۹
۹۰	۴۵	۹۱/۶۷
۹۰	۶۰	۸۳/۴۳
۱۲۰	۳۰	۹۹/۴۷۵
۱۲۰	۴۵	۹۶/۳۸
۱۲۰	۶۰	۸۸/۳۵
۱۳۵	۳۰	۱۰۰
۱۳۵	۴۵	۹۷/۰۶
۱۳۵	۶۰	۸۹/۰۵
۱۵۰	۳۰	۹۹/۴۵
۱۵۰	۴۵	۹۶/۳۸
۱۵۰	۶۰	۸۹/۲۳
۱۸۰	۳۰	۹۵/۶۴۵
۱۸۰	۴۵	۹۱/۶۷۵
۱۸۰	۶۰	۸۳/۲۶
۱۸۰	۹۰	۵۶/۶۰۵

۵-۶- محل قرارگیری نیروگاه بادی

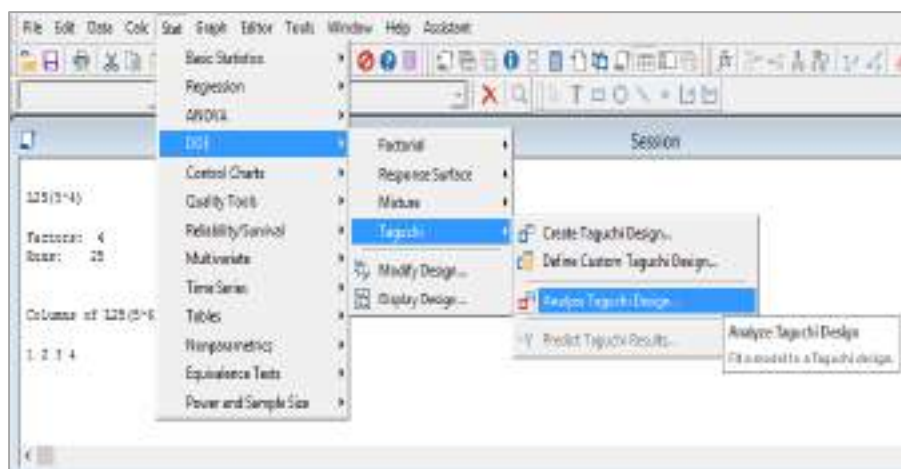
با توجه به این که توان خروجی توربین‌های بادی به شدت وابسته به سرعت باد می‌باشد، باید در مکانی قرار گیرند که تجمع باد در آن مکان بیشتر است. با توجه به کانتور تغییرات سرعت باد، حداکثر سرعت باد و محل تجمع باد در سمت جنوب شرقی چاه‌نیمه می‌باشد. این ناحیه به شکل یک مستطیل بر روی سطح مخزن چاه‌نیمه نشان داده شده است که دارای طول ۴ کیلومتر و عرض ۲ کیلومتر می‌باشد (شکل ۵-۲۸). تمامی نواحی منطقه مستطیل شکل برای نصب توربین‌های بادی مناسب می‌باشد اما هرچه به سطح آب نزدیک‌تر می‌شویم سرعت باد بیشتر خواهد بود. دقت شود که این ناحیه، منطقه طلایی نصب توربین‌های بادی است اما با توجه به تعداد توربین‌ها و بزرگی نیروگاه بادی، در صورت لزوم می‌توان سطح بیشتری را برای احداث نیروگاه در نظر گرفت.



شکل ۵-۲۸. محل قرارگیری نیروگاه بادی

۵-۷- تحلیل تاگوچی

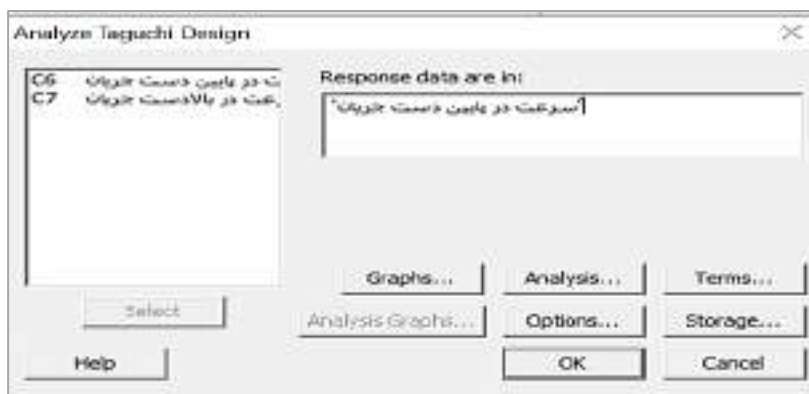
پس از مشخص شدن مقادیر سرعت باد در بالادست و پایین دست جریان، این مقادیر وارد نرم‌افزار MINITAB می‌شود و با استفاده از آنالیز تاگوچی به مقایسه حالت‌های مختلف طراحی پرداخته می‌شود. به همین جهت مطابق شکل ۵-۲۹ پیش آنالیز مربوطه انتخاب می‌گردد.



شکل ۵-۲۹. انتخاب آنالیز آزمایش‌های تاگوچی

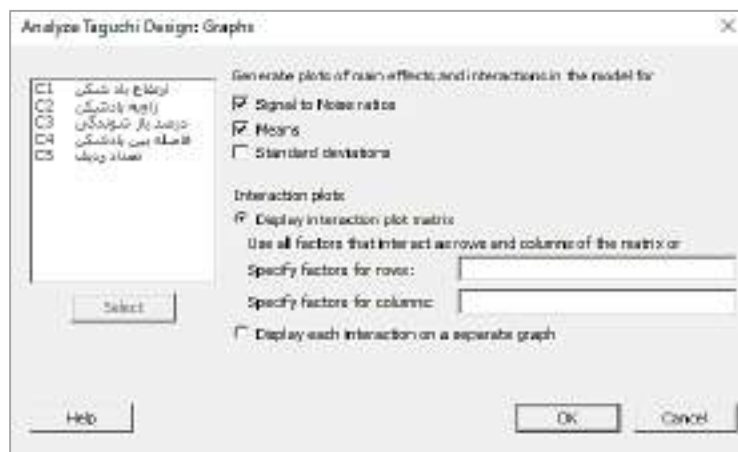
۱-۷-۵- تحلیل تاگوچی تغییرات سرعت باد در پایین دست

برای تحلیل سرعت باد در پایین‌دست جریان مطابق شکل ۵-۳۰، ابتدا ستون مربوط به آن را انتخاب می‌کنیم (C6). سپس با توجه به آنچه در فصل سوم بدان اشاره شد و نتایجی که در این تحقیق به دنبال آن هستیم، تنظیمات مربوطه را وارد کرده و وارد فاز تجزیه و تحلیل خواهیم شد.



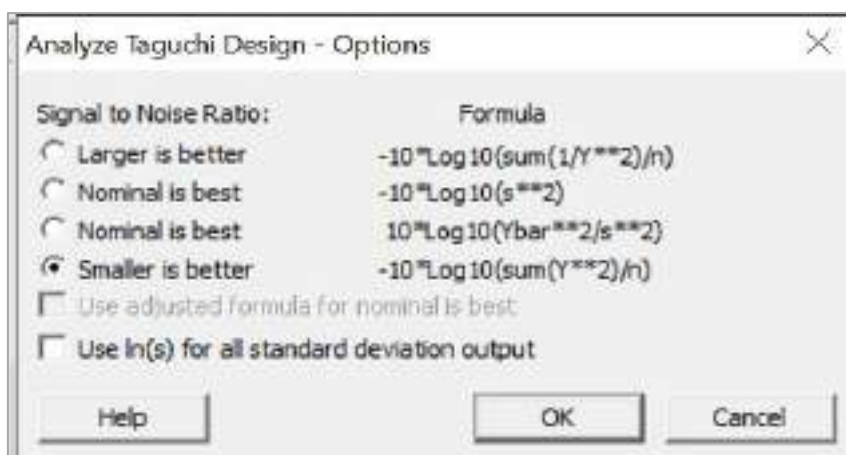
شکل ۳۰-۵. تجزیه و تحلیل طراحی آزمایش‌های تاگوچی پایین‌دست

در قسمت گراف‌ها نسبت سیگنال به نویز را برای تحلیل‌های پیش رو نیاز خواهیم داشت. از این رو در قسمت گراف‌ها مطابق شکل ۳۱-۵ گزینه نسبت سیگنال به نویز را فعال کرده و تأیید می‌کنیم.



شکل ۵-۳۱. انتخاب روش آنالیز

سپس در قسمت آپشن جهت رسیدن به جواب بهینه، نسبت سیگنال به نویز را کمتر-بهرتر انتخاب می‌کنیم (شکل ۵-۳۲). زیرا در پایین دست جریان جهت کاهش تبخیر از سطح مخزن چاه نیمه سرعت کمینه مدنظر است و هر چه نسبت سیگنال به نویز کمتر باشد، سرعت باد و به دنبال آن تبخیر از سطح مخزن نیز کمتر خواهد شد که حالت بهینه طراحی باد شکن می‌باشد.

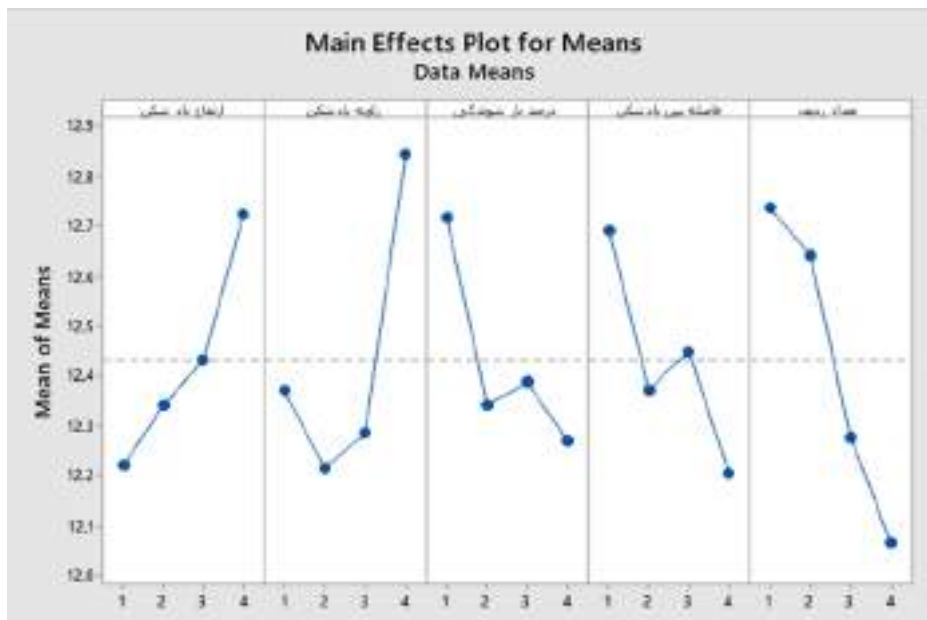


شکل ۵-۳۲. انتخاب نسبت سیگنال به نویز برای پایین دست جریان

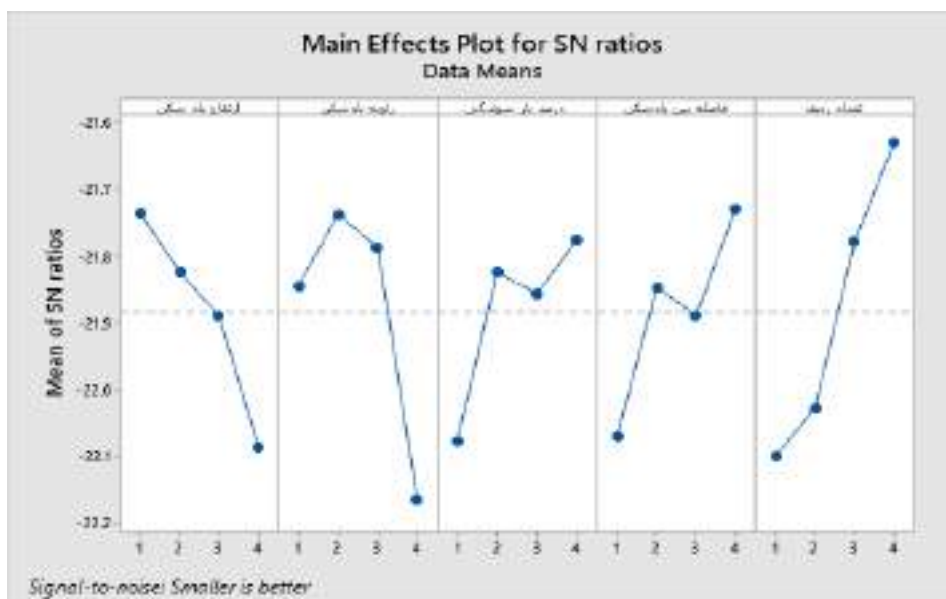
در نهایت بر روی گزینه ذخیره‌سازی خواهیم رفت. پس از تایید نهایی و تجزیه و تحلیل طراحی آزمایش‌های تاگوچی به وسیله نرم‌افزار MINITAB، نتایج بدست می‌آیند.

حال با توجه به نمودارهای بدست آمده، به بررسی تاثیر هریک از متغیرهای بادشکن بر سرعت باد می‌پردازیم. در فصول پیشین بیان شد که طراحی تاگوچی یک فرآیند بهینه‌سازی است که در آن تابع هدف، نسبت سیگنال به نویز می‌باشد و باید این نسبت حداکثر باشد تا در همه مسائل نقطه بهینه بدست آید. در واقع می‌توان امکان تعیین حالت‌های بهینه طراحی و مقدار تاثیرگذاری هر فاکتور را به عنوان مزیت این روش در نظر گرفت. برای مشخص کردن بهترین سطح هر پارامتر در نمودار سیگنال به نویز، سطحی با بیشترین میزان میانگین سیگنال به نویز را در نظر می‌گیریم که بیانگر نقطه بهینه می‌باشد؛ چرا که نویزها و نقص‌ها باید به حداقل ممکن برسد و وقتی نویز حداقل شود، نسبت حداکثر می‌گردد. شکل ۵-۳۳ نمودار میانگین تاگوچی تاثیر متغیرها بر سرعت باد و شکل ۵-۳۴ نمودار سیگنال به نویز تاگوچی تاثیر متغیرها بر سرعت باد را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۵-۳۳ و ۵-۳۴ تعداد ردیف بادشکن بیشترین تأثیر در کاهش سرعت باد در پایین دست را دارد. بعد از آن زاویه بادشکن، ارتفاع و فاصله بین بادشکن‌ها بیشترین تأثیر را دارند. کمترین میزان تأثیر نیز به درصد بازشوندگی تعلق می‌گیرد. همچنین بر اساس این نمودارها، بادشکن‌های بهینه، بادشکن‌هایی به ارتفاع ۲ متر با زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق و ۲۵ درصد بازشوندگی به تعداد ۴ ردیف و به فاصله ۶۵ متر از یکدیگر می‌باشد.



شکل ۵-۳۳. نمودار میانگین تاثیر متغیرها بر سرعت در پایین دست



شکل ۵-۳۴. نمودار سیگنال به نویز تاثیر متغیرها بر سرعت در پایین دست

مقادیر مربوط به نمودار سیگنال به نویز متغیرها و همچنین رتبه‌بندی آن‌ها در جدول ۵-۱۰ نشان داده شده‌است.

جدول ۵-۱۰. رتبه‌بندی متغیرها بر مبنای میزان تأثیر آن‌ها بر سرعت باد در پایین دست

Level	ارتفاع باد شکن	زاویه باد شکن	درصد باز شونده	فاصله بین باد شکن	تعداد ردیف
۱	-۲۱/۴۷	-۲۱/۸۴	-۲۲/۰۸	-۲۲/۰۷	-۲۲/۱۰
۲	-۲۱/۸۲	-۲۱/۷۴	-۲۱/۸۲	-۲۱/۵۸	-۲۲/۰۳
۳	-۲۱/۸۹	-۲۱/۷۹	-۲۱/۸۶	-۲۱/۸۹	-۲۱/۷۸
۴	-۲۲/۰۸	-۲۲/۱۶	-۲۱/۷۷	-۲۱/۷۳	-۲۱/۶۳
Delta	۰/۳۵	۰/۴۳	۰/۳۰	۰/۳۴	۰/۴۷
Rank	۳	۲	۵	۴	۱

۲-۷-۵- تحلیل تاگوچی تغییرات سرعت باد در بالادست

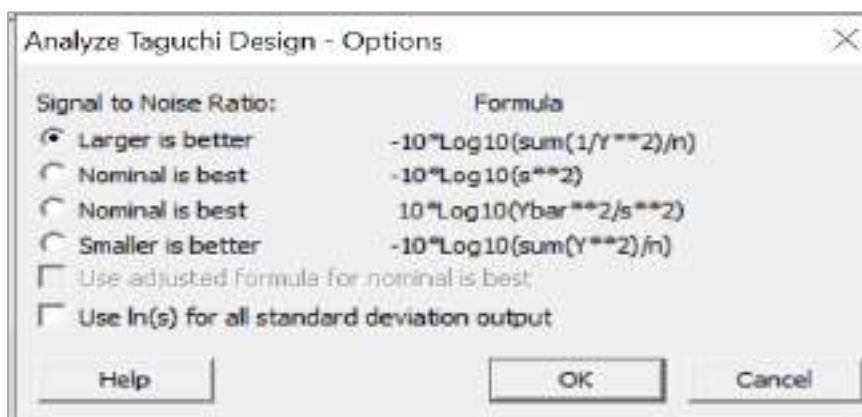
جهت تحلیل نتایج در بالادست جریان نیز همانند پایین دست جریان عمل می‌کنیم. این بار در نرم‌افزار، ستون

مربوط به نتایج سرعت در بالادست جریان را انتخاب می‌کنیم (شکل ۵-۳۵).



شکل ۳۵-۵. تجزیه و تحلیل نتایج آزمایش تاگوچی در بالادست

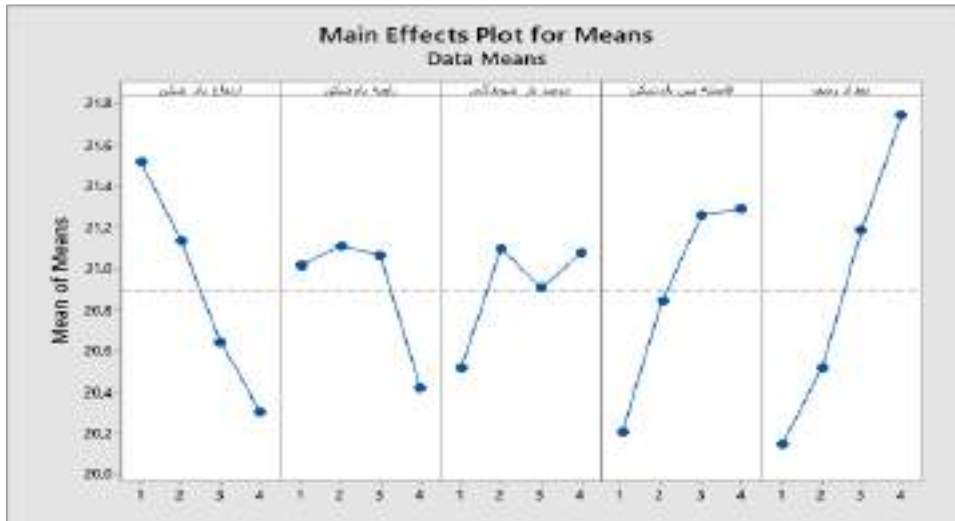
در بالادست جریان، هرچه سرعت باد بیشتر باشد، تولید انرژی توسط توربین بادی بیشتر است. به همین دلیل حالت بهینه طراحی بادشکن جهت حداکثر شدن سرعت باد صورت می‌گیرد. بنابراین با توجه به شکل ۴-۲۵ نسبت سیگنال به نویز را بیشتر-بهرتر انتخاب می‌کنیم.



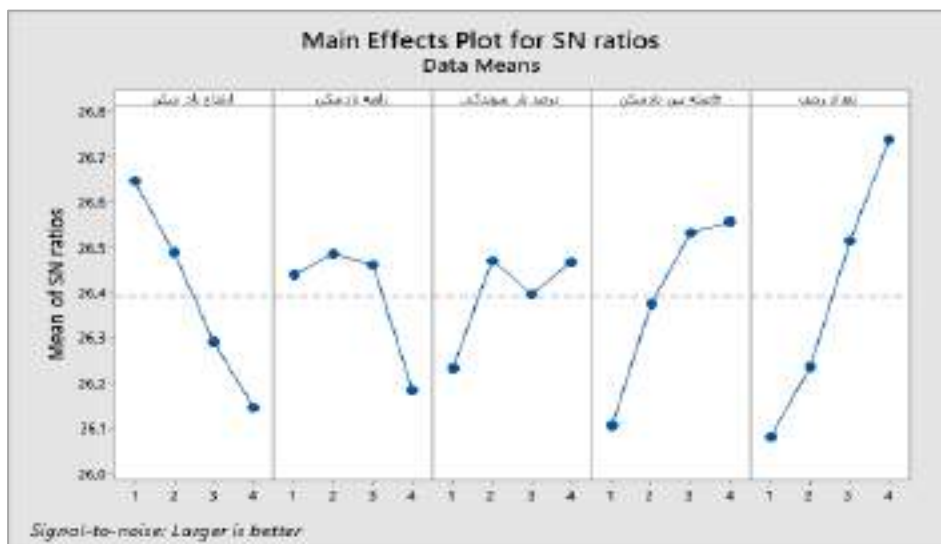
شکل ۳۶-۵. انتخاب نسبت سیگنال به نویز برای بالادست جریان

شکل ۵-۳۷ نمودار میانگین تأثیر متغیرها بر سرعت و شکل ۵-۳۸ نمودار نسبت سیگنال به نویز تأثیر متغیرها بر سرعت می‌باشد. با توجه به این نمودارها، تعداد ردیف بادشکن‌ها بیشترین تأثیر بر سرعت باد در بالادست جریان را دارد. بعد از آن به ترتیب ارتفاع بادشکن، فاصله بین بادشکن‌ها، زاویه بادشکن نسبت به افق و درصد

بازشوندگی تأثیرگذار خواهند بود. همچنین بر اساس این نمودارها، بادشکن‌های بهینه، بادشکن‌هایی به ارتفاع ۲ متر با زاویه ۶۰ درجه نسبت به افق و ۱۵ درصد بازشوندگی به تعداد ۴ ردیف و به فاصله ۶۵ متر از یکدیگر می‌باشد.



شکل ۳۷-۵. نمودار میانگین تأثیر متغیرها بر سرعت در بالادست جریان



شکل ۳۸-۵. نمودار سیگنال به نویز تأثیر متغیرها بر سرعت در بالادست جریان

مقادیر مربوط به نسبت سیگنال به نویز متغیرها و همچنین رتبه‌بندی آن‌ها در جدول ۵-۱۱ بیان شده‌است.

جدول ۵-۱۱. رتبه‌بندی متغیرها بر مبنای تأثیر بر سرعت باد در بالادست

Level	ارتفاع بادشکن	زاویه بادشکن	درصد باز شوندگی	فاصله بین بادشکن	تعداد ردیف
۱	۲۶/۶۴	۲۶/۴۴	۲۶/۲۳	۲۶/۱۱	۲۶/۰۸
۲	۲۶/۴۹	۲۶/۴۹	۲۶/۴۷	۲۶/۳۷	۲۶/۲۴
۳	۲۶/۲۹	۲۶/۴۶	۲۶/۴۰	۲۶/۵۳	۲۶/۵۱
۴	۲۶/۱۵	۲۶/۱۸	۲۶/۴۷	۲۵/۵۶	۲۶/۷۴
Delta	۰/۵۰	۰/۳۰	۰/۲۴	۰/۴۵	۰/۶۶
Rank	۲	۴	۵	۳	۱

۸-۵- انتخاب توربین بادی

با توجه به مطالعات صورت گرفته در گذشته و با در نظر گرفتن موقعیت خاص استان سیستان و بلوچستان، گفته می‌شود که این منطقه از پتانسیل بالایی جهت بهره‌برداری از انرژی باد و تولید برق بادی برخوردار است. در واقع می‌توان از وزش بادهای طولانی سیستان مانند بادهای ۱۲۰ روزه، جهت تامین برق مصارف تجاری، صنعتی و خانگی در صورت احداث نیروگاه بادی بهره برد.

اطراف مخزن چاه‌نیمه هم مانند اکثر مناطق سیستان، از ظرفیت بادی بالایی برخوردار است. تولید انرژی الکتریکی از طریق باد به این دلیل که از جهت اثر اقتصادی و آثار زیست‌محیطی مناسب است به عنوان یک منبع مهم تلقی می‌شود. توربین‌های بادی از جهت تامین تقاضای انرژی مورد نیاز مصارف مسکونی و مصارف صنعتی مطلوب می‌باشد.

۹-۵- مشخصات توربین بادی پیشنهادی

توربین بادی پیشنهادی در این تحقیق، توربین Eocycle EO10 با ظرفیت ۱۰ کیلووات می‌باشد. این توربین از نوع توربین با محور افقی و ساخت کشور کانادا می‌باشد. طول عمر توربین بادی مذکور ۲۰ سال و خروجی توان آن از نوع AC می‌باشد. مشخصات این توربین در جدول ۴-۴ ذکر شده است. هزینه سرمایه‌گذاری برای این توربین بادی ۱۰ کیلوواتی ۲۹۰۰۰ دلار، هزینه تعویض ۲۵۰۰۰ دلار و هزینه تعمیر و نگهداری آن ۵۰ دلار در سال می‌باشد. شکل ۴-۲۸ نمودار منحنی توان توربین بادی Eocycle EO10 را نشان می‌دهد.

فصل ششم

نتیجه‌گیری

۱-۶-مقدمه

پس از شبیه‌سازی عددی جریان باد بر روی مخزن چاه‌نیمه در صورت وجود بادشکن با استفاده از نرم‌افزار FLUENT و ارائه نتایج حاصل از آن در فصل قبل، در این فصل نتایج کلی گرفته شده از این بیان‌نامه آورده شده و در پایان نیز، پیشنهاداتی برای انجام تحقیقات آینده ذکر می‌گردد.

۲-۶-نتیجه‌گیری

۱- بررسی آمار و اطلاعات مربوط به تبخیر، درجه حرارت، سرعت باد و رطوبت در منطقه چاه‌نیمه شماره چهار سیستان، نشان می‌دهد که مهمترین عامل تبخیر، سرعت باد می‌باشد. استفاده از دیوارهای بادشکن یکی از روش‌های کنترل سرعت باد که منجر به کاهش تبخیر می‌شود.

۲- با توجه به اینکه چاه‌نیمه‌ها طراحی و آبیگری گردیده‌اند، امکان افزایش عمق و یا سلول بندی آن‌ها به منظور کاهش تبخیر وجود ندارد. ولی استفاده از بادشکن‌ها می‌تواند بدون اثرات منفی بر اکوسیستم باعث کاهش تبخیر شود. با توجه به اینکه چاه نیمه‌ها خود گودال‌های طبیعی هستند و سطح آب نسبت به سطح زمین‌های اطراف اختلاف کمی دارد، استفاده از بادشکن‌ها می‌تواند اثر بیشتری در کاهش تبخیر داشته باشند.

۳- بادشکن‌های مصنوعی نسبت به بادشکن‌های طبیعی، سازگاری بیشتری با شرایط منطقه مورد مطالعه دارند زیرا بادشکن‌های طبیعی باید آب مورد نیاز خود را از سفره آب زیرزمینی و یا آب‌های سطحی تامین کنند، که با توجه به بحران آب در منطقه سیستان امکان‌پذیر نیست و مدت زمان زیادی هم برای رشد آنها نیاز است. از طرفی خود این بادشکن‌ها باعث اتلاف مقداری آب از طریق تبخیر و تعرق می‌شوند.

۴- اگر برای کنترل سرعت باد و کاهش تبخیر از بادشکن صلب استفاده شود، باید از بادشکن‌هایی به ارتفاع ۲ متر که فاصله بین آنها ۴۸ متر است و در جهت شمال غربی عمود بر مسیر باد قرار دارند، استفاده شود. اگر سیستم بادشکن صلب روی کل سطح دریاچه به منظر کاهش تبخیر اجرا شود به ۱۶۰ ردیف بادشکن نیاز می‌باشد.

۵- اگر برای کنترل سرعت باد و کاهش تبخیر از بادشکن دارای بازشو استفاده شود، باید از بادشکن‌هایی با بازشو ۲۵ درصد به ارتفاع ۲ متر که فاصله بین آنها ۶۶ متر است و در جهت شمال غربی عمود بر مسیر باد قرار دارند،

استفاده شود. اگر سیستم بادشکن صلب روی کل سطح دریاچه به منظور کاهش تبخیر اجرا شود به ۱۱۷ ردیف بادشکن نیاز می‌باشد.

۶- نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که بادشکن به تنهایی نمی‌تواند میزان تبخیر را کنترل کند ولی مقدار آن را تا حد زیادی کاهش می‌دهد. اگر بادشکن بصورت ترکیبی با سایر روش‌های کنترل تبخیر مانند صفحات شناور یا پوشش‌ها بکار برده شود می‌تواند نتایج بهتری داشته باشد. اگر از روش‌های ترکیبی برای مخزن چاه نیمه استفاده شود می‌توان از بادشکنی که با افق زاویه ۶۰ درجه دارد استفاده کرد.

۷- حداکثر کارایی بادشکن‌ها زمانی است به صورت عمودی و در جهت باد غالب قرار بگیرند.

۸- با آنالیز داده‌های به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی زهک: عوامل تأثیرگذاری بر روی تبخیر در منطقه بستان عبارت‌اند: رطوبت نسبی، سرعت باز و میزان تابش خورشید. که با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، عامل سرعت باد مهم‌ترین عامل در میزان تبخیر در منطقه بوده است که نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با استفاده از پنل‌های خورشیدی زاویه‌دار به‌عنوان بادشکن، باعث کاهش چشمگیر تبخیر از سطوح مخازن چاه نیمه‌های سیستان می‌گردد.

۹- با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از ایستگاه هواشناسی زهک، منطقه سیستان پتانسیل بسیار بالایی برای تولید انرژی‌های پاک به‌عنوان مثال تولید برق با استفاده از پنل‌های خورشیدی دارد.

۱۰- استفاده از صفحات خورشیدی به‌صورت شناور بر روی مخازن چاه نیمه‌ها باعث افزایش راندمان تولید انرژی شده و همچنین باعث کاهش قابل‌توجه تبخیر می‌شود.

۱۱- با در نظر گرفتن درجه اولویت‌بندی یکسان برای میزان کاهش تبخیر و تولید انرژی برق به‌وسیله‌ی صفحات خورشیدی، این اختیار را بر کارفرمایان می‌دهد تا در هر شرایط آب و هوایی و اولویت‌بندی خاص خود، بهترین حالت را برای خود انتخاب کنند.

۱۲- با توجه به هزینه بالای خرید صفحات خورشیدی در سطح بالا با بررسی‌های صورت گرفته و با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده از اداره آب و فاضلاب استان سیستان و بلوچستان و همچنین سازمان انرژی تجدید پذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)، همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر حاکم از، بازگشت سرمایه به‌واسطه فروش انرژی و آب ذخیره ناشی از جلوگیری از روند تبخیر، در کمتر از یکسان خواهد بود.

۱۳- بیشترین میزان کاهش تبخیر در زمانی رخ می‌دهد که صفحات خورشیدی تحت زاویه شیب ۶۰ درجه و افقی صفر درجه یعنی روبه جهت وزش باد رخ خواهد داد و همچنین بالاترین راندمان تولید انرژی تحت زاویه شیب ۳۰ درجه و زاویه افقی ۱۳۵ درجه یعنی روبه خط استوا می‌باشد.

۱۴- با توجه به آمار و ارقام و اطلاعات موجود، منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بالایی جهت استحصال انرژی برخوردار است و تقریباً در تمام طول سال شاهد وزش باد در منطقه هستیم. از این رو تولید انرژی برق در این منطقه به کمک توربین‌های بادی توجیه‌پذیر می‌باشد.

۱۵- وزش باد موجب افزایش میزان تبخیر آب از سطح چاه‌نیمه می‌گردد. به همین دلیل جهت جلوگیری از تبخیر آب، بادشکن‌هایی بر روی سطح چاه‌نیمه در نظر گرفته شده است.

۱۶- با توجه به نتایج تحلیل تاگوچی، اگر طراحی بادشکن‌ها بر اساس کاهش میزان تبخیر و کنترل سرعت باد در پایین‌دست صورت گیرد و از بادشکن‌های صلب استفاده شود، این بادشکن‌ها باید عمود بر مسیر باد قرار گیرند و جهت قرارگیری آن‌ها شمال‌غربی باشد. ارتفاع بهینه بادشکن‌ها ۲ متر و فاصله بین آن‌ها ۶۵ متر می‌باشد. چنان‌چه بادشکن دارای بازشو باشد میزان بازشوندگی ۲۵ درصد می‌باشد و اگر بادشکن مورب بکار برده شود، باید تحت زاویه ۶۰ درجه با افق باشند.

۱۷- اگر طراحی بادشکن‌ها بر اساس افزایش سرعت باد در بالادست جریان صورت گیرد و از بادشکن صلب استفاده شود، باید بادشکن‌ها عمود بر مسیر باد باشند و در جهت شمال‌غربی قرار گیرند. ارتفاع بهینه آن‌ها ۲ متر و فاصله بین آن‌ها ۶۵ متر باشد. چنان‌چه بادشکن دارای بازشو باشد، میزان بازشوندگی ۱۵ درصد و اگر بادشکن مورب بکار رویم، باید تحت زاویه ۶۰ درجه با افق باشد. و همچنین بر اساس رتبه‌بندی انجام شده توسط نرم‌افزار، بیشترین تأثیر بر روی سرعت باد را تعداد ردیف بادشکن دارد؛ پس از آن به ترتیب، ارتفاع بادشکن، فاصله بین بادشکن‌ها، زاویه بادشکن و درصد بازشوندگی تأثیرگذار خواهد بود.

۱۸- با توجه به نتایج و کانتورهای سرعت باد، بیشترین محل تجمع باد سمت جنوب شرقی چاه‌نیمه می‌باشد که محل مناسبی برای نصب توربین‌های بادی است. حداکثر سرعت باد خروجی در بالادست جریان، ۲۲/۶۴۵۸ متر بر ثانیه است که در ارتفاع ۱۵ متری نسبت به سطح زمین می‌باشد.

مراجع

۱. ترکمن ح.، خاشعی س.، بررسی مدل‌های تجربی تعیین تبخیر و تبخیر - تعرق گیاه مرجع و مقایسه آن با روش استاندارد FPM، ششمین همایش ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان، انجمن مهندسی آبیاری و آب ایران، ۱۳۹۲.
۲. دهقانیان ع.، کشاورز ح.، حیدریان ف.، بررسی روش‌های کاهش میزان تبخیر از مخازن آب و بیان معایب و محاسن آن، دومین کنفرانس بین‌المللی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی، مرکز مطالعات و تحقیقات اسلامی سروش حکمت رضوی، قم، ایران، ۱۳۹۵.
۳. باقری پ.، باقری م.، مسافری م.، بررسی روش‌های کاهش تبخیر از منابع و مخازن آب با نگاهی به وضعیت تبخیر در آب‌های سطحی استان آذربایجان شرقی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، تبریز، ایران، ۱۳۸۷.
۴. احدیان م.، کاهش تبخیر منابع آبی با استفاده از نانو مواد، اولین همایش منطقه‌ای دریا توسعه و منابع آب مناطق ساحلی خلیج فارس، جهاد دانشگاهی، اهواز، ایران، ۱۳۹۳.
۵. بهبهانی س. م.، هیدرولوژی آب‌های سطحی، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۰.
۶. رنجبر ا.، مهدویان ا.، مکنون ر.، بررسی امکان استفاده از صفحات شناور بتن سبک پرلیتی برای کاهش تبخیر مخازن سدها، اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، دانشگاه تهران، تهران، ایران، ۱۳۹۰.
۷. فرزین س.، علیزاده ف.، توپ سایه تدبیری برای کاهش تبخیر آب مخازن سد، سومین کنفرانس مهندسی عمران، معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، ۱۳۹۴.
۸. شمسایی ا.، حسنی ا.، مروری بر روش‌های کاهش میزان تبخیر از سطوح آزاد آبی در مناطق خشک و نیمه خشک، اولین همایش سازگاری با کم‌آبی، ماهنامه مهر آب، تهران، ایران، ۱۳۸۶.
۹. علیزاده ا.، اصول هیدرولوژی کاربردی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۱۳۹۱.
10. <http://www.fao.org/docrep/t0122e/t0122e0a.htm>
۱۱. بهزادمهر ا.، اژدری مقدم م.، کیخا ا.، زارع ح.، مطالعه تجربی کاهش تبخیر سطحی آب چاه‌نیمه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۳۹۰.

12. Skidmore, E.L., Hagen, L.J., Evaporation in sheltered areas as influenced by windbreak porosity, *Journal of Agricultural Meteorology*, Vol. 1, No. 7, pp. 363-374, 1971.
13. Lomas, J., Schlesinger, E., The influence of a windbreak on evaporation, *Journal of Agricultural meteorology*, Vol. 1, No. 8, pp. 107-115, 1971.
14. Raine, J.K., Stevenson, D.C., Wind protection by model fences in a simulated atmospheric boundary layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 2, No. 2, pp. 159-180, 1977.
15. Wilson, J.D., On the choice of a windbreak porosity profile, *Journal of Boundary-Layer Meteorology*, Vol. 38, No. 1, pp. 37-49, 1987.
16. Heisler, G.M., Dewalle, D.R., Effects of windbreak structure on wind flow, *Journal of Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 1, No. 22, pp. 41-69, 1988.
17. Agriculture, Ecosystems and Environment, *Elsevier Science Publishers*, Amsterdam, 1988.
18. Brandle, J.R., Finch, S., How windbreaks work. *University of Nebraska – Lincoln*, 1991.
19. Wang, H., Takle, E.S., Numerical simulation of boundary-layer flows near shelterbelts, *Journal of Boundary-Layer Meteorology*, pp. 141-73, 1995.
20. Richardson, G.M., Richards, P.J., Full-scale measurements of the effect of a porous windbreak on wind spectra, *Journal of wind engineering and industrial aerodynamics*, Vol. 1, pp. 54-61, 1995.
21. Smith, D.M., Jarvis, P.G., Odongo, J.C., Sources of water used by trees and millet in Sahelian windbreak systems, *Journal of Hydrology*, Vol. 1, pp. 140-153, 1997.
22. Cleugh, H.A., Effects of windbreaks on airflow, microclimates and crop yields, *Journal of Agroforestry systems*, Vol. 1, pp. 55-84, 1998.
23. Vigiak, O., Sterk, G., Warren, A., Hagen, L.J., Spatial modeling of wind speed around windbreaks, *Catena*, Vol. 1, pp. 273-288, 2003.
24. Helfer, F., Zhang, H., Lemckert, C., Evaporation reduction by windbreaks: Overview, modelling and efficiency, *Urban Water Security Research Alliance*, 2009.
25. Lin, X.J., Barrington, S., Choiniere, D., Prasher, S., Effect of weather conditions on windbreak odour dispersion, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 31, No.98, pp. 487-496, 2009.
26. Yeh, C.P., Tsai, C.H., Yang, R.J., An investigation into the sheltering performance of porous windbreaks under various wind directions, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 30, No. 98, pp. 520-532, 2010.

27. Lee, K.H., Ehsani, R., Castle, W.S., A laser scanning system for estimating wind velocity reduction through tree windbreaks, *Computers and electronics in agriculture*, Vol. 31, No. 73, pp. 1-6, 2010.
28. Bitog, J.P., Lee, I.B., Hwang, H.S., Shin, M.H., Hong, S.W., Seo, I.H., Kwon, K.S., Mostafa, E., Pang, Z., Numerical simulation study of a tree windbreak, *Biosystems engineering*, Vol. 31, pp. 40-48, 2012.
29. 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*, Vol. 31, No. 129, pp. 57-69, 2015.
30. He, Y., Jones, P.J., Rayment, M., A simple parameterisation of windbreak effects on wind speed reduction and resulting thermal benefits to sheep. *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 28, No. 239, pp. 96-107, 2017.
۳۱. انتظاری ع.، مکانیک سیالات استریتر وایلی، انتشارات نور پردازان، ترجمه، ۱۳۹۰.
۳۲. راد م.، قربانی م.، جریان سیال تراکم ناپذیر (هیدروآیرودینامیک کاربردی)، انتشارات آوای دانش، ۱۳۹۲.
۳۳. توحیدی ا.، غفاری ه.، راهنمای جامع ANSYS FLUENT پیشرفته، انتشارات موسسه فرهنگی دیباگران تهران، ۱۳۹۴.
۳۴. توحیدی ا.، غفاری ه.، راهنمای جامع ANSYS FLUENT مقدماتی، انتشارات موسسه فرهنگی دیباگران تهران، ۱۳۹۴.
۳۵. واقفی م.، حل عددی معادله برگر با کاربرد تفاضل محدود و مقایسه آن با روش LATTICE BOLTZMANN، نشریه شماره ۲۴، مهندسی منابع آب، ۱۳۹۴.
۳۶. صدوقی م.، اسماعیل زاده س.، باب س.، بررسی رفتار دینامیکی یک سیستم به دو روش مدل سازی غیرخطی و المان محدود، نشریه شماره ۸، دانشگاه تربیت مدرس تهران، تهران، ایران، ۱۳۹۵.
۳۷. ریخته گر مشهد ش و همکاران.، مدل سازی عددی آبگیر با کف مشبک، پایان نامه کارشناسی ارشد گرایش سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران، ۱۳۹۲.
۳۸. گلشاهی م.، فلوئنت کاربردی، انتشارات صناعی، ۱۳۹۴.
۳۹. جمشیدی ن.، افکاری د.، آموزش نرم افزارهای FLUENT&GAMBIT، انتشارات جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۲.
۴۰. مومنی م.، قیومی ع.، تحلیل های آماری با استفاده از SPSS، انتشارات دانش نگار، ۱۳۹۰.
41. spss help, www.ibm.com/software/analytics.

۴۲. اشرفی زاده ح.، اثرات زیست محیطی خشک شدن دریاچه هامون بر منطقه سیستان، کنفرانس سالانه علمی تخصصی عمران، معماری، شهرسازی و علوم جغرافیا در ایران باستان و معاصر، موسسه فراز اندیشان دانش بین‌الملل، تهران، ایران، ۱۳۹۵.

۴۳. بخارسلیقہ م.، خسروی م.، پودینه ا.، اثر تغییرات سطح دریاچه هامون بر اقلیم محلی سیستان، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۳۸۹.

۴۴. آراسته پ.، تجریشی م.، لطیفی م.، ثقفیان ب.، مدل آماری برآورد تبخیر از سطح مخزن چاه‌نیمه سیستان به روش بیلان حجمی، نشریه شماره ۶۸، جهاد دانشگاهی، ۱۳۸۴.

۴۵. رازجویان م.، آسایش در پناه باد، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۷۹.

۴۶. جهانبخش س.، رجبی م.، مبانی جغرافیای طبیعی، انتشارات دانشگاه تبریز، ۱۳۸۸.

۴۷. کاویانی م.، علیخانی ب.، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت تهران، ۱۳۸۴.

۴۸. بازرگان م.، پدیده‌های جوی، شرکت سهامی انتشار، ۱۳۶۵.

۴۹. مسعودیان ا.، آب و هوای ایران، انتشارات شریعت توس مشهد، ۱۳۹۰.

۵۰. حسین زاده ر.، بادهای صد و بیست روزه سیستان، شماره ۴۶، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۷۶.

۵۱. علیخانی ب.، آب و هوای ایران، انتشارات پیام نور تهران، ۱۳۸۱.

۵۲. زمزدیان م.، پورکرمانی م.، بحثی پیرامون ژئومورفولوژی استان سیستان و بلوچستان، شماره ۶۸، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، ۱۳۷۶.

۵۳. صفرزایی ن.، اثر آب و هوای موسمی هند بر طوفان‌های گرد و غباری سیستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران، ۱۳۸۹.

54. Wray, P., Farmstead Windbreaks, *Lowa State University*, 1997.

55. Shademan, M., Hangan, H., Wind Loading On Solar Panela At Different Inclination Angles. *11th Americas Conference On Wind Engineering*, 2009.

56. Degraaff, D., Eaton, J., Reynolds-Number Scaling Of The Flat-Plate Turbulent Boundary Layer. *Journal Of Fluid Mech*, Vol. 422, pp. 319-346, 2000.

۵۷. پوستی ب.، مکانیک سیالات فرانک ام. وایت، انتشارات امید انقلاب، ترجمه، ۱۳۹۰.

۵۸. شجاعی فرد م.، هشترودی ع.، کفاش م.، راهنمای نرم‌افزارهای FLUENT&GAMBIT، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۸۱.

57. Will, C., *Turbulence Modelling for CFD*, 1993.

۵۹. شاهرخی م.، مقایسه انواع مدل‌های توربولانس در جریان‌های آشفته، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران،

دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران، ۱۳۸۷.

۶۰. صاحبی ف.، فرشادی زاده د.، اسمعیلی م.، عباسپور ا.، حسین زاده ع.، مقایسه مدل‌های آشفتگی کا امگا در

پرش هیدرولیکی در مقاطع مستطیلی واگرا با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت، نشریه شماره ۱ آب و خاک، ۱۳۸۷.

۶۱. کشاورزبان ا.، خانجانی م.، شبیه‌سازی جریان‌های گردابی در آبگیرهای نیروگاهی، دومین کنگره ملی توسعه

و ترویج مهندسی کشاورزی و علوم خاک / ایران، تهران، ایران، ۱۳۹۵.