



دانشگاه تربیت معلم تهران

دانشکده علوم زمین

گروه زمین شناسی

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آب شناسی

(هیدروژئولوژی)

بررسی هیدروژئوشیمی و مدل سازی آب زیرزمینی محدوده

چاه های آب شرب شهر ساری

استاد راهنما:

دکتر محسن رضایی

استاد مشاور:

دکتر محمد نخعی

نگارنده:

رویا مصطفوی

شهریور 1388

چکیده

در پایان نامه حاضر شهر ساری و تعدادی از مناطق روستایی پیرامون آن به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است. محدوده مورد بررسی با متوسط بارندگی سالانه ۷۴۷ میلیمتر، اقلیم معتدل مرطوب، مساحت حدودی ۱۰۳ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع ۱۸/۵ متر از تراز دریا، در ۲۶۷ کیلومتری شمال شرق تهران واقع شده است.

محدوده مورد بررسی قسمتی از دشت ساری- نکا است که بر روی مخروط افکنه تهن واقع شده است. عمده‌ترین جریان سطحی آن رودخانه تهن می‌باشد. از نظر زمین‌شناسی ساختاری در زون گرگان-رشت بر روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. براساس مطالعات ژئوفیزیک و حفاری‌های اکتشافی آبخوان آبرفتی محدوده از نوع آزاد با ضخامت اشباع ۴۷ تا بیش از ۱۲۰ متر می‌باشد. رسوبات آبرفتی آبخوان عمدتاً دانه درشت و شامل شن و ماسه است. قابلیت انتقال، در محدوده از ۳۴۰ تا ۱۰۹۰ متر مربع در روز تغییر می‌یابد. کمترین عمق برخورد به آب زیرزمینی در بخش شمال غربی محدوده در حد ۲ متر و بیشترین آن به میزان ۲۱ متر در نیمه جنوبی محدوده است. جهت غالب جریان آب زیرزمینی به سمت شمال و شمال غرب می‌باشد.

در این تحقیق با چهار دوره نمونه برداری از ۱۶ حلقه چاه عمیق شرب اقدام به مطالعه هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان آبرفتی محدوده، شده است. لذا ضمن اندازه‌گیری یون‌های اصلی، EC، pH، دمای آب و غلظت یون نیترات و آلودگی باکتریایی مورد سنجش قرار گرفته است. به منظور ارزیابی نتایج آنالیز شیمیایی، بررسی آماری متشکله‌های شیمیایی و تهیه نقشه‌های هم‌میزان این عناصر صورت گرفته است. بر این اساس تیپ عمده آب زیرزمینی محدوده بی‌کربنات کلسیک می‌باشد؛ تغییر تیپ آب زیرزمینی به صورت کلرورسدیک و یا بی‌کربنات سدیک در برخی چاه‌ها در نتیجه اثر زون غسل خزر، زه‌آب کشاورزی و فاضلاب‌های خانگی رخ می‌دهد. کیفیت آب زیرزمینی محدوده از نظر شرب، بر اساس استانداردهای کیفی آب شرب و نمودار شولر، در حد قابل قبول است. تمامی نمونه‌ها از نظر کشاورزی دارای کلاس C_3S_1 می‌باشند که با اندکی تمهیدات تصفیه قابل استفاده‌اند. تغییر یون‌های اصلی و پارامتر EC و TDS یکسان است به گونه‌ای که در مجاورت زون غسل خزر (نیمه جنوبی) مقدار آنها زیاد، و در ادامه حرکت به سمت شمال از میزان آنها کاسته می‌شود.

قرارگیری محدوده در نزدیکی زمین‌های کشاورزی، کاهش حجم بارش در برخی دوره‌های زمانی و افزایش برداشت از منابع آبی، موجبات افت شدید سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفی آن را فراهم آورده است. لذا در راستای شناخت بهتر آبخوان از نظر هیدروژئولوژیکی و مدیریت پایدار آبخوان، اقدام به شبیه‌سازی هیدرولیکی شرایط حاکم بر سفره، با کد نرم‌افزاری MODFLOW شده است؛ و پس از حساسیت‌سنجی و تعیین میزان درستی مدل بر اساس فرآیند صحت‌سنجی، مدل تهیه شده برای پیش‌بینی سناریوهای مختلف مدیریتی تا پایان سال آبی ۸۸-۱۳۸۷، مجدداً اجرا شده است. نتایج حاکی از کاهش سطح آبخوان به اندازه متوسط ۰/۵ متر، با ادامه روند کنونی برداشت و تغذیه سفره آب زیرزمینی محدوده تحت بررسی طی این دوره می‌باشد.

تقدیم به :

پدر و مادر بزرگوارم

برادر و خواهران صبورم

تمامی عزیزانی که در این تلاش همراهم بودند.

تقدیر و تشکر

ستایش خاص پروردگار علیم و حکیم، که توفیق نمود زیباترین و ناب‌ترین لحظات زندگی‌ام را در راه کسب دانش به اندازه وسع و توانم سپری نمایم، راهی که با تمام فراز و فرودهایش تنها جلوه‌ای از یک تلاش برای آغاز است، و در این راه همراهی و گرمی وجود بزرگانی همچون اساتید گرانقدر و خانواده، دشواری آن را بر من سهل و آسان کرد. لذا بر خود واجب می‌دانم تا از زحمات این عزیزان مراتب تقدیر و قدردانی را داشته باشم:

از استاد بزرگوار و عزیزم جناب آقای دکتر محسن رضایی، استاد راهنمای پایان نامه، که همواره بنده را مورد لطف و محبت خویش قرار داده و راهگشای مشکلات علمی و تحقیقی بنده بوده‌اند کمال قدردانی را ابراز دارم.

از زحمات استاد گرانقدرم، جناب آقای دکتر محمد نخعی به عنوان استاد مشاور پایان نامه‌ام، که مرا از راهنمایی و همراهی ارزنده‌شان بهره‌مند نمودند تشکر فراوان می‌نمایم.

از جناب آقای مهندس ایزدی، که بی‌آنکه نام‌شان در این تحقیق به طور رسمی به عنوان مشاور اعلام شود و بی هیچ چشم‌داشتی مرا یاری کردند، کمال قدردانی را دارم.

از زحمات مدیریت محترم گروه زمین‌شناسی جناب آقای دکتر محرابی و سایر اعضای گروه که امکانات لازم را در اختیار اینجانب قرار دادند سپاس دارم.

از مدیریت محترم و کارکنان زحمتکش سازمان آب منطقه‌ای مازندران و شرکت آب فاضلاب ساری به خاطر مساعدتشان در جهت ارائه اطلاعات و آمار تشکر می‌نمایم.

از همکاران صبور و دوستان همیشه شفیقم که هر زمان در مرارت‌ها و لحظات سختی پروژه، مرا یاری‌گر و مشوق بودند کمال قدردانی را دارم.

از خانواده عزیزم که همواره مشوق و پشتیبان من در تمامی مراحل زندگی بودند و هستند خاضعانه تشکر می‌نمایم.

برای تمام این عزیزان و هر آنکه در جهت ارتقای علم و به تبعه آن زندگی بشریت تلاش می‌کند از درگاه باریتعالی سعادت و سلامتی را خواستارم.

چکیده

در پایان نامه حاضر شهر ساری و تعدادی از مناطق روستایی پیرامون آن به عنوان محدوده مطالعاتی انتخاب شده است. محدوده مورد بررسی با متوسط بارندگی سالانه ۷۴۷ میلیمتر، اقلیم معتدل مرطوب، مساحت حدودی ۱۰۳ کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع ۱۸/۵ متر از تراز دریا، در ۲۶۷ کیلومتری شمال شرق تهران واقع شده است.

محدوده مورد بررسی قسمتی از دشت ساری- نکا است که بر روی مخروط افکنه تجن واقع شده است. عمده ترین جریان سطحی آن رودخانه تجن می باشد. از نظر زمین شناسی ساختاری در زون گرگان-رشت بر روی رسوبات عهد حاضر قرار گرفته است. براساس مطالعات ژئوفیزیک و حفاری های اکتشافی آبخوان آبرفتی محدوده از نوع آزاد با ضخامت اشباع ۴۷ تا بیش از ۱۲۰ متر می باشد. رسوبات آبرفتی آبخوان عمدتاً دانه درشت و شامل شن و ماسه است. قابلیت انتقال، در محدوده از ۳۴۰ تا ۱۰۹۰ متر مربع در روز تغییر می یابد. کمترین عمق برخورد به آب زیرزمینی در بخش شمال غربی محدوده در حد ۲ متر و بیشترین آن به میزان ۲۱ متر در نیمه جنوبی محدوده است. جهت غالب جریان آب زیرزمینی به سمت شمال و شمال غرب می باشد.

در این تحقیق با چهار دوره نمونه برداری از ۱۶ حلقه چاه عمیق شرب اقدام به مطالعه هیدروژئوشیمی و آلودگی آبخوان آبرفتی محدوده، شده است. لذا ضمن اندازه گیری یون های اصلی، EC، pH، دمای آب و غلظت یون نیترا و آلودگی باکتریایی مورد سنجش قرار گرفته است. به منظور ارزیابی نتایج آنالیز شیمیایی، بررسی آماری متشکله های شیمیایی و تهیه نقشه های هم میزان این عناصر صورت گرفته است. بر این اساس تیپ عمده آب زیرزمینی محدوده بی کربنات کلسیک می باشد؛ تغییر تیپ آب زیرزمینی به صورت کلوروسدیک و یا بی کربنات سدیک در برخی چاه ها در نتیجه اثر زون غسل خزر، زه آب کشاورزی و فاضلاب های خانگی رخ می دهد. کیفیت آب زیرزمینی محدوده از نظر شرب، بر اساس استانداردهای کیفی آب شرب و نمودار شولر، در حد قابل قبول است. تمامی نمونه ها از نظر کشاورزی دارای کلاس C_3S_1 می باشند که با اندکی تمهیدات تصفیه قابل استفاده اند. تغییر یون های اصلی و پارامتر EC و TDS یکسان است به گونه ای که در مجاورت زون غسل خزر (نیمه جنوبی) مقدار آنها زیاد، و در ادامه حرکت به سمت شمال از میزان آنها کاسته می شود.

قرارگیری محدوده در نزدیکی زمین های کشاورزی، کاهش حجم بارش در برخی دوره های زمانی و افزایش برداشت از منابع آبی، موجبات افت شدید سطح آب زیرزمینی و کاهش کیفی آن را فراهم آورده است. لذا در راستای شناخت بهتر آبخوان از نظر هیدروژئولوژیکی و مدیریت پایدار آبخوان، اقدام به شبیه سازی هیدرولیکی شرایط حاکم بر سفره، با کد نرم افزاری MODFLOW شده است؛ و پس از حساسیت سنجی و تعیین میزان درستی مدل بر اساس فرآیند صحت سنجی، مدل تهیه شده برای پیش بینی سناریوهای مختلف مدیریتی تا پایان سال آبی ۸۸-۱۳۸۷، مجدداً اجرا شده است. نتایج حاکی از کاهش سطح آبخوان به اندازه متوسط ۰/۵ متر، با ادامه روند کنونی برداشت و تغذیه سفره آب زیرزمینی محدوده تحت بررسی طی این دوره می باشد.

فصل اول : کلیات و پیشینه موضوع

۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- ضرورت و هدف تحقیق
۳	۳-۱- تعریف و کاربرد مدل
۴	۴-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده مورد مطالعه
۶	۵-۱- هواشناسی و اقلیم
۶	۱-۵-۱- هواشناسی
۱۲	۲-۵-۱- اقلیم
۱۳	۶-۱- زمین شناسی و چینه شناسی منطقه مورد بررسی
۱۶	۷-۱- زمین ساخت و تکتونیک
۱۷	۱-۷-۱- شکستگی‌ها
۱۷	۲-۷-۱- گسل خزر
۱۷	۸-۱- سوابق مطالعاتی

فصل دوم : هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

۲۴	۱-۲- مقدمه
۲۴	۲-۲- هیدرولوژی
۲۴	۱-۲-۲- رودخانه تجن
۲۵	۲-۲-۲- بررسی آبدهی رودخانه تجن
۲۹	۳-۲- هیدروژئولوژی
۲۹	۱-۳-۲- ساختمان و خصوصیات آبخوان آبرفتی
۳۰	۴-۲- بررسی‌های ژئوفیزیک
۳۱	۱-۴-۲- مقاومت مخصوص الکتریکی طبقات مختلف زمین
۳۳	۲-۴-۲- تغییرات مقاومت عرضی (RT)
۳۴	۵-۲- وضعیت شبکه چاه‌های مشاهده‌ای محدوده مورد بررسی
۳۶	۱-۵-۲- نوسانات سطح آب‌یرزمینی
۳۷	۲-۵-۲- هیدروگراف واحد دشت
۳۸	۳-۵-۲- جهت جریان آب‌یرزمینی و شیب هیدرولیکی
۳۹	۴-۵-۲- عمق آب‌یرزمینی
۴۲	۵-۵-۲- خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان آبرفتی

۴۳	۶-۵-۲ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی
۴۴	۶-۲-۲ بیان آب زیرزمینی آبخوان مورد مطالعه
فصل سوم : کیفیت منابع آب	
۴۷	۱-۱-۳ ضرورت مطالعه هیدروژئوشیمی
۴۷	۲-۳-۲ مواد و روش‌ها
۴۸	۳-۳-۳ آنالیز آماری متشکله‌های هیدروژئوشیمیایی
۵۳	۴-۳-۴ تغییرات مکانی متشکله‌های هیدروژئوشیمیایی
۵۳	۳-۴-۱-۱ هدایت الکتریکی
۵۴	۳-۴-۲-۲ نقشه‌های هم‌کدر
۵۷	۳-۴-۳-۳ نسبت مولر بی‌کربنات به کلراید
۵۸	۳-۴-۴-۴ نقشه‌های هم‌مقدار یون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و سولفات
۶۱	۳-۵-۵ تیپ و رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی
۶۷	۳-۶-۶ قابلیت شرب آب زیرزمینی منطقه مورد بررسی
۷۵	۳-۷-۷ کیفیت آب برای مصارف کشاورزی
۸۱	۳-۸-۸ کیفیت آب برای مصارف صنعتی
۸۳	۳-۹-۹ انواع آلودگی و منشأ آنها
۸۳	۳-۹-۱-۹ آلودگی‌های غیرزمین‌شناسی
۸۳	۳-۹-۱-۱-۹ فاضلاب‌ها و پساب‌های محلی
۸۳	۳-۹-۱-۲-۹ مصرف کود و سموم دفع آفات در کشاورزی
۸۴	۳-۹-۱-۳-۹ زیاده‌ها و پساب‌های صنعتی
۸۴	۳-۹-۲-۹ آلودگی‌های زمین‌شناسی
۸۵	۳-۹-۳-۹ عوامل متفرقه
۸۵	۳-۱۰-۱۰ آلاینده‌های بیولوژیکی آب زیرزمینی

فصل چهارم: طراحی و اجرای مدل آب زیرزمینی

۹۰	۴-۱-۱ مقدمه
۹۰	۴-۱-۱-۱ اهداف مدل‌سازی جریان
۹۰	۴-۱-۲-۱ مدل مفهومی آبخوان مورد بررسی
۹۲	۴-۱-۳-۱ تعیین معادلات حاکم بر جریان
۹۳	۴-۱-۴-۱ انتخاب کد نرم افزاری

۹۴	۴-۲- مدلسازی جریان آب زیرزمینی محدوده مورد بررسی
۹۵	۴-۳- آماده سازی مدل جریان آب زیرزمینی محدوده مورد بررسی
۹۵	۴-۳-۱- طراحی شبکه
۹۶	۴-۳-۲- تقسیم بندی مکانی و زمانی محدوده مدل
۹۷	۴-۳-۳- تراز سطح و سنگ کف آبخوان
۹۷	۴-۳-۴- اطلاعات هیدرودینامیکی
۹۸	۴-۳-۵- عوامل تغذیه و تخلیه کننده آب زیرزمینی
۹۸	۴-۳-۵-۱- عوامل تغذیه ای آب زیرزمینی
۱۰۰	۴-۳-۵-۲- تخلیه آبخوان
۱۰۲	۴-۳-۶- چاه‌های مشاهده‌ای و مقدار بار هیدرولیکی
۱۰۲	۴-۴- واسنجی (Calibration) مدل جریان
۱۰۳	۴-۴-۱- ارائه نتایج واسنجی حالت ناپایدار
۱۰۹	۴-۵- تحلیل حساسیت
۱۱۱	۴-۶- صحت سنجی (Verification)

فصل پنجم: پیش بینی و مدیریت مدل جریان آب زیرزمینی

۱۱۷	۵-۱- مقدمه
۱۱۷	۵-۲- استفاده مدیریتی از مدل
۱۱۸	۵-۳- پیش‌بینی
۱۱۹	۵-۴- بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت و پیش‌بینی آبخوان
۱۱۹	۵-۴-۱- وضعیت آینده آبخوان با ادامه روند کنونی
۱۲۰	۵-۴-۲- افزایش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری به میزان ۱۰ درصد در سال
۱۲۱	۵-۴-۳- افزایش بارندگی به میزان ۸۰ درصد
۱۲۲	۵-۴-۴- افزایش بارندگی به میزان ۸۰ درصد همراه با افزایش ۵۰ درصد میزان نفوذی چاه‌ها

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۲۴	۵-۱- نتیجه گیری
-----	-----------------

۱۲۶

۲-۵- پیشنهادات

فصل هفتم: منابع خارجی و داخلی

۱۲۹

۱-۶- منابع خارجی

۱۳۳

۲-۶- منابع داخلی

۵

شکل ۱-۱: موقعیت محدوده مورد مطالعه در سطح کشور

۷

شکل ۲-۱: تغییرات متوسط حداقل، حداکثر و روزانه دمای هوا در ایستگاه ساری

۸

شکل ۳-۱: تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک ساری

۱۰

شکل ۴-۱: تغییرات ماهانه تبخیر و تعرق پتانسیل به روش ترنت وایت در ایستگاه ساری

۱۱

شکل ۵-۱: هیستوگرام متوسط بارش ماهانه ساری در طول دوره آماری ۹ ساله

۱۲

شکل ۶-۱: منحنی آمبروترمیک شهر ساری

۱۳

شکل ۷-۱: اقلیم نمای آمبرژه و نوع اقلیم شهر ساری

۱۶

شکل ۸-۱: نقشه زمین شناسی محدوده مورد بررسی

۲۵

شکل ۱-۲: رودخانه محدوده مورد مطالعه

۲۷

شکل ۲-۲: تغییرات متوسط سالانه دبی رودخانه تجن در ایستگاه‌های ریگ‌چشمه، زارم‌رود و کردخیل

۲۸

شکل ۳-۲: تغییرات متوسط ماهانه دبی رودخانه تجن در ایستگاه‌های ریگ‌چشمه، زارم‌رود و کردخیل

۳۲

شکل ۴-۲: نقشه مقاومت مخصوص الکتریکی محدوده مورد بررسی

۳۵

شکل ۵-۲: موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای موجود در محدوده مورد مطالعه

۳۶

شکل ۶-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۶

شکل ۷-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۶

شکل ۸-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۶

شکل ۹-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۷

شکل ۱۰-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۷

شکل ۱۱-۲: هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح

۳۷	شکل ۲-۱۲- هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح
۳۷	شکل ۲-۱۳- هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح
۳۷	شکل ۲-۱۴- هیدروگراف چاه‌های مشاهده‌ای محدوده طرح
۳۸	شکل ۲-۱۵: هیدروگراف واحد سطح آب زیرزمینی و بارش ماهیانه محدوده
۴۰	شکل ۲-۱۶: نقشه هم پتانسیل حداکثر آبخوان محدوده مورد بررسی (تیر ۸۶)
۴۰	شکل ۲-۱۷: نقشه هم پتانسیل حداقل آبخوان شهر ساری (مهر ۸۵)
۴۱	شکل ۲-۱۸: نقشه هم عمق حداکثر آب زیرزمینی آبخوان شهر ساری (مهر ۱۳۸۵)
۴۱	شکل ۲-۱۹: نقشه هم عمق آب زیرزمینی حداقل آبخوان شهر ساری (تیر ۱۳۸۶)
۴۲	شکل ۲-۲۰: نقشه قابلیت انتقال محدوده مورد مطالعه
۴۸	شکل ۳-۱: موقعیت نقاط نمونه برداری در محدوده مورد بررسی
۵۵	شکل ۳-۲: نقشه هم EC آب‌های زیرزمینی شهر ساری (اسفند ۸۵)
۵۵	شکل ۳-۳: نقشه هم EC آب‌های زیرزمینی شهر ساری (شهریور ۸۶)
۵۶	شکل ۳-۴: نقشه هم Cl آب‌های زیرزمینی شهر ساری (اسفند ۸۵)
۵۶	شکل ۳-۵: نقشه هم Cl آب‌های زیرزمینی شهر ساری (شهریور ۸۵)
۵۷	شکل ۳-۶: نقشه هم مولار $rHCO_3/rCl$ آب‌های زیرزمینی شهر ساری
۵۸	شکل ۳-۷: نقشه هم مولار $rHCO_3/rCl$ آب‌های زیرزمینی شهر ساری
۵۹	شکل ۳-۸: نقشه هم کلسیم آب‌های زیرزمینی ساری (شهریور ۸۶)
۶۰	شکل ۳-۹: نقشه هم منیزیم آب‌های زیرزمینی ساری (شهریور ۸۶)
۶۰	شکل ۳-۱۰: نقشه هم سدیم آب‌های زیرزمینی ساری (شهریور ۸۶)
۶۱	شکل ۳-۱۱: نقشه هم سولفات آب‌های زیرزمینی ساری (شهریور ۸۶)
۶۳	شکل ۳-۱۲: نمودار پایپر نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (آذر ۸۵)
۶۴	شکل ۳-۱۳: نمودار پایپر نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (اسفند ۸۵)
۶۴	شکل ۳-۱۴: نمودار پایپر نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (اردیبهشت ۸۵)
۶۵	شکل ۳-۱۵: نمودار پایپر نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (شهریور ۸۵)
۶۵	شکل ۳-۱۶: نمودار استیف نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (آذر ۸۵)
۶۶	شکل ۳-۱۷: نمودار استیف نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (اسفند ۸۵)

- شکل ۳-۱۸: نمودار استیف نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (اردیبهشت ۸۵) ۶۶
- شکل ۳-۱۹: نمودار استیف نمونه آب چاه‌های شرب شهر ساری (شهریور ۸۵) ۶۷
- شکل ۳-۲۰: نمودار شولر نمونه آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (آذر ۸۵) ۷۱
- شکل ۳-۲۱: نمودار شولر نمونه آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اسفند ۸۵) ۷۲
- شکل ۳-۲۲: نمودار شولر نمونه آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اردیبهشت ۸۵) ۷۳
- شکل ۳-۲۳: نمودار شولر نمونه آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (شهریور ۸۵) ۷۴
- شکل ۳-۲۴: نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (آذر ۸۵) ۷۷
- شکل ۳-۲۵: نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اسفند ۸۵) ۷۸
- شکل ۳-۲۶: نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اردیبهشت ۸۵) ۷۹
- شکل ۳-۲۷: نمودار ویلکوکس آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (شهریور ۸۵) ۸۰
- شکل ۳-۲۸: نقشه هم‌نیترا آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اسفند ۸۵) ۸۸
- شکل ۳-۲۹: نقشه هم‌نیترا آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (شهریور ۸۶) ۸۸
- شکل ۴-۱: مدل مفهومی دوبعدی سطحی آبخوان ابرفتی محدوده مورد بررسی ۹۲
- شکل ۴-۲: شبکه‌ی مدل محدوده مورد بررسی ۹۷
- شکل ۴-۳: موقعیت سلول‌های حاوی چاه بهره‌برداری و سلول‌های مرزی (GHB) در شبکه مدل ۱۰۱
- شکل ۴-۴: مقدار هدایت الکتریکی بهینه محدوده مدل ۱۰۳
- شکل ۴-۵: مقایسه‌ی سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای مدل جریان ناپایدار (کل دوره) ۱۰۵
- شکل ۴-۶: تغییرات باقی مانده‌های بار هیدرولیکی مدل جریان آبخوان دوره تنش اول ۱۰۶
- شکل ۴-۷: تغییرات باقی مانده‌های بار هیدرولیکی مدل جریان آبخوان دوره تنش سوم ۱۰۶
- شکل ۴-۸: تغییرات باقی مانده‌های بار هیدرولیکی مدل جریان آبخوان دوره تنش پنجم ۱۰۷
- شکل ۴-۹: تغییرات باقی مانده‌های بار هیدرولیکی مدل جریان آبخوان دوره تنش هفتم ۱۰۷
- شکل ۴-۱۰: مقایسه منحنی‌های هم‌تراز سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای دوره تنش اول ۱۰۸
- شکل ۴-۱۱: مقایسه منحنی‌های هم‌تراز سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای دوره تنش چهارم ۱۰۸
- شکل ۴-۱۲: آنالیز حساسیت اثر تغییرات نرخ پمپاژ بر مقدار خطای RMS بار هیدرولیکی مدل جریان آب زیرزمینی محدوده طرح در کل دوره تنش سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ ۱۰۹
- شکل ۴-۱۳: آنالیز حساسیت اثر تغییرات هدایت هیدرولیکی بر مقدار خطای RMS بار هیدرولیکی مدل جریان آب زیرزمینی محدوده طرح در کل دوره تنش سال آبی ۸۶-۱۳۸۵ ۱۱۰

- شکل ۴-۱۴: آنالیز حساسیت اثر تغییرات آبدهی ویژه بر مقدار خطای RMS بار هیدرولیکی مدل جریان آب زیرزمینی محدوده طرح در کل دوره تنش سال آبی ۸۶-۱۳۸۵
۱۱۰
- شکل ۴-۱۵: آنالیز حساسیت اثر تغییرات نرخ تغذیه بر مقدار خطای RMS بار هیدرولیکی مدل جریان آب زیرزمینی محدوده طرح در کل دوره تنش سال آبی ۸۶-۱۳۸۵
۱۱۰
- شکل ۴-۱۶: مقایسه‌ی بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای مدل جریان (کل دوره صحت سنجی)
۱۱۱
- شکل ۴-۱۷: مقایسه منحنی‌های هم‌تراز سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای دوره تنش اول
۱۱۲
- شکل ۴-۱۸: مقایسه منحنی‌های هم‌تراز سطح آب مشاهده‌ای و محاسبه‌ای دوره تنش چهارم
۱۱۲
- شکل ۴-۱۹: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای اوجامحله
۱۱۳
- شکل ۴-۲۰: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای پارک ساری
۱۱۳
- شکل ۴-۲۱: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای پل تجن
۱۱۳
- شکل ۴-۲۲: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای دیوکتی
۱۱۴
- شکل ۴-۲۳: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای ذغالچال
۱۱۴
- شکل ۴-۲۴: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای عیسی خندق
۱۱۴
- شکل ۴-۲۵: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای مخزن ساری
۱۱۵
- شکل ۴-۲۶: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای معلم کلا
۱۱۵
- شکل ۴-۲۷: مقایسه بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای چاه مشاهده‌ای کارکنده
۱۱۵
- شکل ۵-۱: مقایسه منحنی‌های تراز آب زیرزمینی در حالت پایه
۱۲۰
- شکل ۵-۲: منحنی‌های تراز آب زیرزمینی درحالت افزایش بهره‌برداری از چاه
۱۲۱
- شکل ۵-۳: منحنی‌های تراز آب زیرزمینی درحالت افزایش بارش
۱۲۲

- جدول ۱-۱: پارامترهای درجه حرارت ایستگاه ساری برای دوره ۹ ساله
۶
- جدول ۱-۲: پارامترهای رطوبت نسبی ایستگاه ساری برای دوره ۹ ساله
۷
- جدول ۱-۳: سرعت و جهت باد در ایستگاه سینوپتیک ساری
۸
- جدول ۱-۴: ساعات آفتابی مشاهده‌ای در ایستگاه سینوپتیک ساری
۹



۹	جدول ۱-۵: میزان تبخیر از طشتک و سطح آزاد آب در ایستگاه ساری
۱۰	جدول ۱-۶: میزان تبخیر و تعرق پتانسیل محاسبه شده به روش‌های مختلف در ایستگاه ساری
۱۱	جدول ۱-۷: حداکثر، حداقل و میانگین بارش ماهانه و سایر پارامترهای آماری در ایستگاه ساری
۲۶	جدول ۱-۲: مشخصات ایستگاه‌های آبسنجی محدوده مورد بررسی
۲۸	جدول ۲-۲: آبدهی ماهانه رودخانه تجن در ایستگاه‌های مورد مطالعه
۳۵	جدول ۲-۳: مشخصات چاه‌های مشاهده‌ای محدوده مورد مطالعه
۴۵	جدول ۲-۴: نتایج محاسبات بیلان آبی آبخوان محدوده مورد بررسی
۵۱	جدول ۳-۱: نتایج شاخص‌های آماری منابع آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (آذر ۸۵)
۵۱	جدول ۳-۲: نتایج شاخص‌های آماری منابع آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اسفند ۸۵)
۵۲	جدول ۳-۳: نتایج شاخص‌های آماری منابع آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (اردیبهشت ۸۵)
۵۲	جدول ۳-۴: نتایج شاخص‌های آماری منابع آب زیرزمینی چاه‌های شرب ساری (شهریور ۸۵)
۶۲	جدول ۳-۵: متوسط ترکیب رخساره‌های هیدروژئوشیمیایی
۶۹	جدول ۳-۶: استانداردهای پیشنهادی آب شرب
۶۹	جدول ۳-۷: حداکثر مقدار غلظت پارامترهای کیفی آب چاه‌های شرب شهر ساری
۶۹	جدول ۳-۸: طبقه بندی آبها بر اساس میزان سختی آنها
۷۰	جدول ۳-۹: طبقه بندی آب زیرزمینی بر اساس نمودار شولر
۷۵	جدول ۳-۱۰: طبقه بندی آب آبیاری براساس نسبت جذب سدیم یا خطر قلیا ئیت
۷۵	جدول ۳-۱۱: طبقه بندی آب آبیاری براساس هدایت الکتریکی یا خطر شوری
۷۶	جدول ۳-۱۲: رده های مختلف آب و نوع کیفیت آن بر اساس تقسیم‌بندی ویلکوکس
۸۲	جدول ۳-۱۳: تعیین پارامتر C
۸۲	جدول ۳-۱۴: وضعیت منابع آب زیرزمینی چاه‌های شرب شهر ساری از نظر IS, I_r
۱۰۴	جدول ۴-۱: نتایج مقادیر خطای محاسبه شده مربوط به مدل ناپایدار واسنجی شده
۱۱۱	جدول ۴-۲: نتایج مقادیر خطای محاسبه شده مربوط به مدل جریان صحت سنجی

1-1- مقدمه

حرکت جهان به سمت صنعتی شدن، رشد بی‌رویه جمعیت به خصوص در کشورهای عقب مانده و در حال توسعه، منجر به توسعه شهر نشینی، افزایش فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، باغداری و دامداری و بالطبع افزایش نیاز آبی شده است. خصوصیات منحصر به فرد و مزایای آب زیرزمینی در تأمین آب سالم و ارزان قیمت برای رفع نیازهای مصرفی به ویژه مصارف شرب موجب تمایل فراوان به استفاده از این منبع آبی شده است، با این وجود عدم استفاده بهینه از آب زیرزمینی، موجب تغییرات کمی-کیفی و آلودگی این منبع آبی شده است. بنا به تعریف هر گونه تغییر فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در محیط آب، که به گونه ای زیان بار بر سلامت، بقاء و فعالیت‌های انسان، حیوان، گیاه و سایر موجودات تأثیر گذار آلودگی آب خوانده می شود.

در بحث مدیریت سیستم آب زیرزمینی که تصمیمات براساس کمیت و کیفیت آب اتخاذ می‌شوند. مدل و مدلسازی به عنوان ابزاری توانمند جهت شناخت بیشتر خصوصیات هیدروژئولوژیکی آبخوان و دستیابی به اطلاعاتی درباره عکس‌العمل آینده سیستم نسبت به تصمیمات مدیریتی، همچنین مطالعات هیدروژئوشیمی به منظور شناسایی عوامل آلاینده آب زیرزمینی، بررسی تغییرات مکانی و زمانی غلظت آلاینده‌ها، حفظ کیفیت منابع آب در حد استانداردهای قابل قبول ملی و جهانی لازم و ضروری است.

1-2- ضرورت و هدف تحقیق

اگر چه دلیل موقعیت جغرافیایی و شرایط جوی منطقه مورد بررسی، منابع قابل توجهی از آب‌های سطحی در منطقه وجود دارد، ولی بدلیل عدم مهار مناسب و کنترل این منبع و همچنین پتانسیل بالای مخازن آب زیرزمینی، در حال حاضر 40 درصد آب مورد نیاز کشاورزی و بیش از 95 درصد از نیازهای شرب، بهداشت و صنعت اعم از مناطق شهری و روستایی از منابع آب زیر زمینی تأمین می‌شود (سازمان تحقیقات منابع آب، 1370). لذا با مسائلی نظیر اضافه برداشت از آبخوان‌ها و آلودگی آب‌های زیرزمینی به کرات مواجه می‌شویم. جهت کاهش و جلوگیری از خسارات، بخصوص صدمات محیطی غیر قابل برگشت باید قادر به پیش‌گویی واکنش آبخوان نسبت به اثرات بشر باشیم.

برای پیش‌بینی دقیق رفتار سیستم، در حال و آینده، تحت شرایط و تنش‌های وارده، به درک کاملی از کلیه علل و عوامل مؤثر بر سیستم، نحوه ارتباط آنها و بطور کلی قوانین حاکم بر سیستم نیازمندیم. این در حالی است که انسان از درک شفاف و کامل این قوانین بویژه در ارتباط با علوم تحت‌الارضی عاجز است، از سوی دیگر نمی‌توان پدیده‌های واقعی را با مدل‌های

فیزیکی (کوچک مقیاس) بررسی کرد، در نتیجه ابزارها و مدل‌های ریاضی زیادی برای پیشگویی عملکرد آب‌های زیرزمینی از نقطه نظرهای کمی و کیفی تدوین گشته‌اند. مدل ابزاری است که درک فعلی انسان از قوانین را در قالب معادلات ریاضی و حل کامپیوتری آن تجسم می‌بخشد، و سپس برای پیش‌بینی رفتار واقعی سیستم در آینده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین لازم است که اثرات و خطرات احتمالی که در آینده در اثر تغییر بهره‌برداری پیش می‌آید، توسط مدل پیش‌بینی گردد. به طوری که بتوان ریسک سرمایه‌گذاری‌ها را کاسته و از افت شدید سطح آب زیرزمینی که می‌تواند نتایج جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد جلوگیری نمود (جهانتابی، 1381).

از اینرو در این پایان‌نامه علاوه بر بررسی و مطالعات معمول هیدروژئوشیمی اقدام به تهیه مدل جریان با استفاده از نرم افزار مدل‌سازی ریاضی Visual MODFLOW 5.3 شده است.

1-3- تعریف و کاربرد مدل

تعاریف بسیار متعدد و گسترده‌ای از مدل ارائه شده است. مدل ابزاری است که برای نمایش ساده‌تر واقعیت طراحی شده است (Wang and Anderson, 1982). مدل می‌تواند هر ابزار و وسیله‌ای باشد که نشان‌دهنده شرایط صحرایی است (Anderson and Woessner, 1992). هر سیستمی که بیانگر عکس‌العمل سیستم آب‌های زیرزمینی باشد، می‌تواند به عنوان مدل آن سیستم نامیده شود (prikett, 1975).

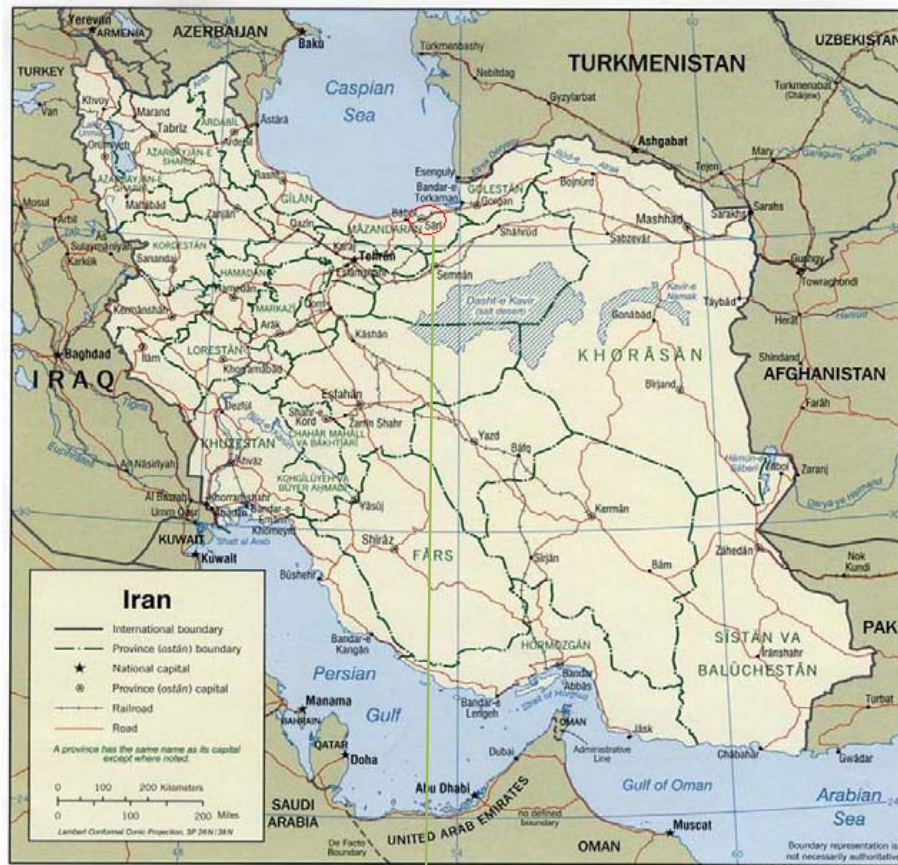
مدل سفره آب زیرزمینی ابزاری است که می‌تواند تغییرات سفره را در اثر مکانیسم‌های مختلفی که بر روی آن اعمال می‌شود نشان دهد، یا به عبارت دیگر وسیله‌ای است که عکس‌العمل سفره را در اثر تغذیه‌ها و برداشت‌های مختلف نشان می‌دهد. به طور خلاصه مدل ابزاری برای شبیه‌سازی رفتار فعلی و پیشگویی رفتار آینده سفره‌های آب زیرزمینی هستند و در صورتی که با دقت تهیه شوند، می‌توانند وسایل و ابزار پیش‌گویی باارزشی در مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی باشند (Whelan, G., & Castleton, K. J., 2006).

مدلسازی، به دلیل نیاز به حل معادلات جریان آب زیرزمینی، از حدود سی سال پیش در اکثر مراکز تحقیقاتی دانشگاهی و مهندسی مشاور دنیا آغاز شده است. پیشرفت کامپیوتر از نظر حافظه و سرعت، امکان استفاده از روش‌های مختلف عددی را بیشتر نموده است. در این میان انجمن ژئوفیزیک آمریکا (American Geophysical Union, AGU)، مرکز بین‌المللی مدلسازی آب‌های زیرزمینی در ایالت کلرادو آمریکا (IGWMC)، سازمان تحقیقات زمین‌شناسی آمریکا (USGS)، مراکز تحقیقاتی در فرانسه، آلمان و انگلیس و استرالیا بیشترین فعالیت را نسبت به سایر کشورهای دنیا در این زمینه داشته‌اند. از طرف دیگر با اینکه روند مدلسازی عددی مرتباً ادامه دارد، بنابر ضرورت مسأله، مدل‌های تحلیلی نیز پیشرفت داشته‌اند.

در میان انواع مدل‌ها، مدل‌هایی که در گروه مدل‌های پیش‌بینی کننده هستند، همواره بیشترین توجه بخش‌های اجرایی را متوجه خود ساخته‌اند. زیرا قادرند که علاوه بر شبیه‌سازی سفره و شناسایی ضریب آبخوان، عکس‌العمل سفره را در برابر تنش‌های مختلفی از قبیل پمپاژ، تغذیه و آلودگی نشان دهند. در اکثر مدل‌ها، به جز در حالات خاص مانند سازندهای درز و شکافدار کلاسیک، جریان آب در محیط متخلخل، توسط قانون داریسی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به علاوه نحو برخورد با طبیعت بسته به اهمیت آبخوان ممکن است دو بعدی یا سه بعدی در نظر گرفته شود و مدل آب زیرزمینی ممکن است برای محیط‌های غیر اشباع و اشباع حالت یک فاز (یک سیال)، چند فاز و سفره‌های آزاد و تحت فشار تهیه شود. به هر حال تمام مدل‌ها قادرند در محیط غیر همگن و در دو حالت پایدار و ناپایدار عمل کنند. خاک طبیعی معمولاً بصورت غیرایزوتروپ و ناهمگن است و توصیف ریاضی خاصی برای چنین محیط‌هایی در دسترس نیست. در این حالت بایستی شبیه‌سازی هیدرولیک آب‌های زیرزمینی و فرآیند انتقال و پخش آلودگی را به وسیله تکنیک‌های عددی و نرم افزارهای رایانه‌ای انجام داد. از جمله کدهای نرم افزاری که جریان آب زیرزمینی را به صورت دو بعدی به روش تفاضل محدود با استفاده از زبان فرترن 77 شبیه‌سازی می‌کند، مدل MODFLOW است که توسط سازمان تحقیقات زمین‌شناسی آمریکا (USGS) در سال‌های 1984، 1996، 1988 و 2000 تهیه شده است.

1-4- موقعیت جغرافیایی و راه‌های ارتباطی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوضه آبریز رودخانه تجن (دشت ساری) است، که در فاصله 267 کیلومتری شمال شرق شهر تهران با مختصات جغرافیایی حدود $28^{\circ} 29' 36''$ تا $26^{\circ} 33' 36''$ عرض شمالی و $51^{\circ} 04' 53''$ تا $38^{\circ} 05' 53''$ طول شرقی واقع شده است (شکل 1-1). وسعت منطقه حدود 103.57 کیلومتر مربع و متوسط ارتفاع آن 18.5 متر از سطح دریا می‌باشد. این منطقه از شمال، شرق و غرب به روستاهای اطراف نظیر اوجامحله، عیسی خندق، دیوکتی، معلم کلا، از جنوب به سلسله جبال البرز محدود می‌شود. مهمترین راه‌های دسترسی به محدوده، جاده آسفالتی و راه آهن تهران- گرگان می‌باشد (شکل 1-1). عمده‌ترین جریان سطحی ناحیه رودخانه تجن می‌باشد، که از کوه‌های هزار جریب سرچشمه می‌گیرد و سپس وارد دشت شده و در طول دشت جریان داشته و در فرح آباد ساری به دریا می‌پیوندد.



شکل 1-1 : موقعیت محدوده مورد مطالعه در کشور (اقتباس از اطلس راه‌های ایران، بخش سوم، مقیاس

(1:1400000

1-5- هواشناسی و اقلیم

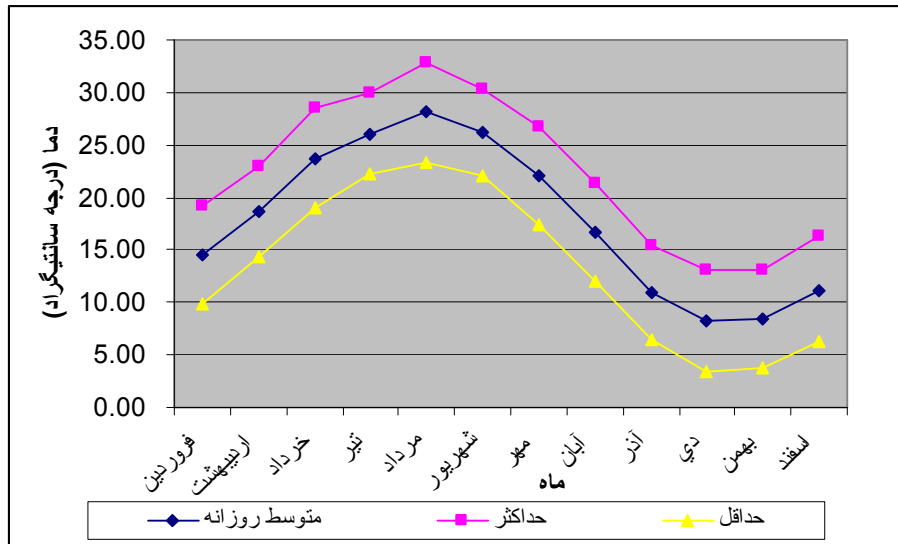
جهت بررسی شرایط هواشناسی و اقلیمی محدوده مورد مطالعه، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی منطقه استفاده شده است. آمار و اطلاعات مربوطه از اداره هواشناسی برای یک دوره 9 ساله (از سال 1378 تا سال 1386) اخذ گردید. با توجه به موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پارامترهای اقلیمی مورد نیاز مطالعات هواشناسی، ایستگاه تبخیرسنجی - باران‌سنجی و سینوپتیک محوطه اداره هواشناسی شهر ساری به عنوان ایستگاه معرف به منظور برآورد پارامترهای اقلیمی منطقه و همچنین جهت بررسی ساعات آفتابی، سرعت متوسط باد و مقدار رطوبت نسبی مورد استفاده قرار گرفته است.

1-5-1- هواشناسی

مهمترین عناصر هواشناسی عبارتند از دما، رطوبت نسبی، باد، تبخیر، بارندگی و روزهای یخبندان است که در ادامه به تجزیه و تحلیل هر یک از آنها پرداخته می‌شود. با توجه به آمار 9 ساله ایستگاه محوطه اداره هواشناسی ساری، متوسط دمای سالانه ایستگاه معرف 17.9 درجه سانتیگراد بدست آمده است. شکل 1-2 تغییرات متوسط درجه حرارت ماهانه را نسبت به متوسط حداقل و متوسط حداکثر آن در دوره آماری نشان می‌دهد. متوسط حداکثر و حداقل دما، حداکثر و حداقل مطلق دما از دیگر نمایه‌های درجه حرارت می‌باشند. برای دوره آماری 9 ساله، ماه مرداد گرمترین ماه سال با متوسط حداکثر درجه حرارت 32.5 و سردترین ماه سال، دی ماه با متوسط حداقل دمای 3.5 درجه سانتیگراد می‌باشد. همچنین حداکثر و حداقل مطلق دما برابر با 39.8 و 6.0- درجه سانتیگراد است که مربوط به ماه‌های مرداد و دی است (جدول 1-1). بنابراین دامنه دما در این منطقه به طور متوسط حدود 45.8 درجه سانتیگراد تغییر می‌یابد.

جدول 1-1: پارامترهای درجه حرارت ایستگاه ساری برای دوره 9 ساله (درجه سانتیگراد)

دما	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط روزانه	22.01	16.64	10.98	8.28	8.44	11.19	14.52	18.70	23.72	26.06	28.13	26.16	17.9
حداکثر مطلق	39.20	33.00	26.60	24.80	28.00	36.40	38.80	37.00	37.80	34.80	39.80	39.40	39.80
متوسط حداکثر	26.78	21.29	15.43	13.06	13.09	16.29	19.24	22.94	28.49	29.91	32.80	30.31	22.50
حداقل مطلق	9.00	0.80	-1.60	-6.00	-3.80	-0.70	0.80	5.00	12.80	16.60	18.80	13.20	-6.00
متوسط حداقل	17.43	11.99	6.54	3.50	3.78	6.30	9.81	14.36	19.10	22.20	23.35	22.09	13.40

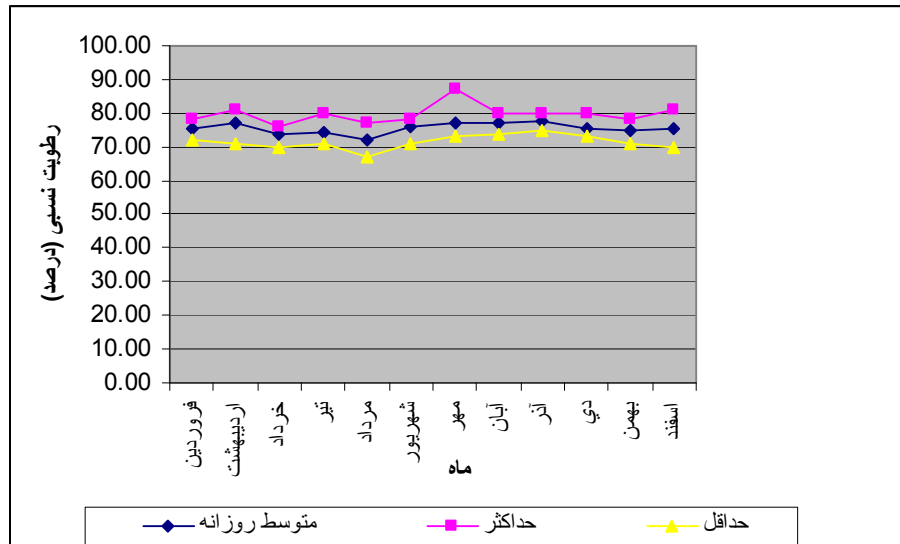


شکل 1-2: تغییرات متوسط حداقل، حداکثر و روزانه دمای هوا در ایستگاه ساری (دوره آماری 9 ساله)

به مقدار بخار آب موجود در هوا رطوبت (نم) گفته می‌شود که از دیگر نمایه‌های هواشناسی می‌باشد. با وجود اینکه بخار آب فقط بخش بسیار کوچکی از ترکیب جو را تشکیل می‌دهد، ولی در بیلان گرما و پدیده‌های مختلف جوی از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین لحاظ تغییرات مقادیر حداکثر، متوسط و حداقل رطوبت نسبی ماهانه ایستگاه معرف (ایستگاه سینوپتیک ساری) برای دوره آماری 9 ساله در شکل 1-3 ارائه گردیده است. با توجه به شکل فوق میانگین رطوبت نسبی هوا در تمام ماه‌های سال روندی یکنواخت دارد. حداکثر رطوبت نسبی مربوط به آذر ماه (92.37 درصد) و حداقل رطوبت نسبی مربوط به مرداد ماه (51.75 درصد) بر اساس متوسط حداکثر و متوسط حداقل رطوبت نسبی در دوره آماری می‌باشد. متوسط رطوبت نسبی سالانه منطقه نیز حدود 76 درصد است.

جدول 1-2: پارامترهای رطوبت نسبی ایستگاه ساری برای دوره 9 ساله (برحسب درصد)

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط روزانه	77.13	76.9	77.6	75.6	75.1	75.25	75.43	77.1	73.7	74.3	71.9	76.0	76.00
حداکثر مطلق	98.00	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	99.00	98.00	98.00	100.0
متوسط حداکثر	90.25	92	92.4	91.3	91.4	91.25	91.5	91.9	88	88.3	87.4	89.8	90.4
حداقل مطلق	18.00	22.00	20.00	17.00	17.00	7.00	13.00	17.00	23.00	27.00	27.00	25.00	7.00
متوسط حداقل	55.75	58.6	61	57.1	57.1	55.25	59	61	54.6	59.4	51.8	58.5	57.00



شکل 3-1: تغییرات رطوبت نسبی ایستگاه سینوپتیک ساری (دوره آماری 9 ساله)

جهت بررسی باد در محدوده مورد مطالعه از آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک ساری استفاده شده است (جدول 3-1). با توجه به جدول مذکور، متوسط سالانه سرعت باد 14 متر در ثانیه در ارتفاع 2 متری از سطح زمین می‌باشد. بیشترین سرعت باد مربوط به اسفند ماه معادل با 18.76 متر در ثانیه و کمترین سرعت مربوط به شهریور ماه معادل با 10.61 متر در ثانیه می‌باشد. جهت غالب بادهای منطقه نیز از جهت جنوب‌شرق به شمال‌غرب می‌باشد.

جدول 3-1: سرعت و جهت باد در ایستگاه سینوپتیک ساری (دوره آماری 8 ساله)

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	سالانه
متوسط سرعت باد (m/s)	13.63	13.1	17.34	15.57	17.17	18.761	16.46	17.52	12.39	10.62	10.62	10.62	14.0
جهت باد غالب (درجه)	360	270	300	290	300	350	320	300	330	350	360	330	360

مدت تابش آفتاب از دیگر نمایه‌های هواشناسی می‌باشد، که در محاسبه تبخیر و تعرق مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت بررسی مدت تابش آفتاب محدوده مورد مطالعه از داده‌های ایستگاه سینوپتیک ساری استفاده شده است. در جدول 4-1 حداکثر ساعات آفتابی اتفاقی، حداکثر ساعات آفتابی ممکن و نسبت حداکثر ساعات آفتابی مشاهده شده به حداکثر ساعات آفتابی ممکن آورده شده است. با توجه به جدول فوق متوسط حداکثر ساعات آفتابی مشاهده