

جمهوری اسلامی ایران



دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه
دفتر برنامه ریزی و تلفیق ستاد احیای دریاچه ارومیه

مدلسازی آب زیرزمینی دشت میاندوآب به کمک فناوری سنجش ازدور
به منظور بررسی اثربخشی آبخوان بر جریانات سطحی

آبان ۱۳۹۴

باسمه تعالی

گزارش

مدلسازی آب زیرزمینی دشت میاندوآب به کمک فناوری سنجش
ازدور به منظور بررسی اثربخشی آبخوان بر جریانات سطحی

تهیه کننده:

مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف

نویسندگان:

حامد حمزه خانی، محمدمهدی آقایی

آبان ۱۳۹۴

۱	عنوان سند	مدلسازی آب زیرزمینی دشت میاندوآب به کمک فناوری سنجش ازدور به منظور بررسی اثر بخشی آبخوان بر جریانات سطحی								
۲	بندهای شرح خدمات	<table> <tr> <th>عنوان فعالیت</th> <th>شماره بند</th> <th>عنوان</th> </tr> <tr> <td rowspan="2">بخش سوم: بررسی و تحلیل آخرین وضعیت منابع و مصارف آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه</td> <td>۱۷-۳</td> <td>انجام مطالعات کمی و کیفی آب زیرزمینی در بخش جنوبی حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی</td> </tr> <tr> <td>۱۸-۳</td> <td>انجام مطالعات آب زیرزمینی در کلان حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی</td> </tr> </table>	عنوان فعالیت	شماره بند	عنوان	بخش سوم: بررسی و تحلیل آخرین وضعیت منابع و مصارف آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه	۱۷-۳	انجام مطالعات کمی و کیفی آب زیرزمینی در بخش جنوبی حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی	۱۸-۳	انجام مطالعات آب زیرزمینی در کلان حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی
عنوان فعالیت	شماره بند	عنوان								
بخش سوم: بررسی و تحلیل آخرین وضعیت منابع و مصارف آب حوضه آبریز دریاچه ارومیه	۱۷-۳	انجام مطالعات کمی و کیفی آب زیرزمینی در بخش جنوبی حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی								
	۱۸-۳	انجام مطالعات آب زیرزمینی در کلان حوضه با رویکرد پیش‌بینی تاثیرات افزایش برداشت در کاهش ورودی‌های آب سطحی								
۳	کد سند	OC11RN9408009								
۴	تهیه‌کننده	مرکز تحقیقات سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف								
	نویسندگان	حامد حمزه‌خانی، محمدمهدی آقایی								
۵	محتویات سند	هدف از تهیه این گزارش ارزیابی تاثیر مدیریت مناسب منابع آب زیرزمینی در دشت میاندوآب بر بهبود وضعیت آب سطحی این دشت، با لحاظ کردن نیازهای بخش کشاورزی می‌باشد. روش مورد استفاده در این مطالعه، مدلسازی آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد.								
۶	تاریخ نشر	آبان ۱۳۹۴								
۷	نوبت ویرایش	نهایی								

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

پیش‌گفتار

قرارگیری دریاچه ارومیه در آستانه بحرانی زیست‌محیطی در مقیاس بین‌المللی در سال‌های منتهی به سال ۱۳۹۲ شمسی و مطالبات مردم شریف منطقه، هیأت محترم وزیران را بر آن داشت که در اولین جلسه خود در دولت یازدهم، طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۱۱۱۴۶ مورخ ۱۳۹۲/۰۵/۲۸، تشکیل کارگروه نجات دریاچه ارومیه را به تصویب رسانند که پس از بررسی‌های گروه‌های کارشناسی، ۱۹ طرح اولویت‌دار جهت نجات دریاچه ارومیه در جلسه ۱۳۹۲/۰۷/۱۶ کارگروه نجات دریاچه ارومیه تصویب گردید.

به منظور تمرکز و تسریع در روند اقدامات مرتبط با احیای دریاچه ارومیه، پیشنهاد تشکیل «کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه» در جلسه مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ هیأت محترم وزیران مطرح و به موجب اختیارات اصل ۱۳۸ قانون اساسی، طبق مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۱۷۰۰۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۱۱/۱۲، مقرر گردید که ریاست کارگروه بر عهده معاون اول محترم رئیس‌جمهور باشد و جناب آقای دکتر عیسی کلانتری به عنوان دبیر کارگروه و مدیر اجرایی احیای دریاچه ارومیه تعیین گردیدند. ۷ وزیر، ۲ معاون رئیس‌جمهور و ۳ استاندار حوضه آبریز نیز به عنوان اعضای این کارگروه معرفی شدند.

در گام بعدی، ستاد احیای دریاچه ارومیه ضمن ایجاد کمیته‌های تخصصی شش‌گانه، ۲۰ کارگروه تخصصی، انجام مطالعات تطبیقی و ایجاد شوراهای منطقه‌ای، ضمن برگزاری ۹۸ جلسه متنوع کارشناسی و مدیریتی و بهره‌گیری از نظرات بیش از ۷۵۰ نفر از متخصصان داخلی و بین‌المللی در بازه زمانی ۱۳۶ روزه (از ۱۳۹۲/۱۱/۰۲ تا ۱۳۹۳/۰۳/۱۷)، اقدام به تدوین و اجرای یک نقشه راه جامع در راستای احیای دریاچه ارومیه نمود که نقشه راه مذکور در جلسه مورخ ۱۳۹۳/۰۴/۰۸ به ریاست رئیس‌جمهور محترم جناب آقای دکتر روحانی، ارائه و مورد تصویب قرار گرفت و دستور شروع عملیات اجرایی راه‌کارهای مصوب توسط ایشان صادر گردید. کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیز طی مصوبه شماره ۴۹۵۰۳/۵۷۵۴۲ مورخ ۱۳۹۳/۰۵/۲۵ به طور رسمی مسئولیت مطالعه و طراحی طرح نجات دریاچه ارومیه را به دانشگاه صنعتی شریف سپرد.

در کنار دستاوردهای میدانی متعدد حاصل از طرح ملی نجات دریاچه ارومیه از جمله قرار گرفتن دریاچه در مسیر احیای پایدار و رفع مخاطرات بهداشتی و سلامتی، نقش محوری دانشگاه‌های ملی و استانی در کلیه امور مطالعه و پایش، شاخصه‌ای کم‌نظیر در پروژه بوده که توانسته است ضمن خلق تعاملی پویا و چندسویه با دستگاه‌های اجرایی، روح اقدامات علمی-پژوهشی را در کالبد همه پروژه‌های ذیل طرح، جاری نمایند.

لذا با هدف شفاف‌سازی اقدامات مطالعاتی و پژوهشی انجام شده و نیز به منظور فراهم شدن امکان استفاده مجامع علمی در رشته‌های مختلف دانشگاهی از آب (هیدرولوژی، آب زیرزمینی، هیدرولیک و هیدرودینامیک)، محیط‌زیست، اکولوژی و لیمنولوژی گرفته تا اقتصاد و جامعه‌شناسی از دانش بومی تولید شده در این طرح ملی، کلیه مطالعات انجام شده توسط دبیرخانه کارگروه در کتابخانه مرکزی دانشگاه صنعتی شریف در دسترس پژوهشگران محترم قرار گرفته است. یقیناً تدارک مطالعه و پژوهش در این منابع بومی ارزشمند که حاصل سال‌ها تلاش مجدانه محققان تراز اول داخلی و بین‌المللی بوده، سرآغازی خواهد بود برای تداوم نهضت علمی شکل گرفته و به زودی با بروز جهشی علمی در بستر استثنایی پدید آمده، شاهد شکوفایی برکات این گردش آزاد اطلاعات در اقصی نقاط کشور خواهیم بود.

کلیه تعبیر، نتایج و تفاسیری که در این اثر ذکر شده‌اند، محصول تلاش‌های نویسندگان (یا نویسندگان) آن بوده و لزوماً منعکس‌کننده دیدگاه‌های دبیرخانه کارگروه ملی نجات دریاچه ارومیه نیست. لذا مسئولیت صحت کلیه اطلاعات و نتایجی که توسط این اثر در دسترس عموم قرار می‌گیرد، به عهده نویسندگان (یا نویسندگان) آن می‌باشد.

چکیده

منابع آب زیر زمینی همواره یکی از منابع اصلی تامین کننده آب شیرین در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران بوده اند. حوضه آبریز دریاچه ارومیه یکی از مناطقی می باشد که در آن بخش قابل توجهی از نیاز آبی با اتکا به منابع آب زیرزمینی تامین می شود و طی دو دهه اخیر به دلیل عدم مدیریت صحیح منابع آب، با مشکلات بسیاری از جمله کاهش سطح آب دریاچه به علت کاهش آب ورودی از طریق رودخانه ها روبرو شده است. سیستم آب سطحی و زیرزمینی در این حوضه آبریز به صورت مستقل از هم عمل نمی کنند و دارای اثرات متقابل بر یکدیگر می باشند. از این رو هرگونه بهبود در نحوه بهره برداری از آبخوان های این حوضه می تواند به روند تامین نیاز آبی دریاچه کمک نماید.

مدیریت صحیح منابع آب در دشت میاندوآب که به عنوان یکی از اصلی ترین دشت های حوضه آبریز دریاچه، در حدود ۵۰ درصد از تمامی آب های سطحی وارد شده به دریاچه ارومیه را از خود عبور می دهد، می تواند نقش مهمی را در بهبود وضعیت دریاچه ایفا نماید. در حدود ۳۰ درصد از آب مصرفی در بخش کشاورزی دشت میاندوآب از آبخوان این دشت استحصال گردیده و مابقی از طریق شبکه آبیاری زرینه رود تامین می شود. برنامه ریزی صحیح مدیریت منابع آب در این منطقه نیازمند شناخت مناسب از روابط میان اجزاء چرخه آب بوده و بررسی جزئی تاثیر هریک از این اجزاء بر روی یکدیگر ضروری هست. لذا هدف از تهیه این گزارش ارزیابی تاثیر مدیریت مناسب منابع آب زیر زمینی در دشت میاندوآب بر بهبود وضعیت آب سطحی این دشت، با لحاظ کردن نیاز های بخش کشاورزی می باشد

جریان آب در زیر زمین تحت تاثیر فرایندهای بهم پیوسته و عوامل مختلف هیدرولوژیکی بوده که تغذیه آب زیرزمینی از مهمترین آنها می باشد. روش مورد استفاده در این مطالعه، مدلسازی آب زیر زمینی با استفاده از داده های سنجش از دور می باشد. از آنجایی که میزان تغذیه آبخوان در مناطق تحت کشاورزی شدید مانند دشت میاندوآب، به میزان زیادی از مقدار آب استفاده شده در بخش کشاورزی تاثیر می پذیرد، برای تخمین میزان تغذیه آبخوان از تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده از الگوریتم سبال که نمایانگر آب مصرف شده در بخش کشاورزی هست استفاده گردید.

نتایج این مطالعه حاکی از آن است که عمده آب ورودی به آبخوان توسط برگشت آب کشاورزی و بارندگی (۵۰ درصد از کل ورودی) تامین می شود و برداشت آب از چاه ها نیز تقریباً با همین نسبت بخش اصلی خروجی آب از آبخوان را به خود اختصاص داده است. پس از برداشت آب از چاه ها، تبخیر مستقیم از آبخوان دومین عامل خروج آب از آبخوان می باشد و در مجموع حدود ۷۰ میلیون متر مکعب آب به صورت سالانه در اثر این از بین می رود. اگرچه بیلان آب بدست آمده از اجرای مدل نشانگر کاهش ذخیره در آب زیرزمینی می باشد، اما این کاهش ذخیره بسیار محدود و در حدود ۱ درصد از کل آب ورودی به آبخوان (۳ میلیون مترمکعب) می باشد و وضعیت آبخوان تقریباً در حال

تعدادل می باشد. در قسمت بررسی اثر اعمال سیاست های بهره برداری مختلف مشخص شد که با اجرای سیاست تصحیح الگوی کشت مقدار تبخیر مستقیم از آبخوان ظرف مدت ۶ سال به نصف تقلیل پیدا می کند که علاوه بر جلوگیری از هدررفت آب، موجب جلوگیری از شور و زهدار شده قسمت های شمالی دشت نیز می شود. مقایسه نتایج مدل با اعداد توصیه شده در استاندارد سازمان فائو برای تعیین نفوذ عمقی نشان دهنده دقت بالای روش پیشنهاد شده در تعیین آب برگشتی به آبخوان در منطقه مورد مطالعه می باشد همچنین خطای مدلسازی (مجذور میانگین مربعات اختلاف مقادیر محاسبه شده با مقادیر مشاهده شده در پیزومتر ها) برای دوره کالیبراسیون مدل برابر با ۱,۱۳ متر و برای دوره اعتبار سنجی برابر با ۱,۶۵ متر بدست آمد.

کلید واژه ها: مدلسازی آب زیر زمینی، مادفلو (MODFLOW)، سیال، دشت میاندوآب، تغذیه، سنجش از دور

فهرست مطالب

۱- مقدمه	۱
۲- مروری بر ادبیات موضوع	۲
۱-۲- تاریخچه مطالعات قبلی در دنیا	۲
۲-۲- تاریخچه مطالعات قبلی در دشت میاندوآب	۹
۳- معرفی منطقه مطالعاتی	۱۱
۱-۳- موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب	۱۱
۲-۳- زمین شناسی و ساختمان دشت	۱۳
۳-۳- هیدروژئولوژی	۱۶
۱-۳-۳- قابلیت انتقال :	۱۶
۲-۳-۳- جهت جریان و گرا دیان هیدرولیکی	۱۷
۳-۳-۳- تغییرات سطح آب زیر زمینی	۲۰
۴-۳-۳- شبکه چاه های پیزومتری	۲۰
۴-۳- وضعیت منابع آبهای سطحی	۲۲
۱-۴-۳- زرينه رود	۲۳
۲-۴-۳- سیمینه رود	۲۴
۳-۴-۳- لیلان چای	۲۵
۴-۴-۳- شبکه آبیاری و زهکشی زرينه رود	۲۵
۵-۳- هواشناسی منطقه	۲۶
۱-۵-۳- بارش باران و برف	۲۶
۲-۵-۳- دمای هوا	۲۸
۳-۵-۳- تبخیر	۲۹

۳۰	۳-۵-۴- رطوبت نسبی
۳۰	۳-۵-۵- ساعات آفتابی
۳۱	۳-۵-۶- سرعت باد
۳۱	۳-۵-۷- وضعیت بهره برداری از آبخوان
۳۲	۳-۵-۸- چاه های بهره برداری
۳۲	۳-۵-۹- وضعیت کشاورزی
۳۴	۴- روش انجام کار
۳۴	۴-۱- خلاصه مراحل انجام کار
۳۵	۴-۲- دامنه و فرضیات تحقیق
۳۶	۴-۳- نرم افزارهای اصلی مورد استفاده
۳۷	۴-۴- مبانی نظری
۳۷	۴-۴-۱- معادله جریان در محیط های متخلخل
۳۹	۴-۵- حل عددی معادله جریان آب زیر زمینی
۴۱	۴-۵-۱- انتخاب مدل
۴۳	۴-۵-۲- مدل مادفلو
۴۳	۴-۵-۳- ساختار مادفلو
۴۵	۴-۵-۴- بسته های شبیه سازی در مدل مادفلو
۴۶	۴-۵-۵- داده های مورد نیاز در مدل مادفلو
۴۷	۴-۶- مفاهیم و روابط الگوریتم SEBAL
۴۸	۴-۶-۱- شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n)
۴۹	۴-۶-۲- شار گرمایی زمین (G)
۵۰	۴-۶-۳- شار حرارتی محسوس (H)
۵۲	۴-۶-۴- تبخیر و تعرق لحظهای (ET_{inst})
۵۳	۴-۶-۵- تبخیر و تعرق روزانه (ET_{24}):
۵۴	۴-۷- سنجنده های مورد استفاده

۵۴	۱-۷-۴- سنجنده مودیس
۵۵	۲-۷-۴- سنجنده و ماهواره TRMM
۵۵	۸-۴- فلوچارت مدل سازی
۵۷	۵- نتایج مدل سازی
۵۷	۱-۵-۱- بیان آب دشت
۵۸	۵-۱-۱- ورودی و خروجی مدل
۵۸	۵-۱-۲- چاه ها
۵۹	۵-۱-۳- رود خانه ها
۶۱	۵-۱-۴- نفوذ آب بارندگی
۶۲	۵-۱-۵- نفوذ آب کشاورزی
۶۹	۵-۱-۶- رها سازی آب در شبکه آبیاری زرینه رود
۶۹	۵-۲- مدلسازی
۶۹	۵-۲-۱- هندسه ی مدل
۷۰	۵-۲-۲- تغییرات مکانی خصوصیات مدل
۷۰	۵-۲-۳- شبکه بندی
۷۲	۵-۲-۴- شرایط مرزی
۷۳	۵-۲-۵- تقسیم بندی زمانی مدل
۷۴	۵-۳- تراز اولیه آب زیر زمینی
۷۵	۵-۴- چاه های مشاهده ای
۷۷	۵-۵- اجرای مدل
۷۷	۵-۶- واسنجی مدل
۷۷	۵-۶-۱- واسنجی ضریب هدایت هیدرولیکی
۷۸	۵-۶-۲- واسنجی ضریب ذخیره لایه آبدار
۷۹	۵-۶-۳- واسنجی ضریب نفوذ
۸۰	۵-۶-۴- واسنجی ضریب هدایت کف رودخانه ها

۷-۵- نتایج مدل سازی	۸۰
۸-۵- بیلان آب دشت	۸۳
۹-۵- تحلیل نتایج مدل	۸۴
۱۰-۵- تفسیر نتایج مدل سازی	۸۶
۱۱-۵- خطای مدل	۹۱
۱۲-۵- صحت سنجی	۹۷
۱۳-۵- تحلیل حساسیت	۹۹
۶- سناریو های پیشنهادی	۱۰۱
۱-۶- سناریو مرجع	۱۰۱
۲-۶- سناریو شماره ۱	۱۰۴
۳-۶- سناریو شماره ۲	۱۰۷
۴-۶- جمع بندی	۱۰۹
۷- مراجع	۱۱۲
پیوست	۱۱۶
پ-۱- نتایج مدل سازی پیزومترها	۱۱۶
پ-۲- نتایج صحت سنجی پیزومترها	۱۲۳

فهرست جدول ها

- جدول ۳-۱ توزیع سطح زیر کشت محصولات زراعی، میزان تولید و آب مصرفی آن ها [۱۷] ۳۲
- جدول ۴-۱ لیست بسته های مورد استفاده در شبیه سازی جریان در مادفلو ۴۶
- جدول ۴-۲ پارامتر های مورد استفاده در مدل سازی آب زیرزمینی با استفاده از مدل مادفلو ۴۷
- جدول ۵-۱ ترم های اصلی بیان آب زیر زمینی دشت میاندو آب ۵۸
- جدول ۵-۲ محدوده ی در نظر گرفته شده برای تعیین ضریب هدایت کف رودخانه ها ۶۱
- جدول ۵-۳ محصولات سنجنده مودیس مورد استفاده در تولید نقشه های تبخیر و تعرق واقعی ۶۳
- جدول ۵-۴ میزان نسبت نفوذ عمقی نسبت به آب مصرف شده در بخش کشاورزی [۴۵] ۶۸
- جدول ۵-۵ رها سازی آب در شبکه زرينه رود بر حسب مليون متر مكعب بر ماه ۶۹
- جدول ۵-۶ مشخصات چاه های مشاهده ای دشت میاندو آب ۷۵
- جدول ۵-۷ نتایج واسنجی ضریب هدایت کف رودخانه (بر حسب متر بر روز) ۸۰
- جدول ۵-۸ بیان آب زیرزمینی آبخوان دشت میاندو آب (بر حسب میلیون متر مکعب در سال) ۸۳
- جدول ۵-۹ خطای مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزوتر ها ۹۳۲
- جدول ۵-۱۰ انحراف از معیار مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزوتر ها ۹۷

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب ۱۲
- شکل ۲-۳ تصویر ماهواره ای (landsat) از موقعیت دشت نسبت به دریاچه ارومیه ۱۲
- شکل ۳-۳ نقشه تغییرات ارتفاعی دشت میاندوآب ۱۳
- شکل ۴-۳ نقشه سه بعدی ضخامت آبخوان دشت میاندوآب ۱۴
- شکل ۵-۳ نقشه ارتفاع سنگ کف آبخوان میاندوآب ۱۵
- شکل ۶-۳ نقشه زمین شناسی محدوده اطراف دشت میاندوآب ۱۶
- شکل ۷-۳ نقشه قابلیت انتقال ۱۷
- شکل ۸-۳ تغییرات ضریب ذخیره در سطح دشت براساس نتایج آزمایشات پمپاژ ۱۸
- شکل ۹-۳ نقشه هد و گرادیان هیدرولیکی در منطقه ۱۹
- شکل ۱۰-۳ هیدروگراف واحد دراز مدت تصحیح شده دشت میاندوآب ۲۰
- شکل ۱۱-۳ شبکه چاه های پیزومتری به همراه مقدار مجاز نوسان در نظر گرفته شده برای هر چاه در مدل ... ۲۱
- شکل ۱۲-۳ موقعیت ایستگاه های هیدرومتری بر روی نقشه ۲۲
- شکل ۱۳-۳ موقعیت سد و بندهای انحرافی احداث شده برروی رودخانه های اصلی و فرعی منطقه ۲۳
- شکل ۱۴-۳ نمودار میانگین دبی رود خانه زرينه رود در ایستگاه ساری قمیش ۲۴
- شکل ۱۵-۳ نمودار میانگین دبی رود خانه سیمینه رود در ایستگاه میاندوآب ۲۵
- شکل ۱۶-۳ قطعات اصلی شبکه آبیاری و زهکشی زرينه رود [۳] ۲۶
- شکل ۱۷-۳ نمودار نمودار توزیع میزان بارش سالانه ۲۷
- شکل ۱۸-۳ نمودار تغییرات میزان بارش سالانه در ایستگاه نظام آباد ۲۷
- شکل ۱۹-۳ نمودار تغییرات دما در دشت میاندوآب از سال ۱۳۵۲ ۲۸
- شکل ۲۰-۳ نمودار تغییرات دما در سال آبی ۸۸-۸۹ در دشت میاندوآب ۲۸
- شکل ۲۱-۳ نمودار تغییرات میانگین تبخیر در ماه های مختلف سال آبی ۸۸-۸۹ ۲۹
- شکل ۲۲-۳ نمودار تغییرات میانگین تبخیر در دشت میاندوآب از سال آبی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱ ۲۹

- شکل ۳-۲۳ نمودار تغییرات میانگین رطوبت نسبی هوا..... ۳۰
- شکل ۳-۲۴ نمودار میانگین ۲۵ ساله مجموع تعداد ساعات آفتابی ماهانه در دشت میاندوآب..... ۳۰
- شکل ۳-۲۵ نمودار میانگین سرعت باد ماهانه..... ۳۱
- شکل ۴-۱ حجم کنترل در نظر گرفته شده برای نوشتن معادله بقای جرم در آبخوان آزاد..... ۳۷
- شکل ۴-۲ جدول مقایسه خصوصیات مدل های عددی رایج در شبیه سازی آب زیر زمینی..... ۴۲
- شکل ۴-۳ فلوچارت نرم افزار مادفلو در بخش شبیه سازی فرایند جریان آب زیر زمینی..... ۴۵
- شکل ۴-۴ شماتیک بیلان انرژی در سطح زمین..... ۴۸
- شکل ۴-۵ فلوچارت مدل ساز آب زیر زمینی با استفاده از مدل مادفلو..... ۵۶
- شکل ۵-۱ مقطع عرضی سیل حداکثر رودخانه سیمینه رود در ایستگاه داشبند..... ۶۰
- شکل ۵-۲ مقطع عرضی سیل حداکثر رودخانه زرینه رود در ایستگاه نظام آباد..... ۶۰
- شکل ۵-۳ محصول 3B43 نسخه هفت ماهواره TRMM (میزان بارش ماهانه)..... ۶۲
- شکل ۵-۴ تبخیر و تعرق واقعی، فروردین ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۴
- شکل ۵-۵ تبخیر و تعرق واقعی، اردیبهشت ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۴
- شکل ۵-۶ تبخیر و تعرق واقعی، خرداد ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۷ تبخیر و تعرق واقعی، تیر ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۸ تبخیر و تعرق واقعی، مرداد ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۹ تبخیر و تعرق واقعی، شهریور ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۱۰ تبخیر و تعرق واقعی، مهر ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۱۱ تبخیر و تعرق واقعی، فروردین ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۵
- شکل ۵-۱۲ تبخیر و تعرق واقعی، اردیبهشت ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۶
- شکل ۵-۱۳ تبخیر و تعرق واقعی، خرداد ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۶
- شکل ۵-۱۴ تبخیر و تعرق واقعی، تیر ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۶
- شکل ۵-۱۵ تبخیر و تعرق واقعی، مرداد ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۶
- شکل ۵-۱۶ تبخیر و تعرق واقعی، شهریور ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)..... ۶۶

- شکل ۵-۱۷ تبخیر و تعرق واقعی، مهر ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه) ۶۶
- شکل ۵-۱۸ تصویر رنگی از منطقه میاندوآب ۶۷
- شکل ۵-۱۹ نمودار تغییرات میزان تبخیر و تعرق واقعی در طول سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ ۶۸
- شکل ۵-۲۰ شبکه بندی مدل آب زیر زمینی دشت میاندوآب ۷۱
- شکل ۵-۲۱ مرز های تعیین شده برای مدل با استفاده از هد پیزومتری ۷۳
- شکل ۵-۲۲ تراز اولیه آب برای شروع مدل سازی ۷۴
- شکل ۵-۲۳ پروفیل تغییرات تراز آب در محدوده مدل ۷۴
- شکل ۵-۲۴ محل پیزومتر ها بر روی نقشه منطقه مطالعاتی ۷۵
- شکل ۵-۲۵ نقشه تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی در سطح دشت ۷۸
- شکل ۵-۲۶ نمودار تغییرات ضریب ذخیره نسبت به ضریب هدایت هیدرولیکی ۷۹
- شکل ۵-۲۷ تراز آب محاسبه شده در فروردین ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۲۸ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۲۹ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۳۰ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۳۱ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۳۲ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر) ۸۱
- شکل ۵-۳۳ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۴ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۶ تراز آب محاسبه شده در مهر ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۷ تراز آب محاسبه شده در آذر ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۸ تراز آب محاسبه شده در آذر ماه (بر حسب متر) ۸۲
- شکل ۵-۳۹ جهت جریان هیدرولیک در دشت ۸۷
- شکل ۵-۴۰ میزان تغذیه و زهکشی رودخانه های عبوری از دشت (بر حسب متر مکعب در روز) ۸۸

- شکل ۵-۴۱ توزیع چاه های بهره برداری در دشت میاندوآب ۸۹
- شکل ۵-۴۲ نقشه توزیع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در سطح دشت (برحسب میلی متر در روز) ۹۰
- شکل ۵-۴۳ نقشه هم هدایت الکتریکی دشت میاندوآب (برحسب میکروموس) ۹۰
- شکل ۵-۴۴ نمودار مجموع خطای اندازه گیری شده در پیزومتر های در گام های زمانی مدل سازی ۹۱
- شکل ۵-۴۵ نماد پیزومتر ها در نمودار های معرف میزان خطای اندازه گیری شده ۹۳
- شکل ۵-۴۶ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در فروردین ماه (برحسب متر) ۹۴
- شکل ۵-۴۷ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در اردیبهشت ماه (برحسب متر) ۹۴
- شکل ۵-۴۸ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در خرداد ماه (برحسب متر) ۹۴
- شکل ۵-۴۹ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در تیر ماه (برحسب متر) ۹۴
- شکل ۵-۵۰ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در مرداد ماه (برحسب متر) ۹۵
- شکل ۵-۵۱ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در شهریور ماه (برحسب متر) ۹۵
- شکل ۵-۵۲ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در مهر ماه (برحسب متر) ۹۵
- شکل ۵-۵۳ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در آبان ماه (برحسب متر) ۹۵
- شکل ۵-۵۴ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در آذر ماه (برحسب متر) ۹۶
- شکل ۵-۵۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در دی ماه (برحسب متر) ۹۶
- شکل ۵-۵۶ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در بهمن ماه (برحسب متر) ۹۶
- شکل ۵-۵۷ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای پیزومتر ها در اسفند ماه (برحسب متر) ۹۶
- شکل ۵-۵۸ نمودار میزان تغییر در تابع هدف (مجموع مربعات خطا ها) به ازای تغییر در پارامتر مربوطه ۱۰۰
- شکل ۶-۱ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم ابتدایی دشت (سناریو مرجع) ۱۰۲
- شکل ۶-۲ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم دوم دشت (سناریو مرجع) ۱۰۲
- شکل ۶-۳ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم سوم دشت (سناریو مرجع) ۱۰۳
- شکل ۶-۴ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم انتهایی دشت (سناریو مرجع) ۱۰۳
- شکل ۶-۵ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم ابتدایی دشت (سناریو مرجع) ۱۰۴
- شکل ۶-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم دوم دشت (سناریو مرجع) ۱۰۵

- شکل ۶-۷ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم سوم دشت (سناریو مرجع)..... ۱۰۵
- شکل ۶-۸ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم انتهایی دشت (سناریو مرجع)..... ۱۰۵
- شکل ۶-۹ اختلاف تراز محاسبه شده بین فروردین ماه سال اجرای مدل (۱۳۸۹) و فرودین ماه سال اتمام سناریو (۱۴۰۰)..... ۱۰۶
- شکل ۶-۱۰ محل نواحی با شدت تبخیر بالا از آبخوان..... ۱۰۷
- شکل ۶-۱۱ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۱..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۲ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۲..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۳ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۳..... ۱۰۸
- شکل ۶-۱۴ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۴..... ۱۰۹
- شکل پ-۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای چقلو - جاده قدیم..... ۱۱۶
- شکل پ-۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای امام زاده تاج الدین..... ۱۱۶
- شکل پ-۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای غرب مجیدآباد..... ۱۱۶
- شکل پ-۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای غرب آغداش..... ۱۱۶
- شکل پ-۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قوریجان..... ۱۱۶
- شکل پ-۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شرانلو..... ۱۱۶
- شکل پ-۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای مسجد آغداش..... ۱۱۷
- شکل پ-۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قیچان..... ۱۱۷
- شکل پ-۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای خزینه جدید..... ۱۱۷
- شکل پ-۱۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تازه قلعه..... ۱۱۷
- شکل پ-۱۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای فسدوزشیلات..... ۱۱۷
- شکل پ-۱۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ابراهیم حصار..... ۱۱۷
- شکل پ-۱۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای آغداش به قره قوزلو..... ۱۱۸
- شکل پ-۱۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ورودی فسدوز..... ۱۱۸
- شکل پ-۱۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شعبانلو..... ۱۱۸

- شکل پ-۱۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قلعه پایین ۱۱۸
- شکل پ-۱۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ابتدای کمربندی ملکان ۱۱۸
- شکل پ-۱۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد قره قوزلو - پل چرچر ۱۱۸
- شکل پ-۱۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای بکتاش ۱۱۹
- شکل پ-۲۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قره پاپاق ۱۱۹
- شکل پ-۲۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای اراضی حسین آباد ۱۱۹
- شکل پ-۲۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد- چیلک ۱۱۹
- شکل پ-۲۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تپه رش ۱۱۹
- شکل پ-۲۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای حیران ۱۱۹
- شکل پ-۲۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای اسلام تپه ۱۲۰
- شکل پ-۲۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای نظام آباد ۱۲۰
- شکل پ-۲۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد حسن آباد ۱۲۰
- شکل پ-۲۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای للکو ۱۲۰
- شکل پ-۲۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای کوسالار ۱۲۰
- شکل پ-۳۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای چوغانلو ۱۲۰
- شکل پ-۳۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای کورآباد ۱۲۱
- شکل پ-۳۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قل حسن ۱۲۱
- شکل پ-۳۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شماره ۳۵ ۱۲۱
- شکل پ-۳۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ملاشهاب الدین ۱۲۱
- شکل پ-۳۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ایستگاه کشاورزی میاندوآب ۱۲۱
- شکل پ-۳۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قجلو ۱۲۱
- شکل پ-۳۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قزقلعه ۱۲۲
- شکل پ-۳۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جاده چیلک ۱۲۲
- شکل پ-۳۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای گزلان ۱۲۲

- شکل پ-۴۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای سیستمک (گرده لوله) ۱۲۲
- شکل پ-۴۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تازه کند ۱۲۲
- شکل پ-۴۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای عسگرآباد ۱۲۲
- شکل پ-۴۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ملاکندی قدیم ۱۲۳
- شکل پ-۴۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای چقلو - جاده قدیم ۱۲۳
- شکل پ-۴۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای امام زاده تاج الدین ۱۲۳
- شکل پ-۴۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای غرب مجیدآباد ۱۲۴
- شکل پ-۴۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای غرب آغداش ۱۲۴
- شکل پ-۴۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قوریجان ۱۲۴
- شکل پ-۴۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شرانلو ۱۲۴
- شکل پ-۵۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای مسجد آغداش ۱۲۴
- شکل پ-۵۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قیچان ۱۲۴
- شکل پ-۵۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای خزینه جدید ۱۲۵
- شکل پ-۵۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تازه قلعه ۱۲۵
- شکل پ-۵۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای فسندوزشیلات ۱۲۵
- شکل پ-۵۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابراهیم حصار ۱۲۵
- شکل پ-۵۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای آغداش به قره قوزلو ۱۲۵
- شکل پ-۵۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ورودی فسندوز ۱۲۵
- شکل پ-۵۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شعبانلو ۱۲۶
- شکل پ-۵۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قلعه پایین ۱۲۶
- شکل پ-۶۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابتدای کمربندی ملکان ۱۲۶
- شکل پ-۶۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قره قوزلو - پل چرچر ۱۲۶
- شکل پ-۶۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابکتاش ۱۲۶
- شکل پ-۶۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قره پاپاق ۱۲۶

- شکل پ-۶۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای اراضی حسین آباد ۱۲۷
- شکل پ-۶۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جعفرآباد- چیلک ۱۲۷
- شکل پ-۶۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تپه رش ۱۲۷
- شکل پ-۶۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای حیران ۱۲۷
- شکل پ-۶۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای اسلام تپه ۱۲۷
- شکل پ-۶۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای نظام آباد ۱۲۷
- شکل پ-۷۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جعفرآباد حسن آباد ۱۲۸
- شکل پ-۷۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای للکو ۱۲۸
- شکل پ-۷۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای کوسالار ۱۲۸
- شکل پ-۷۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای چوغانلو ۱۲۸
- شکل پ-۷۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای کورآباد ۱۲۸
- شکل پ-۷۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قل حسن ۱۲۸
- شکل پ-۷۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شماره ۳۵ ۱۲۹
- شکل پ-۷۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ملاشهاب الدین ۱۲۹
- شکل پ-۷۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ایستگاه کشاورزی میاندوآب ۱۲۹
- شکل پ-۷۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قجلو ۱۲۹
- شکل پ-۸۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قرقلعه ۱۳۰
- شکل پ-۸۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جاده چیلک ۱۳۰
- شکل پ-۸۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای گزلان ۱۳۰
- شکل پ-۸۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای سیستک (گرده لوله) ۱۳۰
- شکل پ-۸۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تازه کند ۱۳۰
- شکل پ-۸۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای عسگرآباد ۱۳۰
- شکل پ-۸۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ملاکندی قدیم ۱۳۰

۱- مقدمه

در مناطق خشک و نیمه خشک که غالب دشت‌های کشور ما را نیز شامل می‌شود، به دلیل کمبود منابع آب سطحی و سهولت برداشت از سفره‌های آب زیرزمینی، وابستگی مردم در تأمین آب مورد نیازشان به منابع آب زیرزمینی بیشتر از سایر مناطق می‌باشد. همچنین در بخشی از این مناطق که از شرایط مناسبی برای کشت محصولات باغی و زراعی برخوردار هستند، درآمد حاصل از کشاورزی نقش بسزایی را در امرار معاش مردم دارد، لذا آب شیرین به دلیل مصرف بالایش در تولید محصولات کشاورزی و در عین محدودیت منابع در دسترس آن، به عنوان مبنای توسعه قرار می‌گیرد و پیشرفت در عرصه‌های اقتصادی، اجتماعی و سیاسی معطوف به برنامه‌ریزی دقیق و دور بینانه در این بخش می‌گردد. از طرف دیگر در صورت فقدان برنامه‌ی صحیح مدیریتی، روند توسعه در این مناطق با برداشت‌های بی‌رویه از منابع آبی به ویژه از منابع آب زیرزمینی همراه می‌گردد. افت تراز آب ناشی از برداشت‌های بی‌رویه علاوه بر اثرات مخرب بر ساختمان آبخوان باعث کاهش میزان تخلیه‌ی آب از سفره‌های آب زیر زمینی به مجاری آب سطحی و به دلیل به مخاطره انداختن نیازهای اکولوژیکی منابع طبیعی در تضاد با الگوی توسعه پایدار در این مناطق قرار می‌گیرد.

محدودیت منابع آب و استفاده نامطلوب و غیر اقتصادی از آن، عامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در کشور می‌باشد. این مسئله لزوم اتخاذ تصمیمات مناسب در راستای هدایت مصرف آب به صورت بهینه را نشان می‌دهد. تجربیات به دست آمده از مدیریت مصرف آب در نقاط مختلف دنیا نشان داده است که در اغلب مواردی که بدون ارزیابی شرایط موجود اقدام به برنامه ریزی جهت توسعه و یا بهبود استفاده از منابع گردیده است، به علت عدم درک صحیح از وضعیت موجود برنامه های در نظر گرفته شده نتوانسته اند در مرحله ی اجرا از نتایج مطلوبی برخوردار باشند. لذا ارزیابی مستمر کارایی مصرف آب در سطوح مختلف حوضه ، شبکه های آبیاری و مزرعه به منظور تعیین وضعیت موجود، شناخت نقاط ضعف و قوت و یافتن راهکار های کاربردی جهت بهبود شرایط موجود ضروری می باشد.[۱۰]

مدل هیدرولوژیکی آبخوان می‌تواند تغییرات وضعیت آبخوان را در اثر تنش‌های مختلف آبی که بر روی آن اعمال می‌شود نشان دهد؛ یا به عبارت دیگر ابزاری است که عکس العمل آبخوان را در مقابل تغذیه و برداشت پیش بینی می‌نماید. به همین جهت می‌توان با مدلسازی آب زیر زمینی ضمن شناخت وضعیت موجود آبخوان، رفتار آبخوان را در سناریو های مختلف بهره برداری از آن پیش بینی نمود. با توجه به اینکه ایجاد

تغییر در محیط طبیعی می تواند منجر به بروز آثار غیر قابل باز گشت شود و یا جبران آن با صرف هزینه های بسیار زیادی همراه باشد و در صورت اجرایی شدن یک تصمیم اشتباه تبعات ناگواری را شاهد خواهیم بود، لذا قبل از اجرای برنامه های مدیریتی پیش بینی آثار آن بر روی آبخوان از اهمیت بالایی برخوردار است. به همین دلیل می توان از مدل آب زیرزمینی به عنوان ابزاری مناسب جهت بهره برداری بهینه از آبخوان، نظارت و اعمال مدیریت مناسب بر منابع آب زیرزمینی استفاده نمود.

مدلسازی آب زیر زمینی با استفاده از مدل های عددی شناخت کافی از وضعیت آبخوان و ارتباط آن با سایر منابع آبی را در اختیار بهره برداران قرار داده و بررسی تاثیر عوامل مختلف روی تغییرات منابع آب زیرزمینی را تسهیل می نماید. برآورد میزان تغذیه آبخوان که عمدتاً از دو منبع آب مصرفی در بخش کشاورزی و نزولات جوی نشأت می گیرد، همواره یکی از اصلی ترین چالش ها در بحث مدلسازی منابع آب زیر زمینی بوده که می توان با استفاده از تکنیک های سنجش از دور تا حد مناسبی علی الخصوص در آبخوان های آبرفتی این چالش ها را مرتفع نمود. استفاده از مدل آب زیرزمینی و بهبود کارایی آن با استفاده از تکنیک های سنجش از دور، موجب می گردد تا شناخت مناسبی از منابع آب زیر زمینی جهت بهره برداری مناسب از آن ها حاصل گردد.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

۲-۱- تاریخچه مطالعات قبلی در دنیا

در سال ۱۹۶۶ آقایان Morgan و Jones باهدف بدست آوردن درک بهتری از نحوه مبادله جریان بین آب زیرزمینی و سیستم جریان سطحی در یک حوضه آبریز اقدام به معرفی یک مدل مفهومی از آب زیرزمینی در حوضه آبریز Puget Sound Lowland واقع در شمال غربی ایالت واشنگتن نمودند. آن ها با استفاده از مدل مفهومی به دست آمده مدل عددی از آبخوان حوضه را توسعه و با بررسی هفت سناریو مختلف برداشت آب از آبخوان - شرایط بهینه ی بهره برداری از آن را به منظور بالا بردن آب دهی رودخانه ارائه کردند.

در نمونه ای دیگر آقای Ramireddygar و همکاران در سال ۲۰۰۰ با مدلسازی همزمان آب زیرزمینی و آب سطحی در قسمت مرکز ایالت کانزاس، یک مدل یک پارچه ی هیدرولوژیکی به منظور بررسی اثرات سیستم آبیاری و ساختار حوضه ی آبریز بر میزان دبی رودخانه های عبوری از منطقه ایجاد نمودند. آنها با

استفاده از مدل خود فرضیه های متفاوتی را جهت بهره برداری از حوضه ی آبریز مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که افزایش مصرف آب در بخش کشاورزی تاثیر بسزایی بر کاهش جریانات سطحی دارد. و همکاراندر یک مطالعه مشابه دیگر که در سال ۲۰۰۱ در دانشگاه ایالتی آیداهو آمریکا صورت گرفت، آقای Allen و همکاران با استفاده از مدل SEBAL که متشکل از نتایج بیست و پنج زیر مدل می باشد اقدام به تخمین میزان تبخیر و تعرق در حوضه ی رودخانه ی Bear نمودند. آنها با استفاده از مدل SEBAL میزان تبخیر و تعرق را برای دوره های زمانی عبور ماهواره از روی محدوده ی مطالعاتی با استفاده از تصاویر ماهواره- ای و تبخیر تعرق مرجع اندازه گیری شده در ایستگاه های هواشناسی برای تمام پیکسل های تصاویر مورد بررسی، محاسبه نمودند. مقایسه خروجی های بدست آمده از مدل SEBAL با داده های ایستگاه های لایسمتری نشانگر دقت بالای این نتایج بود، به نحوی که در دوره های زمانی ماهانه اختلاف این نتایج با اندازه گیری های زمینی در حدود ۱۶ و در دوره های زمانی فصلی در حدود ۴ درصد بود. همچنین از نتایج این تحقیق برای شناسایی میزان مصرف آب خالص در بخش کشاورزی به منظور بهبود مدیریت مصرف آب در این بخش استفاده گردید.

دو سال بعد یعنی در سال ۲۰۱۳ آقای Batelaan و همکاران برای بررسی نحوه و میزان اهمیت ارتباط بین انواع سیستم های تغذیه و تخلیه از آب زیرزمینی در منطقه گروت-نت^۱ بلژیکی و تاثیر میزان توسعه یافتگی و بهره برداری از منابع آب بر آن، از مدل آب زیرزمینی مادفلو استفاد نمودند. آنها با بهره جویی از نقشه گیاهان با ریشه ی عمیق، گیاهان سازگار با قلیائیت و بکارگیری ردیاب، مناطق تخلیه از آب زیر زمینی را اعتبار سنجی نمودند. بعد از تعیین محدوده های ورود و خروج آب زیر زمینی از نواحی این مناطق با توجه به میزان قلیائیت و میزان ورود و خروج آب خوشه بندی شدند. از محدوده های تشخیص داده شده به عنوان تغذیه و تخلیه از آب زیر زمینی برای توسعه مدل آب زیر زمینی به منظور بررسی تاثیر میزان توسعه یافتگی بر سیستم آب زیرزمینی دشت و تعیین میزان تغییرات ورودی و خروجی از آب زیر زمینی در مناطق از قبل مشخص شده استفاده گردید. بدین منظور با شبیه سازی سه وضعیت کنونی، گذشته و آینده اثرات اقدامات توسعه ای در منطقه مذکور مورد ارزیابی قرار گرفت.

^۱ Grote-Nete

پس از آن آقای Barthel و همکاران در سال ۲۰۰۵ تحت پروژه مدیریت منابع آب در حوضه رود دانوب^۱ که از طرف دولت فدرال آلمان تامین مالی شده بود، به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب این حوضه در مقیاس بلند مدت پرداختند. در این بررسی از ۱۱ مدل مجزا که قسمت های مختلف چرخه ی آب را مدل می کرد استفاده گردید و نتایج هر یک از این ۱۱ مدل به عنوان ورودی در اختیار سایر مدل ها (با استفاده از تکنیک پردازش موزای) قرار گرفت. در بخش مدلسازی آب زیر زمینی این پروژه از مدل آب زیرزمینی مادفلو که شامل چهار لایه اطلاعاتی که در مقیاس یک کیلو متر در یک کیلومتر تهیه شده بود استفاده گردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از کد مادفلو در مقیاس بزرگ با توجه به تغییرات زمین شناسی کاملاً راضی کننده نمی باشد.

در ادامه آقایان Shaki و Adeloeye در سال ۲۰۰۷ در بررسی خود به منظور پیش بینی اثر برداشت های صورت گرفته از آب زیر زمینی در صحرای مرزق واقع در کشور لیبی به منظور توسعه طرح آبیاری ایراوان از مدل آب زیرزمینی مادفلو استفاده نمودند. آن ها دلیل استفاده از این کد را دقت نتایج اعتبارسنجی ها صورت گرفته بر روی این مدل و صحت نتایج حاصله از بازتولید تراز های تاریخی آب زیرزمینی توسط این مدل عنوان نمودند. نتایج حاصل از شبیه سازی آب زیر زمینی منطقه در یک دوره ی تاریخی طولانی مدت و به صورت غیریکنواخت نشان داد که در صورت ادامه ی وضعیت کنونی و برداشت های صورت گرفته به منظور توسعه پروژه آبیاری ایراوان تا سال ۲۰۳۳ سطح آب زیر زمینی به طور متوسط در حدود ۳۰ متر در مرکز دشت که محل پمپاژهای صورت گرفته برای تامین آب مورد نیاز کشاورزی می باشد، کاهش پیدا می کند.

در ادامه مطالعات فوق آقای Khan و همکاران در سال ۲۰۰۸ با بکارگیری تصاویر ماهواره ای در مدل بیلان انرژی، میزان هدر رفت آب در اثر تبخیر از آب زیرزمینی را در حوضه رود زرد واقع در شرق چین محاسبه کردند. آن ها ضمن آن که میزان هدر رفت محاسبه شده را بسیار بالا عنوان نمودند، به منظور کاهش هدر رفت آب در اثر تبخیر به بررسی عملکرد شبکه آبیاری^۳ مورد استفاده در این منطقه پرداختند. آن ها توانستند با تلفیق تصاویر ماهواره ای و مدل آب زیرزمینی تأثیر بهبود عملکرد شبکه آبیاری را بر کاهش هدر

^۱ Danube

^۲ Yellow River

^۳ Liyuankou irrigation system

رفت آب در اثر تبخیر بررسی کنند. آن‌ها در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که با ارائه یک الگوی مناسب برای آبیاری می‌توان میزان هدر رفت آب را تا ۵۰ درصد کاهش داد.

یک سال بعد یعنی در سال ۲۰۰۹ آقای Cho و همکاران در بررسی‌های خود به منظور کمی سازی اثرات ناشی از اجرای طرح‌های توسعه کاربری زمین بر دبی پایه رودخانه‌ی Rona اقدام به مدلسازی آب زیرزمینی در زیر حوضه Back Creek (BC) واقع در ایالت ویرجینیا نمودند. آن‌ها در ابتدا مدل آبخوان را به صورت کلی واقع در حوضه‌ی ^۱URRW مدلسازی و سپس با بهره‌گیری از تکنیک تکلسکوپی توانستند شرایط مرزی را برای مدل اصلی خود که به زیر حوضه BC محدود می‌گشت شناسایی کنند. استفاده از این تکنیک باعث گردید که دقت مدلسازی برای منطقه مورد مطالعه افزایش و از صرف هزینه‌های اضافی به منظور مدلسازی کل آبخوان با دقت مورد نظر جلوگیری شود. آنان همچنین با بررسی هشت سناریو مدیریتی تأثیر برداشت از آب زیرزمینی را بر جریان‌ات سطحی مورد مطالعه قرار دادند.

در همین سال (۲۰۰۹) آقای Li و همکاران در روش جدیدی برای کالیبره کردن مدل آب زیر زمینی، ابتدا با استفاده از تصاویر ماهواره ای میزان تبخیر صورت گرفته از آبخوان را محاسبه و همچنین آب زیرزمینی حوضه‌ی آبریز دیانکین^۲ واقع در شمال غرب چین را به صورت مجزا و با بهره‌گیری از کد مادفلو مدلسازی کردند. سپس برای کالیبره کردن مدل خود بجای استفاده از تراز آب در چاه‌های مشاهده‌ای از تبخیر محاسبه شده توسط تصاویر ماهواره ای و تراز آب مشاهده‌ای به صورت توأم در کد خود کار واسنجی PEST استفاده نمودند تا واسنجی پارامترهای مدل با دقت بیشتری صورت پذیرد. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد الگوی تبخیر محاسبه شده با استفاده از تصاویر ماهواره ای در موارد اندکی با میزان تبخیر محاسبه شده توسط مدل تفاوت دارد و استفاده از این روش می‌تواند میزان عدم قطعیت در تعیین پارامترهای مدل را کاهش دهد.

در سال ۲۰۰۹ علاوه بر مطالعات فوق آقای Doble و همکاران با بهبود بسته تبخیر و تعرق و تغذیه در مدل مادفلو دقت این مدل را در شبیه سازی جریان آب زیرزمینی در مناطقی که آب زیر زمینی کم عمق وجود دارد افزایش دادند. آنان با توجه به این مطلب که بسته‌های تبخیر و تعرق و تغذیه در مدل مادفلو به صورت مستقل از تراز سطح آب، میزان آب وارده شده و خارج شده از آبخوان را محاسبه می‌کنند، در حالی که در

^۱ Roanoke River Watershed

^۲ Yanqi

مناطق با آب زیرزمینی کم عمق تعیین این دو متغیر بدون در نظر گرفتن سطح آب زیرزمینی با شرایط واقعی مدل سازگار نیست؛ با اصلاح بسته ی تبخیر و تعرق و تغذیه در کد مادفلو 2000 این دو ترم را به صورت تابعی از عمق آب زیر زمینی برای مدل تعریف کردند. آن ها همچنین از مدل اصلاح شده ی خود برای شبیه سازی روند تغییرات شوری در آب زیرزمینی حوضه رود ماری^۱ واقع در جنوب شرق استرالیا استفاده کردند.

در یک مطالعه دیگر آقای Hu و همکاران در سال ۲۰۱۰ برای ارائه یک متد انعطاف پذیر و پایدار برای بهره برداری از منابع آب زیر زمینی در کوه پایه های تایهانگ^۲ واقع در استان شیجیازوانگ^۳ چین که با کمبود منابع آبی مواجه شده، از تلفیق مدل رشد گیاهان و مدل آب زیر زمینی استفاده کردند. آنها ضمن ابراز این که با بهبود مدل های آبیاری به میزان ۲۹ درصد می توان از روند کاهش افت آب زیر زمینی جلوگیری نمود اعلام کردند که با کاهش مصرف ۳۹ درصدی در مصرف آب کشاورزی می توان روند ترمیم آب زیرزمینی دشت و بازگشت آن به وضعیت قبل از پمپاژ های بیش از حد را تشدید نمود.

سپس آقای Sun و همکاران در سال ۲۰۱۱ باهدف بررسی نحوه ی تأثیر کاربری اراضی بر آب زیرزمینی در حوضه ی آب زیر رود تایلین^۴ که در استان سینک یانگ^۵ چین قرار گرفته است، مدل عددی آب زیر مینی را توسعه دادند. آن ها شرایط متفاوت استفاده از زمین را با ایجاد تغییر در سطح زیر کشت، نوع محصول، میزان و محل برداشت از آبخوان شبیه سازی و به این نتیجه رسیدند که سطح آب زیرزمینی در مناطق تحت پوشش آبیاری روند کاهشی داشته و با افزایش میزان پمپاژ در این مناطق شرایط کمبود آب در حوضه تشدید خواهد شد.

در مطالعات اخیر آقای Lachaal و همکاران در سال ۲۰۱۲ با هدف اعتبار سنجی خصوصیات اندازه گیری شده برای آبخوان زرامدین بن حسن^۶ واقع در کشور تونس که از طریق مطالعات زمین شناسی، ژئوفیزیک، هیدرودینامیک و هیدروشیمیایی استحصال شده اند از مدل آب زیر زمینی مادفلو استفاده نمودند. آنها به منظور

^۱ Murray

^۲ Taihang

^۳ Shijiazhuang

^۴ Tailan

^۵ Xinjiang

^۶ Ze'ramdine-Be' ni Hassen (ZBH)

تسهیل مدیریت اطلاعات از سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ استفاده و با استفاده از آن یک مدل سه بعدی از آبخوان مذکور با استفاده از انبوه اطلاعات در دسترس هیدرولوژیکی و ژئولوژیکی توسعه دادند. بعد از واسنجی مدل برای یک دوره ۲۷ ساله و تحلیل حساسیت آن معلوم گردید که جریان در آبخوان مذکور به شدت وابسته به ترم هدایت هیدرولیکی و همچنین میزان نفوذ آب به داخل آبخوان می باشد.

در همین سال (۲۰۱۲) Paul و همکاران رفتار هیدرولوژیکی رودخانه ی San Pedro واقع در ایالت آریزونا ی آمریکا را در اثر برداشت از آبخوان واقع در حوضه ی آبریز را مورد بررسی قرار دادند. آنها ابتدا با شناسایی تغذیه و مصارف آب زیر زمینی در منطقه ی مورد مطالعه مدل آب زیر زمینی آبخوان را با استفاده از کد مادفلو تولید نمودند. آنها با استفاده از مدل خود علاوه بر شناخت رفتار هیدرولوژیکی آبخوان توانستند نقشه ی میزان کاهش در آب ورودی به رودخانه را در اثر برداشت از آب زیرزمینی در نقاط مختلف حوضه طی دوره های زمانی ده ساله و پنجاه ساله تولید و با استفاده از این نقشه مناطق مناسب جهت برداشت آب زیرزمینی را مشخص نمایند.

و باز در همین سال (۲۰۱۲) آقای Xu و همکاران برای فائق آمدن بر مشکل برآورد ترم تغذیه و تخلیه ی عمودی از طریق فرایند تبخیر و تعرق - که در آبخوان های کم عمق (با تراز آب نزدیک به سطح زمین) از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند - از تلفیق همزمان نتایج مدل آب سطحی SWAP^۲ با مدل آب زیرزمینی مادفلو استفاده کردند. گرچه تغذیه و تبخیر و تعرق در مدل های سنتی به عنوان یک ترم سینک و سورس^۳ ساده سازی می شدند، اما به دلیل اثراتی که تغییر در توپوگرافی، نوع خاک؛ کاربری اراضی و نحوه ی بهره برداری از منابع آب بر آن ها دارد به صورت مکانی و زمانی متغیر می باشند و به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک به آسانی قابل برآورد کردن نمی باشند، لذا آن ها در این مطالعه با اضافه کردن بسته ی SWAP به مادفلو به این صورت که ابتدا مدل SWAP میزان شار^۴ عمودی را برای مادفلو محاسبه و سپس مادفلو با استفاده از آن عمق متوسط آب زیر زمینی را برای مدل SWAP تهیه می کرد؛ توانستند این دو ترم را در مدل خود وارد نمایند. آن ها پس از اطمینان از نتایج مدل تلفیقی ارائه شده در یک محدوده ی آزمایشی کوچک

^۱ Geographic Information System (GIS)

^۲ Soil-Water-Atmosphere-Plant

^۳ Sink and Source

^۴ Flux

از مدل خود برای شبیه سازی آب زیرزمینی در منطقه Hetao واقع در شمال چین و در محدوده ی رود زرد استفاده نمودند که به خطای مشاهده ای در حدود ۰,۹۲ متر منجر گردید.

یک سال بعد (۲۰۱۳) آقای Stanton و همکاران به منظور مقایسه و بهبود نتایج مدل قبلی آب زیر زمینی که در منطقه شمالی ایالت Nebraska آمریکا با استفاده از کد مادفلو توسعه داده بودند، اقدام به اتصال مدل SWB که با استفاده از لایه های هیدروژئولوژیکی اقدام به محاسبه ی میزان نفوذ به آب زیر زمینی می نماید به مدل مادفلو نمودند. علیرغم این که نتایج حاصل از تلفیق این دو مدل نشان داد که میزان خطای مدل بهبود خاصی پیدا نکرده است، به علت اینکه میزان تغذیه محاسبه شده توسط مدل SWB بدون هیچگونه تغییری وارد مدل آب زیر زمینی گردیده است، تفسیر نتایج حاکی از دقت بالای این مدل در تخمین ترم تغذیه می باشد.

در سال ۲۰۱۴ یک ایرانی مقیم هلند به نام آقای سهیلی در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با استفاده از تبخیر و تعرق بدست آمده از الگوریتم SEBAL و داده های باران سنجی، ترم نفوذ به آب زیر زمینی را در مدلسازی آب زیر زمینی محاسبه نمود. میزان تغذیه آبخوان در این مدل از طریق کم کردن مولفه بارش از مولفه تبخیر و تعرق واقعی بدست آمده و از آن به عنوان ورودی مدل آب زیرزمینی (مادفلو) استفاده شده است. او نتایج مدلسازی خود را با داده های تولید شده در پروژه^۱ MIPWA که در منطقه Salland واقع در شمال هلند صورت گرفته بود مقایسه نمود. در این پروژه که از یک مدل هیدرولوژیکی^۲ برای برآورد میزان تغذیه استفاده شده است، مولفه تغذیه آب زیرزمینی با توجه به شار^۲ آبی بین دو لایه نیمه اشباع و اشباع و با بهره گیری از داده های میدانی تخمین زده شده است. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که داده ها تولید شده توسط مدل با داده های اندازه گیری شده در پروژه MIPWA تطابق مناسبی ندارند و نمی توان از آن ها به عنوان یک داده قابل اتکا استفاده نمود.

و در انتها در یکی از جدیدترین مطالعات صورت گرفته آقای Switzman و همکاران به منظور فائق آمدن بر کمبود داده های مورد نیاز برای مدلسازی آب زیر زمینی در منطقه وادی الناترون^۳ واقع در شمال مصر از داده های سنجش از دوری مانند کاربری اراضی و نقشه پراکندگی مصرف آب برای جبران نواقص استفاده

^۱ Development of a Methodology for Interactive Planning for Water Management

^۲ CAPSIM

^۳ Wadi El Natrun

نمودند. آن ها با استفاده از مدل خود سناریو احیای زمین های بایر منطقه و تبدیل آن ها به زمین های کشاورزی را توسعه، و اثر آن را در دراز مدت بر روی آب زیرزمینی بررسی نمودند. نتایج حاصل از بررسی آن ها نشان دهنده ی اثر مستقیم برداشت ها از آب زیر زمینی بر روی سطح آب آبخوان می باشد و روند سریع کاهش ذخایر آب در مدلسازی مشاهده شد.

۲-۲- تاریخچه مطالعات قبلی در دشت میاندوآب

در ایران در یکی از اولین کاربر های مادفلو آقای خالقیزاده در سال ۱۳۷۸ مدل کامپیوتری منابع آبی دشت میاندوآب را با استفاده از کد کامپیوتری مادفلو در پایان نامه کارشناسی ارشد خود ارائه نمود. مدل ساخته شده ضمن ارائه بیان آب زیرزمینی دشت میاندوآب می تواند به عنوان یکی از اجزاء مهم جهت توسعه مدل کل منابع آب دشت مورد استفاده قرار گیرد. واسنجی این مدل از طریق آزمون و خطا و با انطباق خروجی های هیدرولیکی و هیدرودینامیکی محاسبه شده توسط مدل در زمان و مکان های مختلف با نقشه های خطوط تراز سطح آب زیرزمینی پذیرفت.

پس از مطالعه فوق مطالعات زیادی برای شبیه سازی آب زیر زمینی با استفاده از مدل مادفلو انجام پذیرفت. یک از این مطالعات که منطقه مورد مطالعه آن در دشت میاندوآب می باشد توسط خانم یاری در سال ۱۳۸۸ صورت پذیرفته است. ایشان در پایان نامه کارشناسی ارشد خود برای مدل سازی منابع آب زیرزمینی دشت زرینه رود، از مدل آب زیرزمینی مادفلو استفاده کرد. بدین منظور سطح منطقه توسط یک شبکه تفاضلات متناهی با سلول های مربعی یکنواخت ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر پوشش داده شد. واسنجی و صحت سنجی، به ترتیب با ۲۰ حلقه چاه مشاهده ای نماینده، در سال های آبی ۷۲-۱۳۷۱ و ۸۶-۱۳۸۵ انجام گردید. نتایج بیانگر هماهنگی بارهای هیدرولیکی شبیه سازی شده با مشاهداتی در محل چاه های مشاهداتی بوده و به طور میانگین قدرمطلق بیشترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی سطح آب برابر ۰٫۷۱ متر بدست آمد. جهت اعمال مدیریت بهینه در دشت، یک سناریو در گستره دشت برای مرحله پیش بینی به اجرا در آمد. در این سناریو، افزایش راندمان آبیاری در سطح شبکه آبیاری و زهکشی میاندوآب مورد نظر قرار گرفت. در این راستا کاهش میزان تغذیه در محدوده شبکه آبیاری و زهکشی به میزان ۵۰ درصد لحاظ گردید. نتایج مدل، نشانگر افت سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت بطور متوسط در حدود ۱٫۳۱ متر بود که در این صورت خطر شور و زهدار شدن اراضی محدوده شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود کاهش خواهد یافت.

در یک مطالعه دیگر در دشت میاندوآب آقای پور و خواه در سال ۱۳۸۹ به منظور بررسی مسائل و مشکلات بهره برداری از شبکه آبیاری زرینه رود واقع در دشت میاندوآب با استفاده از بازدید های میدانی نحوه ی بهره برداری از شبکه زرینه رود را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این بررسی نشان دهنده ی مشکلات اساسی در بکارگیری از این شبکه من جمله آب دزدی از کانال ها، رسوب گرفتگی کانال ها، فرسوده شدن شبکه علیرغم عمر کوتاه ساخت آن، تخلیه زباله توسط افراد محلی به داخل شبکه و مواردی از این دست می باشد. آنها همچنین ضمن اشاره به مشکلات مطرح شده، راهکار هایی جهت بهبود کارایی این شبکه مانند تفکیک قرارداد بهره برداری و تعمیر و نگهداری از شبکه و افزایش گشت های نظارتی ارائه نموده اند.

در جدید ترین مطالعه، شرکت مهندسين مشاور مهتاب قدس و موسسه تحقیقات آب در سال ۱۳۹۱ گزارشی تحت عنوان مطالعات آب زیرزمینی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، در قالب شرح خدمات مطالعات بهنگام سازی طرح جامع آب حوضه های مازندران و دریاچه ارومیه منتشر کردند که طی آن تمامی آبخوان های حوضه دریاچه ارومیه من جمله آبخوان میاندوآب مورد بررسی کمی و کیفی قرار گرفت. هدف از انجام این طرح تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در دشت های تحت پوشش طرح و ارائه راهکار برای تعادل بخشی، حفظ و بهبود آبخوان ها از نظر کمی و کیفی عنوان گردیده است. این مطالعات بر اساس آمار برداری سال ۸۵-۱۳۸۰ وزارت نیرو از دشت های منطقه مطالعاتی ارومیه صورت گرفته است. در این گزارش ضمن معرفی آبخوان های حوضه دریاچه ارومیه، مشخصات هیدروژئولوژیکی آبخوان ها تهیه شده است. در این گزارش حداکثر قابلیت انتقال دشت میاندوآب ۴۷۰۰ و حداقل آن ۲۰ متر مربع در روز عنوان شده است. همچنین متوسط تغییرات سطح آبخوان میاندوآب در طی دوره ۶ ساله (۸۵-۱۳۸۰) که در نهایت منتهی به افزایش سطح آب شده، برابر ۰٫۰۶ متر محاسبه شده که با توجه به این عدد تغییرات کمی آب در طی دوره مذکور در حالت تعادل ارزیابی شده است. اما در عین حال نتایج آمار برداری های کیفی بیست ساله که در این گزارش آورده شده است نشان می دهد که کیفیت آب آبخوان از حدود ۲۵۰۰ به حدود ۴۵۰۰ میکرو زیمنس بر ثانیه رسیده است.

۳- معرفی منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت ۵۱۷۶۲ کیلومتر مربع به لحاظ اهمیت منابع آب یکی از مهمترین حوضه‌های آبریز درجه یک کشور می‌باشد که در استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان واقع شده است. حوضه آبریز ارومیه به ۲۵ محدوده‌ی مطالعات تقسیم شده است که بیشترین حجم تخلیه از منابع زیرزمینی این حوضه با ارقام ۳۶۷ و ۳۶۰ میلیون مترمکعب در سال مربوط به محدوده‌های مطالعاتی ارومیه و میاندوآب می‌باشد

دشت میاندوآب که در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه و در استان آذربایجان غربی واقع شده است، از مراکز اصلی کشاورزی در منطقه می‌باشد. این منطقه در حدود نیمی از جریانات سطحی ورودی به دریاچه را از خود عبور داده و همچنین در حدود ۲۰ درصد از کل برداشت‌های آب زیرزمینی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه به این منطقه اختصاص دارد. عمده‌ترین منابع آب‌های سطحی عبوری از دشت میاندوآب، رودخانه زرینه‌رود و سیمینه‌رود می‌باشند که پس از مشروب ساختن اراضی دشت مزبور، به دریاچه ارومیه تخلیه می‌شوند. دشت میاندوآب تحت شبکه آبیاری و زهکشی قرار دارد و آب مورد استفاده در این شبکه توسط سد بوکان که در بالادست رودخانه زرینه رود قرار دارد تامین می‌گردد. [۱۲].

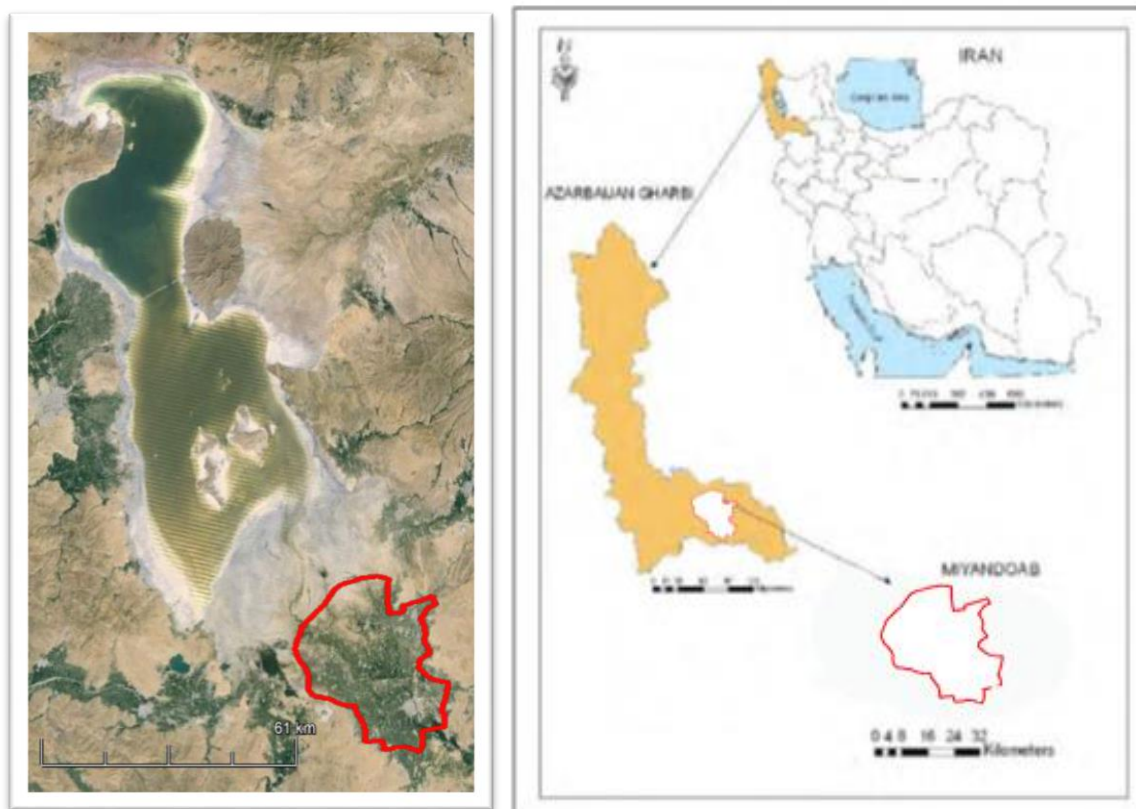
محدوده مطالعاتی میاندوآب با حجم تخلیه‌ای معادل ۳۶۰ میلیون مترمکعب از منابع زیرزمینی در سال رتبه دوم را در میزان برداشت‌ها از آب زیر زمینی در حوضه آبریز ارومیه دارا می‌باشد. عمق آب زیرزمینی در منطقه به نسبت بالا بوده و ما بین ۳ تا ۲۵ متر متغیر می‌باشد و عملاً نحوه بهره برداری از منابع آب زیر زمینی دشت به صورت مستقیم بر روی آبدهی جریانات سطحی عبوری از آن تاثیر خواهد گذاشت [۱].

در این بخش سعی شده است تا با استفاده از منابع و مراجع معتبر ضمن معرفی دشت میاندوآب در چهار بخش عمده‌ی زمین شناسی، هیدرولوژی، هواشناسی و وضعیت بهره برداری از منابع آبی، خصوصیات بارز منطقه مطالعاتی که این تحقیق در طی فرایند پیاده سازی مدل آب زیر زمینی و محاسبه تبخیر و تعرق واقعی و همچنین تفسیر نتایج مدل از آن بهره مند گردیده است، به صورت کامل و با اشاره به جزئیات شرح داده شود.

۳-۱- موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب

دشت میاندوآب در قسمت جنوبی دریاچه ارومیه و در استان آذربایجان غربی واقع شده است. توپوگرافی کلی دشت میاندوآب یکنواخت و هموار بوده و تنها تعدادی تپه کوچک در قسمت مرکزی آن قرار گرفته است.

موقعیت جغرافیایی دشت مابین مدار ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شرقی می باشد. شکل های ۱-۳ و ۲-۳ به ترتیب موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب را در نقشه و تصاویر ماهواره ای نشان می دهند. وسعت دشت میاندوآب در حدود ۱۵۲۴ کیلومترمربع و متوسط ارتفاع دشت از سطح دریا برابر با ۱۲۹۲ متر عنوان شده است، همچنین پست ترین نقطه دشت دارای ارتفاع ۱۲۷۹ متر از سطح دریا و ارتفاع معادل با ۱۴۰۰ متر از سطح دریا برای بلندترین نقطه دشت ثبت گردیده است (شکل ۳-۳) [۸، ۱۳].

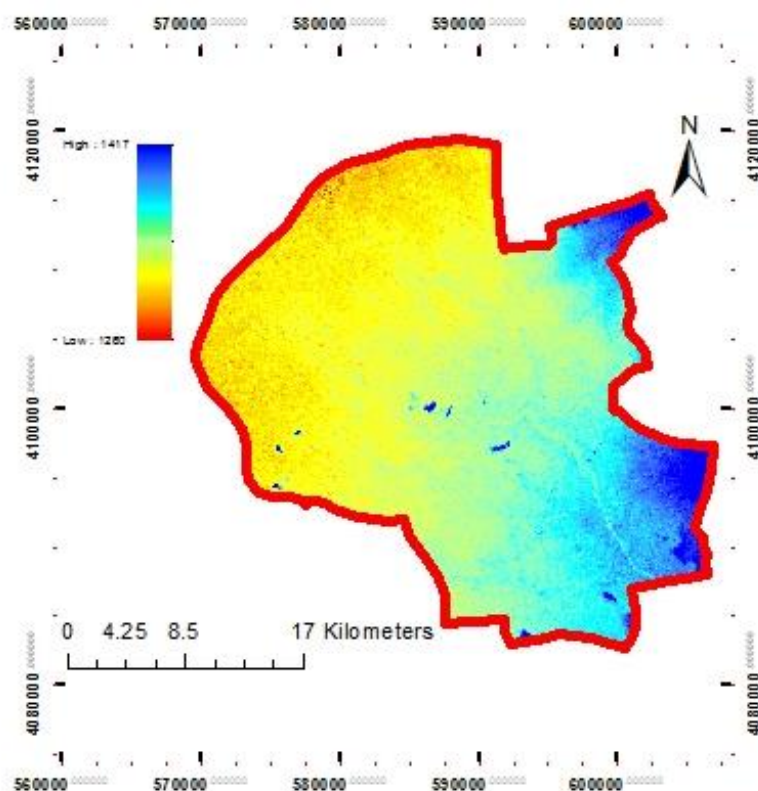


شکل ۱-۳ موقعیت جغرافیایی دشت میاندوآب

شکل ۲-۳ تصویر ماهواره ای (landsat) از موقعیت دشت نسبت به دریاچه ارومیه (۲۰۱۳/۱۰/۴)

منطقه در تمام وسعت خود جلگه ای بوده و شیب متوسط زمین در حدود ۰,۰۰۴ است. خاک های منطقه بیشتر از نوع خاک های رسوبی ریزدانه بوده و به علت بالا بودن سطح آب زیرزمینی و سنگینی بافت خاک و کمی قابلیت نفوذ آن، در بعضی فصول سال تجمع آب در قسمت های سطحی خاک به صورت موقت

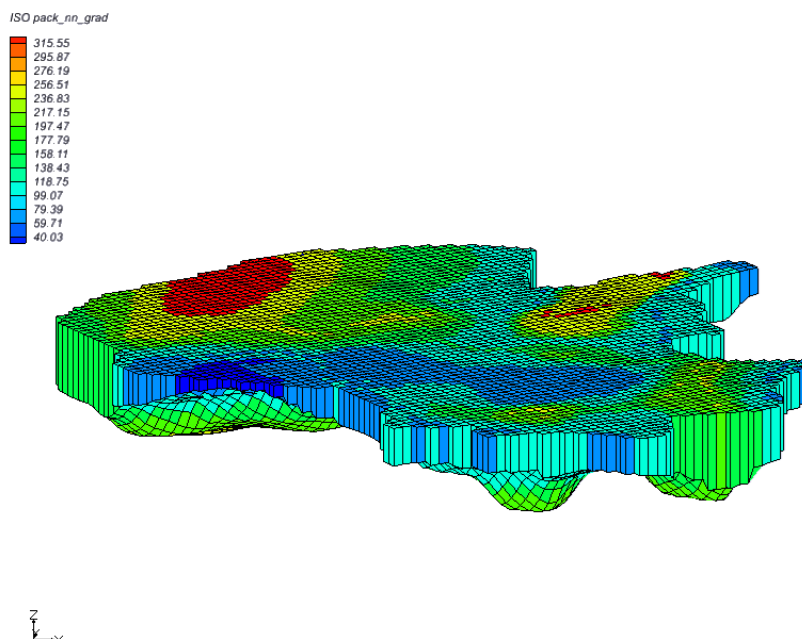
مشاهده می شود. میزان نزولات متوسط سالیانه در دشت میاندوآب معادل ۲۹۶ میلی متر بوده و اکثر این بارش ها به فصل تابستان و زمستان اختصاص دارد [۸].



شکل ۳-۳ نقشه تغییرات ارتفاعی دشت میاندوآب (بر اساس نقش تراز ارتفاعی SRTM)

۳-۲- زمین شناسی و ساختمان دشت

تشکیلات آبرفتی ساختمان اصلی دشت را تشکیل داده که به صورت مخروط افکنه، تراس های دریایی و رسوبات رودخانه ای ظهور پیدا کرده اند. ضخامت آبرفت در گستره دشت متغیر بوده و از حدود چند متر در حوالی کوه های اطراف تا بیش از ۱۵۰ متر در حوالی شهرهای میاندوآب و ملکان می رسد. در شمال ناحیه در بستر رودخانه مردوق چای ضخامت رسوبات آبرفتی حداکثر به ۸۰ متر می رسد. در شرق میاندوآب ضخامت آبرفت در حدود ۳۰ متر با لایه های ریز همراه با رس است و در شرق ناحیه به علت وجود رودخانه لیلان چای ضخامت در این ناحیه به ۱۶۰ متر می رسد. در شکل ۳-۴ نقشه سه بعدی ضخامت آبخوان دشت میاندوآب نشان داده شده است [۸].



شکل ۳-۴ نقشه سه بعدی ضخامت آبخوان دشت میاندوآب

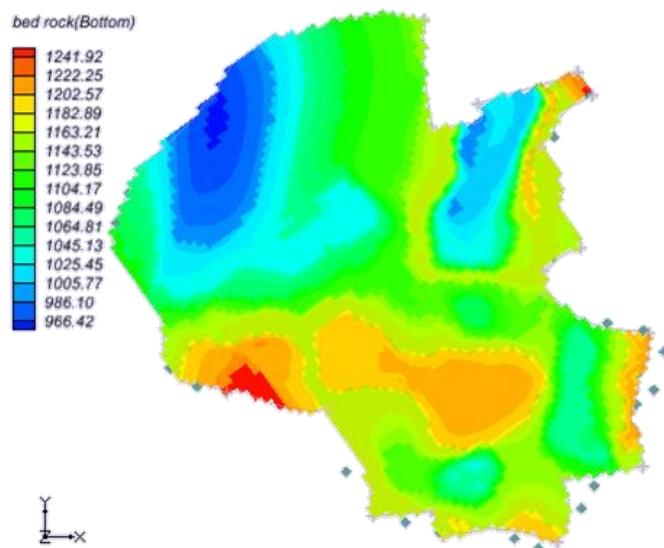
در سال ۱۳۸۹ تعداد ۳ حلقه چاه اکتشافی در اراضی اوزون قشلاق، چالخماز و نجار در این دشت حفر شده است که هر ۳ حلقه به سنگ کف برخورد نموده و آبخوان آبرفتی در هر سه مکان از نوع آزاد تشخیص داده شده است. لازم به ذکر است که محل این پیژومترها در اطراف محدوده ی بیلان مدل می باشد.

چاه اکتشافی اوزون قشلاق با عمق ۴۶ متر حفر گردیده که در اعماق ۴۲ تا ۴۶ متری سنگ کف منطقه متشکل از سنگ آهک مارنی است و در عمق ۳۸ تا ۴۲ متری لایه سیلت و رسی شناسایی شده است. لایه رسوبات آبرفتی متشکل از ماسه و سیلت در اعماق ۶ تا ۲۴ و ۳۰ تا ۳۸ متری و لایه ماسه و سیلتی حاوی رس در اعماق ۰ تا ۶ و ۲۴ تا ۳۰ متری تشخیص داده شده است .

در چاه اکتشافی چالخماز با عمق حفر ۶۸ متر لایه رسوبات آبرفتی متشکل از گراول ، ماسه ، سیلت و رس در اعماق ۰ تا ۳۵ متری و ۴۲ تا ۶۲ متری تشخیص داده شده و بین آنها رسوبات شن و ماسه ای قرار گرفته و مجموعه رسوبات فوق الذکر بر روی سنگ کف آهکی منطقه که در عمق ۶۲ متری تشخیص داده شده است، واقع گردیده اند.

در چاه اکتشافی محفوره در اراضی نجار با عمق حفر ۱۰۷ متر سنگ کف منطقه متشکل از آهک مارنی در عمق ۱۰۲ متری شناسایی شده است . لایه رسوبات سطحی با ضخامت ۲۱ متر متشکل از رس ، سیلت ، ماسه

و شن می باشد. لایه رسوبات آبرفتی شامل ماسه، شن و قلوه سنگ در اعماق ۲۱ تا ۳۳، ۴۵ تا ۷۲ و ۹۰ تا ۱۰۲ متری تشخیص داده شده و در اعماق ۳۳ تا ۴۵ متری رسوبات شن و ماسه ای و ۷۲ تا ۹۰ متری رسوبات ماسه و سیلتی شناسایی شده است. شکل ۳-۵ نقشه ارتفاع سنگ کف آبخوان میاندوآب را نمایش می دهد. [۱].



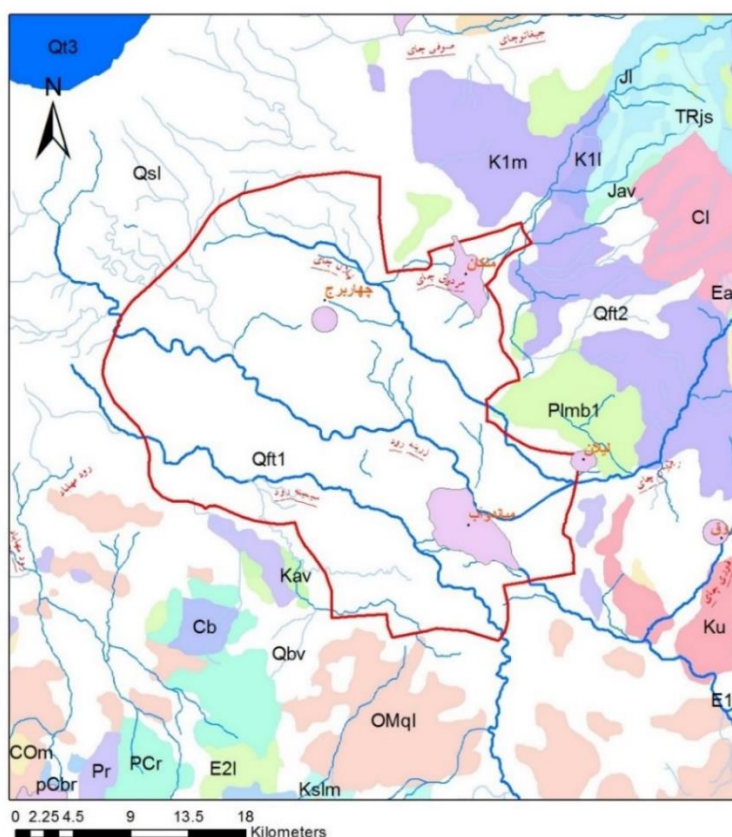
شکل ۳-۵ نقشه ارتفاع سنگ کف آبخوان میاندوآب (درون یابی به روش Natural Neighbor)

ناحیه مورد مطالعه از سه جهت جنوبی، شرق و شمال شرقی محدود به ارتفاعات هست. به علت وجود سیستم های درز و شکاف در عناصر تشکیل دهنده این ارتفاعات مخازن مناسبی جهت ذخیره و انتقال آب از منابع کارستی ایجاد شده است. تنوع گسترش تشکیلات با سازند های مختلف و نیز وجود خصوصیات فیزیکی متفاوت نظیر درجه تخلخل، نفوذپذیری، میزان درز و شکاف، حفرات انحلالی و نیز ضخامت و میزان گستردگی در ناحیه می تواند این تشکیلات را در ردیف تشکیلات کم نفوذ پذیر قرار دهد [۱۵].

سازند اصلی تشکیل دهنده ی قسمت شرقی دشت در امتداد شهرستان لیلان تا شهرستان ملکان عمدتاً از جنس مارن و سازند مراغه متشکل از رسوبات آذر آواری می باشد که به دلیل نفوذ پذیری کم و عدم کارستیک بودن، به غیر از محدوده ی مخروط افکنه رودخانه های مردق چای و لیلان چای در سایر قسمت ها تبادل آبی خاصی با آبخوان ندارند.

سازند قم از تشکیلات قابل توجه کارستیک در منطقه می باشد که در پهنه نسبتاً وسیعی در قسمت جنوبی میاندوآب (نزدیک به شهرستان میاندوآب) گسترش دارد. از نظر لیتولوژی این سازند متشکل از آهک، ماسه

سنگ و مارن می باشد. عوامل زمین ساختی (تکتونیکی) به همراه عوامل فرسایش موجبات انحلال شدید در سطح و توسعه کم و بیش حفرات انحلالی در عمق سازند قم شده که می تواند مخازن مناسبی جهت جذب نزولات جوی و رهاسازی آن در محلهایی که با آبرفت در تماس است باشد. در شکل ۳-۶ نقشه زمین شناسی محدوده اطراف دشت میاندوآب نمایش داده شده است [۱].



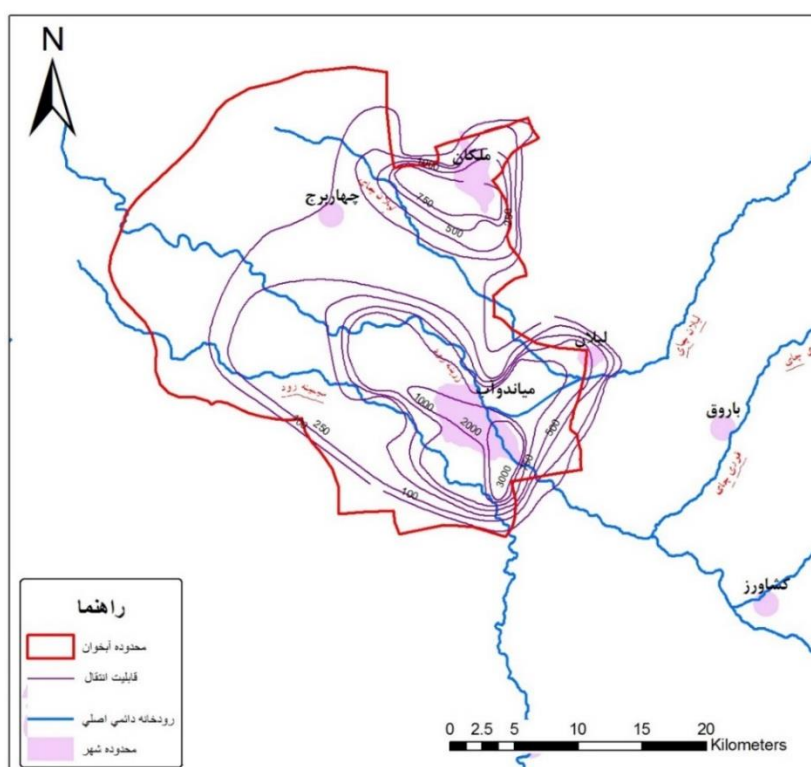
شکل ۳-۶ نقشه زمین شناسی محدوده اطراف دشت میاندوآب (اخذ شده از ستاد احیای دریاچه ارومیه) [۱]

۳-۳-۳ هیدروژئولوژی

۳-۳-۳-۱ قابلیت انتقال

بر اساس نتایج حاصل از آزمایش پمپاژ ۳۷ حلقه چاه اکتشافی و ۲۳ حلقه چاه بهره برداری در سطح محدوده مطالعاتی میاندوآب و بررسی لوگ چاههای اکتشافی و پیزومترهای حفر شده، مشخص شده است که رسوبات آبرفتی منطقه دانه درشت تا ریز می باشد. در مرکز دشت و جنوب شهر میاندوآب منحنی های ۵۰۰، ۷۵۰، ۱۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر مربع در روز ضریب انتقال کشیده شده که موید بالا بودن ضریب قابلیت انتقال در مخروط

افکنه های سیمینه رود و زرینه رود و حوالی لیلان چای نسبت به سایر نقاط است که به دلیل وجود رسوبات دانه درشت و با ضخامت و با توسعه زیاد در این نواحی می باشد. این ارقام در حوالی شهرستان ملکان بالغ بر ۱۵۰۰ متر مربع در روز بوده و گاهی تا ۲۰۰۰ متر مربع در روز می رسد. حداکثر ضریب قابلیت انتقال ثبت شده برای سفره در طی آزمایشات پمپاژ برابر با ۱۲۳۶۰ متر مربع در روز می باشد. در حاشیه جنوبی دشت منحنی ۱۰۰ مترمربع در روز ترسیم شده که مبین ضخامت کم رسوبات است و در مجاورت دریاچه ارومیه نیز منحنی های ۱۰۰ و ۲۵۰ به موازات دریاچه ترسیم شده که به دلیل دانه ریز بودن رسوبات در این نواحی می باشد. وجود رسوبات دانه ریز حواشی دریاچه ارومیه در کاهش ارقام قابلیت انتقال نقش عمده ای داشته و همچنین ضخامت کم رسوبات در نقاط مرتفع دشت نیز موجب کاهش قابلیت انتقال بوده است. به طوریکه در اغلب نقاط دشت به حدود ۱۰۰۰ متر مربع در روز می رسد [۱].

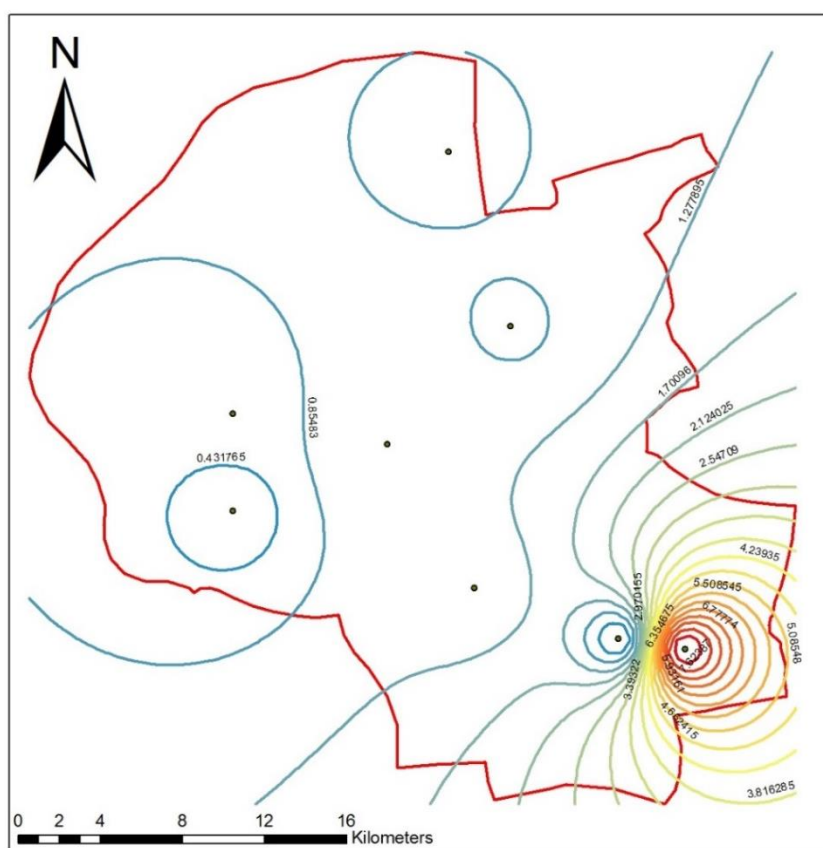


شکل ۳-۷ نقشه قابلیت انتقال [۱]

۳-۳-۲- ضریب ذخیره

براساس نتایج پمپاژ صورت گرفته در ۱۰ نقطه ی مجزا در گستره دشت، ضریب ذخیره آبخوان ما بین ۰/۱۲ تا ۸/۷ درصد تعیین گردیده است. ضریب ذخیره متوسط دشت میاندوآب نیز ۲ درصد برآورد شده است. همچنین

تغییرات ضریب ذخیره همخوانی مناسبی را با تغییر ضریب انتقال در دشت نشان می دهند که دلیل آن ارتباط پارامتر هدایت هیدرولیکی و قابلیت ذخیره آبخوان با دانه بندی سازند آبخوان می باشد. شکل ۳-۸ تغییرات ضریب ذخیره آبخوان را در دشت نشان می دهد که با توجه به این که میان میزان این پارامتر عموماً تابعی از مقدار آن در نقاط مجاورش می باشد، از روش Kriging که یک روش درونیابی زمین آمار می باشد، برای درون یابی این پارامتر استفاده شده است.



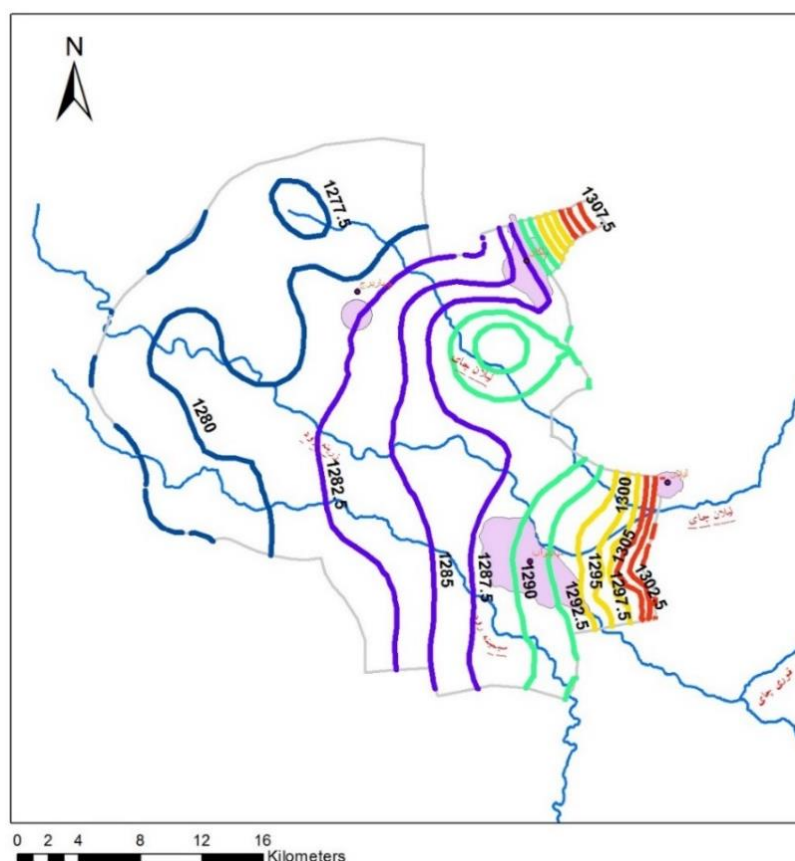
شکل ۳-۸ تغییرات ضریب ذخیره در سطح دشت براساس نتایج آزمایشات پمپاژ (درون یابی به روش Kriging)

۳-۳-۳ جهت جریان و گرادین هیدرولیکی

در دشت میاندوآب رقوم منحنی های تراز آب زیرزمینی بین ۱۳۵۰ متر واقع در اراضی مخروط افکنه ای شرق دشت تا ۱۲۸۰ متر در اراضی تپه رش، مرادخانلو، نظام آباد واقع در غرب دشت متغیر می باشد. روند منحنی های تراز آب زیرزمینی در این دشت تقریباً شمالی - جنوبی بوده و رقوم آنها از شرق به غرب کاهش می یابد. جهت جریان آب زیرزمینی تابع شیب توپوگرافی سطح زمین از شرق به غرب می باشد. در اراضی مخروط

افکنه ای لیان چای، مردوق چای و سیمینه رود تحدب منحنی ها به سمت غرب بوده و خطوط جریان نسبت به محور رودخانه واگرا می باشند. در اراضی مخروط افکنه ای دشت فاصله منحنی های تراز کم بوده و شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی بیش از ۱۵ در هزار می باشد که با حرکت به غرب فاصله منحنی های تراز افزایش یافته و شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در اراضی پایاب دشت به ۰/۷ در هزار می رسد. بطور کلی قسمت اعظم دشت تحت پوشش منحنی تراز ۱۲۸۰ تا ۱۲۹۰ متر است که نمایانگر پایین بودن شیب هیدرولیکی آب زیرزمینی در اراضی میانی و پایاب دشت می باشد.

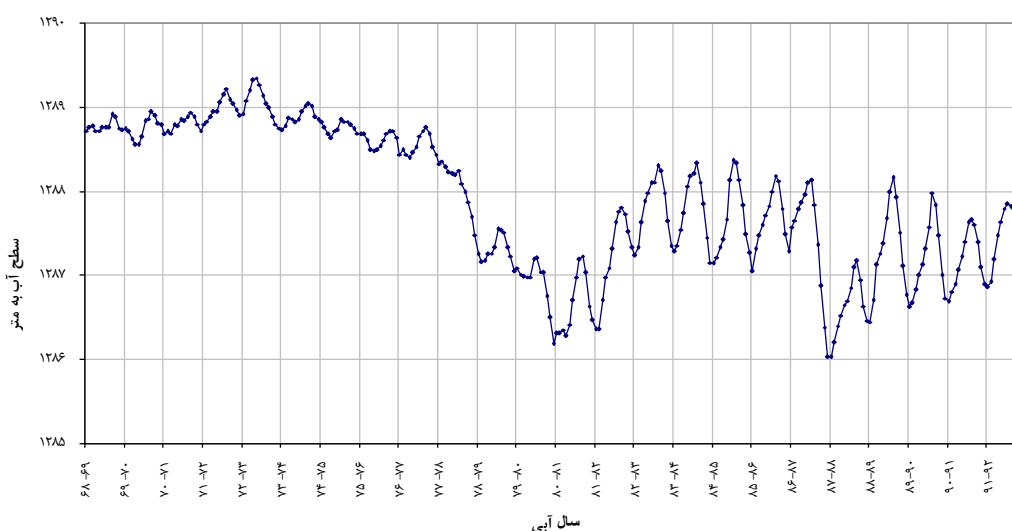
در اراضی شمال شرقی دشت منحنی تراز آب زیرزمینی ۱۳۵۰ متر گسترش دارد که به سمت جنوب غرب رقوم منحنی های تراز آب زیرزمینی کاهش یافته و در اراضی جنوب غربی به ۱۳۱۰ متر می رسد. جهت جریان آب زیرزمینی در این منطقه از شمال شرق به سمت جنوب غرب می باشد. شکل ۳-۹ منحنی های هم تراز آب زیر زمینی را که در داخل آبخوان قرار گرفته اند را نمایش می دهد.



شکل ۳-۹ نقشه هد و گرادیان هیدرولیکی در منطقه (تولید شده با استفاده از درون یابی به روش Radial Basis)

۳-۳-۴- تغییرات سطح آب زیر زمینی

براساس هیدروگراف درازمدت آبخوان آبرفتی دشت میاندوآب که روند تغییرات سطح آب زیرزمینی را از سال آبی ۱۳۶۸-۶۹ لغایت ۱۳۹۰-۹۱ نشان می دهد (شکل ۳-۱۰)، سطح آب زیر زمینی در دراز مدت به میزان ۱,۴۴ متر افت داشته است که در حدود ۰/۳۳ متر آن در طی دوره ۱۰ ساله اخیر (به طور متوسط ۳ سانتی متر در هر سال) به وقوع پیوسته است. همچنین در طی سال های ۱۳۷۷ تا ۱۳۷۹ شاهد افت تراز قابل ملاحظه ای در آبخوان هستیم که با توجه به سری زمانی بارش در منطقه (شکل ۳-۱۸) دلیل این امر را می توان به کاهش بارندگی در منطقه در طی این سال ها نسبت داد. براساس هیدروگراف ارائه شده صرف نظر از فراز و فرودهای فصلی که ناشی از پمپاژ از آب زیرزمینی در فصل های گرم و عدم تغذیه آن از طریق بارش و همچنین میزان رها سازی آب در شبکه زرينه رود (به عنوان نمونه در فروردین ماه سال آبی ۸۸-۸۹ که سیلاب میان حوضه ای وارد شبکه شده، سطح آب به صورت قابل توجهی افزایش پیدا کرده است) می باشد، روند اصلی تراز سطح آب دشت در سال های اخیر بطور کلی متعادل بوده و افت مشاهده شده ناچیز می باشد.

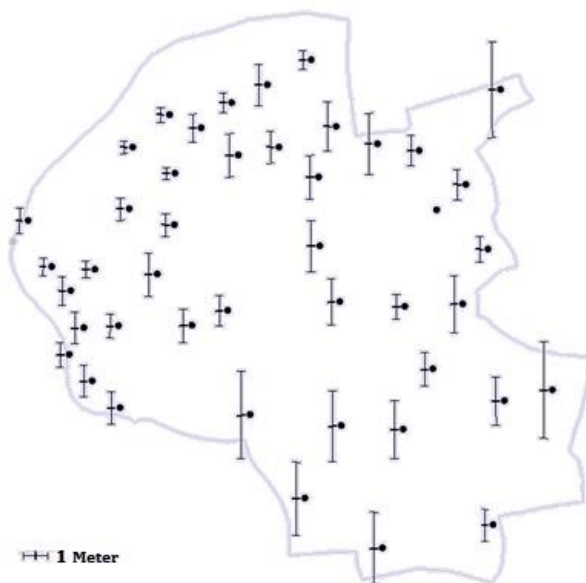


شکل ۳-۱۰-۳ هیدروگراف واحد دراز مدت تصحیح شده دشت میاندوآب (گزارش آب منطقه ای استان آذربایجان غربی)

۳-۳-۵- شبکه چاه های پیزومتری

این دشت با برخورداری از در حدود ۱۱۷ حلقه چاه مشاهده ای، با توجه به مساحت ۱۲۵۶ کیلومتر مربعی خود از سیستم پایش مناسبی جهت بهره برداری از منابع آب زیر سطحی برخوردار می باشد. شبکه چاه های مشاهده ای دشت میاندوآب از توزیع مکانی مناسبی در داخل دشت برخوردار می باشند و تقریباً تمامی سطح دشت

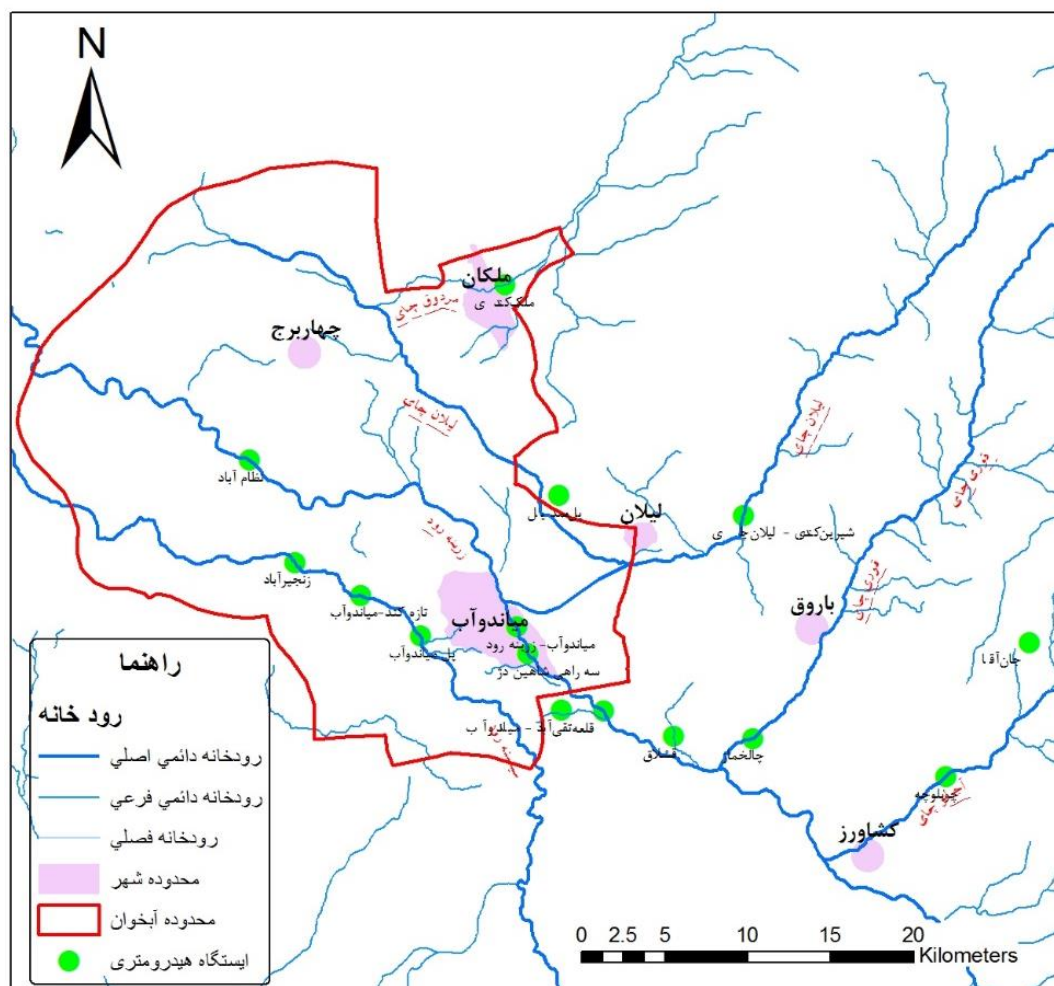
را پوشش می دهند. از میان این ۱۱۷ حلقه چاه مشاهده ای، ۴۴ حلقه چاه در محدوده ی مدلسازی قرار گرفته اند که دارای شرایط آماری مناسب جهت استفاده در مدل می باشند. لازم به ذکر است که تعداد زیادی از این چاه ها از سال ۱۳۷۵ از کار افتاده اند و فاقد داده آماری می باشند، لذا در مجاورت آن ها چاه های مشاهده ای جدیدی جهت استفاده از سری زمانی اندازه گیری شده در چاه های قدیمی حفر گردیده است. محل قرار گیری و میزان تغییرات فصلی تراز سطح هر چاه در طول دوره مدلسازی (سال ۱۳۸۹) در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده و همان طور که مشخص است، در ابتدای دشت و در نزدیک مرزهای ورودی، به دلیل تغییر در جریان های منشعب شده از کوه های بالادست که ناشی از تغییر در میزان آبگیری و بارش در این کوه ها می باشد، شدت نوسانات سطح آب زیر زمینی نسبتاً بالا بوده، اما در پایاب دشت که سطح آب نیز نزدیکتر به سطح زمین می باشد این تغییرات به چند دلیل از جمله زهکشی آب پس از صعود به نزدیکی سطح زمین، کمتر شدن تعداد چاه های بهره برداری در واحد سطح و همچنین ورود آب به منطقه حائل میان دریاچه و آبخوان که به صورت یک متعادل ساز عمل می کند، کمتر می باشد. میزان انحراف از معیار تغییرات فصلی در هر پیزومتر می تواند به عنوان یک معیار مناسب جهت ارزیابی دقت مدل در شبیه سازی روند تغییرات سطح آب در محل آن پیزومتر منظور گردد، زیرا طبیعتاً در محدوده هایی که نوسانات سطح آب پیزومتر کمتر از سایر نقاط می باشد، مدل آزادی کمتری در تولید خطا هنگام شبیه سازی تغییرات سطح آب در پیزومتر مذکور خواهد داشت.



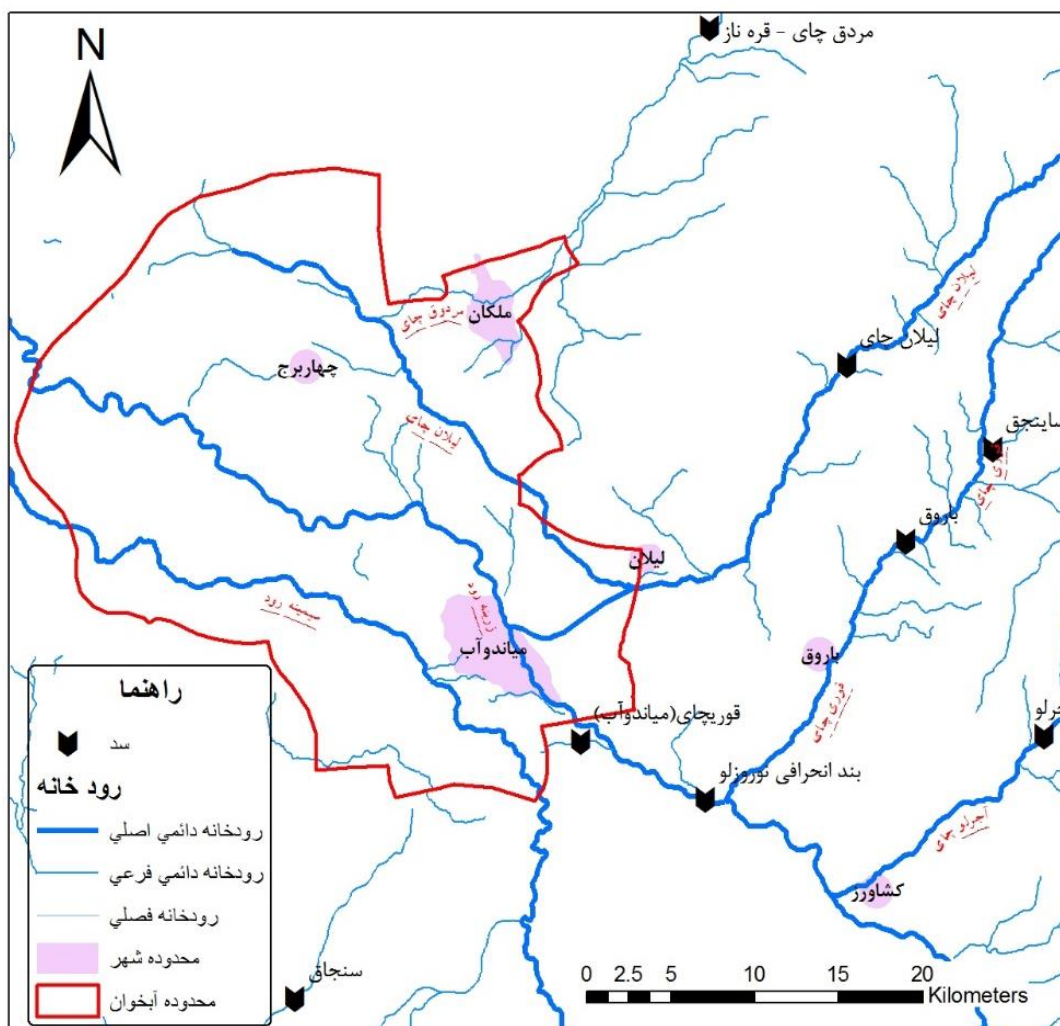
شکل ۳-۱۱ شبکه چاه های پیزومتری به همراه مقدار مجاز نوسان در نظر گرفته شده برای هر چاه در مدل

۳-۴- وضعیت منابع آب های سطحی

با توجه به بالا بودن سطح آب زیر زمینی و گسترده گی جریانات سطحی و همچنین شبکه آبیاری و زهکشی زرينه رود، میزان تبادل آب میان جریانات سطحی و زیر سطحی در محدوده ی بیلان مورد مطالعه بسیار بالا بوده و نقش موثری در تغییرات سطح آب زیرزمینی و حتی روند جریان عمومی آبخوان دارند. نظارت بر جریانات سطحی منطقه از طریق شبکه ایستگاه های هیدرومتری که در شکل ۳-۱۲ محل قرارگیری آن ها بر روی نقشه به نمایش در آمده است، انجام می پذیرد. همچنین با هدف تامین آب مورد نیاز کشاورزی و کنترل سیلاب های فصلی در منطقه تعداد قابل توجهی مانع در مسیر این جریانات احداث گردیده که محل استقرار آن ها نیز در شکل ۳-۱۳ نمایش داده شده است. در ادامه جریانات اصلی عبوری از روی آبخوان با جزئیات بیشتری معرفی خواهند شد.



شکل ۳-۱۲ موقعیت ایستگاه های هیدرومتری بر روی نقشه

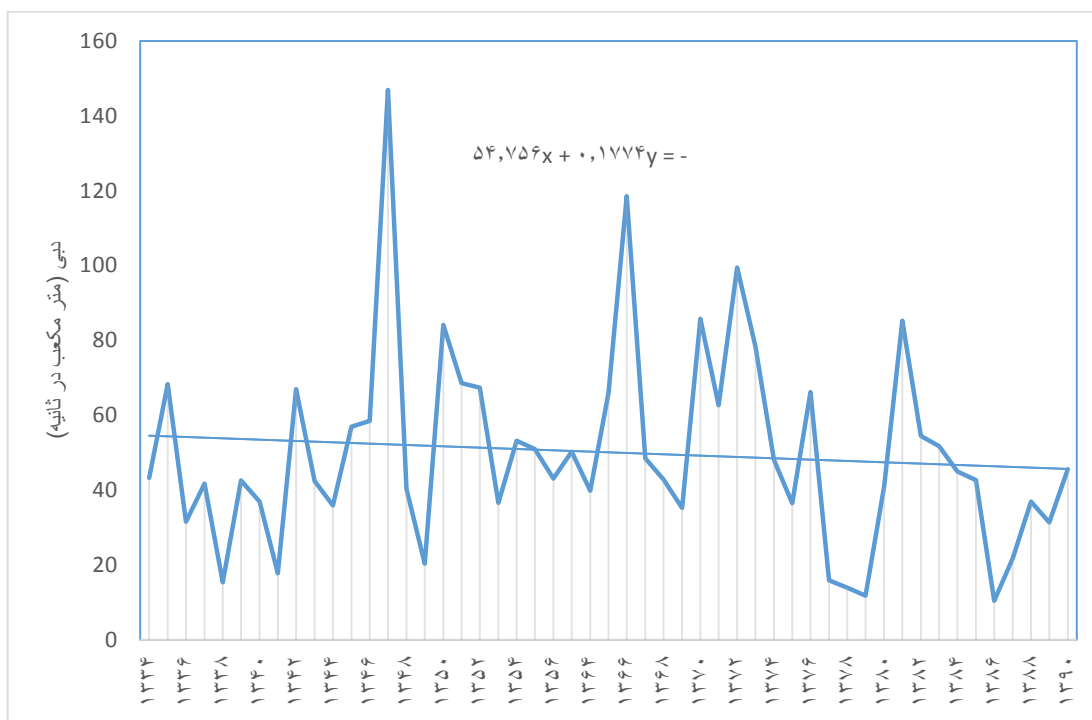


شکل ۳-۱۳ موقعیت سد و بندهای انحرافی احداث شده بر روی رودخانه های اصلی و فرعی منطقه

۳-۴-۱- زرينه رود

این رودخانه با طول ۲۳۰ کیلومتر طولانی ترین رود استان آذربایجان غربی است که از کوه های «چهل چشمه» در شهرستان های مریوان و سقز استان کردستان سرچشمه می گیرد و سرانجام به دریاچه ارومیه می ریزد. سد بوکان که بزرگترین سد مخزنی استان کردستان می باشد از سال ۱۳۵۰ بر روی این رود احداث گردیده است. این سد نقش مهمی در تنظیم آب رودخانه و پیشگیری از وقوع سیلاب هایی که در گذشته منطقه را در بر می گرفت دارد. آب رودخانه های فصلی هولاسو و هاچه سو و محمودآباد و آجرلو چای و در ادامه رود لیلان چای به آن تخلیه می گردد. حجم آب عبوری از این رود در محل بند انحرافی نوروز لو واقع در ابتدای دشت میاندوآب از طریق یک ایستگاه هیدرومتری اندازه گیری می گردد. میانگین دبی سالیانه این رودخانه در

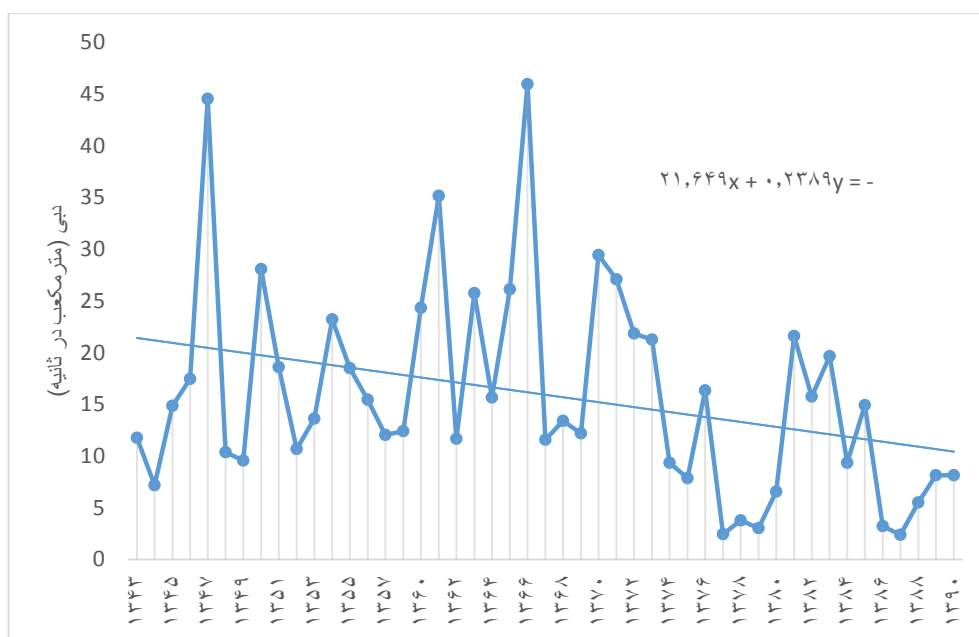
ورودی دشت ۶۲,۷ متر مکعب در ثانیه معادل حدود ۲۰۰۰ میلیون متر مکعب در سال است (۹۰-۱۳۴۴). شکل ۳-۱۴ نمودار میانگین دبی رودخانه زرينه رود در ایستگاه ساری قمیش که سری زمانی کاملتری نسب به سایر ایستگاه های مستقر بر روی این رودخانه دارد را نمایش می دهد.



شکل ۳-۱۴ نمودار میانگین دبی رودخانه زرينه رود در ایستگاه ساری قمیش

۳-۴-۲- سیمینه رود

سیمینه رود با طولی در حدود ۲۰۰ کیلومتر از کوهستان های منطقه سقز و بانه و کردستان عراق سرچشمه گرفته و پس از عبور از وسط شهر بوکان و اطراف شهر میاندوآب به دریاچه ارومیه می ریزد. این رودخانه زمین های فراوانی را در محدوده ی شهرستان میاندوآب آبیاری می کند. آب رودخانه های فصلی گلولان، آقاهو، کوله بر و سردار آباد در محل این رودخانه تجمع می گردد. جریان این رودخانه در مقاطع ورودی و خروجی به دشت اندازه گیری می شود. میانگین دبی سالیانه این رودخانه در ورودی دشت ۱۰,۷۲ متر مکعب در ثانیه معادل ۳۴۲ میلیون متر مکعب در سال است. شکل ۳-۱۵ نمودار میانگین دبی رودخانه سیمینه رود در ایستگاه میاندوآب را نمایش می دهد.



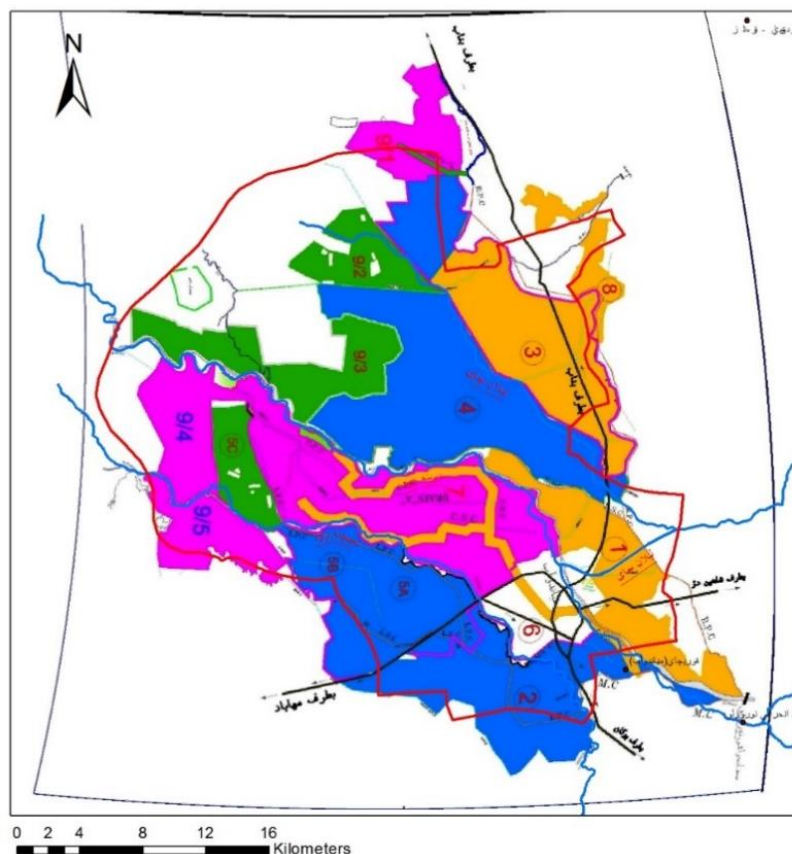
شکل ۳-۱۵ نمودار میانگین دبی رودخانه سیمینه رود در ایستگاه میاندوآب

۳-۴-۳- لیان جای

لیان جای از دامنه های جنوبی کوه سهند سرچشمه می گیرد و در امتداد جنوبی غربی جریان دارد و طول آن در حدود ۱۱۰ کیلومتر می باشد. میانگین دبی سالیانه این رودخانه از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۰ در محل ایستگاه شیرین کند، در حدود ۱,۷۵ مترمکعب در ثانیه معادل ۵۴,۴۷ میلیون متر مکعب در سال می باشد.

۳-۴-۴- شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود

دشت میاندوآب تحت شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود می باشد. مطالعات اولیه طراحی و ساخت این شبکه از سال ۱۳۴۲ شروع گردیده و منجر به ساخت سد بوکان با حجم مخزن ۸۰۸ میلیون مترمکعب در بالادست زرینه رود شده است. آب این سد از طریق بند انحرافی نوروزلو واقع در ابتدای دشت میاندوآب و از طریق دو رشته کانال اصلی به زمین های کشاورزی پایین دست این سد وارد می شود. میزان رهاسازی سالیانه این سد در حدود ۵۵۰ میلیون متر مکعب می باشد که از طریق کانال های فرعی شبکه زرینه رود قطعات زمین کشاورزی به وسعت ۲۰ الی ۶۰ هکتار را سیراب می سازد. همچنین آب زمین های زهدار توسط زهکش های این شبکه به مزارع برداشت نمک در پایین دست دشت منتقل می شود و باقی مانده ی آب آن به شوره زار های پایین دست و پایاب زرینه رود و در نهایت به دریاچه ارومیه تخلیه می گردد. شکل ۳-۱۶ قطعات اصلی شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود [۳] را نمایش می دهد



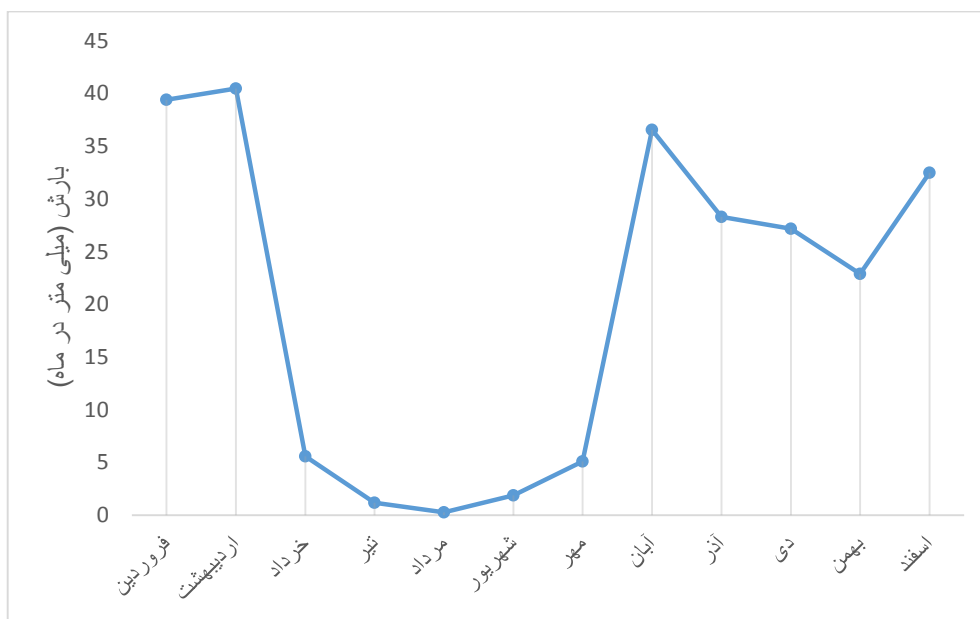
شکل ۳-۱۶ قطعات اصلی شبکه آبیاری و زهکشی زرینه رود [۳]

۳-۵- هواشناسی منطقه

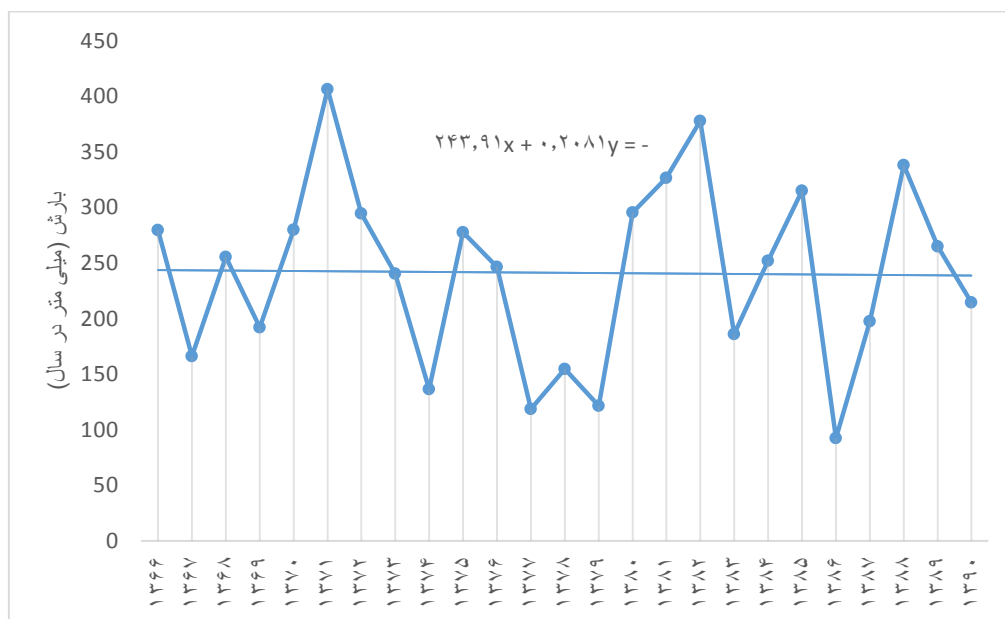
۳-۵-۱- بارش باران و برف

آمار درازمدت ایستگاه های باران سنجی میزان نزولات جوی در دشت میاندوآب را معادل ۲۹۶ میلی متر در سال نشان می دهد که در حدود ۵۰ الی ۵۵ درصد از این بارش ها در چهار ماه بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت رخ داده و ۴۰ درصد نیز در چهار ماه مهر، آبان، آذر و دی شکل می گیرد و تنها ۵ درصد به سایر ماه های سال اختصاص پیدا می کند (شکل ۳-۱۷). نیمی از مجموع نزولات آسمانی به شکل برف و مابقی به صورت بارندگی است. متأسفانه هیچ ایستگاه برف سنجی مستقلی در محدوده ی در نظر گرفته شده برای بیان وجود ندارد، اما با توجه به آمار ایستگاه های اطراف من جمله ایستگاه های حوضه آبریز زرینه و سیمینه رود که در بالادست منطقه مطالعاتی واقع هستند تعداد روزهای برفی در سال مدل سازی (۱۳۸۹) در حدود ۲۶ روز

و حداقل و حداکثر ارتفاع برف اندازه گیری شده در این ایستگاه ها به ترتیب ۶,۱ و ۷۸ سانتی متر می باشد. همچنین چگالی برف نیز در این ایستگاه ها مابین ۱۰ تا ۳۱ درصد اندازه گیری شده است. آمار بارندگی های دراز مدت دشت نیز مطابق شکل ۳-۱۸ می باشد که تقریباً در سی سال گذشت فاقد روند خاصی بوده است.



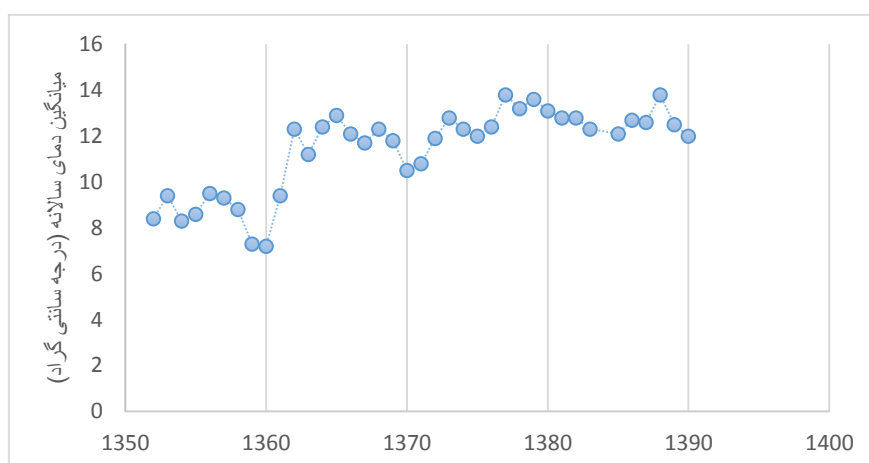
شکل ۳-۱۷ نمودار نمودار توزیع میزان بارش سالانه



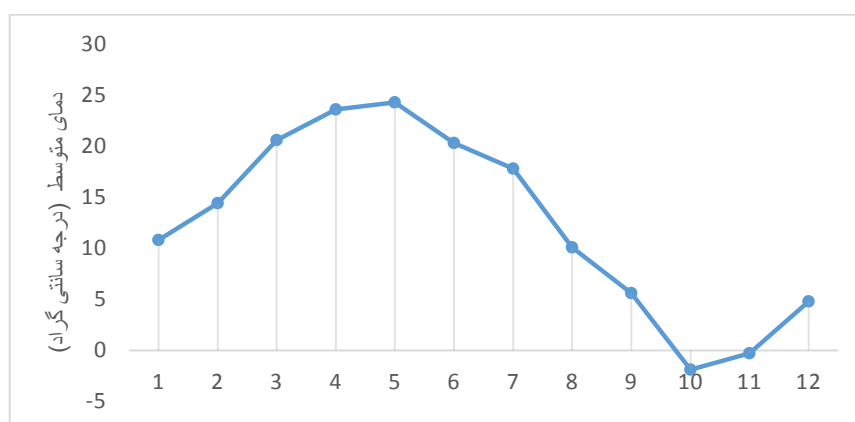
شکل ۳-۱۸ نمودار تغییرات میزان بارش سالانه در ایستگاه نظام آباد

۳-۵-۲- دمای هوا

بر اساس شکل ۳-۱۹ که تغییرات دما در دشت میاندوآب را از سال ۱۳۵۲ نمایش می‌دهد، میانگین دمای منطقه در حدود ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و این منطقه به طور نسبی جزو مناطق سرد کشور طبقه بندی می‌گردد. با توجه به شکل ۳-۱۹، دما هوا در منطقه مورد مطالعه در حال افزایش بوده و روند تغییرات دمایی در طول ۴۰ سال گذشته مثبت می‌باشد. درجه حرارت هوا در ماه‌های پایانی سال (دی و بهمن) به زیر صفر رسیده و با شروع فصل بهار تا اواسط فصل تابستان دارای سیر صعودی می‌باشد. با توجه به این مطلب که تغییرات توپوگرافی در محدوده ی آبخوان بسیار ناچیز می‌باشد، روند تغییرات دمایی در گستره دشت مطابق با اندازه گیری های ایستگاه های هواشناسی وزارت نیرو و سازمان هواشناسی بسیار ناچیز می‌باشد.



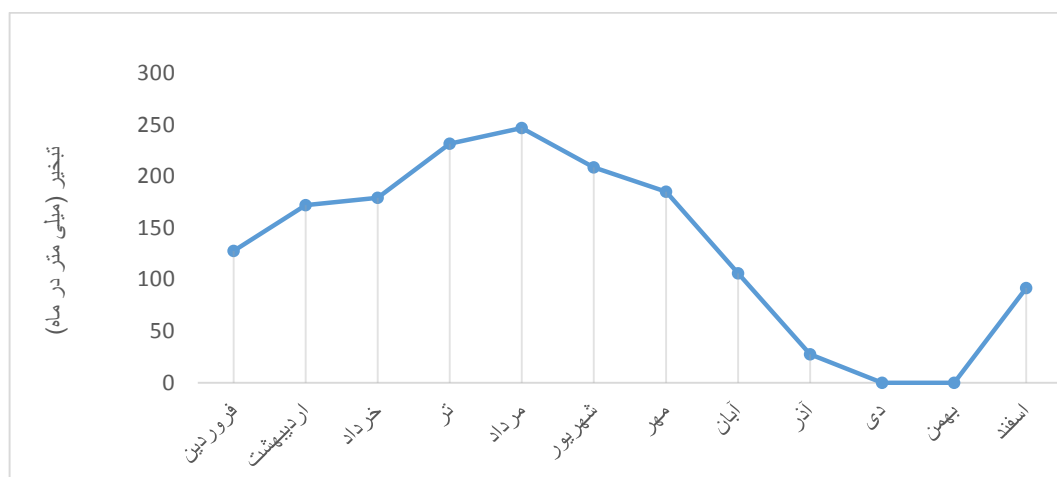
شکل ۳-۱۹ نمودار تغییرات دما در دشت میاندوآب از سال ۱۳۵۲



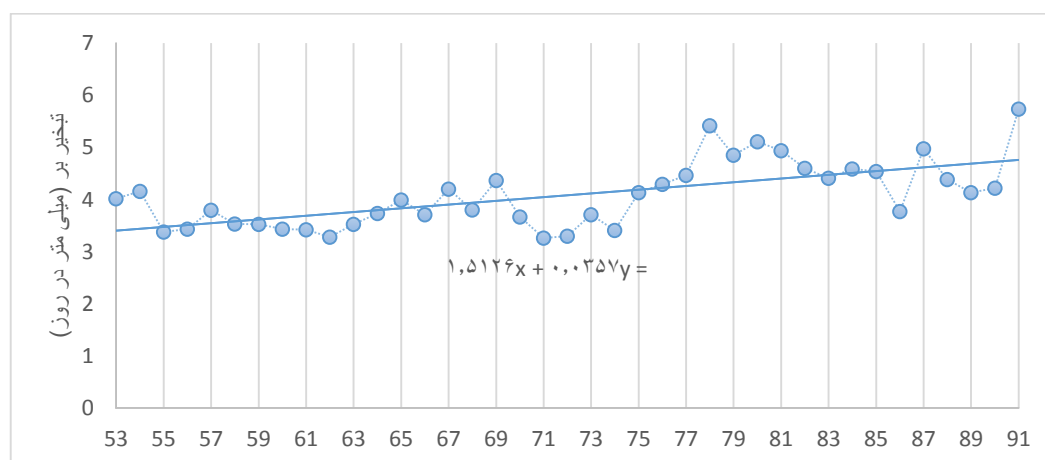
شکل ۳-۲۰ نمودار تغییرات دما در سال آبی ۸۸-۸۹ در دشت میاندوآب

۳-۵-۳- تبخیر

با توجه به شکل ۳-۲۱ و شکل ۳-۲۲ که روند تغییرات تبخیر در طول یک سال را با استفاده از تشکک تبخیر نشان می دهد، تغییرات مقدار تبخیر در طول سال مشابه با تغییرات دما می باشد. با توجه به این آمار که از ایستگاه هواشناسی میاندوآب اخذ گردیده است، میزان تبخیر در ماه های دی و بهمن به علت کاهش شدید دمای هوا تقریباً معادل با صفر میلی متر می باشد و همچنین در مرداد ماه به نقطه ی اوج خود یعنی ۲۵۰ میلی متر در ماه می رسد. طبق آمار بلند مدت سالانه میزان تبخیر در منطقه افزایش و از حدود ۳,۵ میلی متر در روز به ۴,۵ میلی متر افزایش پیدا کرده است. تغییرات مکانی تبخیر با توجه به تغییرات ناچیز دمایی در داخل دشت، ثابت در نظر گرفته و در مدلسازی مقدار میانگین آن به صورت یک عدد ثابت برای تمامی سلول ها تخصیص داده شده است.



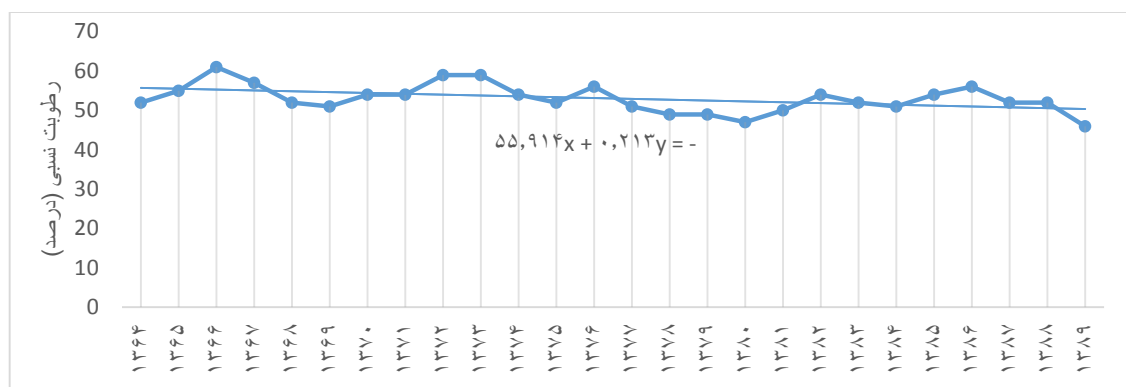
شکل ۳-۲۱ نمودار تغییرات میانگین تبخیر در ماه های مختلف سال آبی ۸۸-۸۹



شکل ۳-۲۲ نمودار تغییرات میانگین تبخیر در دشت میاندوآب از سال آبی ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۱

۳-۵-۴- رطوبت نسبی

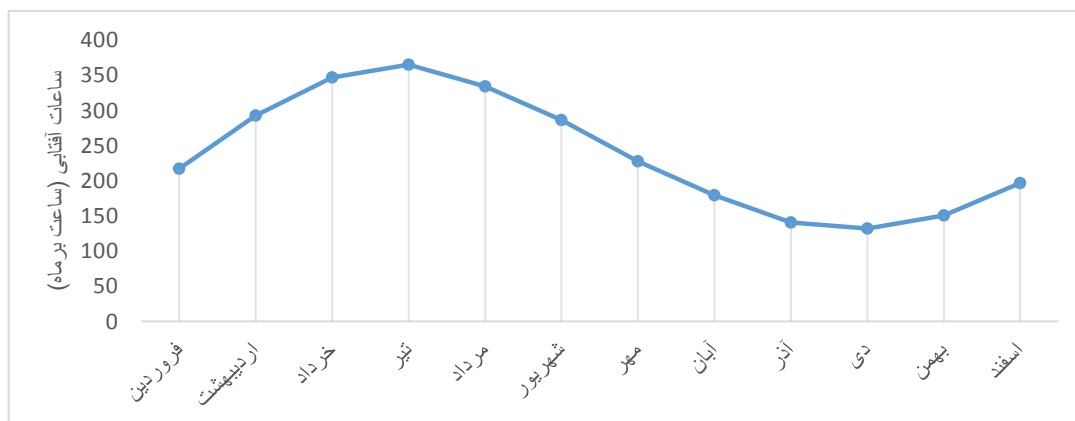
میانگین رطوبت نسبی سالیانه حداقل و حداکثر در منطقه به ترتیب برابر با ۷۰ و ۴۶ می باشد که بیشترین میزان رطوبت اندازه گیری شده متعلق به دی ماه با ارقام متوسط ۸۰ و ۶۷ درصد و کمترین آن متعلق به مرداد با ارقام متوسط ۵۸ و ۳۱ درصد می باشد. میزان رطوبت نسبی در طول سال های گذشته روند نزولی داشته است (شکل ۳-۲۳) که کاهش حجم دریاچه می تواند یکی از دلایل اصلی آن باشد.



شکل ۳-۲۳ نمودار تغییرات میانگین رطوبت نسبی هوا

۳-۵-۵- ساعات آفتابی

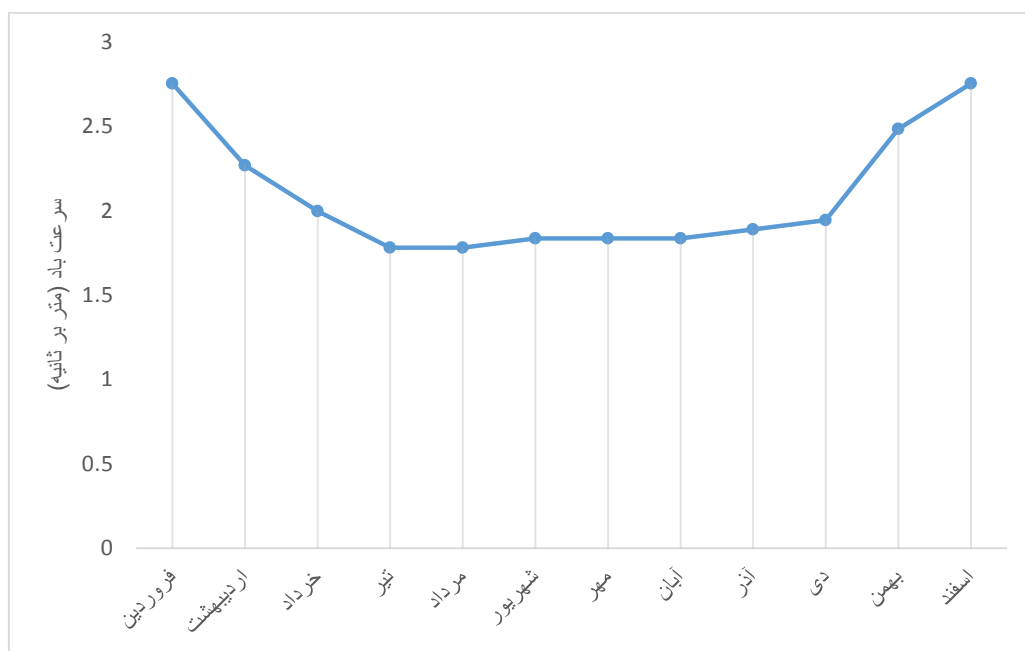
میانگین ساعات آفتابی در طول سال به طور متوسط ۲۸۹۰ ساعت در سال می باشد که مقدار آن مطابق با شکل ۳-۲۴ در روزهای تابستان که روز ها طولانی تر و آسمان صاف تر است به حداکثر خود می رسد. در این گزارش برای محاسبه مقدار تبخیر و تعرق لحظه ای از داده های ساعتی ایستگاه های سازمان هواشناسی، با توجه به موقعیت مکانی پیکسل سرد و گرم استفاده گردیده است.



شکل ۳-۲۴ نمودار میانگین ۲۵ ساله مجموع تعداد ساعات آفتابی ماهانه در دشت میاندوآب

۳-۵-۶- سرعت باد

مطابق با آمار سازمان هواشناسی جهت غالب بادهای منطقه به سمت جنوب و جنوب غرب می باشد و حداکثر مقدار آن متعلق به انتهای فصل زمستان و ابتدای بهار می باشد. میانگین سرعت باد در منطقه مطابق شکل ۳-۲۵ می باشد.



شکل ۳-۲۵ نمودار میانگین سرعت باد ماهانه

۳-۵-۷- وضعیت بهره برداری از آبخوان

آب مورد نیاز بخش‌های مختلف (شرب، صنعت، کشاورزی) توسط منابع آب سطحی و زیرزمینی تامین می‌شود. ۵۶/۶ درصد از مصارف آب در سطح کل حوضه آبریز از طریق جریان سطحی و مابقی توسط چاه‌های بهره برداری تهیه می‌گردد. براساس نتایج آخرین دوره آماربرداری از منابع و مصارف آب‌های سطحی و زیرزمینی که در اواخر دهه هشتاد از کل حوضه ارومیه صورت پذیرفته است، بیشترین تعداد چاه بهره برداری با اختلاف کمی به ترتیب در محدوده‌های مطالعاتی ارومیه و میاندوآب حفر شده است. همچنین بیشترین تعداد موتورپمپ با ۸۸۸ دستگاه و برداشت سالانه ۸۹ میلیون مترمکعب مربوط به منطقه مطالعاتی میاندوآب می‌باشد [۱].

۳-۵-۸- چاه های بهره برداری

براساس نتایج آخرین آماربرداری های صورت گرفته، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی میاندوآب برابر با ۳۵۰ میلیون مترمکعب در سال می باشد که از طریق ۱۴۰۹۶ حلقه چاه صورت می پذیرد. آبخوان دشت میاندوآب با وسعت ۱۲۵۰ کیلومتر مربع، ۲۴۰ میلیون مترمکعب از این مقدار را به خود اختصاص داده که البته در محدوده ی در نظر گرفته شده برای بستن بیلان آب زیرزمینی در این تحقیق که در حدود ۹۶۰۰ حلقه چاه را شامل می شود، مقدار برداشت ها در حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب در سال می باشد [۱].

۳-۵-۹- وضعیت کشاورزی

آب مورد نیاز برای آبیاری در دشت میاندوآب به وسیله ی شبکه آبیاری زرینه رود و مخزن بند انحرافی نوروزلو تأمین می شود. سد انحرافی نوروزلو به منظور بالا آوردن سطح آب و تنظیم آن جهت هدایت به دشت و شرب تبریز در ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میاندوآب ساخته شده است. از جمله اهداف ساخت این سد تنظیم آب کشاورزی دشت میاندوآب به میزان ۷۵۶ میلیون مترمکعب در سال است. در جدول ۳-۱ توزیع سطح زیر کشت محصولات زراعی، میزان تولید و آب مصرفی آن ها آورده شده است.

جدول ۳-۱ توزیع سطح زیر کشت محصولات زراعی، میزان تولید و آب مصرفی آن ها [۱۷]

نوع محصول	سطح زیر کشت (هکتار)	عملکرد (تن)		میزان آب مصرفی	
		در هکتار	کل	جمع خالص (مترمکعب)	جمع ناخالص با راندمان ثقلی ۳۵ درصد (مترمکعب)
گندم	۱۵۳۷۲	۳/۶۹	۵۶۷۲۳	۲۷۳۰	۱۱۹/۹۰۲
جو	۲۹۴۴	۲/۹۵	۸۶۸۵	۱۹۹۰	۱۶/۷۳۹
یونجه	۱۰۱۱۰	۱۰/۱	۱۰۲۱۱۱	۶۸۵۰	۱۹۷/۸۶۷
چغندر قند	۵۱۱۰	۵۲	۲۶۵۷۲۰	۶۵۳۰	۹۵/۳۲۸
نخود	۱۲	۱/۵۸	۱۹	۲۹۱۰	۰/۱
ذرت دانه ای	۱۲۳۲	۸/۸۸	۱۰۹۴۰	۲۳۸۰	۸/۳۷۸
ذرت علوفه ای	۳۷۳	۵۶/۲	۲۰۹۷۰	۳۹۰۰	۴/۱۵۶
سیب زمینی	۲۸	۳۶	۱۰۰۸	۴۷۵۰	۰/۳۸
پیاز	۹۵۰	۵۵/۳	۵۲۵۳۵	۵۷۷۰	۱۵/۶۶۱

ادامه جدول ۳-۱ توزیع سطح زیر کشت محصولات زراعی، میزان تولید و آب مصرفی آنها [۱۷]

۱/۶۵۸	۳۵۶۰	۴۷۰۷	۲۸/۹	۱۶۳	هندوانه
۰/۶۰۱	۳۴۵۰	۲۲۴۵	۳۶/۸	۶۱	خریزه
۰/۸۵۲	۳۳۹۰	۱۶۷۲	۱۹	۸۸	خیار
۱۳/۶۰۵	۵۲۱۰	۳۶۵۰۶	۳۹/۷	۹۲۰	گوجه‌فرنگی
۰/۷۲۳	۴۶۰۰	۶۶	۱/۲	۵۵	آفتابگردان
۱/۳۲۲	۷۷۱۰	۱۲۷	۲/۱۱	۶۰	شیدر
۰/۱۱۱	۳۲۴۰	۱۹۸	۱۶/۵	۱۲	هویج
۰/۰۲۷	۳۱۸۰	۲۳	۷/۶۶	۳	کلم
۰/۴۵۹	۲۸۷۰	۸۴۰	۱۵	۵۶	سیر
۰/۲۷۶	۳۴۵۰	۷۳	۲/۶	۲۸	لوبیا
۱/۱۸۲	۴۷۰۰	۲۶۴۰	۳۰	۸۸	سبزیجات
۰/۱۵۸	۳۶۸۰	۴۳	۲/۸۶	۱۵	کلزا
۰/۳۷۷	۳۷۷۰	۲۵	۰/۷۱	۳۵	کدو آجیلی
۰/۶۹۸	۳۷۶۰	۱۹۵۰	۳۰	۶۵	کدو حلوائی
۱/۰۳۲	۲۵۸۰	۵۳۲۰	۳۸	۱۴۰	سورگوم
۴۸۱/۶۹۲		۵۷۵۱۴۶		۳۷۹۲۰	جمع کل

۴- روش انجام کار

مدل عددی آب زیرزمینی که از انطباق بالایی با سامانه هیدروژئولوژی آبخوان برخوردار است، موارد استفاده بسیاری جهت بررسی رفتار آبخوان در مواجهه باتنش های مختلف هیدروژئولوژیکی دارد. از میان مدل های توسعه داده شده برای بررسی کمی وضعیت آب های زیر زمینی کد مادفلو بیشترین کاربرد را در مراکز تحقیقاتی، پژوهشی و مهندسی دنیا دارد. این کد که نتیجه سال ها تحقیق در سازمان تحقیقات زمین شناسی امریکا هست، ضمن برخورداری از قابلیت شبیه سازی اجزاء مختلف تأثیر گذار بر سیستم آبی یک مدل کامل در مدلسازی عددی یک سیستم اشباع و تشکیلات آبرفتی می باشد [۴].

صحت نتایج مدلسازی منوط به استفاده از داده های معتبر و به میزان مناسب می باشد و با در نظر گرفتن این مطلب که اطلاعات مربوط به مصارف خصوصاً در بخش کشاورزی از عدم اطمینان بالایی برخوردار می باشد. در این پروژه تلاش گردیده است تا با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای و محاسبه ی تبخیر و تعرق با حل معادلات مربوط به الگوریتم بیلان انرژی ضمن اعتبار سنجی اطلاعات مربوط به مصارف آب کشاورزی میزان برگشت آب به آبخوان را نیز تخمین زد.

۴-۱- خلاصه مراحل انجام کار

داده های مورد نیاز برای مدلسازی آبخوان دشت میاندوآب از سازمان های متولی اندازه گیری، جمع آوری و صحت سنجی گردیدند. این اطلاعات شامل داده های مربوط به میزان برداشت از آب زیر زمینی، مشخصات جریانات سطحی، چاه های مطالعاتی، اطلاعات هواشناسی، خصوصیات و پارامتر های آبخوان و نقشه ی سنگ شناسی و خاکشناسی منطقه می باشند که از سازمان های آب، هواشناسی و زمین شناسی کشور تهیه شدند. با توجه به عدم برآورد دقیق و با تفکیک مکانی مناسب از آب مصرف شده در بخش کشاورزی و میزان بارندگی در منطقه، سعی گردید با استفاده از پردازش داده های هواشناسی و تصاویر ماهواره ای و محصولات سنجش از دوری که از پایگاه های اطلاعاتی آنلاین تهیه شده بود، نقشه های توزیع بارش و تبخیر و تعرق واقعی تولید گردد تا بتوان با استفاده از آن ها نرخ بازگشت آب به سفره آب زیرزمینی را محاسبه نمود. از داده های زمین شناسی و اطلاعات منابع آب منطقه نیز برای ساخت مدل مفهومی از آب زیر زمینی که شامل ساختمان، مرز های آبخوان، چاه های بهره برداری، رودخانه های عبوری از دشت، زهکش های اصلی و نقشه توزیع نفوذ به آبخوان می گردد استفاده شد. پس از ساخت مدل مفهومی که در برگیرنده تمام عوامل اصلی

تاثیر گذار بر رفتار هیدرولوژیکی آبخوان می بود، این مدل به مدل عددی که قابل حل با استفاده از کد مادفلو^۱ باشد، تبدیل گردید.

با اجرای مدل عددی ساخته شده در حالت یکنواخت و استخراج نتایج آن، مدل برای واسنجی در این حالت و تعیین دقیق تر بخشی از پارامترها که تشخیص آن ها در هنگام ساخت مدل مفهومی امکان پذیر نبود، آماده گردید. پس از اصلاح این پارامترها در محدوده ی مجاز تعیین شده، مدل غیر یکنواخت با استفاده از توزیع زمانی داده های هیدرولوژیکی و هواشناسی مورد استفاده در ساخت مدل مفهومی یکنواخت تهیه و واسنجی شد. واسنجی مدل در این حالت بروی توزیع زمانی برخی از پارامترهای هیدرولوژیکی صورت پذیرفت و مدل با استفاده از داده های سال مجاور اعتبارسنجی گردید. با اطمینان از عملکرد مناسب مدل و درک کامل آن از وضعیت آبخوان، با توجه به درک به وجود آمده از وضعیت آبخوان چند سناریو بهره برداری برای پاسخ به سوالات بروی آن اعمال گردید و نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

۲-۴- دامنه و فرضیات تحقیق

فرضیات در نظر گرفته شده در این مطالعه به منظور تهیه مدل آب زیرزمینی به شرح زیر می باشد:

۱. در این گزارش بخش اصلی آبخوان به مساحت ۸۴۶ کیلومتر مربع که عمده مزارع و باغات کشاورزی بر روی آن قرار گرفته، از کل آبخوان دشت به مساحت ۱۲۵۶ کیلومتر مربع جدا گردیده و به عنوان محدوده ی بیلان و مدلسازی در نظر گرفته شده است.
۲. نقشه ضریب ذخیره آبخوان از درون یابی اطلاعات مربوط به ده نقطه آزمایش پمپاژ که با پراکنش مناسبی در گستره دشت انتخاب شده اند بدست آمده است.
۳. میزان نفوذ به آبخوان در ماه های گرم سال ناشی از دو عامل آبیاری مزارع کشاورزی و نزولات جوی در نظر گرفته شده است.
۴. میزان نفوذ به آب زیر زمینی در ماه های سرد سال که آبیاری صورت نمی پذیرد، تنها ناشی از نزولات جوی در نظر گرفته شده است.

۵. درصد نفوذ از آب ناشی از بارندگی و کشاورزی با واسنجی مدل بدست آمده و با استانداردهای ارائه شده از سوی سازمان^۱ FAO مقایسه گردیده است.
۶. تبخیر و تعرق محاسبه شده توسط الگوریتم SEBAL برابر با مصرف خالص آب در بخش کشاورزی در نظر گرفته شده است (چه از طریق آبیاری و چه از طریق بارش های جوی).
۷. جانمایی و اطلاعات مربوط به مدلسازی رودخانه ها باتوجه به نقشه های آب منطقه ای و اشل رودخانه در ایستگاه های هیدرومتری صورت پذیرفته است.
۸. با توجه به بالا بودن سطح آب زیر زمینی در دشت، شبکه زهکشی زرينه رود با چند زهکش اصلی و با توجه به تصاویر ماهواره ای مدلسازی شده است.
۹. از نفوذ ناشی از مصارف شرب و صنعت به دلیل ناچیز بودن مقدار آن نسبت به مصرف کشاورزی صرف نظر شده است.

۳-۴- نرم افزارهای اصلی مورد استفاده

مدلسازی آب زیر زمینی در این تحقیق با استفاده از کد عددی مادفلو صورت پذیرفته است. رابط گرافیکی مورد استفاده در اجرای این کد نرم افزار 7.1 GMS می باشد که ضمن سهولت مراحل مدل سازی، قابلیت های فراوانی در ساخت و ورود داده از پایگاه های مختلف اطلاعاتی و با فرمت های گوناگون را دارد. لایه های اطلاعات مورد استفاده در این نرم افزار با بهره گیری از مجموعه نرم افزار های Arc GIS نسخه ۱۰،۲ مرجع دهی مکانی شده اند، همچنین از این نرم افزار به منظور تولید و درونبایی لایه های اطلاعاتی مورد نیاز نیز استفاده شده است. پردازش تصاویر ماهواره ای با استفاده از نرم افزار 3,3 ILWIS انجام گردیده و تصحیح هندسی و عملیات ریجستر کردن این تصاویر در محیط نرم افزار ENVI 5.0 صورت پذیرفته است. عملیات واسنجی مدل اصلی در حالت یکنواخت و غیر یکنواخت به ترتیب با استفاده از نرم افزار های PEST و Parallel PEST که موجب کاهش زمان واسنجی گردیده، انجام شده است.

۴-۴- مبانی نظری

۴-۴-۱- معادله جریان در محیط های متخلخل

جریان آب در محیط های اشباع با استفاده از رابطه دارسی (معادله ۴-۱) نشان داده می شود.

$$q = -K \times h \times \frac{dh}{dx} \quad (4-1)$$

که در معادله بالا:

q : شدت جریان در واحد عرض ($\frac{m^2}{day}$)

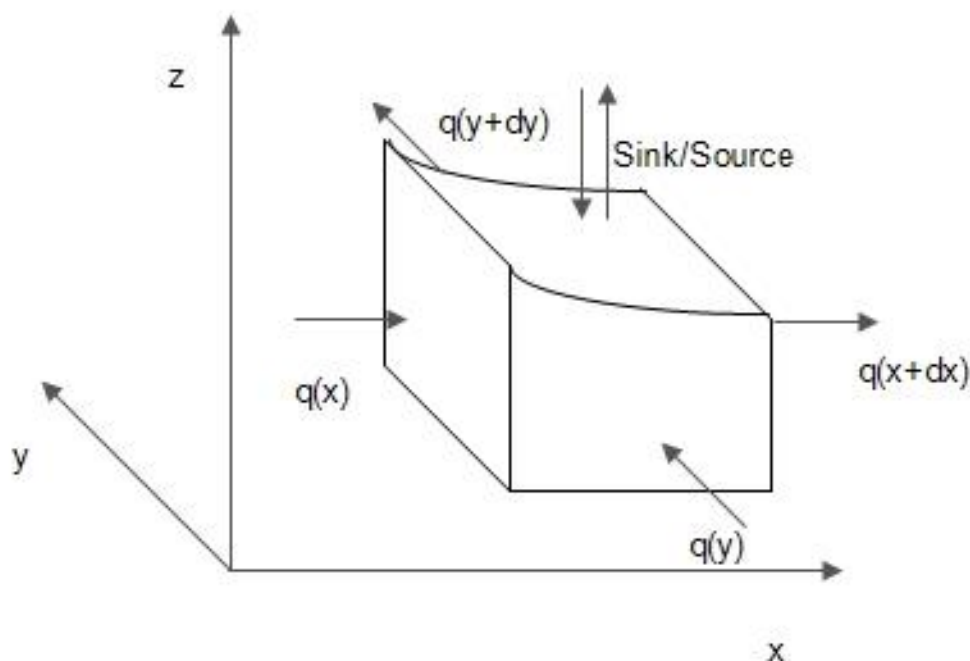
K : ضریب هدایت هیدرولیکی ($\frac{m}{day}$)

h : ارتفاع لایه اشباع (m)

$\frac{dh}{dx}$: گرادیان جریان در جهت محور x ها می باشند.

با استفاده از رابطه فوق و در نظر گرفتن رابطه بقای جرم (شکل ۴-۱) در یک حجم کنترل مشخص، رابطه

بالا به صورت معادله (۴-۲) نوشته می شود.



شکل ۴-۱ حجم کنترل در نظر گرفته شده برای نوشتن معادله بقای جرم در آبخوان آزاد

$$q_{in} - q_{out} = \Delta S \quad (۲-۴)$$

که در معادله بالا:

q_{in} : دبی ورودی به حجم کنترل $(\frac{L^3}{T})$

q_{out} : دبی خروجی از حجم کنترل $(\frac{L^3}{T})$

ΔS : تغییرات ذخیره آب در داخل حجم کنترل می باشند. (L^3)

با توجه به آزاد بودن آبخوان و ثابت در نظر گرفتن سطح سلول مد نظر میزان تغییرات ذخیره آب در داخل حجم کنترل برابر است با میزان تغییرات سطح آب در داخل سلول ضرب در ضریب ذخیره آبخوان که در معادله (۳-۴) نشان داده شده است.

$$\Delta S = S \times \Delta x \times \Delta y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۳-۴)$$

که در معادله بالا:

ΔS : تغییرات ذخیره آب در داخل حجم کنترل (L^3)

S : ضریب ذخیره (L^3)

$\partial h / \partial t$: تغییرات سطح آب نسبت به زمان $(\frac{L}{T})$ می باشند.

با نوشتن بسط تیلور دبی خروجی در سمت چپ معادله (۲-۴) مقدار آن به صورت معادله (۴-۴) نشان

داده می شود:

$$q_{(x+\Delta x)} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} \Delta x \quad (۴-۴)$$

که با جایگذاری معادله (۱-۴) در معادله (۴-۴) به صورت معادله (۵-۴) در خواهد آمد.

$$q_{(x+\Delta x)} - q_x = \frac{\partial (h \times \Delta y \left(-K_x \frac{\partial h}{\partial x} \right))}{\partial x} \Delta x \quad (۵-۴)$$

اگر همین مراحل را در جهت محور y ها انجام دهیم به معادله (۶-۴) خواهیم رسید.

$$q_{(y+\Delta y)} - q_y = \frac{1}{2} K_y \frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} \Delta x \times \Delta y \quad (۶-۴)$$

بعد از جایگذاری هردو رابطه ی (۵-۴) و (۶-۴) در معادله بقای جرم (معادله (۲-۴))، معادله (۷-۴) حاصل می شود.

$$K_x \frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} \pm 2(Sink|Source) = 2 \times S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۷-۴)$$

با فرض برابر بودن هدایت هیدرولیکی در جهت طولی و عرضی و همچنین با توجه به این مطلب که آبدهی ویژه در (Sy) با ضریب ذخیره S در آبخوان آزاد تقریباً معادل یکدیگر می باشند، می توان معادله (۷-۴) را به صورت معادله (۸-۴) بازسازی نمود.

$$K \left(\frac{\partial^2 h^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^2}{\partial y^2} \right) \pm (Sink|Source) = S \frac{\partial h}{\partial t} \quad (۸-۴)$$

حل معادله (۸-۴) که فرم کلی معادله جریان آب در آبخوان های آزاد (که در آن از جریان در جهت عمود بر سطح آب در آبخوان صرف نظر شده) می باشد، عمدتاً به صورت عددی امکان پذیر می باشد و سطح آب و نحوه ی انتقال جریان را در داخل آبخوان را نمایش می دهد.

۵-۴- حل عددی معادله جریان آب زیر زمینی

برای مدلسازی جریان آب زیرزمینی نیازمند حل معادلات دیفرانسیل حاکم بر آن می باشیم، که حل این معادلات به جز با در نظر گرفتن شرایط مرزی بسیار ساده به روش تحلیلی غیر ممکن، و یا بسیار پیچیده و دشوار خواهد بود؛ اما روش های عددی به عنوان یک جایگزین مناسب برای روش های تحلیلی می توانند این معادلات

را با اعمال شرایط پیچیده‌ی طبیعی بر آن‌ها حل نمایند. روش‌های عددی به دو نوع کلی عناصر محدود^۱ و تفاضلات محدود^۲ تقسیم می‌شوند. بدلیل مزایای روش تفاضلات محدود، این روش به‌عنوان روش غالب برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل آب‌های زیرزمینی به کار می‌روند که معمولاً از روش تفاضلات محدود برای حل آن‌ها استفاده می‌گردد. [۱۱].

روش تفاضلات محدود را اولین بار ریچاردسون^۳ در سال ۱۹۳۰ برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیلی معرفی نمود، بعداً آقایان شوول و شو^۴ از آن برای حل جریان‌های آب‌های زیرزمینی در حالت ماندگار استفاده کردند، همچنین برای بررسی جریان آب‌های زیرزمینی در حالت ناماندگار از تشابه جریان آب در محیط متخلخل با جریان حرارت در محیط هادی استفاده شد و بتدریج با توسعه کامپیوتر، روش تفاضلات محدود در رژیم نامتعادل نیز بکار رفت. در حال حاضر در اکثر نرم افزارهای تهیه شده جهت مدل سازی آب‌های زیرزمینی، معادلات حاکم بر آب‌های زیرزمینی بر اساس روش تفاضلات محدود حل می‌شوند. [۴۰] مزایای روش تفاضل محدود عبارت اند از:

۱. با پیشرفت تکنولوژی، برنامه‌های کامپیوتری مناسب و تجهیزات لازم جهت بکار بردن این روش در دسترس می‌باشد.

۲. به علت انعطاف بالا در حل معادلات، انواع و اقسام مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی را می‌توان با استفاده از این روش حل کرد. این روش قادر است معادلات غیرخطی را نیز حل نماید.

۳. بکار بردن این روش ساده هست و به راحتی می‌توان تغییرات موردنیاز را در هر زمان به مدل وارد نمود.

۴. نتایج بدست آمده از این روش‌ها دقت قابل قبولی دارند.

۵. اکثر کدهایی که در مدلسازی انتقال جریان بکار می‌روند، با استفاده از این روش توسعه داده شده اند.

^۱ Finite element

^۲ Finite difference

^۳ Recharadson

^۴ Showell and Shaw

۴-۵-۱- انتخاب مدل

در میان مدل های مختلف شبیه ساز جریان آب زیر زمینی، مدلی که بیشترین کاربرد را در زمینه بررسی تغییرات کمی آب زیرزمینی در کشورهای مختلف اعم از مراکز اجرایی، تحقیقاتی دانشگاهی و مهندسین مشاور را دارد، کد مادفلو می باشد. این کد که از روش حل تفاضلات محدود در حل معادلات مربوط به جریان آب زیرزمینی بهره می برد، اولین بار توسط مک دونالد^۱ و هارباو^۲ (۱۹۸۳) در سازمان زمین شناسی آمریکا^۳ تهیه و از آن زمان تا کنون نسخه های فراوانی از آن منتشر شده است. این کد نرم افزاری که نتیجه سال ها تحقیق در سازمان زمین-شناسی امریکا هست، با توجه به قابلیت های بالا و داشتن پکیج های مختلف که قابلیت شبیه سازی اجزاء مختلف تأثیر گذار بر سیستم آبی را دارند یک مدل کامل در مدلسازی عددی یک سیستم اشباع و تشکیلات آبرفتی می باشد. [۲۲، ۷]

مادفلو داری ساختاری است که در آن برنامه های مشابه با هم جمع شده اند و هر کدام از بخش های محاسباتی و هیدرولوژیکی به گونه ای ایجاد شده اند که مستقل از یکدیگر عمل می کنند و به دلیل وجود این ساختار، بخش ها و گزینه های جدیدی را می توان به مدل افزود بدون آنکه نیاز به تغییر در بخش های موجود باشد. توانایی بالای کد مادفلو در مدلسازی فرآیندهای هیدرولوژیکی باعث شده تا از آن برای شبیه سازی اثرات ناشی از پمپاژ یا توسعه بهره برداری از زمین بر نرخ تخلیه از آب زیرزمینی بر جریان سطحی استفاده شود. مطابق با جدول نشان داده شده در شکل ۴-۲ که از گزارش راهنمای مدلسازی آب زیر زمینی جهت بررسی اثرات طرح های توسعه ای استخراج شده است [۲۴]، مدل مادفلو تنها مدل رایگان با قابلیت شبیه سازی مناسب ارتباط جریان های سطحی با آبخوان می باشد. [۴، ۲۳]

در این تحقیق نیز به منظور بررسی نحوه تعامل آب زیرزمینی و آب سطحی و در تلاش برای پیدا کردن راه کار مدیریتی مناسب در جهت افزایش میزان آبدهی رودخانه های اصلی منتهی به دریاچه ارومیه (زرینه رود و سیمینه رود)، از کد مادفلو که از تطابق بالایی با سامانه هیدرولوژیکی آبخوان برخوردار است به عنوان ابزار مدلسازی استفاده خواهد شد. همچنین با توجه به آزاد بودن آبخوان مورد نظر و بررسی کمی منابع آب، محیط به صورت همگن در نظر گرفته می شود و مدلسازی به صورت یک تک لایه صورت خواهد گرفت.

^۱ McDonald

^۲ Harbaugh

^۳ USGS

شکل ۲-۴ جدول مقایسه خصوصیات مدل های عددی رایج در شبیه سازی آب زیر زمینی [۲۴]

	MODFLOW	MODFLOW-SURFACT	MT3D(MS)	SEEP/W & VADOSE/W	FEFLOW	HYDRUS 2D/3D	FEMWATER	SUTRA
Model Type	Saturated 3D Flow	Saturated/Variably Saturated 3D flow and Solute Transport	3D Solute Transport	2D Variably Saturated Flow	Saturated/Variably Saturated 3D flow and Solute Transport	2D/3D Variably Saturated Flow	Saturated/Unsaturated 3D flow and Solute Transport	Saturated 3D flow and Solute Transport; 2D Variably Saturated Flow
Developer, Support	USGS, most developers	HydroGeologic Inc. (based on USGS Modflow)	US EPA, Papadopoulos & Associates Inc., Hydrology Group at University of Alabama	GeoSlope Int'l	DHI-WASY GmbH	US Salinity Laboratory	US Army Corps of Engineers / US EPA	USGS
Supplier	USGS	HydroGeologic Inc.	University of Alabama	GeoSlope Int'l	DHI-WASY GmbH	PC-Progress	US EPA	USGS
Cost*	Free	\$2,500 to \$6,000	Free to \$700	\$4,000 to \$5,000	\$4,000 to \$8,000	\$2,000 to \$4,000 (3D)	Free	Free
Solution Method	FD	FD	FD	FE	FE	FE	FE	FE
Stream-Aquifer Interaction	Excellent	Excellent	MT3D uses MODFLOW for flow solution	No	Excellent	Reasonable	Reasonable	Reasonable
Unsaturated Capability	No	Yes (handles multiple perched water tables)	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Density Coupled	Yes (SEAWAT version)	Yes (SEAWAT version)	Yes (SEAWAT version)	No	Yes	No	Yes	Yes
GUI (refer separate table)	VM, GMS, GWV, PMWin	GV (Compatible with PMWin, VW, GMS)	VM, GMS, GV, PMWin	Self-contained	Self-contained	Self-contained	Can use GMS	Self-contained
Case Studies (Verification)	Yes	Yes?	Yes	Yes	Yes	Yes	No	Yes

۴-۵-۲- مدل مادفلو

هدف از توسعه کد مادفلو ایجاد برنامه ای با قابلیت درک آسان، استفاده راحت و قابلیت توسعه و بهبود برای مدلسازی فرایندهای آب زیر زمینی بیان شده است. آخرین نسخه از این کد که از نظر طراحی مشابه نسخه قبلی یعنی MODFLOW 2000 است، نسخه MODFLOW 2005 می باشد. این مدل با استفاده از زبان برنامه نویسی فورترن توسعه داده شده و در برنامه نویسی آن سعی شده تا حد امکان از ویژگی های غیر استاندارد که اجرای مدل را با مشکل مواجه می کند اجتناب گردد.

مدل مادفلو می تواند یک آبخوان را به صورت دو بعدی و یا سه بعدی شبیه سازی کند و این قابلیت را دارد که اطلاعات مربوط به مدلسازی که در محیط خارج از آن جمع آوری شده به عنوان داده ورودی به برنامه وارد گردد. فرمت داده های ورودی به صورت ماتریکس داده بوده و همچنین نتایج مدلسازی نیز به فرمت های گوناگونی قابل ارائه می باشد. برای استفاده آسانتر از مدل و همچنین ورود لایه های اطلاعاتی به فرمت های مختلف، نرم افزار های گوناگونی طراحی شده اند. این نرم افزارها به عنوان یک رابط گرافیکی^۱ بین کاربر و کد مادفلو وظیفه نمایش ساختار مدل، لایه های مختلف اطلاعاتی و نتایج مدلسازی را به صورت گرافیکی دارند. همچنین با ترجمه ی انواع لایه های اطلاعاتی به صورت داده های ورودی، مادفلو قابلیت کاربر را در مدلسازی و درک اجزای مدل افزایش می دهد [۲۲].

۴-۵-۳- ساختار مادفلو

طراحی کد مادفلو به صورت یک سری از فرایندهای مستقل از هم می باشد که نحوه ی عملکرد هریک از این فرایندها باعث ایجاد اختلال در سایر فرایندها نمی گردد و همچنین افزودن، حذف و یا اصلاح یکی از آن ها بدون نیاز به ایجاد تغییر در سایر فرایندها ممکن خواهد بود. هریک از این فرایندها خود شامل بسته های مختلفی می باشند که هریک به منظور خاصی تعبیه شده اند، لذا وجود همه ی آن ها به صورت یکجا باعث حجیم شدن نرم افزار می شود. با توجه به این مطلب نسخه های مختلف مادفلو دارای بخش های یکسانی نیستند و ترکیب های مختلفی از آن ها را شامل می شوند، اما همگی فرایند شبیه ساز جریان آب زیرزمینی^۲ را در بر می گیرند.

^۱ GUI

^۲ GWF

فرایند شبیه ساز جریان آب زیر زمینی، شامل رویه های مشخصی^۱ می شود که در شکل ۳-۴ نمایش داده شده اند. این رویه ها در دوره های معینی^۲ انجام می پذیرد که طی آن فرض می شود اثر منابع خارجی مانند رودخانه، چاه و تغذیه ثابت می باشد. به عنوان نمونه می توان هریک از ماه های سال را به عنوان یک دوره زمانی برای مدل تعریف نمود که طی آن نرخ تغذیه و تخلیه از آبخوان ثابت می باشد. برای حل معادله جریان هریک از این دوره های زمانی از حالت پیوسته خارج شده و به گام های زمانی^۳ ثابتی تقسیم می گردند. همانطور که در قسمت حل عددی معادله جریان توضیح داده شد، برای محاسبه ی مقدار هد انتها هریک از این گام های زمانی ابتدا مقداری به عنوان فرض اولیه برای هد در نظر گرفته می شود و با استفاده از فرایند تکرار مقدار آن اصلاح می گردد. بنابراین، برنامه شامل سه حلقه ی دوره های زمانی، گام های زمانی و تکرار در هریک از گام های زمانی می باشد.

در ابتدا مرحله حل معادله جریان قسمت اختصاص فضا و خواندن داده ها (Allocate and Read) قرار دارد که طی آن داده هایی که در طول دوره های زمانی تغییر نمی کنند، مانند شرایط مرزی، ابعاد سلول ها، شرایط هیدرولیکی لایه آبدار و داده های کنترلی به مدل معرفی می شوند. در بخش خواندن داده و آماده سازی آن ها (Read and Prepare) داده هایی که در طول یک بازه زمانی ثابت هستند مانند نرخ پمپاژ و یا تغذیه آب زیر زمینی از حافظه ثانویه^۴ خوانده شده و وارد حافظه اصلی^۵ یا حافظه دسترسی تصادفی^۶ می گردند. در بخش بعدی (Advance Time) طول مرحله زمانی محاسبه شده و هد ها برای شروع گام زمانی جدید تولید می شوند. در ادامه حل معادله جریان برای هر سلول و تخمین هد سلول در انتهای گام زمانی به روش تکرار پسرو در حلقه ی تکرار^۷ صورت می پذیرد. پس از کنترل جواب ها همین روند برای مابقی گام های زمانی و به همین صورت برای سایر پررود های زمانی تا رسیدن به جواب نهایی ادامه پیدا می کند [۲۲].

^۱ Procedure

^۲ Stress period

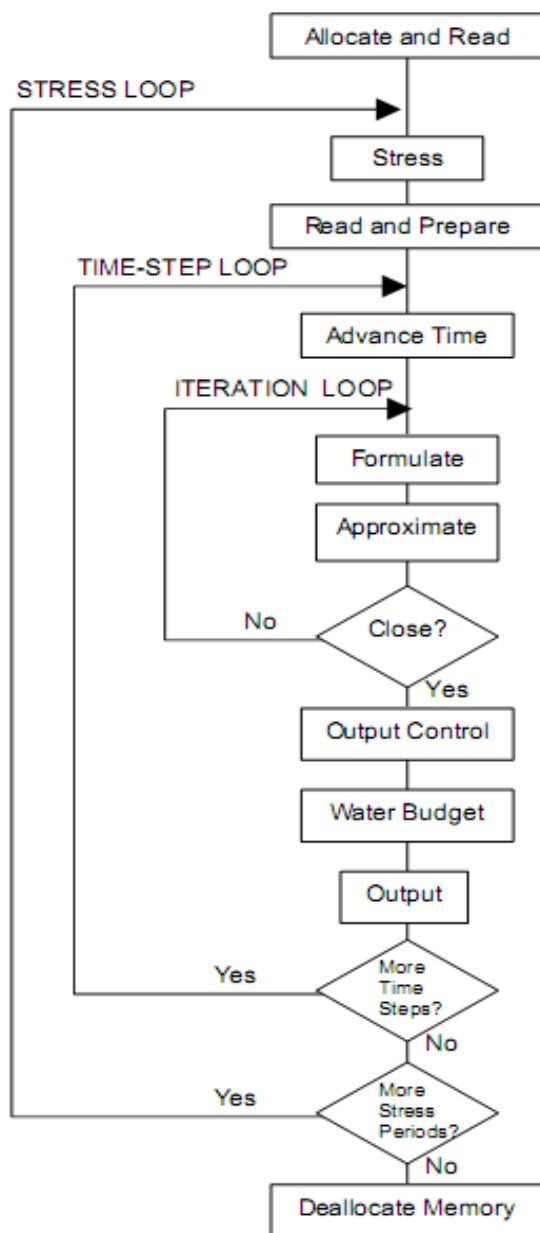
^۳ Time step

^۴ Secondary Memory

^۵ Main memory

^۶ RAM

^۷ Iteration Loop



شکل ۴-۳ فلوچارت نرم افزار مادفلو در بخش شبیه سازی فرایند جریان آب زیر زمینی

۴-۵-۴- بسته های شبیه سازی در مدل مادفلو

فرایند شبیه سازی جریان آب زیر زمینی شامل دو دسته کلی از بسته های هیدرولوژیکی می شود. دسته اول بسته شبیه ساز جریان داخلی است که جریان بین سلولی را شبیه سازی می کند و دسته دوم بسته های شبیه ساز منابع خارجی هستند که تاثیر منابع خارجی مانند رودخانه و چاه را به کد معرفی می کنند. مادفلو برای حل

معادلات جریان نیز بسته های متنوعی را ارائه می دهد که شامل متد های مختلف حل دستگاه معادلات می باشند. از نظر مفهومی مادفلو با استفاده از بسته های هیدرولوژیکی و بسته های حل معادله کامل می شود اما اجزای دیگری نیز برای کنترل برنامه نیاز است که بسته اطلاعات پایه نامیده^۱ می شوند. در ادامه در مورد هر یک از این بسته ها بیشتر توضیح داده خواهد شد (در جدول ۴-۱ لیست بسته های مورد استفاده در شبیه سازی جریان در مادفلو معرفی شده اند) [۲۲].

جدول ۴-۱ لیست بسته های مورد استفاده در شبیه سازی جریان در مادفلو

Package Name	Abbreviation	Package Category
Basic	BAS	Program Control
Block-Centered Flow	BCF	Hydrologic/Internal
Layer-Property Flow	LPF	Hydrologic/Internal
Horizontal Flow Barrier	HFB	Hydrologic/Internal
Well	WEL	Hydrologic/Stress
Recharge	RCH	Hydrologic/Stress
River	RIV	Hydrologic/Stress
General-Head Boundary	GHB	Hydrologic/Stress
Drain	DRN	Hydrologic/Stress
Evapotranspiration	EVT	Hydrologic/Stress
Strongly Implicit Procedure	SIP	Solver
Preconditioned Conjugate Gradient	PCG	Solver
Direct Solution	DE4	Solver

۴-۵-۵- داده های مورد نیاز در مدل مادفلو

شبیه سازی جریان در مدل مادفلو نیاز به ورود یک سری اطلاعات هیدرولوژیکی و زمین شناسی از منطقه دارد. اطلاعات هیدرولوژیکی شامل وضعیت منابع آب سطحی، نرخ بارش و تبخیر، سطح آب زیر زمینی و وضعیت ورود خروج آب به داخل آبخوان می باشد. همچنین اطلاعات زمین شناسی نیز عمدتاً خصوصیات

^۱ Basic package

هیدرودینامیکی آبخوان و مشخصات سازند آبخوان را در برمی گیرد. علاوه بر اطلاعات مورد بحث دسته ای دیگر از اطلاعات نیز وجود دارد که در فرایند مدلسازی تاثیر ندارند، اما به عنوان داده ی مشاهده ای می توان در ارزیابی نتایج مدل از آن ها استفاده نمود. این دسته که شامل داده هایی نظیر ارتفاع آب در پیزومتر ها و یا دبی پایه رودخانه ها می گردد می تواند در مرحله واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفته و با استفاده از آن ها، پارامتر هایی را که ورودشان در مدل همراه با عدم قطعیت بود را با دقت بیشتری برآورد نمود. در جدول ۴-۲ پارامتر های مورد استفاده در مدلسازی آب زیرزمینی با استفاده از مدل مادفلو همراه با مقدار در نظر گرفته شده برای آن ها در این تحقیق آورده شده است.

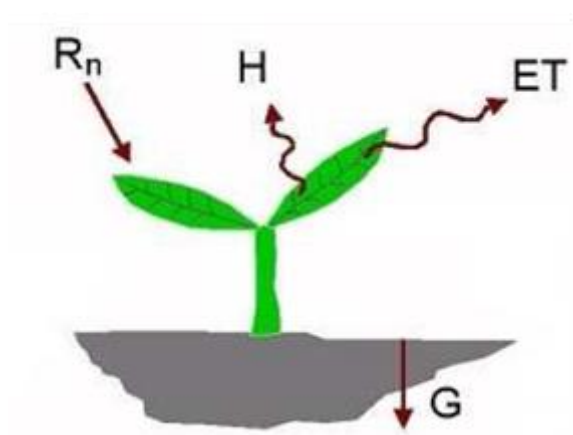
جدول ۴-۲ پارامتر های مورد استفاده در مدلسازی آب زیرزمینی با استفاده از مدل مادفلو

ردیف	پارامتر مورد نیاز	مقدار پارامتر
۱	محل قرار گیری و نوع مرزهای مدل	شکل ۵-۲۱ محل مرزها و نقشه زمین شناسی منطقه
۲	نقشه ارتفاع سنگ بستر	شکل ۳-۵ نقشه ارتفاع سنگ کف آبخوان میاندوآب
۳	نقشه ارتفاع سطح دشت	شکل ۳-۳ نقشه تغییرات ارتفاعی دشت میاندوآب
۵	نقشه قابلیت انتقال آب	شکل ۳-۷ نقشه قابلیت انتقال [۱]
۶	نقشه ضریب ذخیره	شکل ۳-۸ تغییرات ضریب ذخیره در سطح دشت
۷	نقشه تراز آب زیر زمینی	شکل ۳-۹ نقشه هد و گرادیان آب در منطقه
۸	بارندگی	شکل ۵-۳ محصول بارش ماهواره TRMM
۹	مصرف آب کشاورزی	شکل ۵-۴ تا شکل ۵-۱۷ مصرف آب خالص در بخش کشاورزی
۱۰	میزان برداشت از چاه ها	آمار اخذ شده از آب منطقه ای استان آذربایجان غربی
۱۱	موقعیت رودخانه ها و زهکش ها	شکل ۳-۱۲ موقعیت ایستگاه های هیدرومتری بر روی نقشه شکل ۵-۱ و شکل ۵-۲ اشل مقطع عرضی رودخانه
۱۲	نرخ تبخیر پتانسیل در سطح زمین	آمار اخذ شده از آب منطقه ای استان آذربایجان غربی
۱۳	تراز آب چاه های مشاهده ای	آمار اخذ شده از آب منطقه ای استان آذربایجان غربی

۴-۶- مفاهیم و روابط الگوریتم SEBAL

الگوریتم SEBAL با در نظر گرفتن تمامی انرژی های تابشی در معادله جذب شده و بازتاب شده از مجموع انرژی خورشیدی تابیده شده، باقی مانده ی لحظه ای معادله بیلان انرژی در هر پیکسل را به عنوان شار گرمایی

مورد نیاز برای تبخیر و تعرق (λET) محاسبه می نماید. انرژی رسیده به هر پیکسل ضمن گرم نمودن سطح زمین و هوای اطراف موجب تبخیر و تعرق از منابع آبی و پوشش های گیاهی می گردد، لذا با در نظر گرفتن شار گرمای مورد نیاز برای تبخیر تعرق در هر پیکسل بعنوان ترم مجهول معادله بیلان انرژی و با دانستن سایر ترم های این معادله میزان تبخیر از سطح تخمین زده می شود (شکل ۴-۴) [۲۰].



شکل ۴-۴ شماتیک بیلان انرژی در سطح زمین

$$\lambda ET = R_n - G - H \quad (۹-۴)$$

که در معادله بالا:

λET : شار گرمای نهان تبخیر تعرق

R_n شار تشعشع خالص در سطح زمین

G شار گرمایی زمین

و H جریان گرمای محسوس به سوی هوا بر حسب وات بر متر مربع می باشند.

۴-۶-۱- شار تشعشع خالص در سطح زمین (R_n)

در معادله ی بیلان انرژی تنها منبع ورود انرژی به سیستم، میزان شار گرمایی حاصل از تابش خالص خورشید بر سطح زمین می باشد. محاسبه شار تشعشع خالص در سطح زمین با کسر کردن میزان انرژی موجود در بازتابش

طول موج های بلند و کوتاه دریافتی از کل میزان انرژی حاصل از تابش این امواج مطابق با معادله (۴-۱۰) صورت می پذیرد. در حالی که میزان تابش ورودی مستقل از خصوصیات سطح می باشد، میزان بازتابش خارج شده از محیط کاملاً تحت تاثیر خاصیت بازتابندگی سطح مورد نظر که با شاخصی به نام آلبدوی^۱ سطح معرفی می شود قرار دارد. میزان انرژی گسیل یافته از سطح جسم نیز با توجه به میزان شباهت ماده به جسم سیاه^۲ ایده ال که براساس تعریف در یک دمای مشخص بیشترین انرژی تابشی را از خود منعکس می کند محاسبه می شود. براین اساس نسبت انرژی گسیل داد شده از جسم مورد نظر به میزان انرژی گسیل یافته از جسم سیاه در یک دمای یکسان با شاخص گسیلندگی^۳ جسم معرفی می شود [۴].

$$R_n = (1 - \alpha)R_s \downarrow + R_l \downarrow - R_l \uparrow - (1 - \varepsilon)R_l \downarrow \quad (۴-۱۰)$$

که در معادله بالا:

$R_s \downarrow$: تابش ورودی طول موج کوتاه ($\frac{w}{m^2}$)

$R_l \downarrow$: تابش ورودی طول موج بلند ($\frac{w}{m^2}$)

و $R_l \uparrow$: تابش خروجی طول موج بلند ($\frac{w}{m^2}$) می باشند.

همچنین α آلبدو و ε گسیلندگی سطح بر حسب درصد (%) هستند.

۴-۶-۲- شار گرمایی زمین (G)

شار انرژی گرمایی (G) زمین که موجب افزایش دمای سطح زمین می گردد، مقدار آن با استفاده از معادله (۴-۱۲) که به صورت تجربی توسط Bastiaanssen معرفی گردیده است محاسبه می گردد [۲۰]. میزان گرم شدن سطح خاک بستگی به میزان پوشش گیاهی در محل وصول انرژی تابشی به سطح زمین دارد و هرچه پوشش گیاهی متراکم تری در پیکسل مورد نظر وجود داشته باشد، میزان تابش کمتری فرصت عبور از پوشش گیاهی و برخورد به سطح زمین را پیدا می کند.

^۱ Albedo

^۲ Blak body

^۳ Emssivity

شاخص NDVI معیاری جهت تعیین مقدار و تراکم پوشش گیاهی در سطح زمین می باشد. گیاهان که میزان انرژی مصرف شده در فرایند فوتوسنتز را از طریق جذب انرژی موجود در طول موج های مرئی تامین می کنند، عمده ی امواج تابیده شده در محدوده ی مادون قرمز نزدیک را بازتاب می نمایند. معادله (۴-۱۱) که در واقع تقاضل نرمال شده ی طول موج مادون قرمز نزدیک از طول موج مرئی می باشد، معرف شاخص NDVI می باشد و میزان و تراکم پوشش گیاهی در هر منطقه را بخوبی نمایان می سازد.

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (۴-۱۱)$$

که در معادله بالا:

NDVI: شاخص پوشش گیاهی نرمال شده

NIR: شدت بازتابش ثبت شده توسط سنجنده در محدوده ی طول موج مادون قرمز نزدیک

و VIS: میزان تابش جذب شده توسط سنجنده در محدوده ی طیف مرئی می باشند.

شار گرمایی زمین در واقع نرخ ذخیره حرارت در خاک و گیاه در اثر انتقال است و مقدار آن به صورت درصدی از کل تابش خالص خورشیدی رسیده به سطح زمین بیان می شود [۴۷].

$$G = R_n \left(\frac{T_s}{\alpha(0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4)} \right) \quad (۴-۱۲)$$

که در معادله بالا:

R_n : تابش خالص خورشید ($\frac{W}{m^2}$)

T_s : دمای سطح برحسب ($^{\circ}C$)

α : آلبدوی سطح

و NDVI شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده می باشند.

۴-۶-۳- شار حرارتی محسوس (H)

شار حرارتی محسوس نرخ هدر رفت انرژی گرمایی در هوا به واسطه فرایند همرفت و انتقال می باشد که با توجه به دمای هوا مقدار آن متفاوت می باشد. شار حرارتی مخصوص علاوه بر دمای هوا تابعی از گرادیان دما،

زبری سطح و سرعت باد می باشد. مقدار شار حرارتی محسوس با استفاده از معادله (۴-۱۳) که توسط Bastiaanssen معرفی گردیده است محاسبه می گردد [۲۰، ۳۴].

$$H = \rho \times C_p \times \frac{dT}{r_{ah}} \quad (۴-۱۳)$$

در معادله بالا:

ρ : چگالی هوا ($\frac{Kg}{m^3}$)

C_p : گرمای ویژه هوا ($\cong 1004 \frac{J}{Kg \times K^\circ}$) ،

$dT[K]$: تغییرات دما در نزدیک سطح زمین

و r_{ah} : مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال حرارت ($\frac{day}{m}$) می باشند.

مقاومت آیرودینامیکی در برابر انتقال حرارت (r_{ah}) مطابق با معادله (۴-۱۴) محاسبه می شود

$$r_{ah} = \frac{\ln(\frac{Z_2}{Z_1})}{u_* \times k} \quad (۴-۱۴)$$

که در معادله بالا:

Z_1 : ارتفاعی از دشت بر حسب متر، که بواسطه پوشش گیاهی سرعت باد در آن صفر است ($\cong 0,1$).

Z_2 : ($\cong 2$).

k : ثابت بدون بعد فون کارمن ($\cong 0,41$)

u_* : سرعت اصطحاکاکی برای شرایط خشی ($\frac{m}{sec}$) می باشند.

همچنین سرعت اصطحاکاکی (u_*) برای شرایط اتمسفری خشی با استفاده از داده‌های ایستگاهی از طریق

معادله (۴-۱۵) تهیه می شود.

$$u_* = \frac{ku_x}{\ln(\frac{Z_x}{Z_{0m}})} \quad (۴-۱۵)$$

که در معادله بالا:

u_x : سرعت باد اندازه گیری شده در ارتفاع z_x ($\frac{m}{sec}$)

k : ثابت بدون بعد فون کارمن ($0.41 \cong$)

z_{0m} : طول زبری مومنتم برای هر پیکسل بر حسب متر می باشند.

طول زبری مومنتم (z_{0m}) می تواند به صورت تجربی برابر با ۱,۲ ارتفاع پوشش گیاهی در نظر گرفته

شود [۳۴].

در مدل SEBAL یک رابطه خطی بین دمای سطح (T_s) و تغییرات دما در نزدیک سطح زمین برقرار

گردیده است (معادله (۱۶-۴))، که تعیین ضرایب آن از طریق در نظر گرفتن شرایط مرزی و واسنجی مدل

در محل پیکسل سرد و گرم انجام می شود.

$$dT = aT_s + b \quad (16-4)$$

تعیین ضرایب a و b نیازمند انتخاب دو پیکسل با شرایط حداکثری و حداقلی دما و رطوبت به نام پیکسل

های سرد و گرم دارد. پیکسل سرد از منطقه ای که آبیاری در آن بسیار مناسب و دمای سطح آن (T_s) برابر با

دمای هوا (T_a) می باشد و پیکسل گرم از منطق خشک و بدون پوشش گیاهی که فرض می شود تبخیر در آن

جا صفر می باشد انتخاب می گردند [۲۰].

۴-۶-۴- تبخیر و تعرق لحظه ای (ET_{inst})

پس از محاسبه اجزای مختلف بیلان انرژی (H, G, R_n) از ترم باقی مانده ی این معادله (λET) برای محاسبه

میزان تبخیر و تعرق لحظه ای استفاده می گردد؛ بصورتی که λET مقدار لحظه ای شار گرمای نهان تبخیر و

تعرق در زمان گذر ماهواره بر حسب وات بر متر مربع می باشد [۳۴].

مقدار تبخیر و تعرق لحظه ای نیز از رابطه (۱۷-۴) قابل محاسبه است:

$$ET_{inst} = 3600 \times \frac{\lambda ET}{\lambda} \quad (17-4)$$

که در معادله بالا:

ET_{inst} : تبخیر تعرق لحظه ای (mm/hr)،

3600: تبدیل زمان از ثانیه به ساعت

λ (J/kg) گرمای نهان تبخیر یا گرمای جذب شده، هنگامیکه یک کیلو گرم آب تبخیر می شود، می باشد

که از معادله (۱۸-۴) محاسبه می گردد:

$$\lambda = 2.5 - 0.0024Ta \quad (۱۸-۴)$$

که در معادله بالا:

Ta: لایه دمای هوای میانگین روزانه

و واحد λ نیز در این رابطه MJ/kg است.

۴-۵- تبخیر و تعرق روزانه (ET₂₄)

برای تبدیل تبخیر و تعرق لحظه ای به دست آمده از رابطه بالا از شاخصی به نام نسبت تبخیر و تعرق مرجع^۱ (ET_{rF}) استفاده می شود. ET_{rF} بعنوان نسبت تبخیر و تعرق لحظه ای (ET_{inst}) در هر پیکسل به تبخیر و تعرق مرجع (ET_r) که با استفاده از داده های هواشناسی بدست آمده تعریف و از معادله (۱۹-۴) بدست می آید [۳۴].

$$ET_{rF} = \frac{ET_{inst}}{ET_r} \quad (۱۹-۴)$$

که در معادله بالا:

ET_{inst}: تبخیر تعرق لحظه ای (mm/hr)

ET_r: تبخیر و تعرق مرجع در زمان تصویر (mm/hr)

و ET_{rF}: نام نسب تبخیر و تعرق مرجع می باشند.

جهت محاسبه تبخیر و تعرق روزانه فرض می گردد که ET_{rF} لحظه ای معادل میانگین ۲۴ ساعته این پارامتر

است. بنابراین تبخیر و تعرق روزانه (ET₂₄) طبق معادله (۲۰-۴) محاسبه شود:

$$ET_{24} = ET_{rF} \times ET_{r-24} \quad (۲۰-۴)$$

که در معادله بالا:

ET₂₄: مقدار تبخیر و تعرق روزانه (mm/day)

ET_{r-24}: مجموع مقادیر ET_r در روز تصویر (mm/day)

ET_{rF}: نسبت تبخیر و تعرق مرجع لحظه ای (معادل ای معادل میانگین ۲۴ ساعته) می باشند.

^۱ Reference evapotranspiration fraction

۴-۷- سنجنده های مورد استفاده

۴-۷-۱- سنجنده مودیس

سنجنده ی مودیس^۱ متعلق به سازمان فضایی آمریکا^۲ می باشد که به منظور اهداف تحقیقاتی و رصد تغییرات زیست محیطی به وقوع پیوسته بر روی کره ی زمین توسط دو ماهواره های ترا^۳ و اکوا^۴ در مدار زمین قرار گرفته است. این سنجنده دارای حساسیت رادیومتریکی بالا در ۳۶ باند طیفی می باشد و دامنه طیفی آن ۱,۴-۰,۴ میکرومتر می باشد که این دامنه طیفی می تواند نیازهای کاربران مختلف را برطرف سازد. قدرت تفکیک مکانی^۵ این سنجنده در دو باند طیفی ۲۵۰ متر در ۲۵۰ متر، چهار باند ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر و در مابقی باند ها ۱۰۰۰ متر در ۱۰۰۰ متر می باشد. زاویه اسکن این سنجنده $\pm 55^\circ$ درجه می باشد و در مدار ۷۰۵ کیلومتری از سطح زمین قرار دارد. پهنای نوارهای تصویربرداری این سنجنده ۲۳۳۰ کیلومتر می باشد و در نتیجه در هر یک یا دو روز، پوشش جهانی را فراهم می سازد.

هدف از ساخت سنجنده مودیس، فراهم کردن یک سری جامع از مشاهدات جهانی از سطح زمین، اقیانوس ها و جو در نواحی مختلف طیفی به گونه ای که بتوان تمام سطح کره زمین را در هر ۲ روز یک بار مشاهده نماید، می باشد. مجموعه داده هایی که سنجنده مودیس جمع آوری می کند مشابه با سنجنده های CZCS AVHRR که در علوم هواشناسی و زمین شناسی کاربرد دارند می باشد.

با پرتاب مودیس، داده های بهتر و کاملتری جهت نمایش تغییرات سریع ایجاد شده در سطح زمین بدست آمده است. با استفاده از داده های مودیس می توان نقشه های پوشش گیاهی بهتری از سطح زمین تهیه و با این نقشه ها می توان برآوردهای بهنگامی از توزیع انواع پوشش گیاهی در سطح زمین بدست آورد؛ همچنین داده های مودیس در تشخیص و تعیین پوشش گیاهی نیز کارآیی دارند. شدت تغییرات ایجاد شده در سطح زمین را نیز می توان با داده های این ماهواره تعیین کرد. برای مثال، با استفاده از این داده ها می توان وسعت و میزان خسارات ناشی از خشکسالی را تعیین نمود.

^۱ MODIS

^۲ NASA

^۳ Terra

^۴ Aqua

^۵ Spatial Resolution

مودیس به طور روزانه شرایط جوی و آب و هوایی از قبیل درجه حرارت و رطوبت را اندازه گیری می کند. داده های سنجنده مودیس در مدلسازی های کامپیوتری، فرایندهای بیوژئوشیمیایی و در تفسیر تغییرات ایجاد شده در سطح زمین مورد استفاده قرار می گیرند. تیم تحقیقاتی مودیس شاخص های مختلفی را از جمله شاخص های پوشش گیاهی، درجه حرارت سطح، آلودگی سطح، برف یخ و ... را توسعه دادند که با توجه به مرجع دهی جغرافیایی این محصولات، یک مزیت بزرگ برای استفاده از مودیس در کارها تحقیقاتی به شمار می آید. با توجه به قابلیت های بسیار زیاد این سنجنده و دقت مناسب آن، در این پروژه نیز از تصاویر و محصولات این سنجنده برای محاسبه تبخیر و تعرق واقعی استفاده شده است [۲۶].

۴-۷-۲- سنجنده و ماهواره TRMM

TRMM از ماهواره های تحقیقاتی است که با هدف افزایش درک بشر از الگوهای زمانی و مکانی بارش در مناطق تروپیکال و با همکاری کشور های ژاپن و امریکا در ۲۷ نوامبر سال ۱۹۹۷ به فضا پرتاب شد. الگوریتم 3B43 از محصولات این ماهواره است و به صورت ماهانه و با مقیاس ۰/۲۵ درجه قوسی تا ۵۰ درجه شمالی و جنوبی کره زمین را در فاصله سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۴ پوشش می دهد. الگوریتم 3B43 از ترکیب داده های بارش سه ساعته 3B-42^۱ با داده های زمینی بارش از پایگاه داده ای GPCP^۲ و یا CAMS^۳ ایجاد شده است. فرایند ترکیب به این صورت است که داده های سه ساعته 3B42 در مقیاس ماهانه با هم جمع می شوند و عدد حاصله در گام بعدی با اطلاعات زمینی GPCP و یا CAMS تصحیح می گردد. در تحقیق صورت گرفته در مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف محصول 3B43 در مقایسه با سایر محصولات مشابه از تطابق بیشتری با اطلاعات ایستگاه های زمینی در محدوده ی حوضه ارومیه برخوردار بود و در این پروژه نیز از این محصول برای تخمین میزان بارش در منطقه استفاده شده است [۱۶].

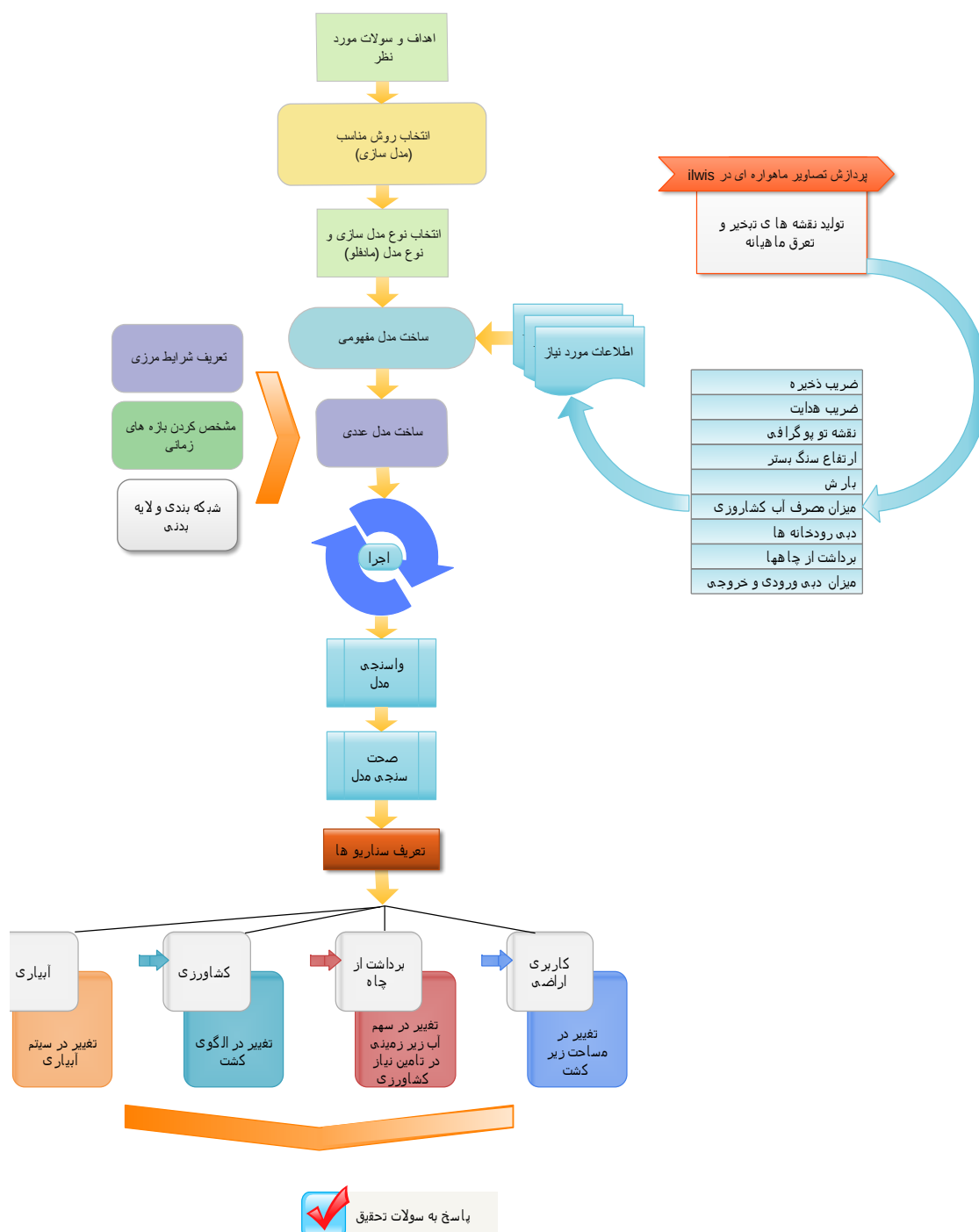
۴-۸- فلوچارت مدل سازی

در شکل ۴-۵، فلوچارت مدلسازی آب زیرزمینی در این تحقیق که با استفاده از مدل مادفلو صورت پذیرفته، نشان داده شده است.

^۱ 3-hourly merged high-quality/IR estimates

^۲ Global Precipitation Climatology Centre

^۳ Global Precipitation Climatology Centre



شکل ۴-۵ فلوجارت مدل ساز آب زیر زمینی با استفاده از مدل مادفلو

۵- نتایج مدل سازی

مدل هیدرولوژیکی آب زیرزمینی دشت میاندوآب می تواند از جمله ابزار های موثر و کارآمد در تصمیم گیری های مدیریتی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه باشد. بهره گیری از این مدل با توجه به درکی که از واکنش سیستم منابع آب زیر زمینی منطقه نسبت به تنش های آبی طبیعی و یا مصنوعی ایجاد می کند، به خوبی می تواند سرنوشت تدابیر و تصمیمات مدیریتی در این حوزه را تعیین نماید. استفاده از مدل آب زیر زمینی در بررسی عواقب تصمیمات اجرایی و یا برای پاسخگویی به سوالات احتمالی در مورد وضعیت منابع آب در صورتی می تواند منجر به فایده باشد که تمامی عوامل تاثیر گذار در تشکیل یک سیستم آب زیرزمینی به خوبی شناسایی و به مدل معرفی گردند. نظر به این مطلب، در مدلسازی آب زیر زمینی آبخوان میاندوآب سعی گردیده است تا با مقابله با چالش های اصلی این حوزه نظیر ضعف اطلاعات و پیچیدگی های فرایند انتقال آب در یک سیستم متخلخل، با بهره گیری از روش های جایگزین نظیر تکنیک سنجش از دور، به مدل قابلیت تشخیص صحیح وضعیت تعادل ثانویه یک سیستم آب زیر زمینی در صورت ایجاد تغییر در هریک از اجزای تشکیل دهنده ی آن داده شود.

در ادامه ضمن شرح کاملی از نحوه ی مدل سازی، مراحل انجام آن، داده های بکار گیری شده و فرضیات انجام گرفته؛ میزان کار آمدی و اطمینان پذیری مورد تحلیل و ارزیابی قرار خواهد گرفت، همچنین با معرفی پارامترهای اصلی مشارکت کننده در تکمیل بیلان آب زیرزمینی دشت میاندوآب، به نحوه ی تهیه و یا تولید آن ها اشاره خواهد شد. در انتها نیز نتایج حاصل از مدلسازی و تحلیل آن ها به همراه صحت سنجی و تحلیل حساسیت آن ها ارائه شده و با مقایسه آن ها در برابر مقادیر مشاهده شده، دقت مدل مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

۵-۱- بیلان آب دشت

بیلان آب زیرزمینی دشت میاندوآب با احتساب تمامی مبادی ورود و خروج آب به داخل حجم کنترل که در این جا بخش اصلی آبخوان میاندوآب در نظر گرفته شده، تکمیل شده است. بیلان آب مورد بحث در طی یک دوره یکساله تهیه شده که در آن تفاوت در میزان آب ورودی و خروجی برابر با میزان تغییرات ذخیره آب در داخل حجم کنترل طی دوره مذکور می باشد. عوامل اصلی مشارکت کننده در تشکیل بیلان آب

زیرزمینی به دو دسته ی کلی ترم های تغذیه کننده و ترم های تخلیه از آبخوان (مطابق با جدول ۵-۱) تقسیم می شوند که در ادامه به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته اند.

جدول ۵-۱ ترم های اصلی بیلان آب زیر زمینی دشت میاندوآب

تخلیه از آبخوان	تغذیه آبخوان
آب خروجی از مرز های مدل	آب ورودی از طریق مرزها
تبخیر از آب زیر زمینی	نفوذ از طریق بارندگی
برداشت از چاه های کشاورزی، شرب و صنعت	نفوذ از طریق آب برگشتی کشاورزی
زهکشی رود خانه و شبکه زهکشی	تغذیه از بستر رودخانه ها
	رها سازی در شبکه آبیاری زرينه رود

۵-۱-۱-۵ ورودی و خروجی مدل

مطابق با اندازه گیری های ثبت شده در چاه های مشاهده ای، گرایان کلی آب در دشت میاندوآب از جنوب دشت به سمت شمال آن (به سمت دریاچه ارومیه) می باشد و مرزهای ورودی به دشت در قسمت شمالی دشت و مرزهای خروجی نیز در انتهای دشت واقع شده اند. تمامی مرزهای مدل به صورت مرز با هد ثابت و با استفاده از داده های چاه های مشاهده ای تعیین گردیده اند. مدل مادفلو با توجه به گرادیان جریان و ضریب انتقال در محل های تعریف شده به عنوان مرز هیدرولیکی با هد ثابت، میزان دبی ورودی یا خروجی از طریق این مرزها را مشخص می نماید. مطابق با گزارش کارشناسان آب منطقه ای ([۶]) میزان جریان ورودی به آبخوان میاندوآب در حدود ۲۰ میلیون مترمکعب و حجم آب خروجی از آبخوان برابر با ۲ میلیون متر مکعب در سال می باشد که البته این اعداد با توجه به تغییر صورت گرفته در تعریف مرز های مدل نسبت به کل محدوده ی آبخوان با اعداد محاسبه شده توسط مدل که در قسمت نتایج ارائه شده است کمی متفاوت می باشد.

۵-۱-۲-۵ چاه ها

مجموع تعداد چاه های بهره برداری تعریف شده در مدل برابر با ۹۴۵۱ حلقه چاه می باشد که میزان برداشت از آنها با توجه به آمارگیری صورت گرفته در اواخر دهه هشتاد مشخص شده است. میزان کل برداشت از چاه

های مستقر بر روی آبخوان در حدود ۱۸۰ میلیون مترمکعب می باشد که غالب برداشت ها از این چاه ها در شش ماهه ی دوم سال آبی انجام می پذیرد. به منظور تعیین میزان برداشت از چاه های کشاورزی در هریک از دوره های زمانی^۱ تعریف شده در مدل غیر یکنواخت، از توزیع زمانی ارائه شده در گزارش بهنگام سازی طرح جامع آب کشور ([۲]) که با توجه به نیاز آبی محصولات کشاورزی تهیه شده است استفاده گردید. برای اطمینان از صحت ارقام ذکر شده در این گزارش، مقادیر آن با عدد ارائه شده برای میزان برداشت در هر فصل که در آمار برداری آب منطقه ای استان آذربایجان غربی گزارش شده، مقایسه گردید. به عنوان نمونه در آمار ارائه شده از سوی آب منطقه ای میزان برداشت از چاه های بهره برداری در فصل زمستان، در مجموع در حدود ۳ درصد از کل برداشت چاه ها می باشد (مقدار زیادی از این برداشت نیز مربوط به چاه های شرب و صنعت می باشد) که با فرض در نظر گرفته شده در تولید توزیع زمانی برداشت چاه های کشاورزی که میزان برداشت در این فصل را برابر با صفر در نظر می گیرد تطابق بالایی دارد. لازم به ذکر است که با توجه به عدم وابستگی برداشت چاه های شرب و صنعت به تغییرات فصلی میزان برداشت از این چاه ها در طول سال ثابت در نظر گرفته شد.

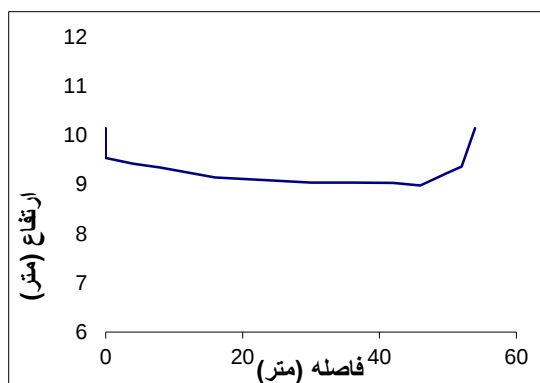
۵-۱-۳- رودخانه ها

نحوه ی تعریف رودخانه ها در مدل آبخوان میاندوآب به دو دلیل دارای اهمیت بالایی می باشد: دلیل اول بالا بودن سهم میزان تغذیه و زهکشی آب زیرزمینی توسط رودخانه های عبوری از دشت که در بیلان کلی آبخوان نقشه مهمی را ایفا می کند و دلیل دوم نیاز به تعیین محل های مناسب برای برداشت از آب زیرزمینی به طوری که کمترین تاثیر را بر میزان آبدهی رودخانه ها داشته و موجب افزایش میزان آبرسانی به دریاچه گردد. با توجه به این مطلب جهت شبیه سازی دقیق اثر رودخانه ها در مدل، اطلاعات مربوط به مکان رودخانه، سطح آب، شکل بستر و روابط دبی اشل رودخانه ها در محل ایستگاه های هیدرومتری واقع در دشت از سازمان آب منطقه ای اخذ گردید (شکل ۵-۱ و شکل ۵-۲). البته به دلیل عدم ثبت تراز مرجع در اندازه گیری های صورت گرفته و همچنین کم بودن تعداد ایستگاه های هیدرومتری که این اندازه گیری در آن ها انجام شده ، از دقت در مدلسازی محل قرار گیری دقیق رودخانه ها کاسته شده است.

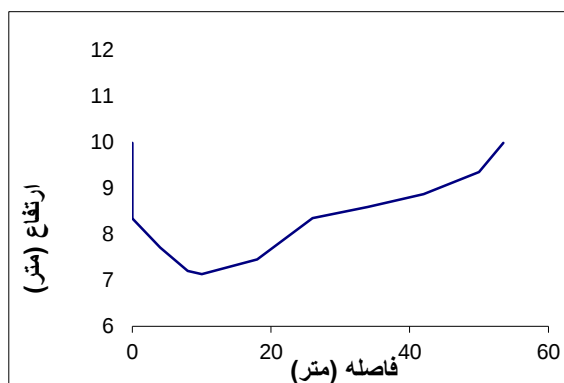
تعیین میزان ضریب هدایت کف رودخانه ها نیز یکی دیگر از چالش های مدل کردن رودخانه ها می باشد که همواره نحوه ی تشخیص آن در طی فرایند مدل سازی، با دشواری همراه است. در منابع مختلف روش های مختلفی از جمله اندازه گیری های مستقیم میدانی در چند نقطه از بستر رودخانه (که نیازمند تجهیزات خاصی می باشد) و یا تخمین آن بر اساس ضریب هدایت هیدرولیکی دشت در محل بستر رودخانه، معرفی شده است. بررسی کامل این روش ها منجر به آن شد تا در مدل آب زیرزمینی دشت میاندوآب مسیل رودخانه به سه قسمت ورودی به دشت، میانی و پایاب تقسیم شده و برای هر یک از آن ها میزان حداقل و حداکثر ضریب هدایت کف رودخانه با توجه به مقادیر مطرح شده برای رودخانه های مشابه، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی دشت و نیز محل قرار گیری مسیل رودخانه ها، تعیین بشود. از محدوده مشخص شده به این روش در مرحله کالیبراسیون برای تعیین مقدار ضریب هدایت کف رودخانه به صورت دقیق تر استفاده شده است. محدوده تغییرات این پارامتر برای هر محدوده در

محل	آبی چای		سیمینه رود		زیرینه رود	
	حد اکثر	حد اقل	حد اکثر	حد اقل	حد اکثر	حد اقل
ورودی رود به دشت	۱۰	۱	۲۵	۲	۵۰	۳
حداقل ورود و خروج از دشت	۷٫۵	۰٫۵	۲۰	۱	۳۰	۱
محل خروج رود از دشت	۵	۰٫۲	۵	۰٫۲	۱۰	۰٫۵

جدول ۲-۵ آمده است.



شکل ۲-۵ مقطع عرضی سیل حداکثر رودخانه زیرینه رود در ایستگاه نظام آباد



شکل ۱-۵ مقطع عرضی سیل حداکثر رودخانه سیمینه رود در ایستگاه داشبند

جدول ۲-۵ محدوده ی در نظر گرفته شده برای تعیین ضریب هدایت کف رودخانه ها (برحسب متر در روز)

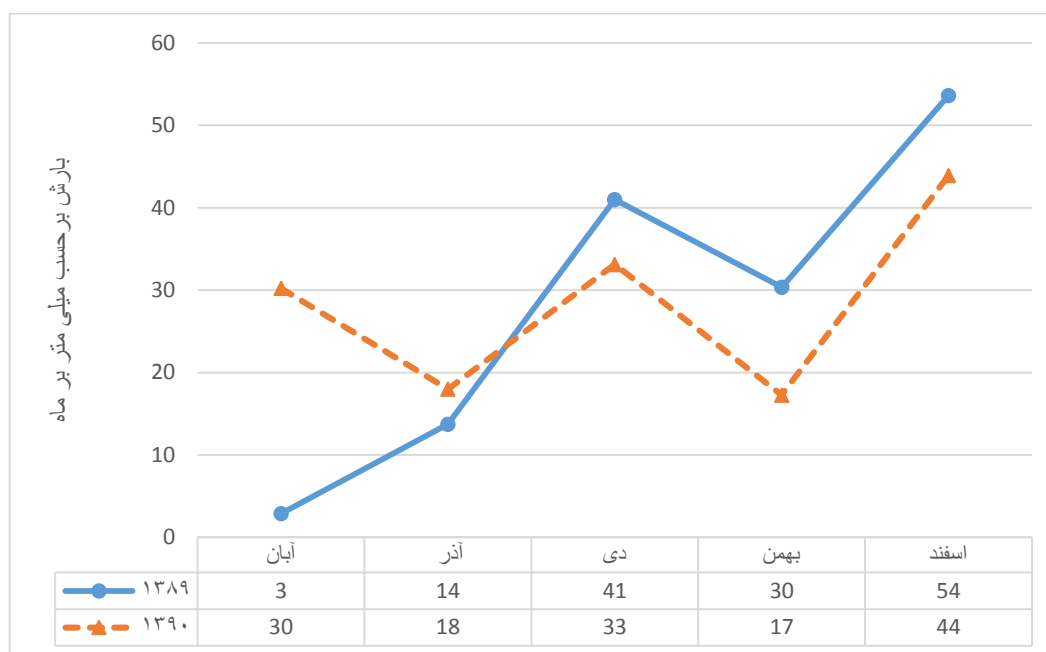
محل		آبی جای		سیمینه رود		زربینه رود	
		حد اکثر	حد اقل	حد اکثر	حد اقل	حد اکثر	حد اقل
ورودی رود به دشت		۱۰	۱	۲۵	۲	۵۰	۳
حداقل ورود و خروج از دشت		۷,۵	۰,۵	۲۰	۱	۳۰	۱
محل خروج رود از دشت		۵	۰,۲	۵	۰,۲	۱۰	۰,۵

۵-۱-۴- نفوذ آب بارندگی

تغییرات مکانی بارش در گستره دشت میاندوآب، به دلیل تغییرات ارتفاعی بسیار کم این دشت که در حدود ۳۰ متر ثبت شده، بسیار محدود می باشد. لذا برای تعیین میزان نفوذ بارش به داخل آبخوان شدت بارش ها در کل دشت ثابت در نظر گرفته شده و برای برآورد آن از داده های باران سنجی ماهواره ی TRMM (شکل ۳-۵) استفاده شده است. داده های بدست آمده از تصاویر ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی ۰,۲۵ درجه در دسترس می باشد و تقریباً تمامی محدوده مورد مطالعه توسط یک پیکسل از تصاویر این ماهواره پوشش داده می شود. اما تفاوت این داده با اندازه گیری های زمینی در این نکته می باشد که عدد اختصاص داده شده به این پیکسل برابر با برآورد بارش در کل منطقه می باشد ولی در صورت استفاده از اندازه گیری های زمینی، میزان بارش در یک نقطه خاص اندازه گیری و این میزان به کل یک محدوده تسری می داده می شود. با توجه به این که از لحاظ مفهومی حالت اول به شرایط واقعی نزدیکتر به نظر می رسد، در این تحقیق ابتدا صحت داده های بدست آمده از ماهواره TRMM در منطقه مورد مطالعه با استفاده از اندازه گیری های زمینی تایید و سپس از آن ها به عنوان میزان بارش در مدل استفاده گردید.

همچنین در این تحقیق با فرض اینکه در هفت ماه اول سال که عمدتاً میزان بارش در منطقه نزدیک به صفر می باشد، در صورت وقوع بارندگی کشاورزان از آب چاه و یا شبکه برای آبیاری استفاده نخواهند نمود، لذا بخشی از مصرف خالص آب کشاورزی (تبخیر و تعرق واقعی) شامل بارندگی نیز می شود. با این فرض در ماه هایی که کشاورزی در منطقه جریان دارد، بخشی از تبخیر و تعرق واقعی محاسبه شده مربوط به بارندگی می شود و بدین صورت اثر این مولفه بر روی میزان نفوذ به آب زیرزمینی در داخل مولفه تبخیر و تعرق واقعی

دیده شده و نیازی به محاسبه مجدد آن نمی باشد. همچنین درصد نفوذ آب حاصل از بارش نیز در طی فرایند کالیبراسیون مدل محاسبه شد.



شکل ۵-۳ محصول 3B43 نسخه هفت ماهواره TRMM (میزان بارش ماهانه)

۵-۱-۵- نفوذ آب کشاورزی

با توجه به بالا بودن حجم آب مصرفی در بخش کشاورزی یکی از اصلی ترین منابع تغذیه آبخوان که در تمامی گزارشات بیلان آب زیر زمینی نوشته شده برای دشت نیز به آن اشاره شده، نفوذ آب برگشتی کشاورزی می باشد. تخمین دقیق میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی دشت میاندوآب که از چند روش مجزا تامین می شود به سادگی امکان پذیر نمی باشد. از این رو برای محاسبه ی آب مصرفی در بخش کشاورزی از نتایج الگوریتم سبال^۱ که میزان تبخیر و تعرق واقعی را محاسبه می نماید، بهره گیری شده است. نحوه ی کار در این بخش بدین صورت می باشد که ابتدا میزان تبخیر و تعرق واقعی برای هر پیکسل با اندازه ی یک کیلومتر در یک کیلومتر محاسبه و مقادیر آن معادل با آب خالص مصرفی در بخش کشاورزی که ممکن است از شبکه آبیاری، موتور پمپ ها ، چاه ها و یا نزولات آسمانی تامین شده باشد، در نظر گرفته می شود. سپس با توجه به

راندمان آبیاری در دشت و جداول استاندارد نفوذ عمقی، از مقادیر محاسبه شده به عنوان مصرف خالص آب در بخش کشاورزی، برای تعیین میزان تغذیه آبخوان از طریق برگشت آب کشاورزی استفاده می شود. برای تولید نقشه های توزیع تبخیر و تعرق روزانه با استفاده از الگوریتم سبال از داده های سنجنده ی مودیس و اطلاعات ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی استفاده گردید. محصولات سنجنده ی مودیس که از پایگاه اطلاعاتی ریورب^۱ متعلق به سازمان هوا فضایی امریکا اخذ شده به شرح جدول ۳-۵ می باشد.

جدول ۳-۵ محصولات سنجنده مودیس مورد استفاده در تولید نقشه های تبخیر و تعرق واقعی

نام محصول	کد محصول	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک مکانی
LST	MOD11_l2	لحظه ای	۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر
LAI	MCD15A3	۴ روزه	۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر
NDVI	MOD13A2	۱۶ روزه	۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر
Albedo	MCD43B3	۸ روزه	۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر

علیرغم اینکه الگوریتم سبال، میزان تبخیر و تعرق واقعی را به صورت لحظه ای محاسبه می نماید، اما مطابق با توصیه Liaquat و همکاران (۲۰۱۵)، به دلیل تغییرات بسیار کم پوشش سطح زمین در بازه های زمانی چند روزه، می توان برای بدست آوردن اینگونه داده ها از محصولات ذکر شده که بازه زمانی محدودی را پوشش می دهند نیز استفاده نمود. همچنین لازم به ذکر است که محصول MCD15A3 که در بردارنده شاخص تراکم برگ^(۲) (LAI) می باشد، در برخی از پیکسل ها فاقد داده بود که با بهره گیری از رابطه ارائه شده توسط Trezza و همکاران (۲۰۱۳) (۵-۱)، که در واقع یک رابطه تجربی میان شاخص نرمال شده ی پوشش گیاهی^(۳) (NDVI) و شاخص LAI است، خلاء داده ای در این پیکسل ها برطرف گردید.

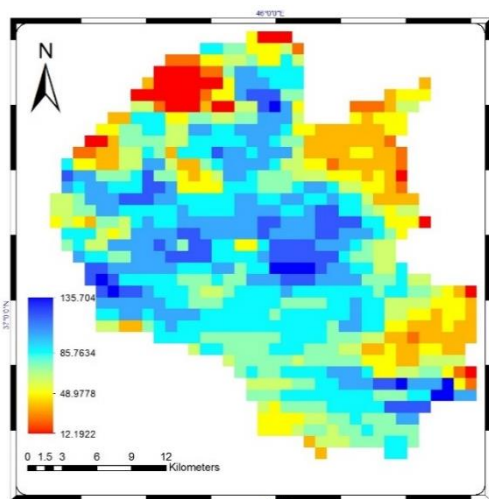
$$LAI = 9.519NDVI^3 + 0.104NDVI^2 + 1.236NDVI - 0.257 \quad (۱-۵)$$

^۱ reverb.echo.nasa.gov

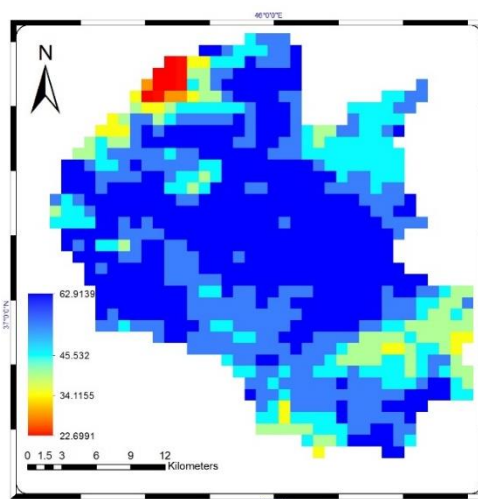
^۲ Leaf Area Index

^۳ Normalized Difference Vegetation Index

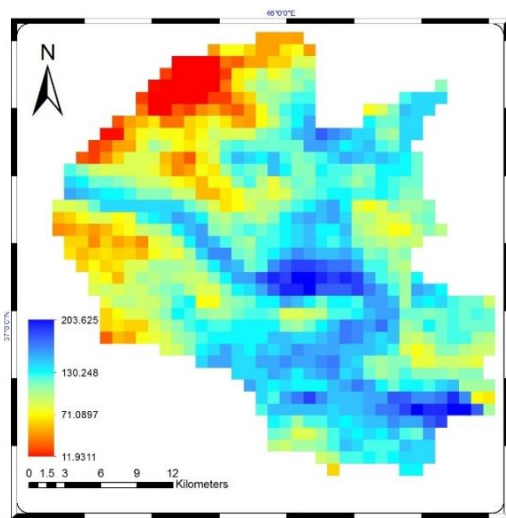
پس از انجام مراحل تصحیح هندسی محصولات فوق با استفاده از نرم افزار ENVI 5، از آن ها در تولید داده های مورد نیاز برای محاسبه ی تبخیر و تعرق واقعی استفاده شد. خروجی حاصل از پردازش این محصولات همراه با تلفیق اندازه گیری های زمینی شامل: طول موج کوتاه و بلند دریافتی در سطح زمین، میزان بازتاب تشعشعات ورودی، زبری سطح، دمای سطح، شار گرمای زمین، نقشه سرعت باد لحظه ای و شار حرارتی محسوس هوا می باشد، که همگی در محیط نرم افزار ILWIS و با کمک کد های نوشته شده توسط گروه محاسبه تبخیر و تعرق مرکز سنجش از دور دانشگاه شریف تولید گردیده اند. نتایج بدست آمده از الگوریتم سیال برای سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ در شکل ۴-۵ تا شکل ۱۷-۵ نشان داده شده است.



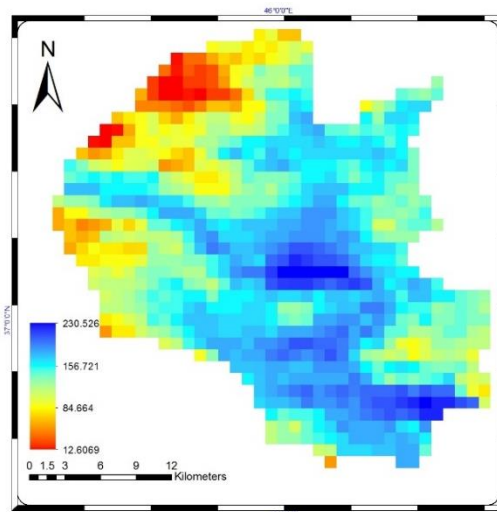
شکل ۵-۵ تبخیر و تعرق واقعی، اردیبهشت ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



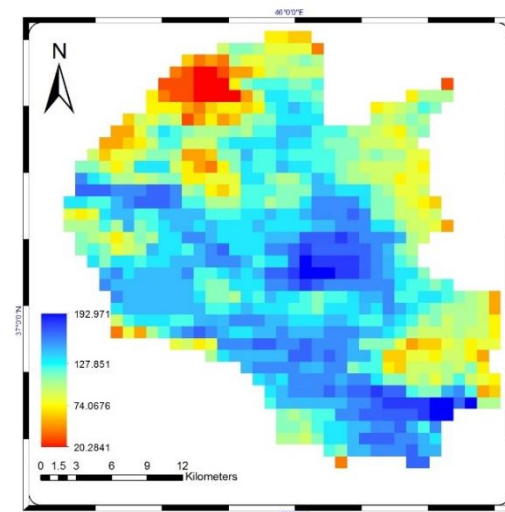
شکل ۴-۵ تبخیر و تعرق واقعی، فروردین ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



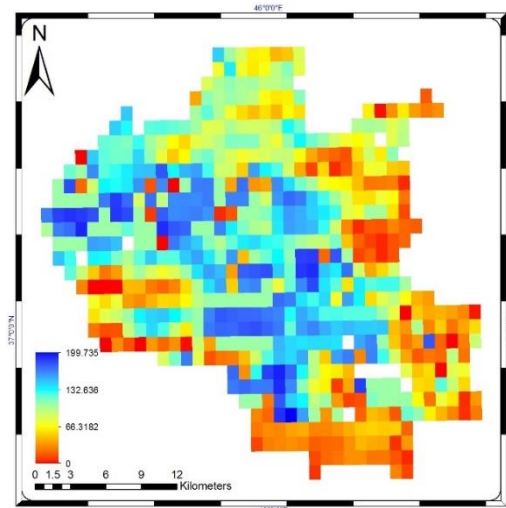
شکل ۸-۵ تبخیر و تعرق واقعی، مرداد ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



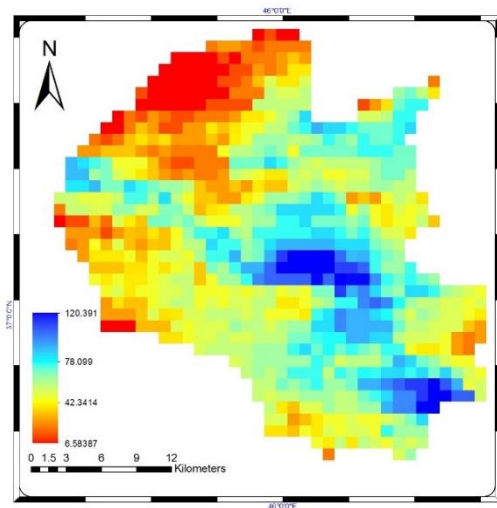
شکل ۷-۵ تبخیر و تعرق واقعی، تیر ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



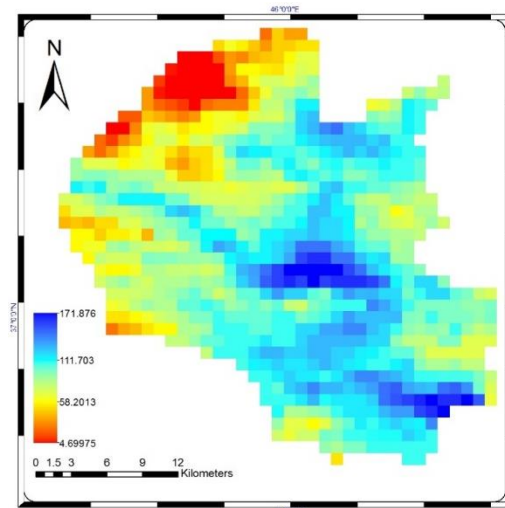
شکل ۶-۵ تبخیر و تعرق واقعی، خرداد ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



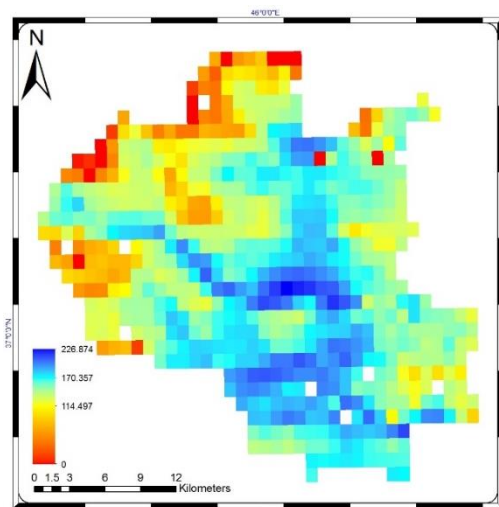
شکل ۱۱-۵ تبخیر و تعرق واقعی، فروردین ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



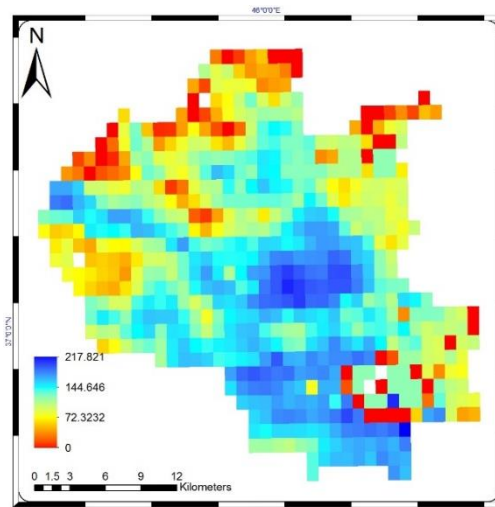
شکل ۱۰-۵ تبخیر و تعرق واقعی، مهر ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



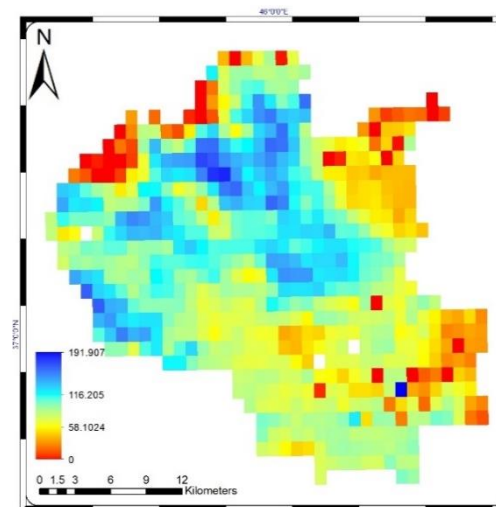
شکل ۹-۵ تبخیر و تعرق واقعی، شهریور ۱۳۸۹ (میلی متر در ماه)



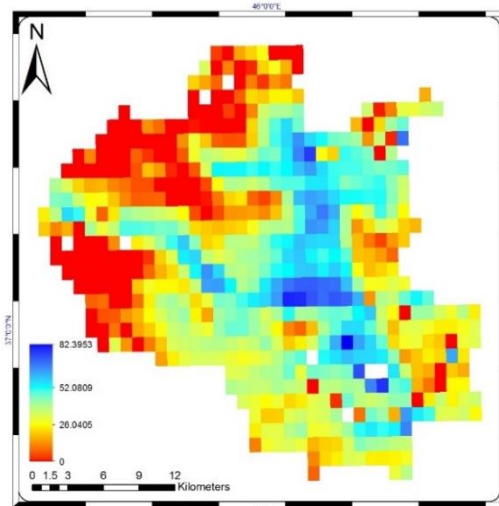
شکل ۱۴-۵ تبخیر و تعرق واقعی، تیر ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



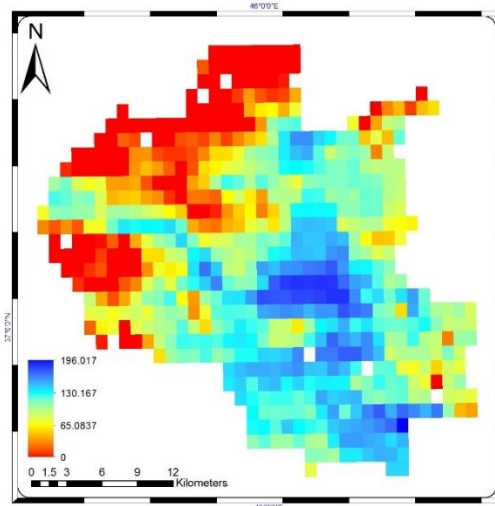
شکل ۱۳-۵ تبخیر و تعرق واقعی، خرداد ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



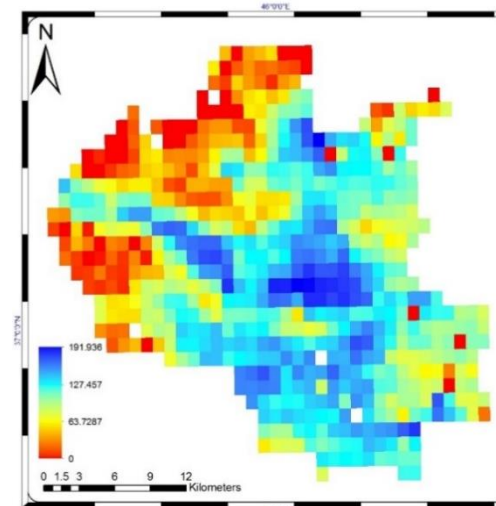
شکل ۱۲-۵ تبخیر و تعرق واقعی، اردیبهشت ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



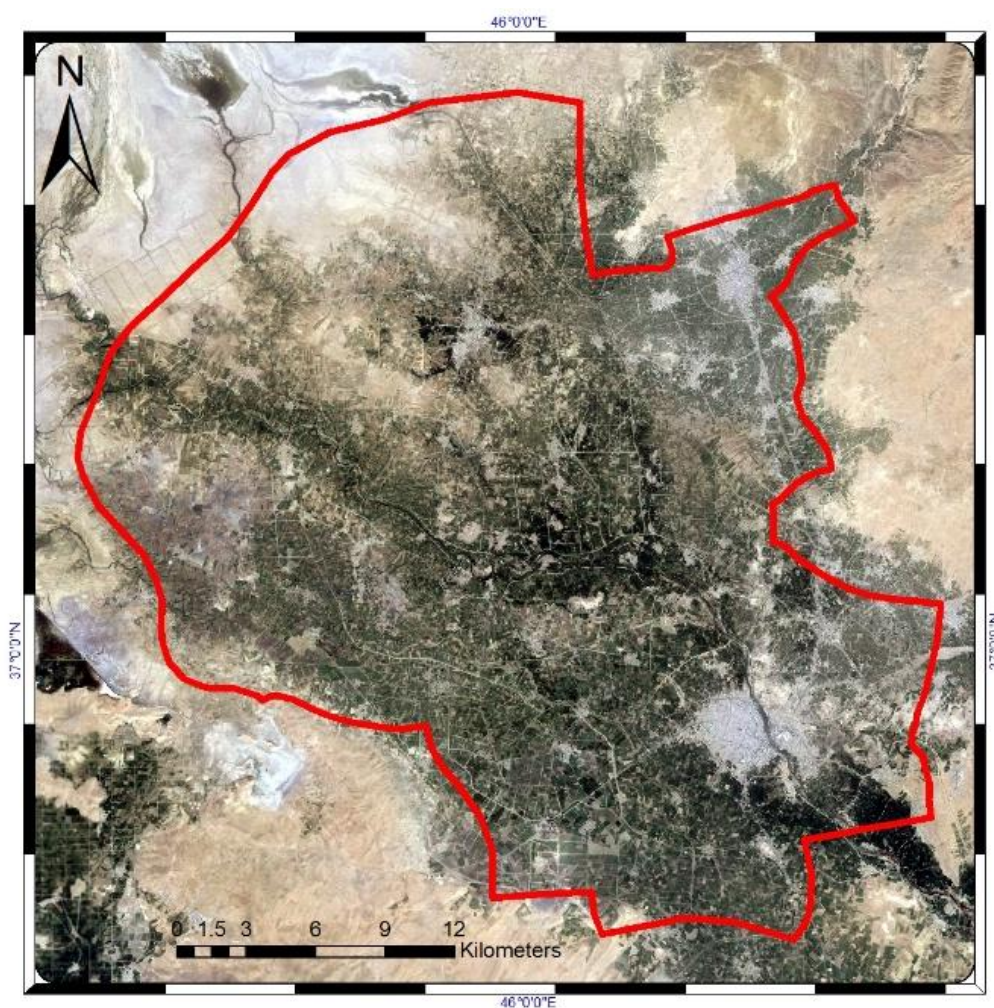
شکل ۱۷-۵ تبخیر و تعرق واقعی، مهر ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



شکل ۱۶-۵ تبخیر و تعرق واقعی، شهریور ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



شکل ۱۵-۵ تبخیر و تعرق واقعی، مرداد ۱۳۹۰ (میلی متر در ماه)



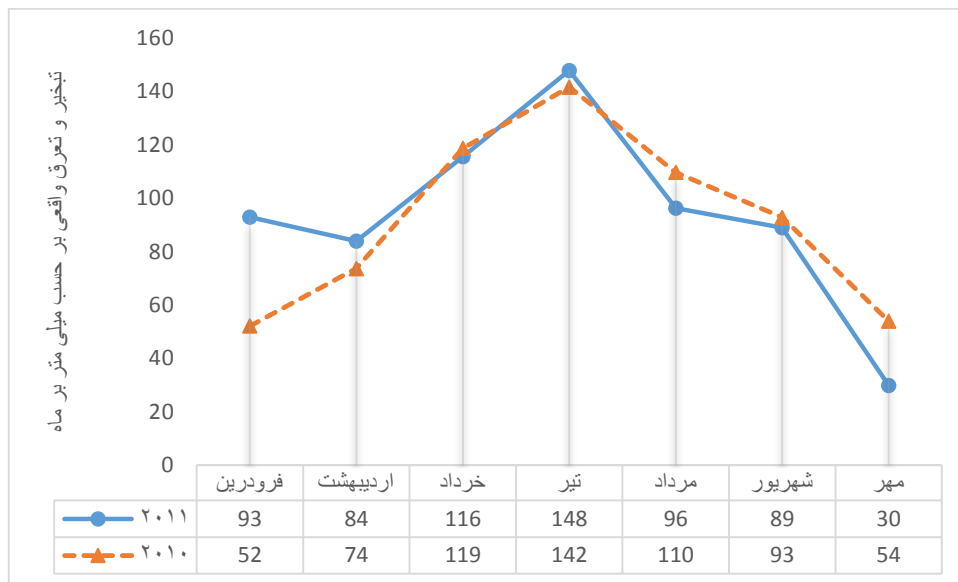
شکل ۵-۱۸ تصویر رنگی از منطقه میاندوآب

با توجه به شکل ۵-۱۸ که تصویر ماهواره ای با ترکیب رنگ واقعی را از منطقه را نشان می دهد، هرچه به سمت جنوب دشت پیش می رویم میزان فعالیت های کشاورزی کمتر شده و در نتیجه از میزان تبخیر و تعرق واقعی نیز کاسته شده است. همچنین در حوالی رودخانه های اصلی دشت که تمرکز مصرف آب کشاورزی را شاهد هستیم، مقدار تبخیر و تعرق واقعی نیز افزایش پیدا کرده است.

در محاسبه تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از الگوریتم سبال، سعی گردید تا حدالامکان، تصاویر لحظه ای با کمترین میزان اعوجاج^۱، فاصله از خط ندیر و ابرینگی بکار برده شود اما در یک مورد (فروردین ماه سال ۱۳۹۰) که به دلیل ابرینگی شدید امکان استخراج تصویر با مشخصات فوق وجود نداشت، با استفاده از تلفیق تصاویر برداشت شده در چهار روز مختلف که از لحاظ شرایط آب هوایی مشابه یکدیگر بودند، نقشه تبخیر و

^۱ Distortion

تعرق واقعی تولید گردید. (در شکل ۵-۱۹ نمودار مقایسه ای تبخیر و تعرق محاسبه شده در سال های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ نشان داده شده است).



شکل ۵-۱۹ نمودار تغییرات میزان تبخیر و تعرق واقعی در طول سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰

به منظور تعیین میزان آب نفوذ کرده به داخل زمین از جدول ۴-۵ که راهنمای توصیه شده توسط سازمان فائو را در بر دارد، استفاده گردید. از آن جایی که خاک منطقه از نوع سنگین می باشد و غالباً از روش آبیاری غرقابی در آن استفاده می شود، در صد نفوذ عمقی معادل ۲۵ درصد و راندمان آبیاری ۶۷٫۵ درصد در نظر گرفته شده است. با توجه به اعداد عنوان شده، در حدود ۳۷٫۵ درصد از مصرف خالص آب در بخش کشاورزی به صورت نفوذ عمقی وارد آبخوان خواهد شد.

جدول ۴-۵ میزان نسبت نفوذ عمقی نسبت به آب مصرف شده در بخش کشاورزی [۴۵]

روش آبیاری	شرایط کارکرد	بازده کاربرد (درصد)		نفوذ عمقی (درصد از آب کاربردی)	
		خاک سبک	خاک سنگین	خاک سبک	خاک سنگین
بارانی	آبیاری روزانه، باد نسبتاً شدید	۶۰	۶۰	۳۰	۳۰
	آبیاری شبانه	۷۰	۷۰	۲۵	۲۵
قطره ای	-	۸۰	۸۰	۱۵	۱۵
غرقابی	با تسطیح و آرایش نامناسب	۶۰	۴۵	۳۰	۴۰
	با تسطیح و آرایش مناسب	۷۵	۶۰	۲۰	۳۰
نهرچهای و نواری	با تسطیح و اندازه نامناسب	۵۵	۴۰	۳۰	۴۰
	با تسطیح و اندازه مناسب	۶۵	۵۰	۲۵	۳۵

۵-۱-۶- رها سازی آب در شبکه آبیاری زرینه رود

در برخی از ماه های سال به دلیل سیلابی شدن اراضی بالادست دشت، سیلاب میان حوضه ای در شبکه تخلیه می گردد. با توجه به عدم استفاده از این آب در مزارع پایین دست برای تولید محصولات کشاورزی، آب رها سازی شده در شبکه پس از نفوذ به داخل آبخوان از انتهای دشت خارج شده و وارد شوره زار های پایین دست دریاچه می شود. این مسئله که صحت آن پس از پرسش شفاهی از مسئولین شبکه زرینه رود نیز تایید گردید، باعث صعود سریع تراز سطح آب در آبخوان با توجه به بالا بودن تراز آب زیر زمینی در دشت می گردد. لذا به منظور شبیه سازی رها سازی های صورت گرفته، تعداد زیادی چاه تغذیه کنند در نواحی تحت پوشش شبکه آبیاری زرینه رود که این آب در آن ها رها سازی شده بود به مدل اضافه شد.

جدول ۵-۵ رها سازی آب در شبکه زرینه رود بر حسب میلیون متر مکعب بر ماه (آمار شرکت مدیریت منابع آب ایران)

سال	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	جمع
۱۳۸۹	۱۱۳,۲	۳۱,۲	۵۳,۴۸	۴۲,۸	۴۱,۴	۴۲,۶	۰	۲۹,۸	۷	۰	۷,۴	۰	۳۶۸,۹
۱۳۹۰	۰	۳۴,۳	۷۰,۲۴	۴۸,۶	۴۶,۸	۴۴,۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۴۴,۳

۵-۲- مدلسازی

مدلسازی صورت گرفته در دو بخش کلی شرایط ماندگار و شرایط غیریکنواخت انجام پذیرفته که در این بخش ضمن اشاره به نحوه ی پیاده سازی مدل و شرح ساختار آن، نحوه ی استفاده از داده هایی که در روند ساخت مدل بکار رفته اند نیز شرح داده می شود.

۵-۲-۱- هندسه ی مدل

محدوده ی مورد نظر برای ساخت مدل با توجه به نقشه هایی که سازمان منابع آب ایران، ستاد احیای دریاچه ارومیه و شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس از محدوده ی آبخوان ارائه کرده بودند مشخص گردید. در تهیه محدوده ی مورد نظر برای توسعه مدل سعی گردید فصل مشترک نقشه هایی که به آن ها اشاره شد به عنوان محدوده ی مدل انتخاب شود. همچنین از نقشه سنگ شناسی، زمین شناسی و پراکنندگی چاه های بهره برداری نیز برای تصحیح این محدوده استفاده شد. برای تولید تراز های ارتفاعی در مدل شامل تراز سنگ کف،

ضخامت آبخوان و تراز سطح زمین از داده های اخذ شده از شرکت مهتاب قدس که مربوط به اطلاعات آزمایشات حفر چاه در طی پروژه احداث شبکه آبیاری و زهکشی میاندوآب در سال ۱۳۶۷ می باشد، استفاده و نقشه های سنگ کف آبخوان و هم ضخامت لایه آبدار تولید شدند. برای سازگاری بیشتر مدل با داده های ورودی و عدم بروز خطا به دلیل ناهماهنگی در مقادیر لحاظ شده به عنوان تراز سطح زمین در مدل، از درون یابی تراز اندازه گیری شده در سر هر چاه به روش Radial Basis که مقدار اندازه گیری شده برای هر نقطه را در محل آن نقطه ثابت نگه می دارد، استفاده و نقشه ی تراز سطح زمین تولید گردید. همچنین تفاضل عددی رقوم نقشه تراز سطح زمین از نقشه هم ضخامت موجب تولید لایه آبدار نقشه سنگ کف گردید. شکل ۳-۴ نقشه سه بعدی ضخامت آبخوان دشت میاندوآب را که به این روش تهیه گردیده است نمایش می دهد

۵-۲-۲- تغییرات مکانی خصوصیات مدل

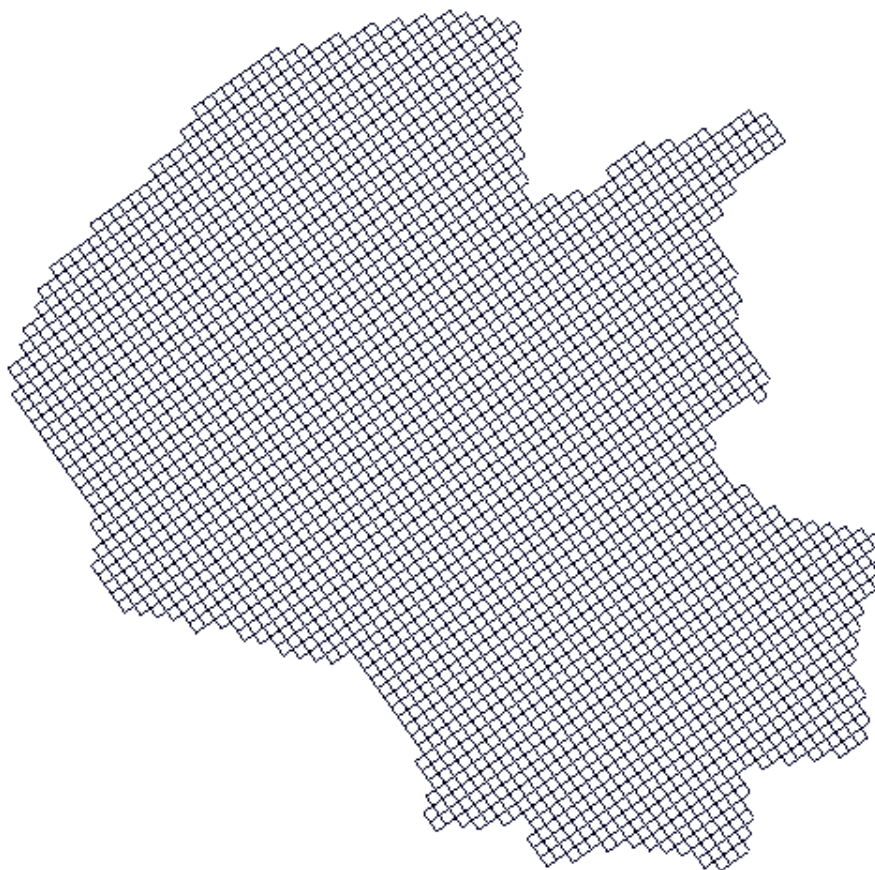
با توجه به نتایج آزمایشات پمپاژ که در فصل سوم به آن ها اشاره شد، آبخوان دشت میاندوآب از نوع آبخوان آزاد تشخیص داده شده است. لذا می توان آبخوان را به صورت یک مدل تک لایه مدلسازی کرده و فرض کرد که مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی و ضریب ذخیره و سایر پارامترها در راستای قائم تغییر نخواهد نمود. در این مدل خصوصیات آبخوان در راستای افقی متغیر بوده، اما با توجه به عدم وجود گسل در محدوده-ی مدل و همچنین گرا دیان یکنواخت جنوب به شمال آب در دشت مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی در تمامی جهات موازی با سطح زمین برابر در نظر گرفته شده و آبخوان به صورت یک سیستم آب زیر زمینی همسان مدلسازی شده است.

۵-۲-۳- شبکه بندی

شبکه بندی مدل با توجه به ابعاد مسئله و میزان دقت مورد نیاز برای جواب صورت می پذیرد و به منظور بالا بردن دقت مدل در محل هایی که منابع اصلی برداشت و یا تزریق آب به داخل سفره آب زیر زمینی قرار گرفته اند، از شبکه بندی اصلاح شده^۱ در مجاورت این مناطق استفاده می شود تا با بیشتر کردن تعداد سلول ها در حوالی منطقه مورد نظر، دقت مدل در شبیه سازی اثرات این منابع بیشتر گردد. در مدل آب زیر زمینی میاندوآب چاه های بهره برداری که محل اصلی برداشت از آبخوان می باشد و همچنین رودخانه های عبوری از دشت که از اهمیت بالایی در تغذیه و تخلیه آب از آبخوان برخوردار هستند دارای توزیع متوازنی در گستره دشت

^۱ Refinement

می باشند. لذا در این مدل نیاز به ایجاد اصلاح در شبکه بندی، خصوصا در روش تفاضل محدود که اصلاح سلول های یک ردیف تمامی سلول های مجاور آن را نیز تحت تاثیر قرار می دهد نبوده و شبکه بندی به صورت منظم در نظر گرفته شده است. ابعاد سلول های تعیین شده برای مدل با توجه به وسعت منطقه مطالعاتی که نزدیک به ۸۵۰ کیلومتر مربع می باشد و همچنین دقت سایر داده های ورودی (به عنوان نمونه ترم تغذیه آب زیر زمینی که از داده های تصاویر ماهواره ای استخراج گردیده، دارای تفکیک مکانی یک کیلومتر در یک کیلومتر می باشد) برابر با ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر در نظر گرفته شده که منطقه مورد نظر را به مستطیلی با ابعاد ۹۴ در ۷۶ سلول افراض نموده است. در مجموع مدل شامل ۷۱۴۴ سلول می گردد که از این میان در حدود ۳۳۷۹ سلول به عنوان سلول فعال و مابقی که خارج از محدوده ی مدل قرار گرفته اند به عنوان سلول غیر فعال تعریف شده اند. شبکه بندی مدل آب زیر زمینی دشت میاندوآب در شکل ۵-۲۰ نمایش داده شده است.



شکل ۵-۲۰ شبکه بندی مدل آب زیر زمینی دشت میاندوآب

۵-۲-۴- شرایط مرزی

حل معادله لاپلاس ذکر شده در فصل دوم (معادله (۴-۷)). نیاز به توجیه شرایط مرزی دارد تا مسئله را محدود کرده و روش منحصر بفردی را برای حل آن مشخص نماید. حالت‌های مختلف شرایط مرزی عبارتند از:

۱. Specified Head: بار هیدرولیکی در سطح محدود کننده منطقه جریان معلوم می باشد (شرایط

(Dirichlet

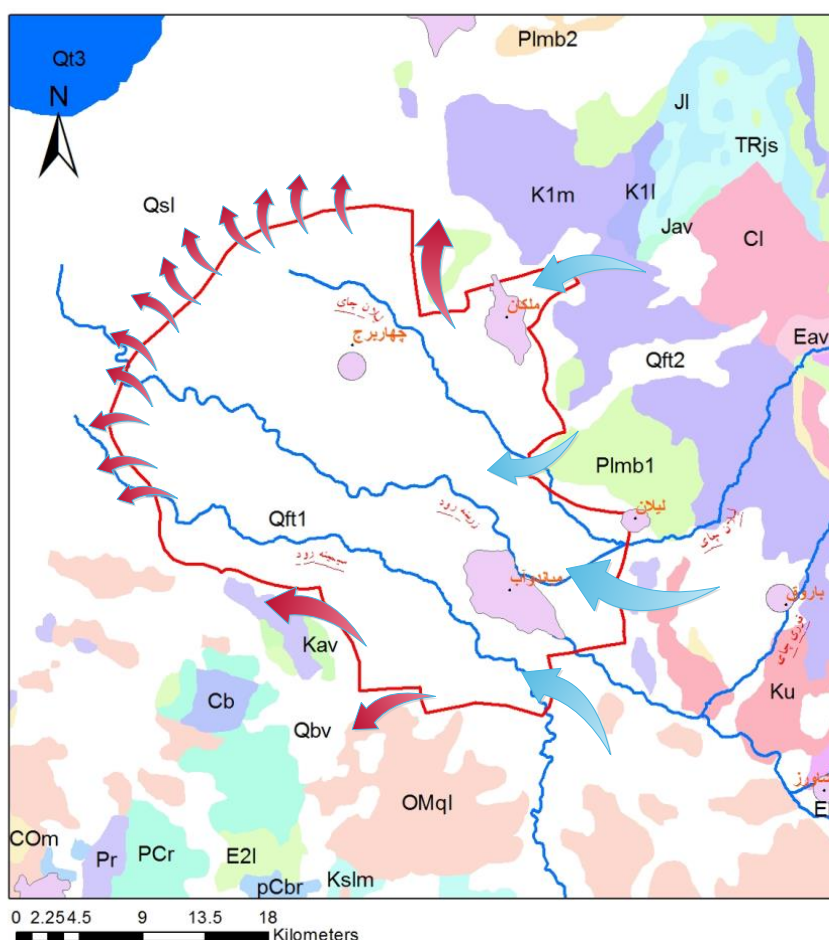
۲. Specified Flow: جریان از مقاطع سطوح محدود کننده منطقه جریان معلوم می باشد (شرایط

(Neumann

۳. Mixed Boundary: برای مواقعی که ترکیب بندهای اول و دوم در مورد سطح محدود کننده

منطقه جریان معلوم می باشد

این شرایط مرزی به طور معمول به تشخیص هیدروژئولوژیست ها با توجه به شناخت از منطقه مطالعاتی مشخص می شوند. تعیین شرایط مرزی به عنوان یکی از حساس ترین و پیچیده ترین مراحل مدلسازی می باشد و اگر شرایط مرزی به طور نامناسب یا ناقص مشخص گردد، مسئله مطالعاتی نیز حالت نامطلوبی را پیدا خواهد کرد [۴۸]. برای تعریف کردن مرزهای مدل آب زیرزمینی دشت میاندوآب، نقشه هم تراز آب زیرزمینی و نقشه ی سنگ شناسی منطقه بکار برده شد و با توجه به گرادیان جریان آب و قابلیت آبدهی سازند های اطراف، محدوده ی در نظر گرفته شده برای مدل سازی به نحوی که خطوط هم جریان به صورت عمود بر مرز های ورودی و خروجی و همچنین خطوط هم پتانسیل عمود بر سازند های غیر قابل نفوذ (مرز های غیر قابل نفوذ) باشند، اصلاح گردید. شرایط مرزی تعریف شده برای ورودی و خروجی های مدل به صورت مرزهای با هد ثابت می باشد که ارتفاع آب در آن ها با توجه به پیزومتر های مجاور مرز تعیین گردیده است. شکل ۵-۲۱ محل مرزهای ورودی و خروجی را روی نقشه نمایش می دهد.



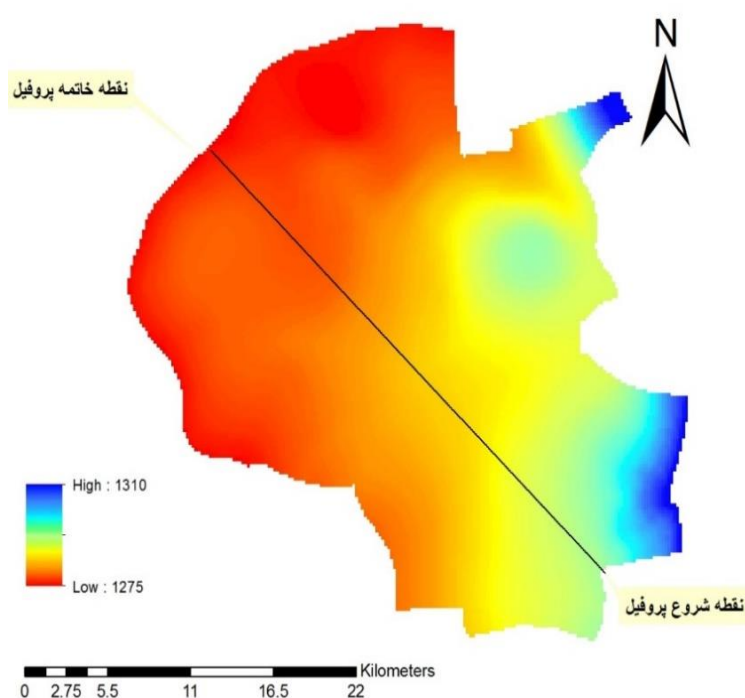
شکل ۵-۲۱ مرزهای تعیین شده برای مدل با استفاده از هد پیزومتری

۵-۲-۵- تقسیم بندی زمانی مدل

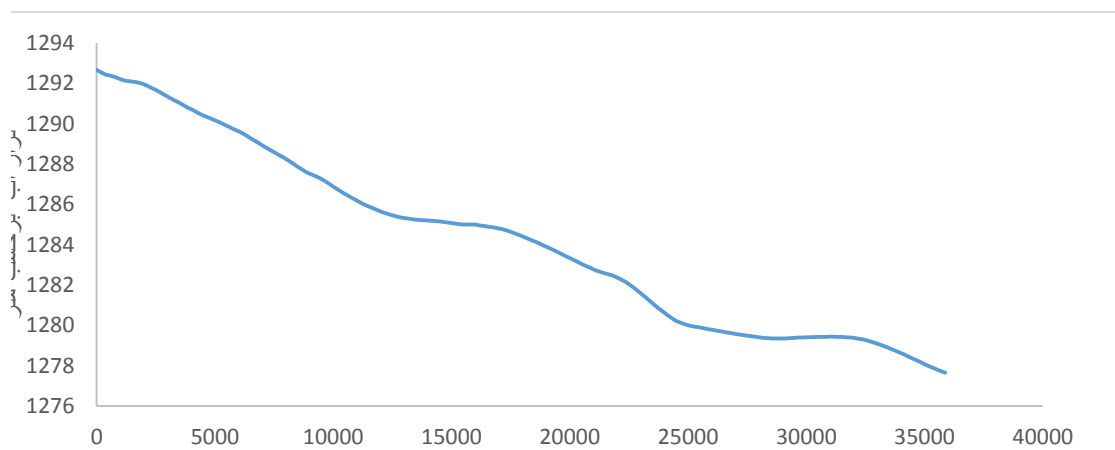
با توجه به سادگی و سهولت اجرا و پیاده سازی مدل های یکنواخت در ابتدا مدل به صورت یکنواخت تولید و اجرا گردیده است. سپس با توجه به تغییر پارامترهای مشارکت کننده در تشکیل بیلان آب در طی ماه های مختلف سال و همچنین تاثیر آن بر تراز سطح، به منظور بررسی تغییرات زمانی تاثیر ناشی از اعمال تنش های آبی بر مدل آب زیر زمینی دشت (به خصوص بر میزان تغذیه و تخلیه رودخانه ها از آبخوان) و همچنین مشخص کردن برخی از پارامترهای وابسته به زمان در مدل آب زیر زمینی مانند ضریب ذخیره آب در آبخوان، مدل به صورت یک مدل غیر یکنواخت توسعه داده شد. بدین منظور مدل آب زیر زمینی دشت میاندوآب برای سال ۱۳۸۹ تهیه و سال مدلسازی به دوازده بازه زمانی (هر بازه زمانی معادل یک ماه است) که در طول آنها ترم های تغذیه و تخلیه از آب زیر زمینی ثابت می باشد، تقسیم شد. همچنین سال مجاور سالی که در آن مدلسازی صورت گرفته (۱۳۹۰)، به منظور اعتبار سنجی نتایج مدل استفاده گردید.

۳-۵- تراز اولیه آب زیر زمینی

شرایط اولیه تعریف شده برای مدل شامل تراز آب زیر زمینی در شروع مدلسازی می باشد که با توجه به درون یابی میانگین هد پیزومترها در سال در نظر گرفته شده برای مدلسازی (۱۳۸۹) مشخص گردید. نقشه تراز آب زیر زمینی در نظر گرفته شده برای شروع مدلسازی مطابق با شکل ۲۲-۵ بوده و پروفیل تغییرات تراز آب در مدل نیز در شکل ۲۳-۵ نشان داده شده است.



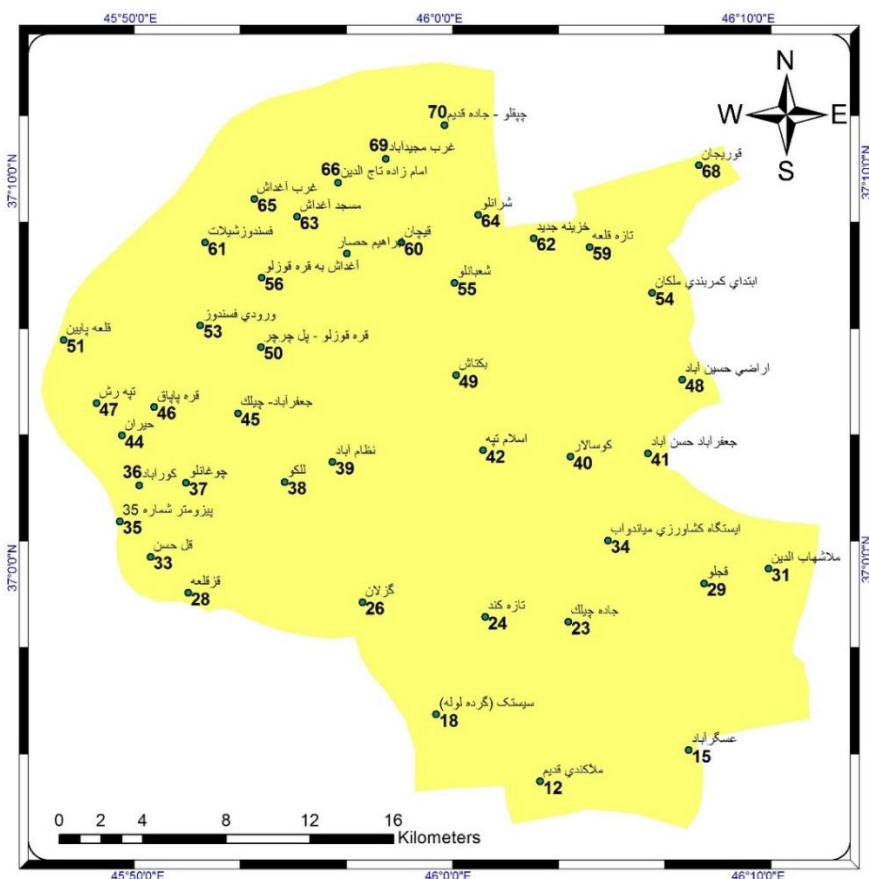
شکل ۲۲-۵ تراز اولیه آب برای مدل سازی



شکل ۲۳-۵ پروفیل تغییرات تراز آب در محدوده مدل

۴-۵- چاه های مشاهده ای

در سطح دشت میاندوآب تعداد ۴۳ حلقه چاه مشاهده ای به منظور بررسی تراز آب زیر زمینی حفر شده است که از پراکندگی مناسبی در سطح دشت برخوردار می باشند (شکل ۵-۲۴). مشخصات چاه های مشاهده ای دشت میاندوآب در جدول ۵-۶ درج شده است.



شکل ۵-۲۴ محل پیژومتر ها بر روی نقشه منطقه مطالعاتی

جدول ۵-۶ مشخصات چاه های مشاهده ای دشت میاندوآب

کد پیژومتر	UTM Y	UTM X	نام پیژومتر	میانگین سطح آب در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ (برحسب متر)
12	4084970	593515	ملاکندی قدیم	1286.86
15	4086463	600629	عسگر آباد	1291.95
18	4088169	588534	سیستک (گرده لوله)	1281.58
23	4092590	594854	جاده چیلک	1287.91
24	4092832	590873	تازه کند	1284.25
26	4093536	585007	گز لان	1282.22

ادامه جدول ۵-۷ مشخصات چاه های مشاهده ای دشت میاندوآب

کد پیژومتر	UTM Y	UTM X	نام پیژومتر	میانگین سطح آب در سال ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ (برحسب متر)
28	4093980	576652	قرقلعه	1277.78
29	4094433	601360	قجلو	1294.38
31	4095132	604444	ملاشهاب الدین	1297.64
33	4095704	574861	قل حسن	1279.25
34	4096480	596762	ایستگاه کشاورزی میاندوآب	1287.91
35	4097396	573385	پیژومتر شماره ۳۵	1277.09
36	4099117	574317	کورآباد	1278.88
37	4099245	576550	چوغانلو	1279.92
38	4099277	581272	للكو	1280.36
39	4100230	583569	نظام آباد	1281.98
40	4100490	594958	کوسالار	1287.59
41	4100650	598680	جعفرآباد حسن آباد	1288.27
42	4100790	590782	اسلام تپه	1285.97
44	4101508	573482	حیران	1278.9
45	4102563	579042	جعفرآباد- چیلک	1280.9
46	4102865	575029	قره پاپاق	1279.95
47	4103043	572259	تپه رش	1279.46
48	4104170	600310	اراضي حسين آباد	1289.6
49	4104380	589490	بكتاش	1284.13
50	4105730	580140	قره قوزلو - پل چرچر	1278.01
51	4106072	570692	قلعه پایین	1277.79
53	4106760	577235	ورودي فسندوز	1280.75
54	4108320	598880	ابتدای کمربندی ملکان	1286.88
55	4108800	589410	شعبانلو	1283.91
56	4109044	580180	آغداش به قره قوزلو	1278.05
58	4110206	584250	ابراهیم حصار	1280.81
59	4110500	595880	تازه قلعه	1283.55
60	4110717	586865	قیچان	1279.25
61	4110722	577463	فسندوز شیلالت	1278.16
62	4110932	593200	خزینه جدید	1283.57
63	4111960	581865	مسجد آغداش	1279.17
64	4112050	590540	شرانلو	1281.23
65	4112803	579827	غرب آغداش	1278.65
66	4113580	583830	امام زاده تاج الدین	1276.73
68	4114420	601105	قوریجان	1305.84
69	4114729	586121	غرب مجیدآباد	1278.5
70	4116330	588940	چیقلو - جاده قدیم	1278.93

۵-۵- اجرای مدل

پس از کامل شدن ساخت مدل عددی و تعریف مرزها، شبکه بندی و مشخص کردن شرایط اولیه؛ لایه های اطلاعاتی که در مدل مفهومی تهیه شده بودند، شامل چاه های بهره برداری، رود خانه و زهکش ها، میزان نفوذ به آبخوان (نقشه تبخیر و تعرق واقعی در ضریب نرخ نفوذ)، میزان تبخیر و تعرق مرجع و نقشه ضریب انتقال آب که از درون یابی نتایج آزمایشات پمپاژ به روش کریجینگ تولید شده بود به مدل اضافه، و مدل برای اجرا آماده گردید. همانطور در فصل چهار نیز عنوان شد، برای اجرای مدل از بسته ی حل PGG که یکی از بسته های بسیار مناسب حل مدل مادفلو می باشد استفاده شد.

۵-۶- واسنجی مدل

با توجه به این که تعیین اکثر پارامترهایی که برای ساخت مدل آب زیر زمینی به مادفلو معرفی می شوند، همراه با عدم قطعیت می باشد؛ به منظور تدقیق نتایج مدل، پارامتر هایی که تعیین دقیق آن ها در مدل مفهومی ممکن نبود، به عنوان پارامتر های واسنجی به مدل معرفی شدند. واسنجی مدل که از آن به عنوان یکی از پیچیده ترین مراحل مدلسازی نام برده می شود، علاوه بر اینکه نیازمند فهم کاملی از فرایندهای صورت گرفته در مدل آب زیرزمینی می باشد، بدون بهره گیری از ابزار های خودکار واسنجی بسیار دشوار خواهد بود. لذا برای تسهیل در روند واسنجی مدل از الگوریتم PEST که یک الگوریتم خودکار واسنجی بر مبنای کاهش گرادیان خطا ایجاد شده در مدل می باشد، استفاده گردید.

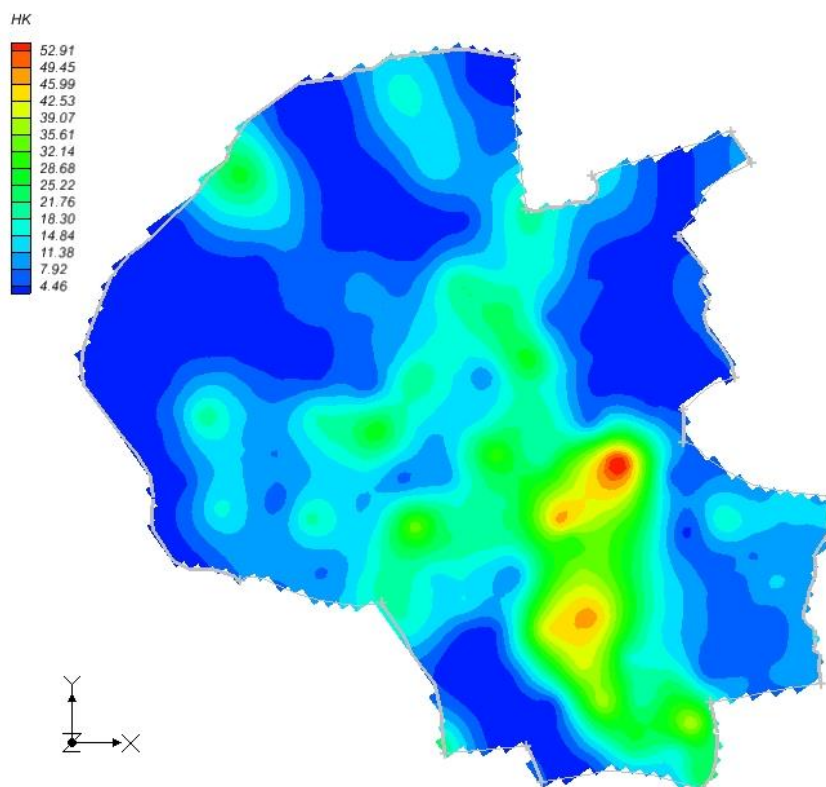
۵-۶-۱- واسنجی ضریب هدایت هیدرولیکی

از جمله پارامترهایی که برای واسنجی به PEST معرفی شدند، ضریب هدایت هیدرولیکی می باشد. از آنجا که ضریب هدایت هیدرولیکی با توجه به تعداد محدودی آزمایش پمپاژ تعیین می شود، برای تعریف آن به عنوان پارامتر کالیبراسیون از تکنیک پایلوت پوینت^۱ استفاده گردید. بدین منظور، نقاطی که در آن ها آزمایش صورت گرفته بود به عنوان نقاط ثابت^۲ (با قابلیت تغییر بسیار محدود) تعریف شده و در فضا های خالی مابین نقاط ثابت، نقاطی با درجه آزادی^۱ بیشتر مشخص شدند. محدوده مجاز برای نقاط با درجه آزادی بیشتر با استفاده از نقشه درون یابی شده از نقاط ثابت اولیه (نتایج آزمایشات پمپاژ) تعیین شد. در این روش بازه تغییرات

^۱ Pilot Point

^۲ Fix Point

نقاط با درجه آزادی بیشتر، مابین نصف تا دو برابر ارزش عددی پیکسل مربوط به محل قرار گیری این نقاط در نقشه درون یابی شده انتخاب شد. پس از این مرحله نرم افزار PEST با ایجاد تغییر در هر کدام از این نقاط نقشه درون یابی جدیدی تولید کرده و سپس با اعمال این نقشه در مدل، میزان بهبود خطا را اندازه گیری می نماید. این روند به همین صورت تا تهیه نقشه بهینه از ضریب هدایت هیدرولیکی که سازگار با فیزیک مدل نیز می باشد پیش می رود. در شکل ۵-۲۵ نتایج حاصل از واسنجی ضریب هدایت هیدرولیکی نشان داده شده است.

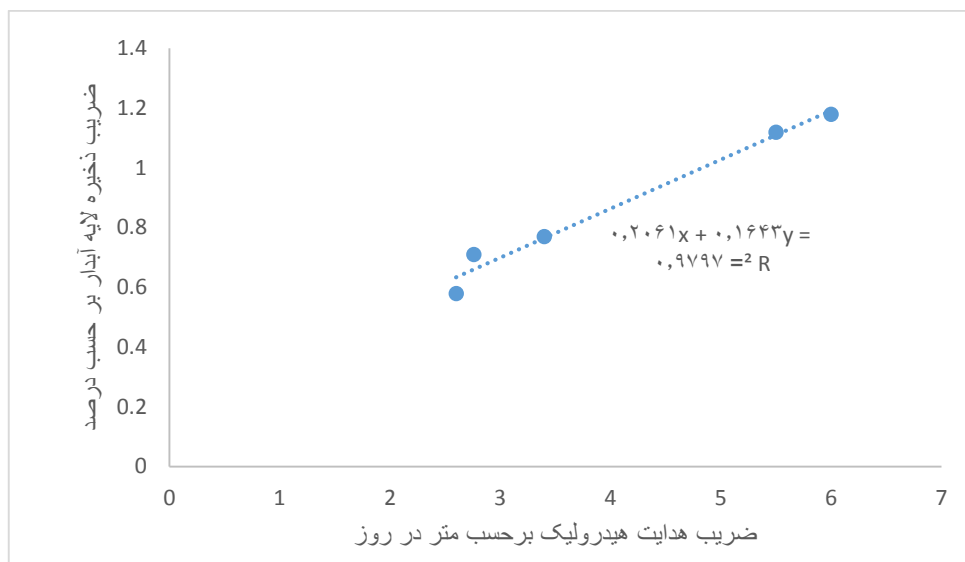


شکل ۵-۲۵ نقشه تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی در سطح دشت پس از واسنجی به روش پایلوت پوینت

۵-۶-۲- واسنجی ضریب ذخیره لایه آبدار

ضریب ذخیره لایه آبدار با توجه به دانه بندی آبخوان تعیین می گردد و به همین دلیل مقدار آن دارای رابطه نسبی مناسبی با ضریب هدایت هیدرولیکی می باشد. این مطلب در آزمایشات محدودی که در دشت برای تعیین این ضریب صورت گرفته است نیز مشهود می باشد (شکل ۵-۲۶). با در نظر گرفتن این مطلب، برای واسنجی پارامتر ضریب ذخیره، بجای استفاده از یک مقدار ثابت برای کل دشت، از یک ضریب مبدل که با

ضرب آن در مقدار هدایت هیدرولیکی (شکل ۵-۲۵) نقشه ضریب ذخیره تولید می گردد، استفاده شد. پس از واسنجی مدل به این روش، مقدار ضریب مورد نظر ۰,۰۰۳۲۱ بدست آمد.



شکل ۵-۲۶ نمودار تغییرات ضریب ذخیره نسبت به ضریب هدایت هیدرولیکی [۸]

۵-۶-۳- واسنجی ضریب نفوذ

نفوذ به آب زیر زمینی در ماه های گرم سال، معادل آب برگشتی به آبخوان در اثر مصرف آب کشاورزی در نظر گرفته شده است. همچنین با فرض برابر بودن مصرف خالص آب کشاورزی با میزان تبخیر و تعرق واقعی در هر پیکسل، نقشه نفوذ به آب زیرزمینی، از ضرب عدد راندمان کشاورزی و درصد نفوذ عمقی (که با توجه به نوع خاک و روش آبیاری تولید می شود) در مقدار به دست آمده برای تبخیر و تعرق واقعی در هر پیکسل، تولید گردید. همچنین در ماه های سرد سال که نیاز کشاورزی به صفر تقلیل پیدا می نماید، میزان نفوذ به آب زیر زمینی تنها به عدد تولید شده برای بارندگی در آن ماه ها نسبت داده شده و با ضرب درصد نفوذ عمقی در مقدار بارش، میزان نفوذ آب به آبخوان در اثر بارندگی بدست آمد. علیرغم موثق بودن ضرایب مورد استفاده در محاسبه میزان نفوذ آب به آبخوان و تایید آن در مراجع مربوطه، بدیهی است که لزوما این ضرایب به طور خاص از دقت بالایی برای منطقه مورد مطالعه برخوردار نبوده و به منظور تعیین دقیق تر آن ها نیازمند واسنجی مدل می باشیم. لذا این ضرایب نیز به عنوان پارامتر واسنجی به مدل معرفی شدند. نتایج حاصل از واسنجی نشان

داد که در حدود ۳۰ درصد از مصرف خالص آب کشاورزی و ۳ درصد از آب بارندگی به آبخوان نفوذ پیدا می کند که با اعداد ارائه شده در دستورالعمل های مربوطه که قبلاً به آن ها اشاره شد تطابق خوبی دارد.

۵-۶-۴- واسنجی ضریب هدایت کف رودخانه ها

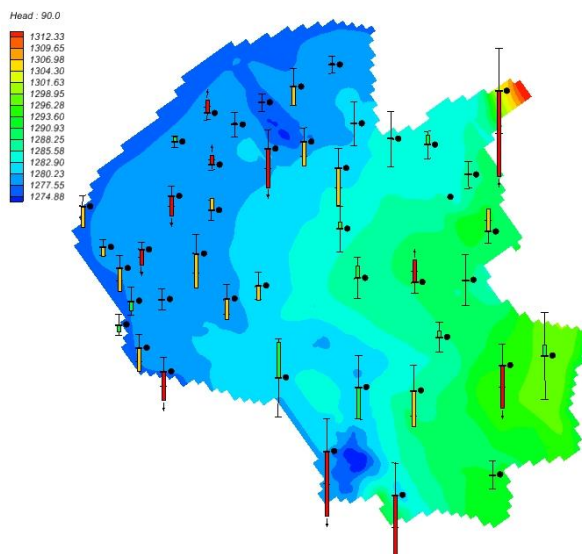
بدست آوردن دقیق ضریب هدایت کف رودخانه در تمام طول مسیر آن تقریباً غیر ممکن بوده و تنها راه تخمین آن استفاده از اندازه گیری های نقطه ای و توسعه نتایج حاصل از این اندازه گیری ها ضمن فرایند واسنجی مدل برای کل مسیر رودخانه می باشد. از آنجایی که امکان اندازه گیری میدانی ضریب هدایت کف رودخانه میسر نبود، از اعداد ارائه شده برای رودخانه های مشابه و همچنین مقادیر توصیه شده در مراجع برای تخمین این ضریب و تعیین محدوده ی مجاز تغییرات آن استفاده گردید. با استفاده از فرایند کالیبراسیون مقادیر دقیق تر این پارامتر در بازه های مکانی مختلف در رودخانه محاسبه شدند که نتایج آن در جدول ۵-۸ آمده است.

جدول ۵-۸ نتایج واسنجی ضریب هدایت کف رودخانه (برحسب متر بر روز)

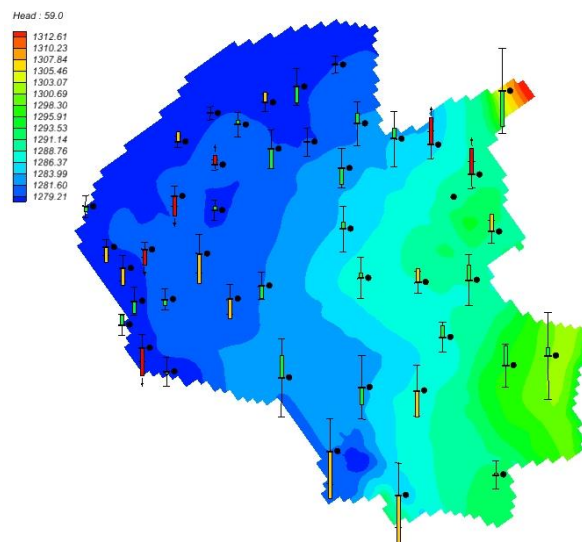
منطقه ورودی به دشت	آجی چای	سیمینه رود	زرینه رود
منطقه ورودی به دشت	۱,۰	۳,۴۹	۱۵,۴۲
منطقه میانی دشت	۱,۱۳	۴,۴۲	۱,۲۱
منطقه خروجی از دشت	۰,۲	۰,۵	۰,۳۲

۵-۷- نتایج مدل سازی

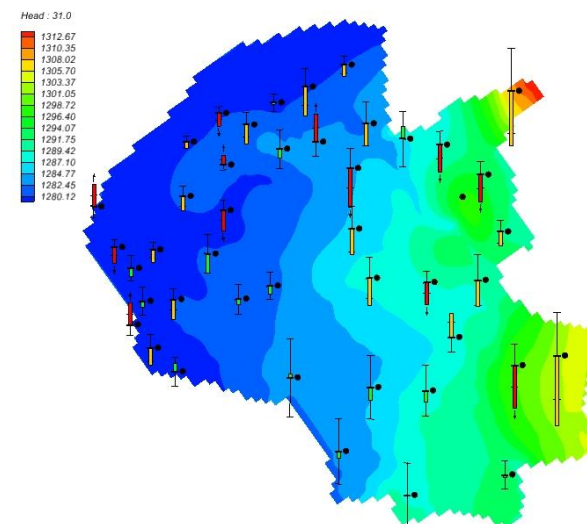
نتایج حاصل از مدلسازی پس از انجام مرحله واسنجی در سال اجرای مدل (سال ۱۳۸۹) در شکل های ۵-۲۷ تا ۵-۳۸ نمایش داده شده است. همچنین نمودار های مربوط به تغییرات سطح تراز آب در مشاهده ای و محاسبه شده برای هر پیزومتر در شکل پ-۱ تا شکل پ-۴۱ در قسمت پیوست ۱ قرار داده شده است.



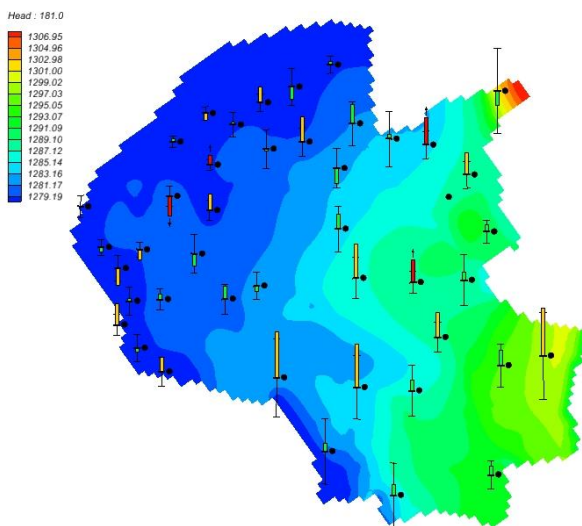
شکل ۲۹-۵ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر)



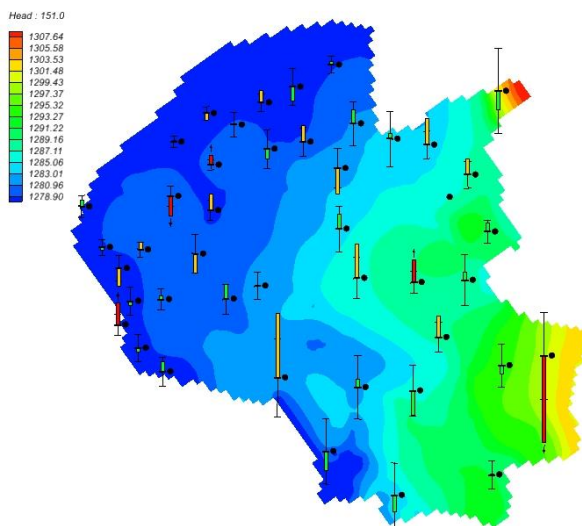
شکل ۲۸-۵ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر)



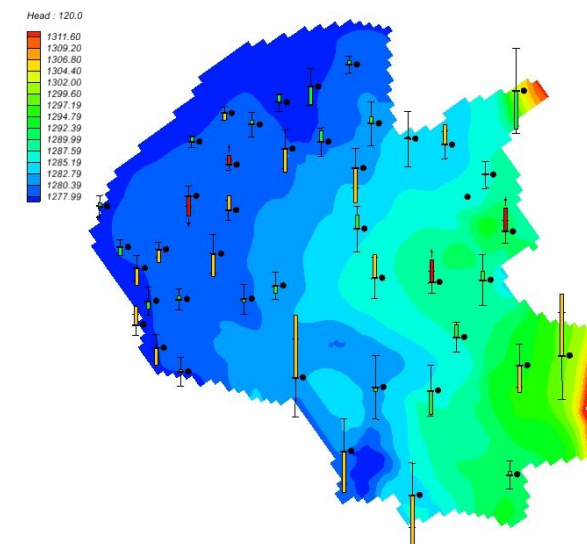
شکل ۲۷-۵ تراز آب محاسبه شده در فروردین ماه (بر حسب متر)



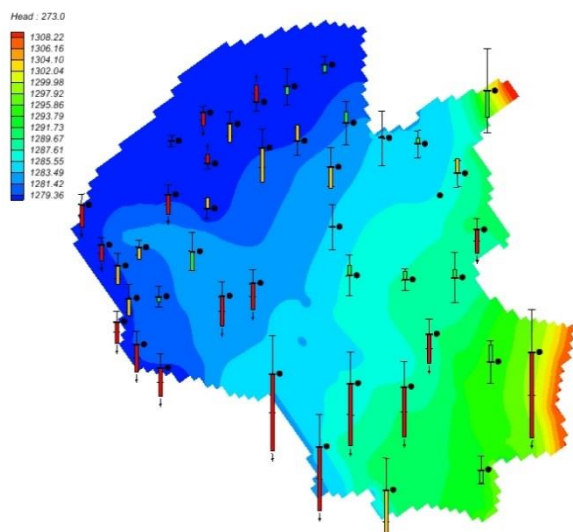
شکل ۳۲-۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر)



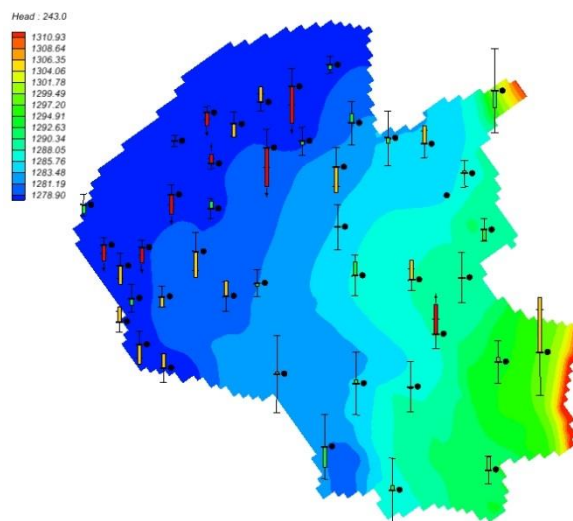
شکل ۳۱-۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر)



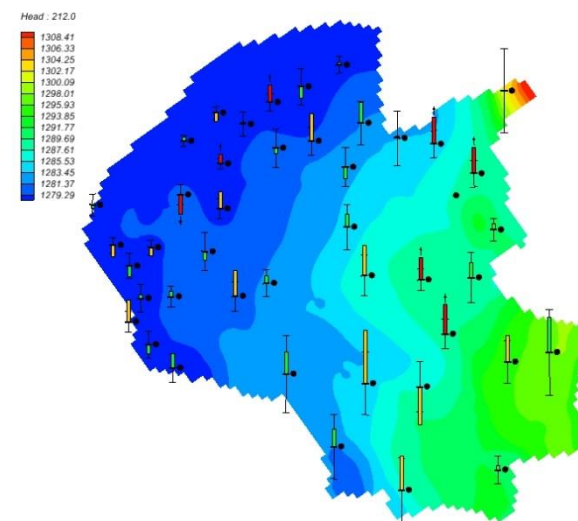
شکل ۳۰-۵ تراز آب محاسبه شده در خرداد ماه (بر حسب متر)



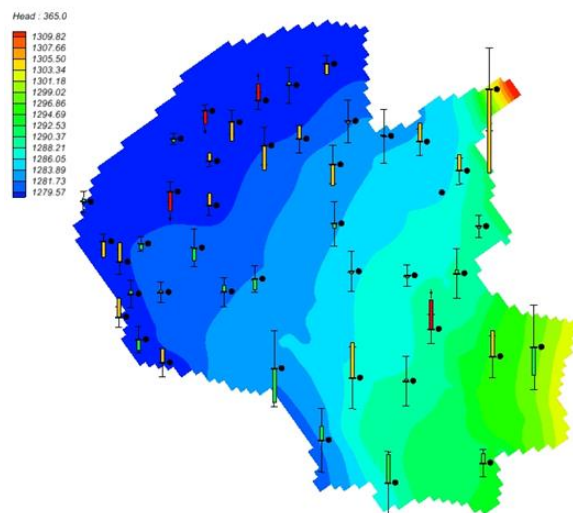
شکل ۳۵-۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر)



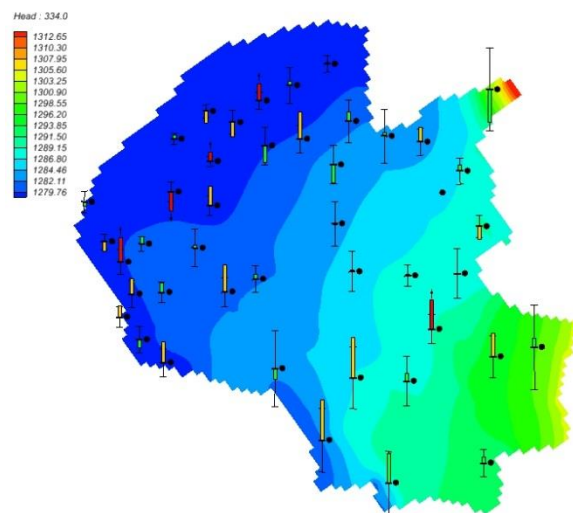
شکل ۳۴-۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر)



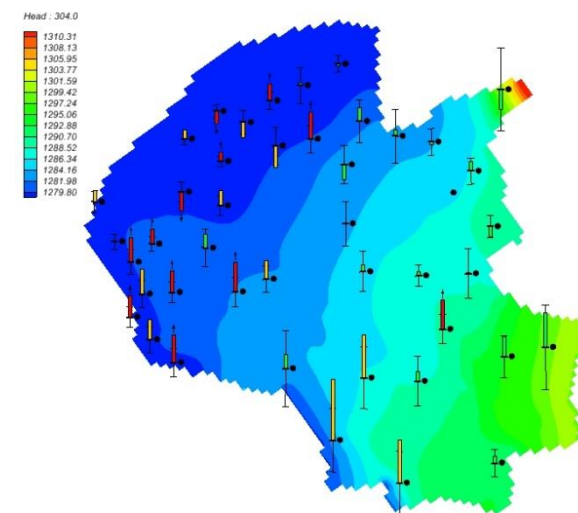
شکل ۳۳-۵ تراز آب محاسبه شده در مرداد ماه (بر حسب متر)



شکل ۳۸-۵ تراز آب محاسبه شده در آذر ماه (بر حسب متر)



شکل ۳۷-۵ تراز آب محاسبه شده در آذر ماه (بر حسب متر)



شکل ۳۶-۵ تراز آب محاسبه شده در مهر ماه (بر حسب متر)

۸-۵- بیان آب دشت

بیان آب زیرزمینی دشت در سال اجرای مدل (سال ۱۳۸۹) به شرح جدول ۹-۵ می باشد. نتایج حاصل از این بیان تطابق مناسبی در اجزاء اصلی خود، با گزارش بیان آب منطقه ای ([۶]) از آب زیرزمینی دشت میاندوآب دارد و به جز در مواردی که از لحاظ مفهومی قابل تبدیل به یکدیگر می باشند، همانند آب زهکش شده و میزان تبخیر از آبخوان در بقیه موارد اعداد محاسبه شده مشابه با بیان آب زیرزمینی ارائه شده برای این آبخوان می باشد. با توجه به بیان آب زیرزمینی دشت، میزان تغییرات ذخیره در آب زیرزمینی در سال مدلسازی بسیار محدود و در جهت کاهش ذخایر آبخوان می باشد که با سایر بیان های ارائه شده برای این دشت و همچنین هیدروگراف مندرج در شکل ۳-۱۰ مطابقت دارد. همچنین مطابق با این بیان، عمده ی منابع تغذیه در دشت میاندوآب را نفوذ آب در اثر بارندگی های صورت گرفته در ماه های سرد سال و برگشت آب کشاورزی تشکیل داده و عمده تخلیه از آب زیر زمینی نیز توسط چاه های بهره برداری صورت می پذیرد.

جدول ۹-۵ بیان آب زیرزمینی آبخوان دشت میاندوآب (برحسب میلیون مترمکعب در سال)

خروج	ورود	پارامتر مشارکت کننده در بیان
۲۸,۲۶	۲۷,۴۴	جریان آب زیر زمینی
۱۸,۶۷	۵۲,۲۸	تغذیه و زهکشی از بستر رودخانه و مسیل ها
۱۶,۱۱	۰	زهکشی از طریق شبکه زهکشی
۷۰,۸۵	۰	تبخیر سطحی از آبخوان
۱۷۷,۲۱	۰	چاه های بهره برداری
۰	۱۶۳,۰۲	نفوذ آب باران و آب برگشتی کشاورزی به آبخوان
۰	۶۴,۹۷	نفوذ آب رهاسازی شده در شبکه به منظور کنترل سیلاب
۳۱۱,۰۹	۳۰۷,۷۲	جمع

۵-۹- تحلیل نتایج مدل

نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد که اکثر پارامترهای تعریف شده به عنوان پارامتر واسنجی، در محدوده‌ی مورد نظر که با توجه به استانداردها و مقادیر توصیه شده در مراجع تعیین شده بود قرار گرفته و در موارد معدودی به حداقل و حداکثر محدوده‌ی مجاز تغییرات خود نزدیک شده اند. ضریب تبدیل نتایج الگوریتم سبال (تبخیر و تعرق واقعی) به تعذیه آب زیر زمینی، یکی از اصلیت‌ترین پارامترهایی است که تعیین آن توسط مدل طی فرآیند واسنجی، نشانگر میزان اطمینان پذیری روش در نظر گرفته شده برای تعیین میزان تغذیه آبخوان می باشد. همانطور که در قسمت واسنجی ضریب نفوذ نیز بحث شد، این مقدار در حدود ۳۰ درصد مصرف خالص گیاهان محاسبه شده که با عدد توصیه شده در استاندارد (۳۷٫۵ درصد) مطابقت خوبی دارد، اما با نگاه جزئی تر به نتایج الگوریتم سبال متوجه خواهیم گشت که کل میزان تبخیر و تعرق محاسبه شده در طول سال، تقریباً برابر با ۹۰ درصد مجموع آب رهاسازی شده در شبکه و برداشت از چاه ها (تنها منابع تامین آب کشاورزی در منطقه) می باشد که یقیناً این عدد بسیار بیشتر از راندمان آبیاری در یک مزرعه آن هم به روش غرقابی هست. ذکر این نکته در کنار این مطلب که اگر در جدول ۴-۵ که اعداد توصیه شده توسط سازمان فائو، برای تعیین میزان نفوذ عمقی آب را در بر دارد بجای راندمان آبیاری ۶۷٫۵ درصد راندمان آبیاری ۸۵ درصد را لحاظ کنیم به همان عدد ۳۰ درصد به دست آمده در واسنجی مدل خواهیم رسید که حاکی از دقت بالای این روش در تعیین میزان آب برگشتی به آبخوان در منطقه مورد مطالعه است. در توضیح این مطلب که چرا نتایج الگوریتم سبال میزان راندمان آبیاری را بسیار بیشتر از مقادیر واقعی راندمان آبیاری در منطقه برآورد می کنند نیز، باید به این نکته اشاره کرد که علیرغم این که راندمان آبیاری در یک مزرعه تنها کمتر از ۵۰ درصد می باشد، اما اگر کل مزارع مستقر در منطقه را به صورت یکپارچه در نظر بگیریم، به دلیل این که آب برگشتی از یک مزرعه وارد مزرعه ای در پایین دست خواهد شد و دوباره مورد استفاده قرار خواهد گرفت، راندمان کل آبیاری در منطقه که توسط الگوریتم سبال تخمین زده می شود بسیار بیشتر از مقدار راندمان آبیاری در یک مزرعه می باشد. علاوه بر این مطلب، نتایج الگوریتم سبال که با توجه به بیلان انرژی تهیه می شوند، علاوه بر محاسبه تعرق صورت گرفته از گیاهان، بخشی از آب که به صورت مستقیم از آبخوان تبخیر می شود را نیز در خود جای می دهد که این مطلب نیز باعث برآورد بیش از حد انتظار راندمان آبیاری، به خصوص در مناطقی که سطح آب در نزدیکی سطح زمین قرار گرفته، می گردد.

در تحلیل نتایج مدل که در نمودارهای مندرج در شکل پ-۱ تا شکل پ-۴۱ نشان داده شده، می توان گفت: مدل روند تغییرات سطح آب دشت را به خوبی شبیه سازی کرده و توانسته است تغییرات تراز آب را در ماه های مختلف با توجه به تغییر در میزان تغذیه و تخلیه از آبخوان در طی این مدت به درستی محاسبه نماید. روند کلی تغییرات زمانی تراز آب به صورتی می باشد که در فروردین ماه و ماه های آخر سال (دی بهمن و اسفند) که اکثر بارندگی ها در این مدت صورت می پذیرد، سطح آب بیشتر از سایر ماه های سال بوده و در ماه های گرم سال نیز (تابستان) سطح آب کمترین مقدار خود را تجربه می کند. همچنین در برخی از ماه های سال شاهد تغییرات ناگهانی سطح آب در برخی از پیزومترها می باشیم که همانطور که پیشتر عنوان گردید، دلیل این مطلب وقوع سیلاب های فصلی و رهاسازی حجم زیادی آب در شبکه آبیاری زرینه رود طی یک مدت کوتاه می باشد.

همان گونه که نتایج مدل نیز نشان می دهد (شکل های ۵-۷۰ تا ۵-۸۱)، مدل در قسمت های مرکزی و شمالی دشت شبیه سازی تراز سطح آب را با موفقیت بیشتری انجام داده، اما در قسمت های جنوبی که عمدتاً تحت تاثیر مرزهای ورودی می باشند کمی دچار مشکل شده است. این اتفاق که به علت عدم امکان برآورد دقیق آب ورودی از مرزها رخ داده، موجب بروز خطا در برخی از پیزومترهای حاشیه ای دشت، در برخی از ماه های سال گردیده است. همچنین در برخی از چاه های مشاهده ای مانند چاه مشاهده ای شماره ۶۸ (قوریجان)، و یا چاه مشاهده ای ۳۱ (ملاشهاب الدین)، نتایج مدل در بعضی موارد تا حدودی با مقادیر محاسبه شده تفاوت دارد، دلیل این مسئله نیز به عدم مدلسازی اثر رودخانه های فرعی که عمدتاً به صورت فصلی دارای آب هستند (مانند رودخانه مردق چای)، برمی گردد. لازم به ذکر است که علت عدم مدلسازی این رودخانه های فصلی، به دلیل در دسترس نبودن اطلاعات دقیق از موقعیت ارتفاعی این رودخانه ها بوده است. علاوه بر موارد ذکر شده، در برخی از پیزومترهای واقع در نواحی نزدیک به سواحل رودخانه های اصلی عبوری از دشت (مانند چاه های مشاهده ای جاده چیلک و تازه کند)، وقوع سیلاب در رودخانه ها و یا برعکس کم شدن جریان آب در آن ها، به دلیل تاثیر پذیری بسیار زیاد تراز سطح آب در این پیزومترها از جریان آب در رودخانه ها موجب افزایش میزان خطا شده است.

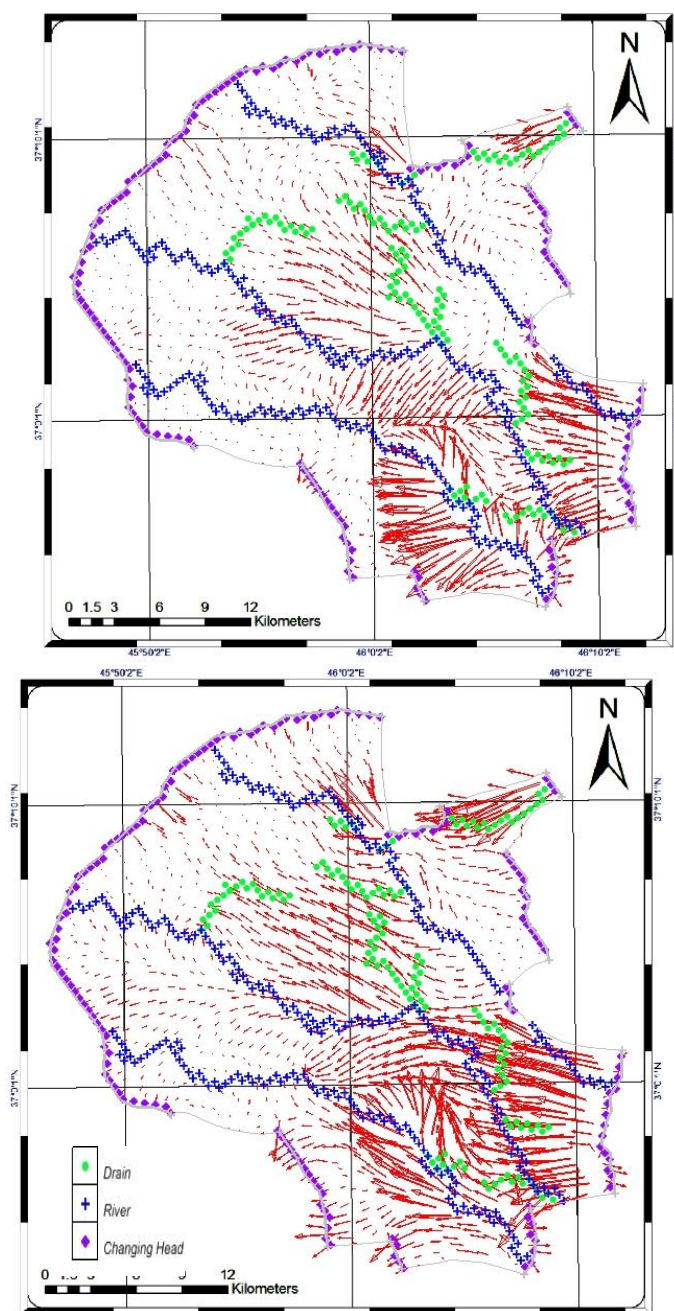
در برخی از ماه ها که تراز آب چاه های مشاهده ای به صورت ناگهانی تغییر نموده، نتایج حاصل از محاسبات مدل ریاضی نتوانسته در تمامی موارد خود را به صورت کامل با شرایط واقعی منطقه تطبیق دهد و شاهد به وجود آمدن خطا های منطقه ای در مدل می باشیم. دلیل این مسئله علاوه بر تاثیر فرض های ساده

کننده بر نتایج مدلسازی، به برخی از رویداد های پیش بینی نشده در فرایند ساخت مدل نیز بر می گردد. به عنوان نمونه اگر به نمودارهای مندرج در شکل پ-۳۱ تا شکل پ-۳۶ توجه شود، مشاهده می گردد که سطح آب محاسبه شده در اکثر پیژومترهای واقع در یک محدوده خاص، کمتر از مقدار اندازه گیری شده برای آن ها در ماه نهم سال (آذر ماه) می باشد؛ علاوه بر این اتفاق مشابهی نیز در فروردین ماه نیز رخ داده است که اثرات آن به صورت خفیفتر در نتایج مدل قابل مشاهده می باشند (شکل پ-۷ تا شکل پ-۱۸). این خطا ها که به دلیل رهاسازی های ناگهانی آب در شبکه که قبلا در رابطه با آن توضیح داده شد، به وقوع پیوسته است تا حد زیادی خطای کلی مدل را بالا برده و موجب بوجود آمدن خطاهای منطقه ای شده است.

۵-۱۰- تفسیر نتایج مدل سازی

نتایج حاصل از مدلسازی (شکل ۵-۳۹) نشان گر این مطلب می باشد که ورود آب از مرزهای ورودی دشت که عمدتا در سمت جنوب و جنوب شرقی آن قرار دارد، با گرادیان هیدرولیکی بیشتری نسبت به خروج آب از مرزهای خروجی واقع در قسمت شمالی صورت می پذیرد. این مطلب با توجه به قرار گرفتن دشت در کوهپایه کوه سهند و ارتفاعات شمالی رشته کوه زاگرس که به ترتیب در شرق و جنوب دشت واقع شده اند نیز قابل پیش بینی می باشد. در داخل دشت نیز توزیع جریان عمدتا تحت تاثیر رودخانه های عبوری علی-الخصوص زرینه و سیمینه رود بوده و در مواردی نیز زهکش های واقع در شمال دشت، جریان آب را به سمت خود هدایت می کنند. همچنین در ماه های سرد سال میزان آب بیشتری از مرزها وارد مدل شده و تا حد زیادی گرادیان کلی آب در دشت را تحت تاثیر خود قرار می دهند.

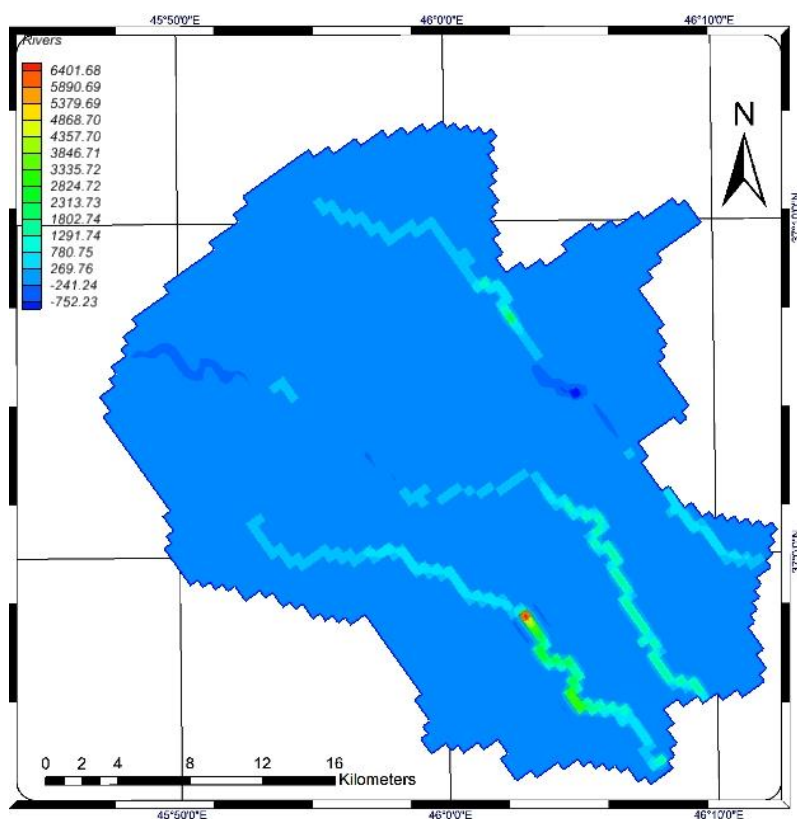
علاوه بر موارد فوق در همانگونه که در شکل ۵-۳۹ نیز مشخص می باشد، در برخی از محل ها مانند نزدیکی مرزهای شمالی و یا قسمتی از ناحیه مرکزی دشت عبور رودخانه ها منجر به ایجاد تغییر خاصی در گرادیان دشت نشده که دلیل آن می تواند به علت تغذیه آبخوان از یک سمت و تخلیه آن از سمت دیگر باشد. از آنجا که عمق آب زیر زمینی در قسمت شمالی دشت بسیار کمتر از قسمت جنوبی آن می باشد، لذا در این نواحی رودخانه ها به عنوان زهکش عمل کرده و آب زیر زمینی را تخلیه می نمایند، اما در نواحی جنوبی، آبخوان توسط رودخانه ها تغذیه می گردد (شکل ۵-۴۰) تا جایی که ورود آب در این نواحی باعث تغییر در روند کلی گرادیان آب در این مناطق شده است.



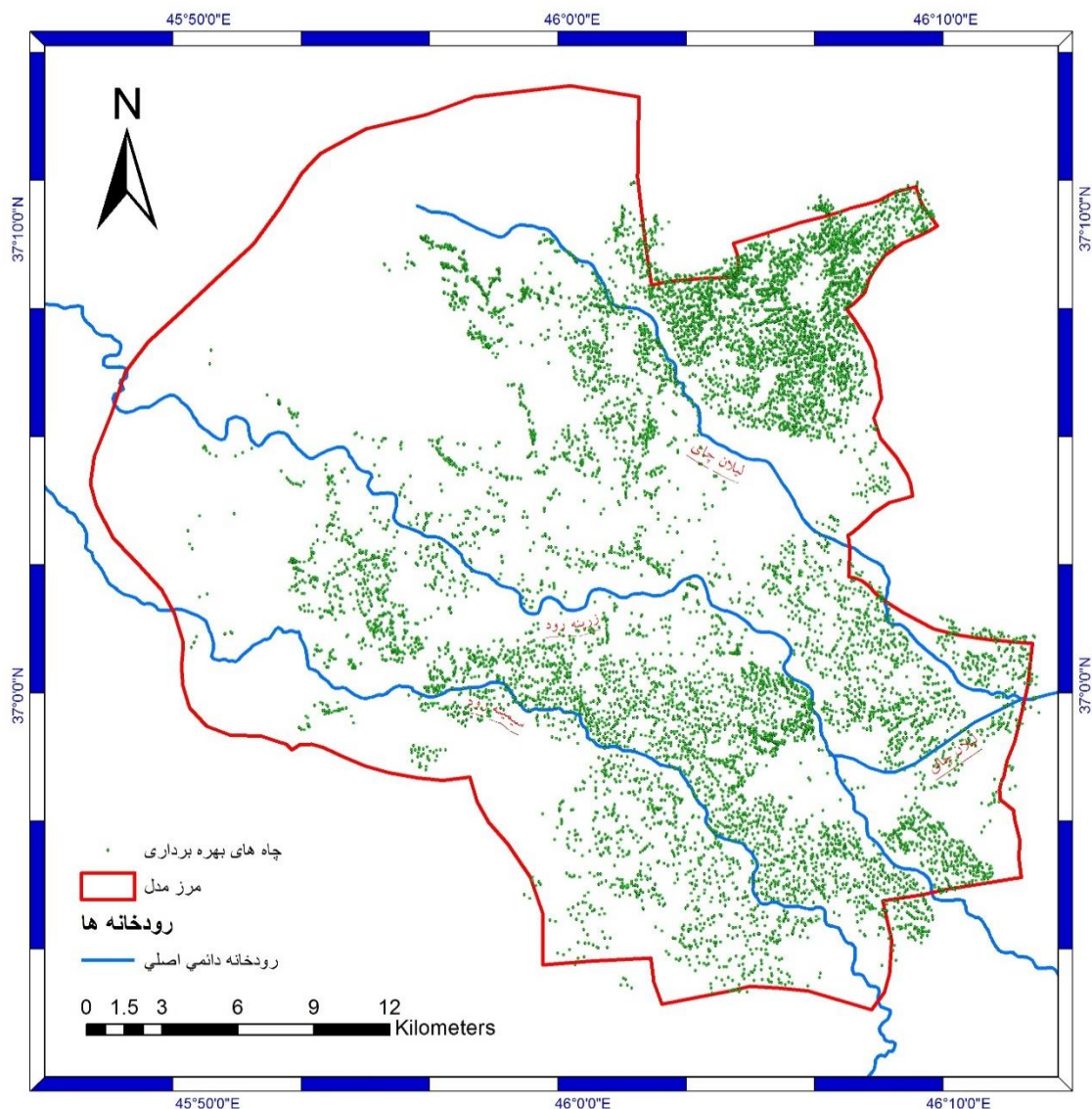
شکل ۳۹-۵ جهت جریان هیدرولیک در دشت (شکل بالا مربوط به مرداد ماه و شکل پایین مربوط به دی ماه می باشند)

در مدل پیش رو، تنها اثر رودخانه های دائمی دشت در مدل در نظر گرفته شده و با توجه به ارتفاع کم بستر رودخانه ها نسبت به تراز آب (در حدود ۱ الی ۲ متر)، در تمام طول سال تراز آب در رودخانه های دائمی ثابت در نظر گرفته شده است. با توجه به این توضیح، در شکل ۴۰-۵ که میزان تغییر در تغذیه و یا زهکشی آبخوان توسط این رودخانه ها را در نقاط مختلف دشت نشان می دهد، در این شکل که نتایج اجراء مدل در حالت یکنواخت را نشان می دهد به غیر از منطقه شمالی دشت (به دلیل بالا بودن سطح آب زیرزمینی)،

در سایر نواحی رودخانه ها موجب تغذیه آبخوان می گردند. همچنین در قسمت های میانی دشت که مابین دو رودخانه زرينه و سيمينه واقع شده، میزان تغذیه آبخوان از رودخانه ها به حداکثر خود می رسد. همانند این روند در اجرای مدل در حالت غیر یکنواخت نیز مشاهده می گردد؛ اما در ماه های انتهایی سال که سطح آب به زمین نزدیکتر می شود از شدت تغذیه آبخوان توسط رودخانه ها در قسمت های جنوبی دشت کاسته می شود. قابل توجه است که با توجه به نقشه های تبخیر و تعرق تولیدی (شکل ۵-۴ تا شکل ۵-۱۷) و نقشه توزیع چاه های بهره برداری (شکل ۵-۴۱)، تقریباً شدت مصرف آب برای تولید محصولات کشاورزی، در این مناطق نسبت به سایر نقاط دشت بیشتر بوده و چه در نقشه توزیع هدایت هیدرولیکی (شکل ۵-۲۵) و چه در فرآیند کالیبراسیون ضریب هدایت کف رودخانه ها (جدول ۵-۸)، میزان هدایت هیدرولیکی در این مناطق بیشتر از سایر نقاط دشت بیشتر می باشد. از مطالب عنوان شده چنین بر می آید که در مناطق مورد بحث، منبع تامین آب برداشتی از چاه ها، آب جاری در رودخانه ها می باشد.



شکل ۵-۴۰ میزان تغذیه و زهکشی رودخانه های عبوری از دشت (بر حسب متر مکعب در روز)

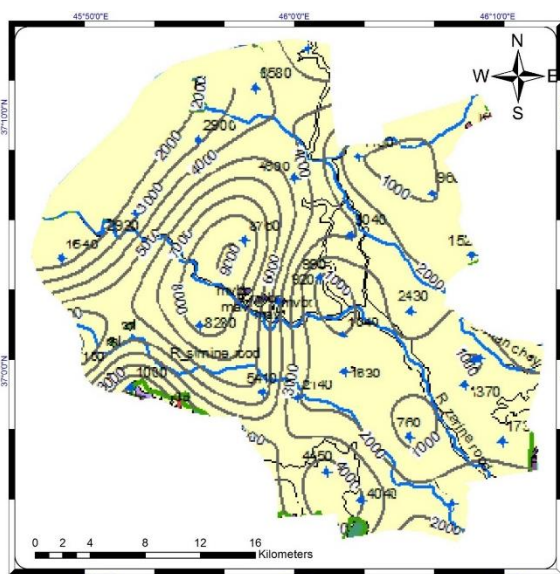


شکل ۴۱-۵ توزیع چاه های بهره برداری در دشت میاندوآب

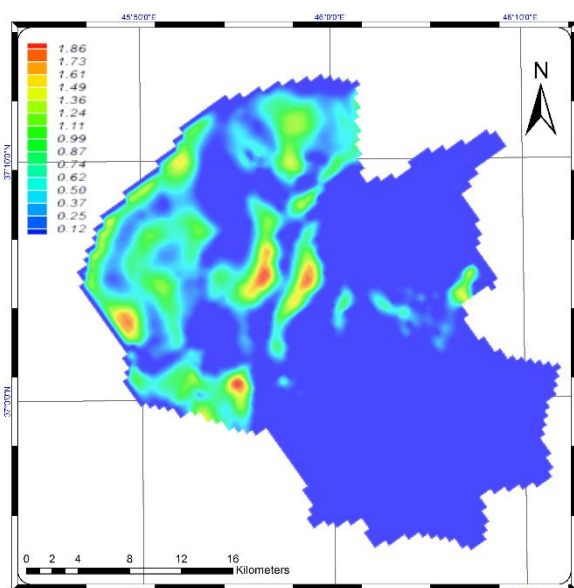
یکی دیگر از خروجی های مهم مدل سازی، نقشه توزیع تبخیر از سطح آبخوان می باشد که مقدار محاسبه شده آن در اجرای مدل به صورت یکنواخت به روشی که در فصل چهارم توضیح داده شد و با در نظر گرفتن حداکثر عمق تبخیر ۳ متر، در شکل ۴۲-۵ نشان داده شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که در قسمت های شمالی دشت شاهد بوجود آمدن یک سری نواحی با شدت تبخیر بالا از آبخوان می باشیم. این اتفاق که به دلیل کم بودن عمق آب زیرزمینی در این مناطق رخ داده، شدتش در ماه های مختلف سال متفاوت می باشد، به طوری که در اجرای مدل در حالت غیر یکنواخت شاهد افزایش محدوده ی نواحی تحت تاثیر تبخیر در ابتدای سال (فروردین ماه) هستیم و تا رسیدن به مهر ماه از وسعت این نواحی کاسته می شود. همچنین

در ماه های سرد سال نیز به دلیل کاهش شدید تبخیر پتانسیل در منطقه، از شدت تبخیر کاسته می شود و تقریباً تمامی این نواحی در فصل زمستان از بین می روند. با توجه به بیلان آب مندرج در جدول ۵-۹، موجب هدر رفت در حدود ۷۰ میلیون متر مکعب آب در طی یک دوره یک ساله از این آبخوان می گردد. این میزان هدر رفت آب که باعث شوری خاک و از بین رفتن زمین های کشاورزی مستقر در این نواحی نیز می گردد، با توجه به شرایط کم آبی منطقه قابل توجه نبوده و نیازمند مدیریت مناسب تر منابع آب در منطقه می باشد.

اگر نقشه هم هدایت الکتریکی دشت را (شکل ۵-۴۳) که از گزارشات آب منطقه ای اخذ گردیده [۱]، در کنار نقشه توزیع تبخیر صورت گرفته از سطح آبخوان (شکل ۵-۴۲) قرار دهیم، مشاهده خواهد شد که دقیقاً در مناطقی که تبخیر از آبخوان دارای شدت بیشتری نسبت به سایر مناطق می باشد، میزان هدایت الکتریکی آب نیز بالا می رود که نشان از شور شدن آب و خاک منطقه در نواحی مورد بحث می باشد. این مسئله که بیشتر در مناطق جنوبی دشت مطرح می باشد، در صورت رسیدگی به موقع، می تواند در آینده نزدیک موجب بروز مشکلات زیادی برای کشاورزان منطقه گردد.



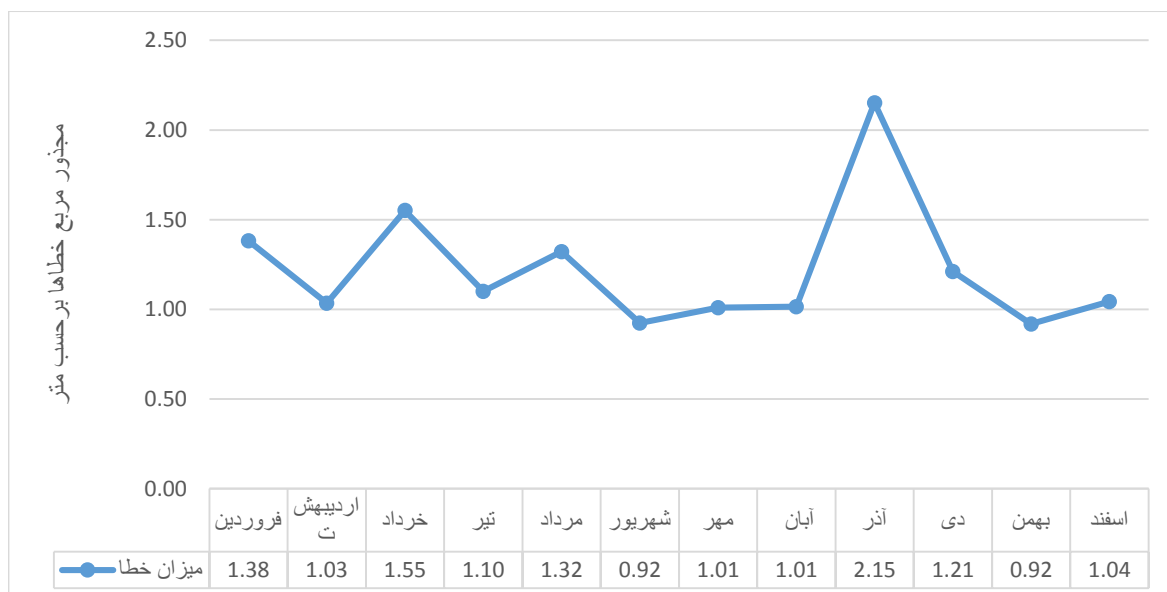
شکل ۴۳-۵ نقشه هم هدایت الکتریکی دشت میاندوآب (برحسب میکروموس)



شکل ۴۲-۵ نقشه توزیع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در سطح دشت (برحسب میلی متر در روز)

۵-۱۱- خطای مدل

علیرغم تمام تلاش هایی که در ساخت یک مدل آب زیرزمینی برای نزدیک کردن آن به شرایط واقعی صورت می پذیرد، عملاً وارد کردن تمام ظرائف و جزئیات موثر بر جریان آب زیر زمینی در محیط طبیعی به مدل امکان پذیر نبوده و نتایج حاصله، از تطابق کامل با مشاهدات صورت گرفته در محیط طبیعی برخوردار نمی باشند. اختلاف میان مقادیر مشاهداتی و نتایج مدل که در واقع همان خطای مدلسازی می باشد توسط آماره های مختلفی اندازه گیری می شود. از جمله پرکاربردترین آماره های مورد استفاده در نمایش خطای مدل آب زیرزمینی، آماره ی مجذور حداقل مربعات^۱ اختلاف اندازه گیری شده میان مقادیر مشاهده ای و مقادیر واقعی می باشد که در این گزارش برای معرفی میزان خطای کلی مدل و همچنین خطای مدل در هر گام زمانی از آن استفاده شده است. خطای بدست آمده برای مدل در طی دوره شبیه سازی برابر با ۱,۱۳ متر می باشد که مطابق با استاندارد معرفی شده توسط مراجع (ASTM D5981) می باشد [۴۱]. میزان خطای مدل در هر گام زمانی نیز در نمودار شکل ۵-۴۴ نشان داده شده است که تنها در گام زمانی نهم (آذر ماه) که به دلیل افزایش ناگهانی سطح آب در برخی از پیزومترهای واقع در ساحل سمت چپ رودخانه زرينه رود در اثر ورود سیلاب بالادست به منطقه صورت گرفته، در سایر گام های زمانی خطای اندازه گیری شده در مدل بسیار مناسب می باشد.



شکل ۵-۴۴ نمودار مجموع خطای اندازه گیری شده در پیزومترهای در گام های زمانی مدل سازی

برای نمایش خطا در هر پیزومتر نیز از میانگین مجذور مربعات اختلاف میان مقادیر محاسبه شده و مقادیر اندازه گیری شده برای آن پیزومتر در ماه های مختلف سال استفاده گردید. میزان انحراف معیار برای تمامی پیزومتر ها در جدول ۵-۱۰ آمده است که تقریباً تمامی آن ها در حد قابل قبولی می باشند، اما در برخی از این پیزومتر ها (ایستگاه ملک کندی قدیم، سیستم (گرده لوله)، ملاشهاب الدین) به دلیل نزدیکی به مرز های ورودی و نوسانات شدید سطح آب در این مناطق شاهد افزایش خطا می باشیم. همچنین در بعضی از پیزومتر ها نیز که در مجاورت رودخانه های اصلی قرار گرفته اند (جاده چیلک، تازه کند، گز لان) شاهد افزایش میزان خطا می باشیم. لازم به ذکر است که آب رها سازی شده در آذر ماه سال ۸۹ که به دلیل کنترل سیلاب صورت پذیرفته، به صورت ملموسی در بالا رفتن خطای مدل نقش داشته است تا جایی که با حذف این ماه از محاسبه خطا ها، در حدود ۱۲ درصد خطای کلی مدل کاهش میابد.

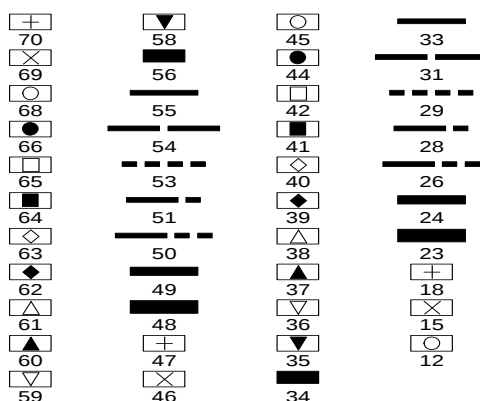
جدول ۵-۱۰ خطای مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزومتر ها

کد پیزومتر	UTM Y	UTM X	نام پیزومتر	میانگین خطای مشاهده ای (بر حسب متر)
12	4084970	593515	ملاکندی قدیم	1.96
15	4086463	600629	عسگر آباد	0.35
18	4088169	588534	سیستک (گرده لوله)	2.16
23	4092590	594854	جاده چیلک	1.78
24	4092832	590873	تازه کند	1.88
26	4093536	585007	گز لان	2.06
28	4093980	576652	قر قلعه	1.14
29	4094433	601360	قچلو	1.33
31	4095132	604444	ملاشهاب الدین	3.34
33	4095704	574861	قل حسن	0.89
34	4096480	596762	ایستگاه کشاورزی میاندوآب	1.81
35	4097396	573385	پیزومتر شماره ۳۵	1.13
36	4099117	574317	کور آباد	0.58
37	4099245	576550	چو غانلو	0.56
38	4099277	581272	للكو	1.38
39	4100230	583569	نظام آباد	0.83
40	4100490	594958	کوسالار	1.13
41	4100650	598680	جعفر آباد حسن آباد	0.53
42	4100790	590782	اسلام تپه	0.96
44	4101508	573482	حیران	1.01
45	4102563	579042	جعفر آباد- چیلک	0.94
46	4102865	575029	قره پایاق	0.62

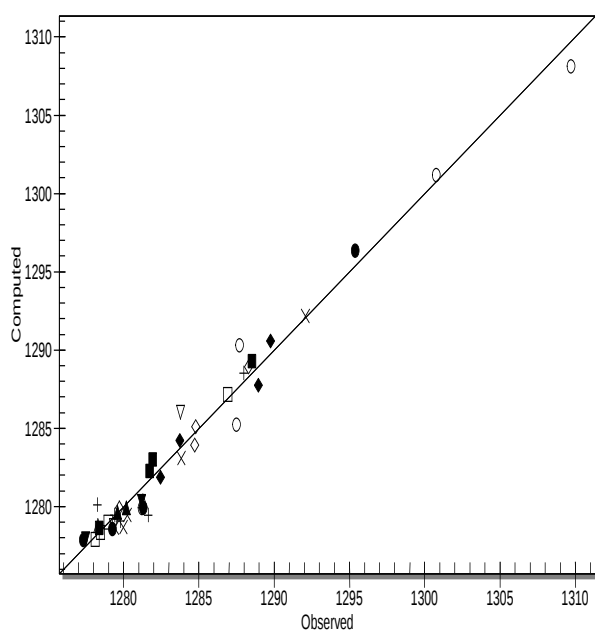
ادامه جدول ۵-۱۰ خطای مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزومترها

کد پیزومتر	UTM Y	UTM X	نام پیزومتر	انحراف معیار از مقادیر مشاهده ای (بر حسب متر)
47	4103043	572259	تپه رش	0.66
48	4104170	600310	اراضي حسين آباد	0.94
49	4104380	589490	بكتاش	0.54
50	4105730	580140	قره قوزلو - پل چرچر	0.82
51	4106072	570692	قلعه پايين	0.76
53	4106760	577235	ورودي فسندوز	1.40
54	4108320	598880	ابتهادي كمربندي ملكان	1.67
55	4108800	589410	شعبانلو	1.26
56	4109044	580180	آغداش به قره قوزلو	1.14
58	4110206	584250	ابراهيم حصار	1.11
59	4110500	595880	تازه قلعه	1.38
60	4110717	586865	قيچان	1.04
61	4110722	577463	فسندوز شيلات	0.27
62	4110932	593200	خزينه جديد	0.28
63	4111960	581865	مسجد آغداش	0.52
64	4112050	590540	شرانلو	0.64
65	4112803	579827	غرب آغداش	1.03
66	4113580	583830	امام زاده تاج الدين	1.06
68	4114420	601105	قوريچان	2.20
69	4114729	586121	غرب مجيدآباد	1.23
70	4116330	588940	چيقلو - جاده قديم	0.24

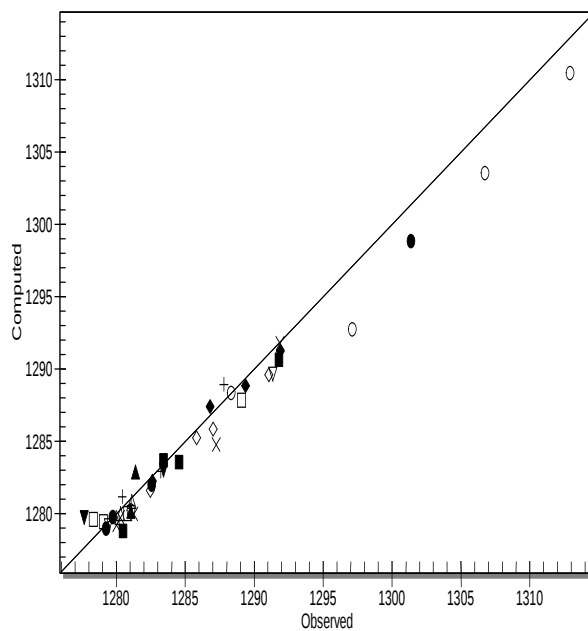
در نمودارهای مندرج در شکل ۵-۴۶ تا شکل ۵-۵۷، میزان انحراف مدل در محاسبه تراز آب در سطوح مختلف، برای هر گام زمانی نشان داده شده است.



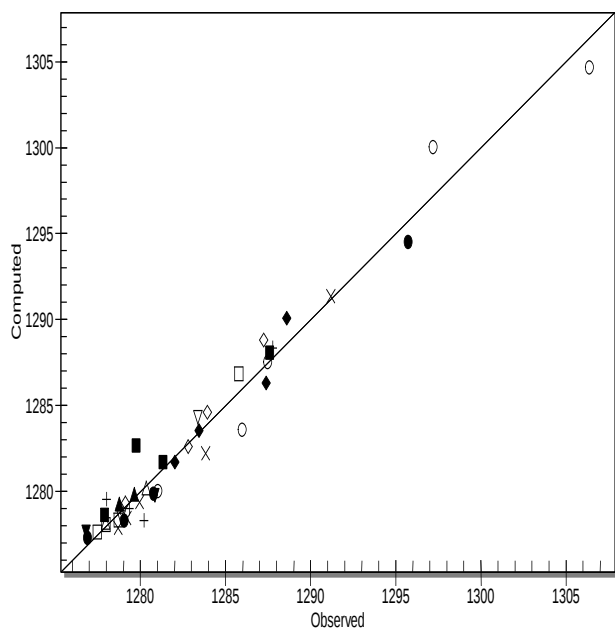
شکل ۵-۴۵ نماد پیزومترها در نمودارهای معرف میزان خطای اندازه گیری شده



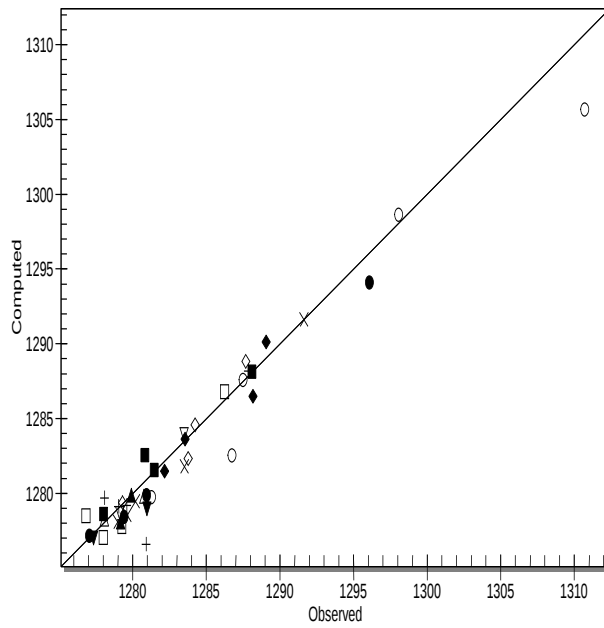
شکل ۴۷-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در اردیبهشت ماه (بر حسب متر)



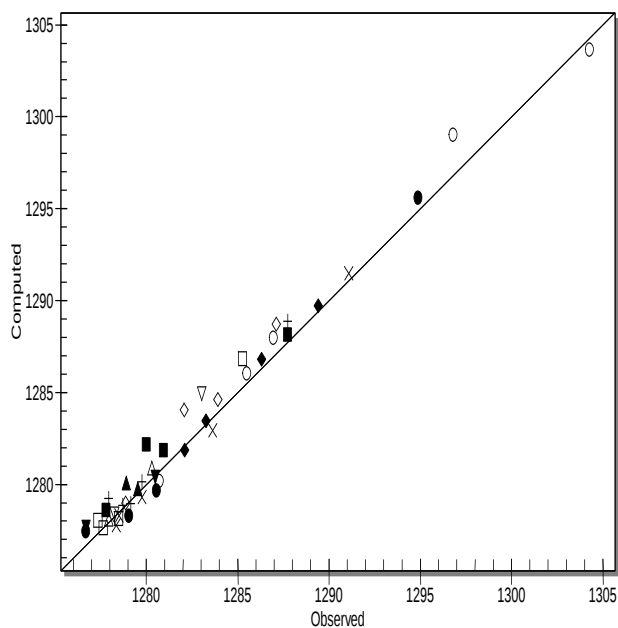
شکل ۴۶-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در فروردین ماه (بر حسب متر)



شکل ۴۹-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در تیر ماه (بر حسب متر)

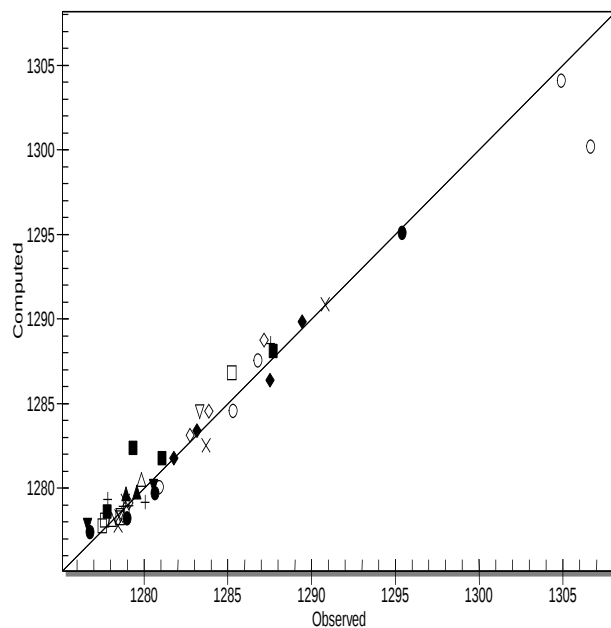


شکل ۴۸-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در خرداد ماه (بر حسب متر)



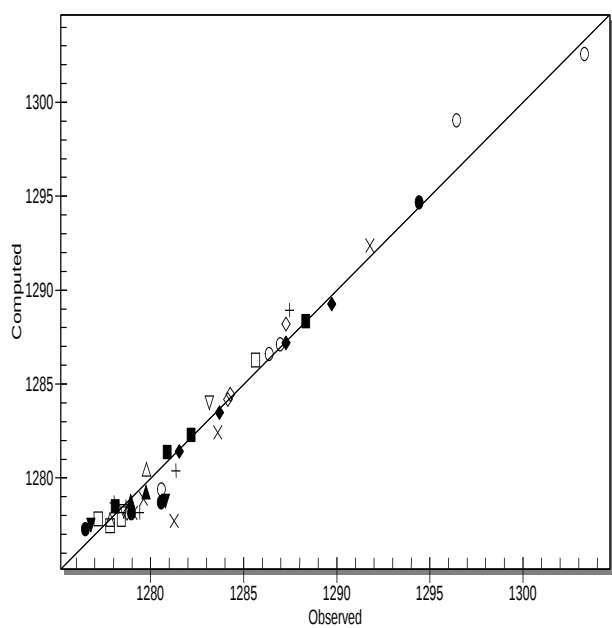
شکل ۵-۵۱ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای

پیزومترها در شهریور ماه (برحسب متر)



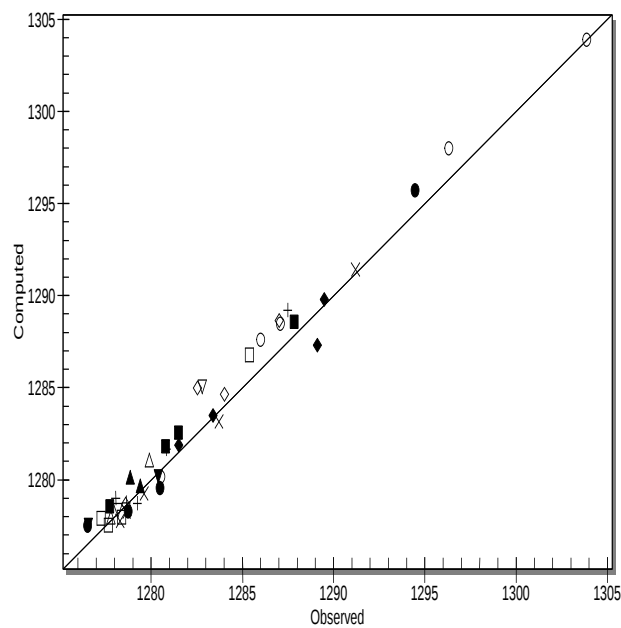
شکل ۵-۵۰ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای

پیزومترها در مرداد ماه (برحسب متر)



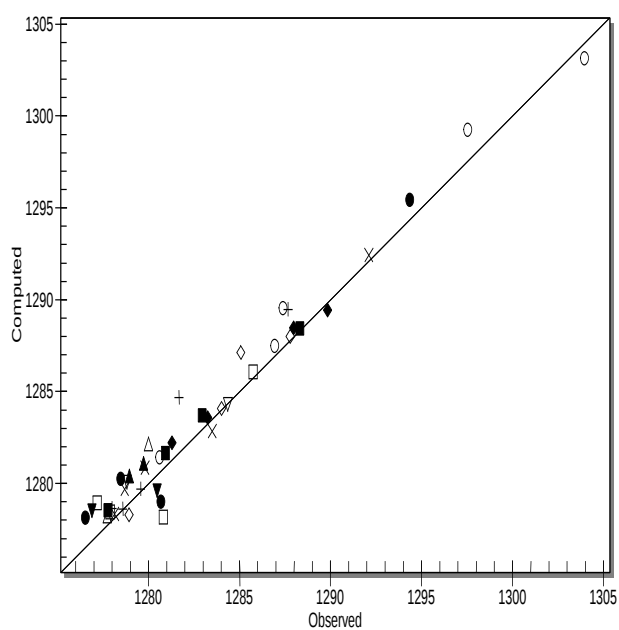
شکل ۵-۵۳ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای

پیزومترها در آبان ماه (برحسب متر)

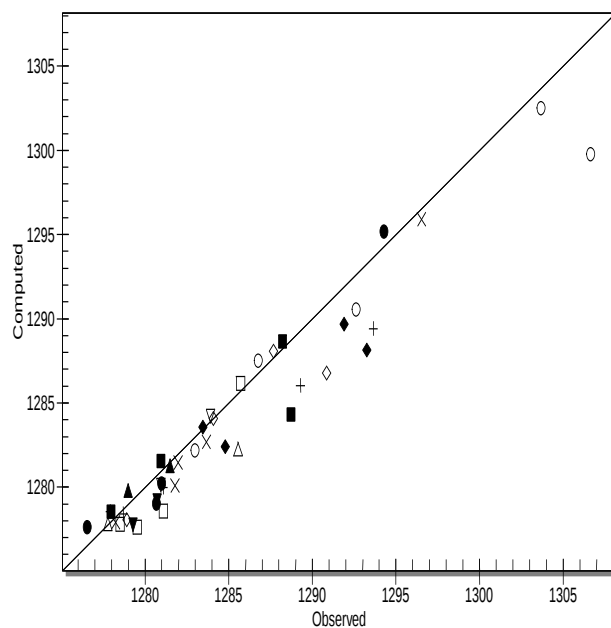


شکل ۵-۵۲ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای

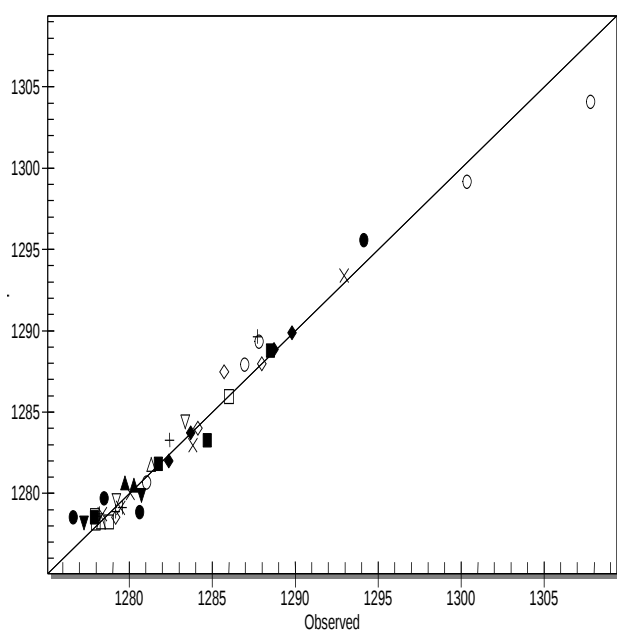
پیزومترها در مهر ماه (برحسب متر)



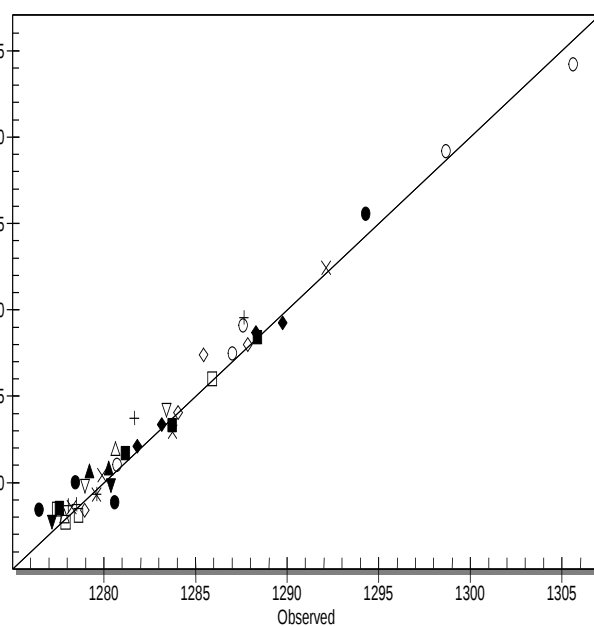
شکل ۵۵-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در دی ماه (برحسب متر)



شکل ۵۴-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در آذر ماه (برحسب متر)



شکل ۵۷-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در اسفند ماه (برحسب متر)



شکل ۵۶-۵ تفاوت مقدار محاسبه شده و مشاهده شده برای
پیزومترها در بهمن ماه (برحسب متر)

۵-۱۲- صحت سنجی

به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از مدلسازی، از سال مجاور سال انتخاب شده برای مدلسازی استفاده گردید و با فرض ثابت بودن تمامی ضرایب و پارامترهای بدست آمده در طی فرایند واسنجی مدل، با ایجاد تغییر در عوامل مربوط به تغذیه و تخلیه از آبخوان نتایج مدل با داده های چاه های مشاهده ای در سال مذکور، مقایسه شد. نتایج حاصل از مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر مشاهده ای در نمودارهای مندرج در شکل پ-۴۲ تا شکل پ-۸۴ در قسمت پیوست ۰۲ نشان داده شده است. میزان خطای کلی مدل در سال صحت سنجی اندکی افزایش پیدا کرده و به عدد ۱,۶۵ رسیده، اما همانطور که از نمودارهای قرار گرفته در پیوست نیز مشخص می باشد، روند خاصی در خطا ها که حاکی از تجمع خطا در مدل باشد، ملاحظه نمی گردد. همچنین میزان خطای اندازه گیری شده برای هر پیزومتر در جدول ۵-۱۱ ذکر شده است.

جدول ۵-۱۱ انحراف از معیار مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزومترها

کد پیزومتر	UTM Y	UTM X	نام پیزومتر	انحراف معیار از مقادیر مشاهده ای (بر حسب متر)
12	4084970	593515	ملاکندي قدیم	2.22
15	4086463	600629	عسگرآباد	1.29
18	4088169	588534	سیستک (گرده لوله)	1.70
23	4092590	594854	جاده چیلک	1.04
24	4092832	590873	تازه کند	1.20
26	4093536	585007	گزلان	1.97
28	4093980	576652	قزقلعه	0.72
29	4094433	601360	قجلو	1.03
31	4095132	604444	ملاشهاب الدین	2.17
33	4095704	574861	قل حسن	0.77
34	4096480	596762	ایستگاه کشاورزی میاندوآب	0.83
35	4097396	573385	پیزومتر شماره ۳۵	1.12
36	4099117	574317	کورآباد	0.53
37	4099245	576550	چوغانلو	0.64
38	4099277	581272	للكو	0.57
39	4100230	583569	نظام آباد	0.44
40	4100490	594958	کوسالار	0.98
41	4100650	598680	جعفرآباد حسن آباد	0.35
42	4100790	590782	اسلام تپه	0.70

ادامه جدول ۵-۱۱ خطای مقادیر محاسبه شده به عنوان تراز آب در محل پیزومترها

کد پیزومتر	UTM Y	UTM X	نام پیزومتر	انحراف معیار از مقادیر مشاهده ای (برحسب متر)
44	4101508	573482	حیران	0.63
45	4102563	579042	جعفرآباد- چیلک	1.23
46	4102865	575029	قره پایاق	0.92
47	4103043	572259	تپه رش	1.03
48	4104170	600310	اراضي حسين آباد	0.40
49	4104380	589490	بكتاش	0.33
50	4105730	580140	قره قوزلو - پل چرچر	0.47
51	4106072	570692	قلعه پابین	0.56
53	4106760	577235	ورودي فسندوز	1.67
54	4108320	598880	ابتدای کمربندی ملکان	3.04
55	4108800	589410	شعبانلو	1.61
56	4109044	580180	آغداش به قره قوزلو	1.01
58	4110206	584250	ابراهيم حصار	1.41
59	4110500	595880	تازه قلعه	1.20
60	4110717	586865	قیچان	1.01
61	4110722	577463	فسندوز شیلالت	0.36
62	4110932	593200	خزینه جدید	0.81
63	4111960	581865	مسجد آغداش	0.73
64	4112050	590540	شرانلو	0.59
65	4112803	579827	غرب آغداش	0.64
66	4113580	583830	امام زاده تاج الدین	1.25
68	4114420	601105	قوریجان	4.05
69	4114729	586121	غرب مجیدآباد	0.68
70	4116330	588940	چیقلو - جاده قدیم	0.50

با توجه به این که مرزها، در هنگام پیاده ساز مدل به صورت مرز با هد ثابت تعریف شده بودند و برای تعیین سطح آب در مرزها نیز از ارتفاع آب پیزومترهای نزدیک به مرزها کمک گرفته شده بود، در قسمت اعتبار سنجی مدل به منظور عدم ایجاد وابستگی بین داده های مشاهده ای و شرایط مرزی تعریف شده برای مدل، ترجیح داده شد که ارتفاع آب در مرزها بدون تغییر نسبت به حالت واسنجی تعریف شود. این مسئله موجب شد تا در برخی از پیزومترهای مرزی مانند قوریجان، ابتدای کمربندی ملکان، ملاکندی قدیم، ملاشهاب الدین و گزلان به دلیل در نظر نگرفتن تغییر سطح آب مرزها در طول یک سال، شاهد افزایش میزان خطا باشیم که اگر از خطای به وجود آمده در پیزومتر

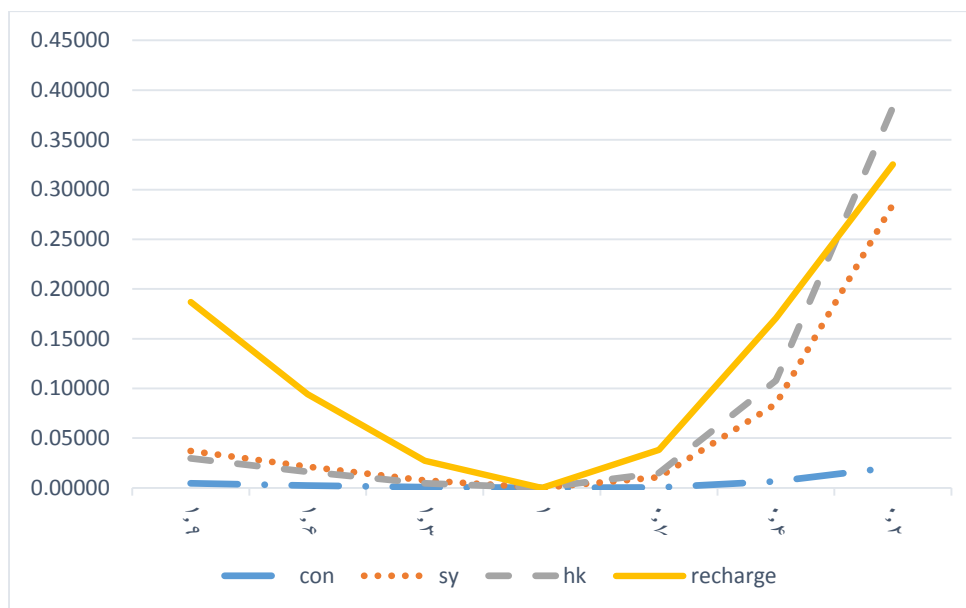
های فوق (که دلیل آن توضیح داده شد) صرف نظر کنیم، در اکثر موارد عملکرد مدل در سال اعتبار سنجی مشابه با نتایج به دست آمده در سال واسنجی می باشد. علاوه بر مطلب فوق، یکی دیگر از مواردی که موجب بالا رفتن خطای مدل نسبت به سال اعتبار سنجی، البته با تاثیر بسیار کمتر گردیده است، تفاوت در نحوه ی بهره برداری از شبکه زرينه رود در سال واسنجی مدل نسبت به سال اعتبار سنجی آن می باشد (رها سازی های صورت گرفته به منظور کنترل سیلاب). در توضیح این مطلب باید گفت، اگرچه در صورتی که مدل همانند نمونه واقعی رفتار کند، با ایجاد تغییر در پارامترهای هیدرولوژیکی آبخوان، می بایست شاهد تغییر در ترازهای محاسبه شده به همان صورتی که در طبیعت رخ می دهد باشیم، اما به علت کثرت پارامترهای درگیر در مرحله کالیبراسیون، ممکن است مدل در فرایند رسیدن به جواب بهینه تا حد کمی اثر یکی از پارامترها را با ایجاد تغییر در سایر پارامترهای درگیر جبران نماید؛ یا به عبارت دیگر ممکن است مدل دارای چند جواب بهینه در محدوده ی امکانپذیر برای تابع هدف باشد که طبیعتاً تمامی آن ها به صورت کامل منطبق با شرایط واقعی مدل نمی باشند. لذا ایجاد تغییر ناگهانی در یکی از پارامترهای هیدرولوژیکی نیز می تواند تا حدودی بر بالا رفتن خطای مدل تاثیر گذاشته باشد.

۵-۱۳- تحلیل حساسیت

پارامترهای زیادی در معادله جریان آب زیرزمینی وارد می شوند که لازم است میزان حساسیت هریک از این پارامترها در مدل بررسی گردد. با توجه به این مطلب، تاثیر پارامترهایی که در جریان فرآیند واسنجی مدل شرکت نموده اند و برآورد آن ها با عدم قطعیت همراه بود، بر مقدار تابع هدف که همان مجموع مربعات خطاهای مدل می باشد بررسی شده و نتایج آن در شکل ۵-۵۸ درج گردیده است. از میان چهار پارامتر مورد بررسی در این بخش، پارامتر درصد نفوذ مصرف خالص آب کشاورزی جزو پارامترهای هیدرولوژیکی مدل به شمار می رود که تغییر آن به صورت مستقیم بر میزان تغذیه آبخوان اثر خواهد گذاشت. لذا با توجه به این مطلب انتظار می رود که در صورت ایجاد هرگونه تغییر در این پارامتر مدل به سرعت واکنش نشان داده و همانگونه که شکل ۵-۵۸ نشان داده میزان خطای مدل تقریباً به صورت خطی با تغییر این پارامتر تغییر نماید. برخلاف پارامتر درصد نفوذ مصرف خالص آب کشاورزی، سه پارامتر ضریب هدایت هیدرولیکی، ضریب ذخیره و ضریب هدایت کف رودخانه ها، جزو خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان بشمار می روند که تغییر در پارامترهای اول و سوم بیشتر توزیع مکانی خطاها را تحت تاثیر قرار می دهد و تغییر در پارامتر دوم بر روی توزیع زمانی خطاها اثر می گذارد. در واقع در صورتی که شاهد تغییرات

شدید و ناگهانی تراز سطح آب در آبخوان نسب به زمان باشیم، باید انتظار ضرایب ذخیره حداقلی را داشته و برعکس در حالتی که تغییرات سطح آب در آبخوان نسبت به تغییرات زمانی پارامترهای هیدرولوژیکی کم باشد، با ضرایب ذخیره بزرگتر مواجه می شویم که در اینجا همانطور که از نتایج مندرج در نمودار زیر (شکل ۵-۵۸) مشخص می باشد به دلیل این که تغییرات زمانی سریع سطح آب نسبت به زمان در ماه های مختلف سال روی داده، افزایش مقدار این پارامتر همراه با صعود سریع میزان خطا خواهد بود در حالی که در حالت معکوس چنین روندی مشاهده نمی گردد.

با بررسی جزئی تر نتایج تحلیل حساسیت مدل، متوجه خواهیم شد که عکس العمل مدل نسبت به تغییر در مقدار ضریب ذخیره بسیار مشابه با تغییر در ضریب هدایت هیدرولیکی می باشد و در صورت افزایش این پارامتر، خطای مدل به شدت تغییر می کند. دلیل این مطلب نیز اولاً به تاثیر گذاری این پارامتر بر تمامی محدوده مدل و ثانياً وابستگی بالای جهت و میزان جریان به این پارامتر بر می گردد. از آنجا که افزایش میزان ضریب هدایت موجب توزیع مکانی یکنواخت اثر ورود خروج آب از طریق منابع و مصارف مختلف در تمامی سلول های مدل می گردد، همانگونه که نتایج نیز نشان می دهند مدل نسبت به این تغییر حساس بوده و در صورت تغییر در برداشت آب بیشترین تاثیر متوجه همان منطقه از دشت خواهد بود. برخلاف سایر پارامترهای مورد بررسی که کل مدل را تحت تاثیر قرار می دهند و موجب تغییر سطح آب در تمامی پیژومترهای مدل شوند، ضریب هدایت کف رودخانه بر تعداد محدودی پیژومتر می گذارد و میزان حساسیت تابع هدف نسبت این پارامتر از سایر پارامترها کمتر می باشد.



شکل ۵-۵۸ نمودار میزان تغییر در تابع هدف (مجموع مربعات خطاها) به ازای تغییر در پارامتر مربوطه

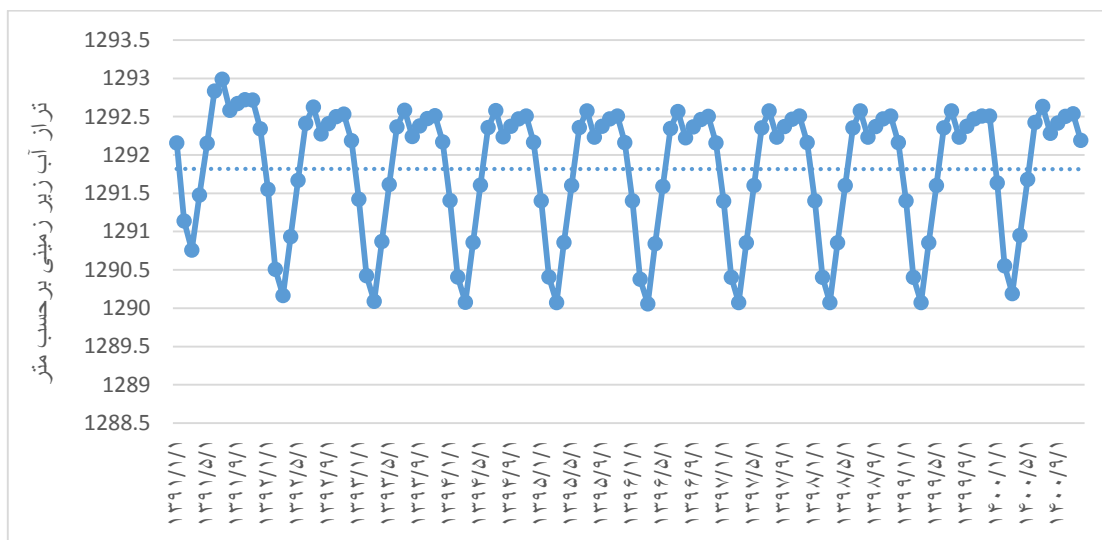
۶- سناریو های پیشنهادی

هدف از تهیه و اجرای مدل آب زیرزمینی دشت میاندوآب که در فصل اول نیز به آن اشاره شد، ارزیابی واکنش آبخوان این دشت، نسبت به تنش های مختلف هیدرولوژیکی که در اثر اعمال سیاست های موردنظر در بهره برداری از آبخوان ایجاد می شود، می باشد. با توجه به این مطلب در این فصل نتیجه اعمال سناریو های مختلف بهره برداری از منابع آب دشت میاندوآب بررسی گردیده و به تبع آن میزان کارایی این طرح ها در مواجهه با مشکلات آبی مطرح در منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است. پیش از این در قسمت مدل سازی مشخص گردید که عمق آب زیر زمینی در شمال دشت نسبت به جنوب آن بسیار کم می باشد و همین امر باعث شده که رودخانه های عبوری در قسمت شمالی از آبخوان تغذیه و در قسمت جنوبی آبخوان را تغذیه نمایند. علاوه بر این نتایج نشان داد که میزان تبخیر از آبخوان در قسمت شمالی بسیار زیاد می باشد که این موضوع باعث شوری آب در قسمت های شمالی نیز شده است. وضعیت ذخیره آب در آبخوان نیز تقریباً در حال تعادل ارزیابی شده و میزان تغذیه و تخلیه از آبخوان بشدت تحت تاثیر مصرف آب در بخش کشاورزی می باشد. سوال اصلی که در رابطه با منابع آب زیر زمینی دشت مطرح می شود، این است که چگونه می توان با ایجاد تغییر در نحوه بهره برداری از آبخوان از هدر رفت آب جلوگیری نموده و سهم آب بیشتری را از منابع آب منطقه صرف احیاء دریاچه نمود و یا به عبارت دیگر با مدیریت صحیح منابع آب، حقابه مورد نیاز دریاچه را تامین نمود که در ادامه با ارائه اثرات میان مدت اجرای دو سناریو مختلف بهره برداری از آبخوان که هریک با اهداف خاصی و با توجه به وضعیت کنونی منابع و مصارف دشت تولید شده اند، میزان اثر بخشی آن ها بر بهبود وضعیت منابع آب منطقه مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

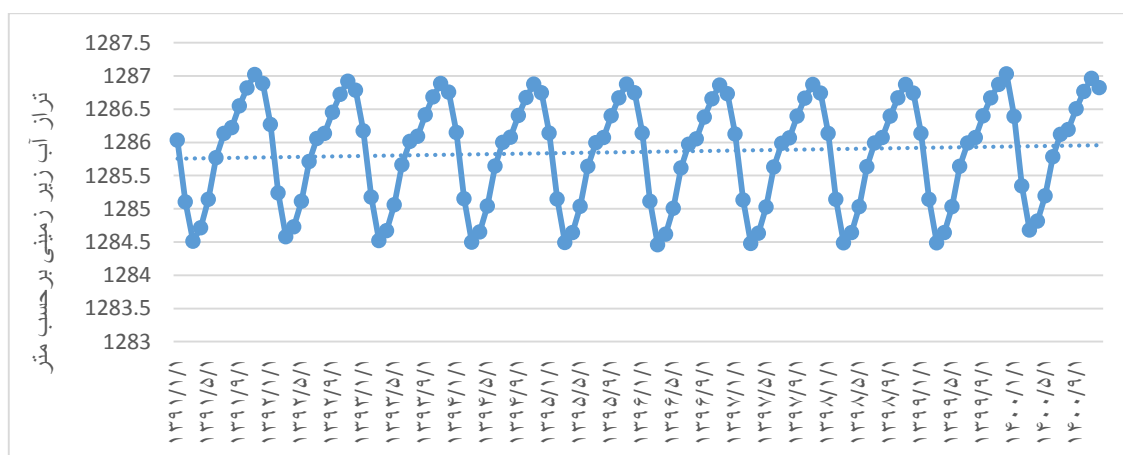
۶-۱- سناریو مرجع

به منظور بررسی میزان بهبود صورت گرفته در وضعیت منابع آب منطقه و مقایسه اثرات طرح های در نظر گرفته شده با شرایط کنونی بهره برداری از منابع آب در دشت میاندوآب، سناریو مرجع که در آن شرایط بهره برداری از آبخوان در وضعیت سال اجرای مدل (سال ۱۳۸۹) باقی می ماند، تهیه شده است. لازم به ذکر است که در سال مدلسازی دو مورد رهاسازی آب در شبکه به منظور تعدیل اثر سیلاب های میان حوضه ای صورت گرفته که در سایر سال ها کمتر بچشم می خورد، لذا به منظور نزدیکتر کردن شرایط مدل با شرایط واقعی در یک دوره میان مدت، از در نظر گرفتن رهاسازی های صورت گرفته در شبکه امتناع شده است. همچنین مدت در نظر گرفته شده برای اعمال سناریو های

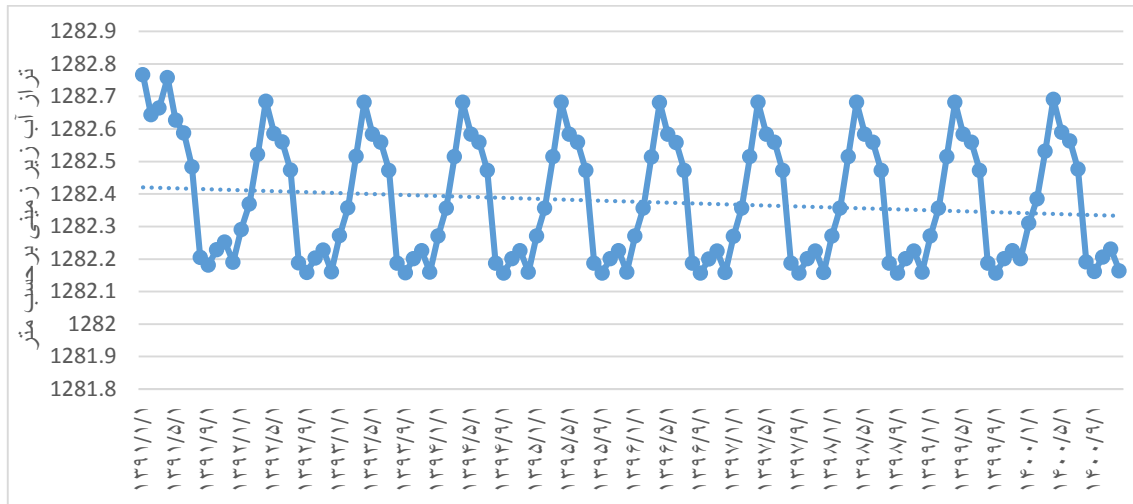
مدنظر ۱۰ سال می باشد که از سال اجرای اعتبارسنجی مدل (سال ۱۳۹۰) شروع می گردد. به منظور ارزیابی مناسبتر نتایج، در قسمت های مختلف آبخوان، برای نمایش نتایج حاصل از اجرای این سناریو، منطقه به چهار قسمت ورودی، یک چهارم دوم دشت، یک چهارم سوم دشت و قسمت خروجی، تقسیم گردیده تا با بررسی میزان تغییرات سطح آب در این مناطق بتوان ارزیابی نسبتا جامعی از روند تغییرات سطح آب در کل منطقه داشت. در شکل ۶-۱ تا شکل ۶-۴ نتایج حاصل از اجرای این سناریو نمایش داده شده است.



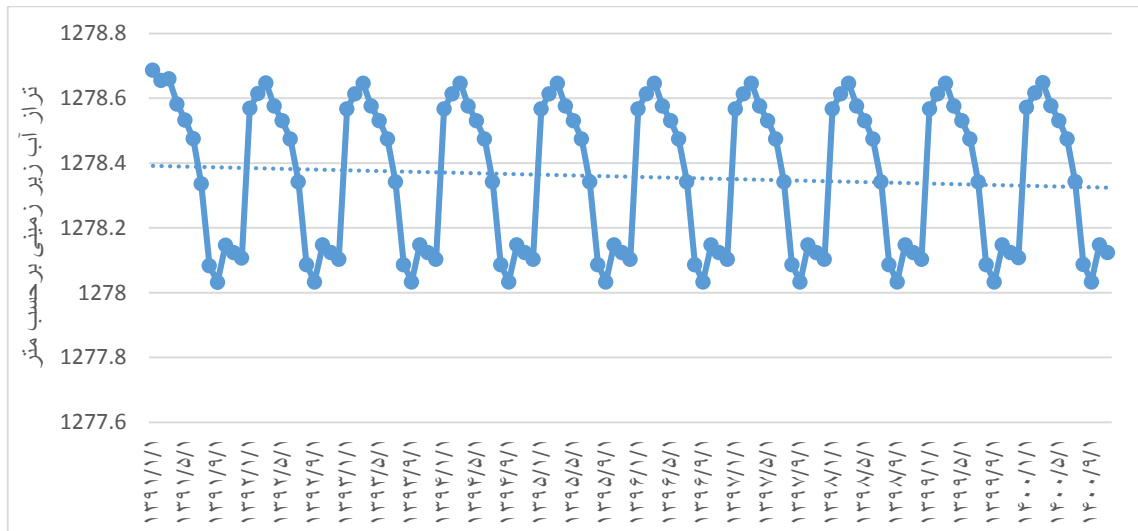
شکل ۶-۱ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم ابتدای دشت (سناریو مرجع)



شکل ۶-۲ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم دوم دشت (سناریو مرجع)



شکل ۳-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم سوم دشت (سناریو مرجع)

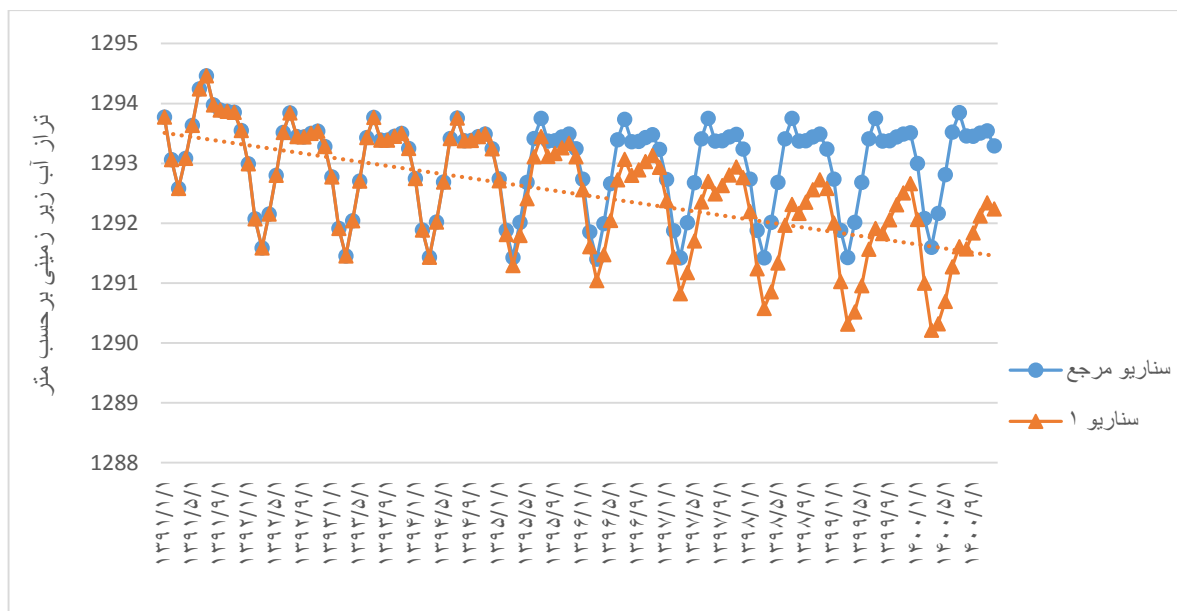


شکل ۴-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم انتهایی دشت (سناریو مرجع)

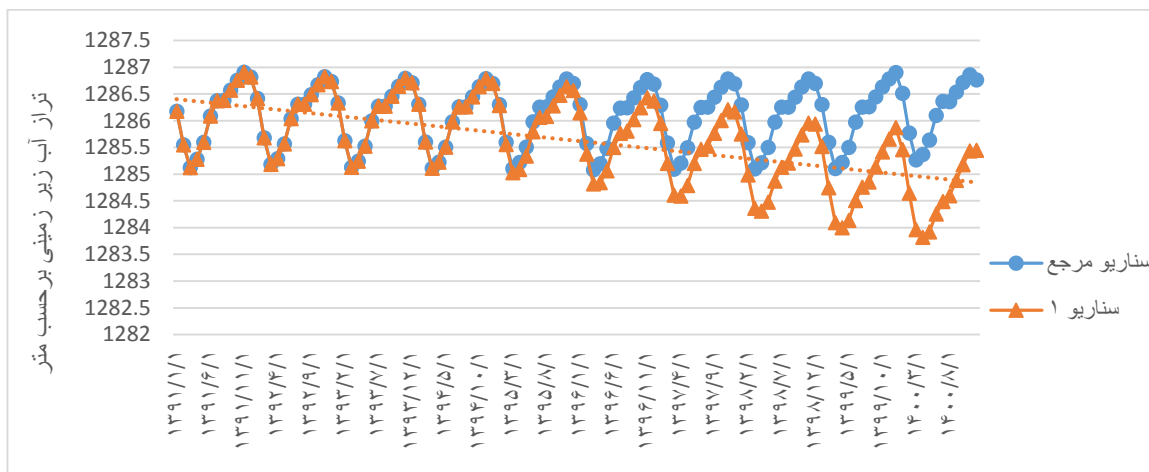
همان طور که در نمودار های فوق نیز مشهود است، در صورت ادامه روند کنونی برداشت از آب زیرزمینی، میزان تغییرات تراز سطح آب در دشت تقریباً ثابت باقی مانده و ذخیره آب در طی این ده سال تنها در حدود ۲۰ میلیون مترمکعب (دو میلیون مترمکعب در هر سال) افزایش پیدا خواهد کرد که نشان از تعادل نسبی آبخوان در وضعیت کنونی دارد. همچنین وضعیت تبخیر از سطح آبخوان و میزان تغذیه و تخلیه رودخانه ها نیز که تابعی از سطح آب در آبخوان می باشند تقریباً ثابت بوده و دچار تغییر خاصی نمی گردند.

۶-۲- سناریو شماره ۱

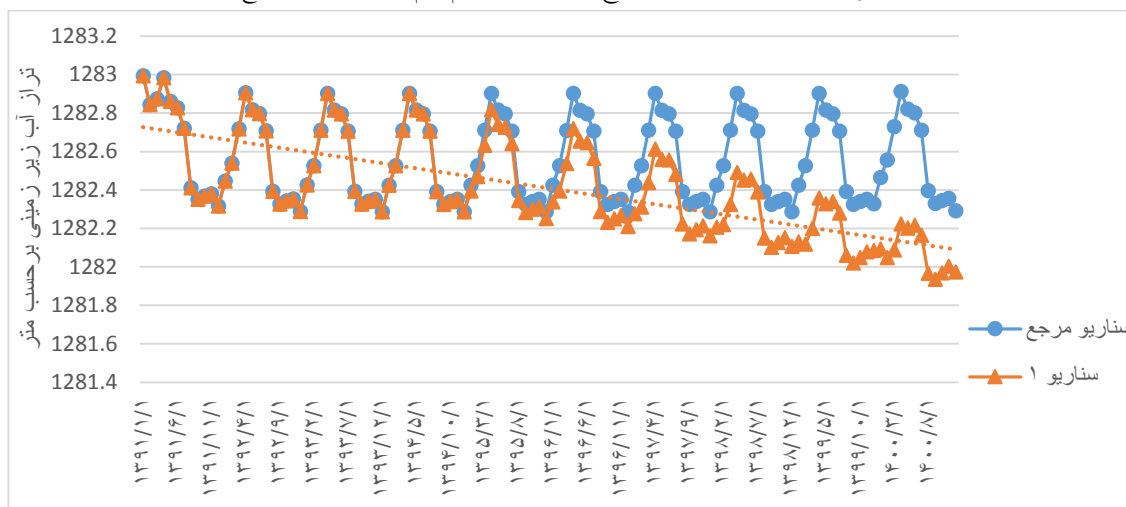
مطابق با نتایج مطالعه ای که به موازی این تحقیق بر روی بهینه سازی الگوی کشت در منطقه میاندوآب صورت گرفت، مشخص شد که تنها با تغییر در الگوی کشت محصولات کشاورزی ضمن ثابت نگه داشتن و در بعضی موارد با افزایش میزان درآمد حاصله از فروش محصولات کشاورزی، می توان آب مصرف شده در بخش کشاورزی دشت میاندوآب را تا ۵۰ درصد کاهش داده و با انتقال آب ذخیره شده به دریاچه ارومیه، روند احیاء آن را تسریع کرد. لذا به منظور بررسی اثرات احتمالی اجرای این طرح بر روی آبخوان دشت میاندوآب، سناریو کاهش میزان آب مورد استفاده در بخش کشاورزی تهیه و اجرا گردید. مطابق با این سناریو از سال ۱۳۹۴ با گذشت هر سال به میزان ۸ درصد از مصرف آب کشاورزی در منطقه کاسته و در حالت اخیر فرض می شود که تمامی این صرفه جویی که با تغییر در الگوی کشت محصولات حاصل شده است، از محل کاهش رهاسازی آب در شبکه زرينه رود صورت گرفته و میزان برداشت از چاه ها طی این مدت ثابت می ماند. تاثیرات ناشی از اعمال این سناریو بر آبخوان دشت میاندوآب در نمودار های مندرج در شکل ۶-۵ تا شکل ۶-۸ نشان داده شده است.



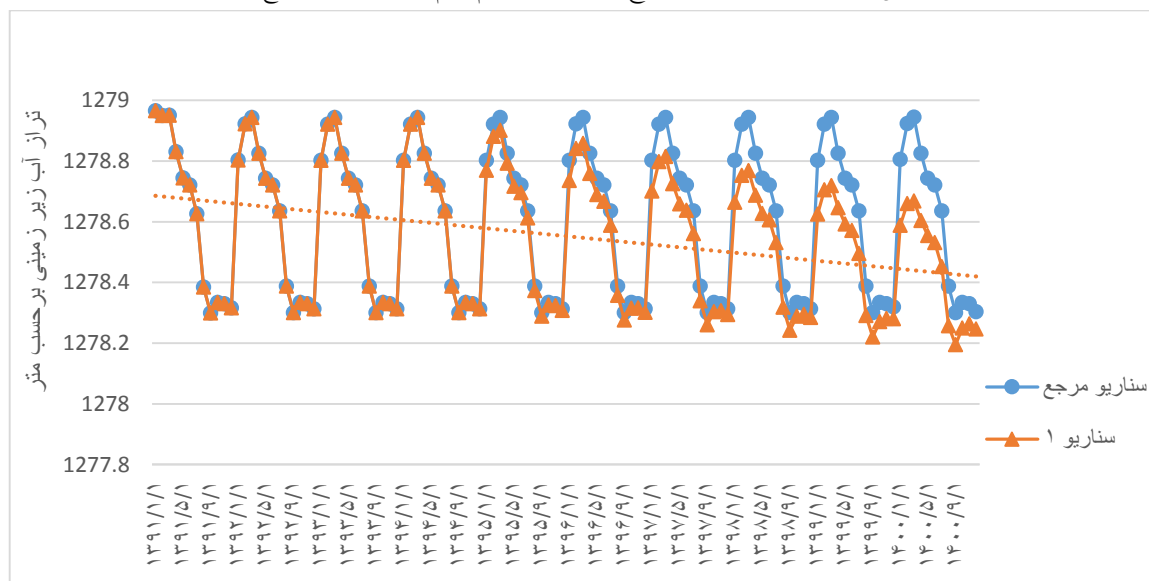
شکل ۶-۵ نمودار تغییرات تراز آب در یک چهارم ابتدایی دشت (سناریو مرجع)



شکل ۶-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم دوم دشت (سناریو مرجع)

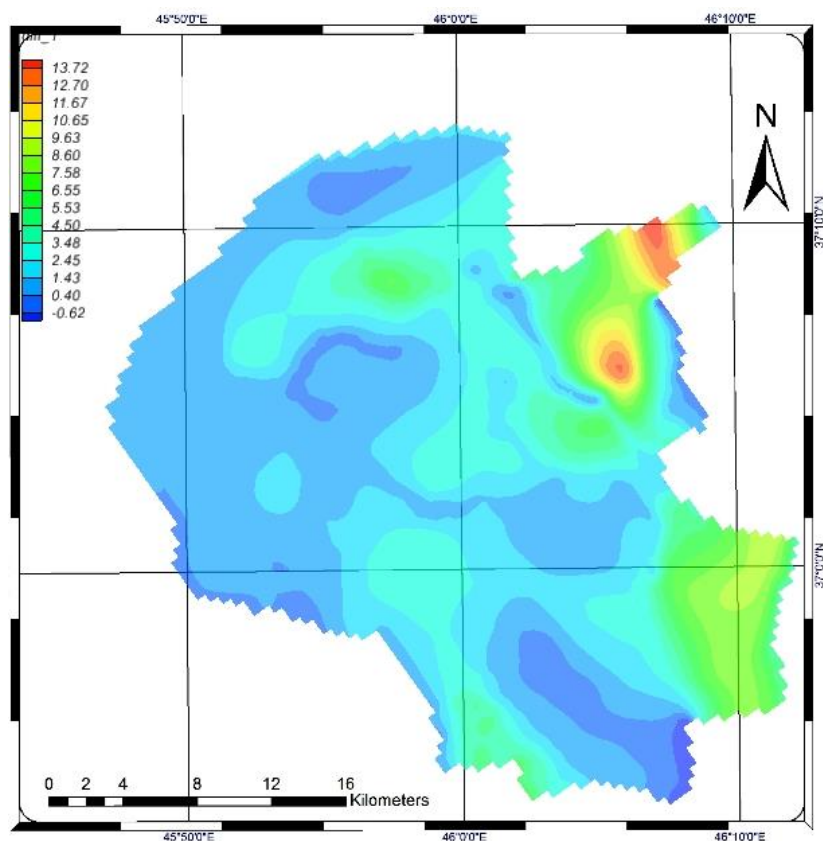


شکل ۷-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم سوم دشت (سناریو مرجع)



شکل ۸-۶ نمودار تغییرات تراز سطح آب در یک چهارم انتهایی دشت (سناریو مرجع)

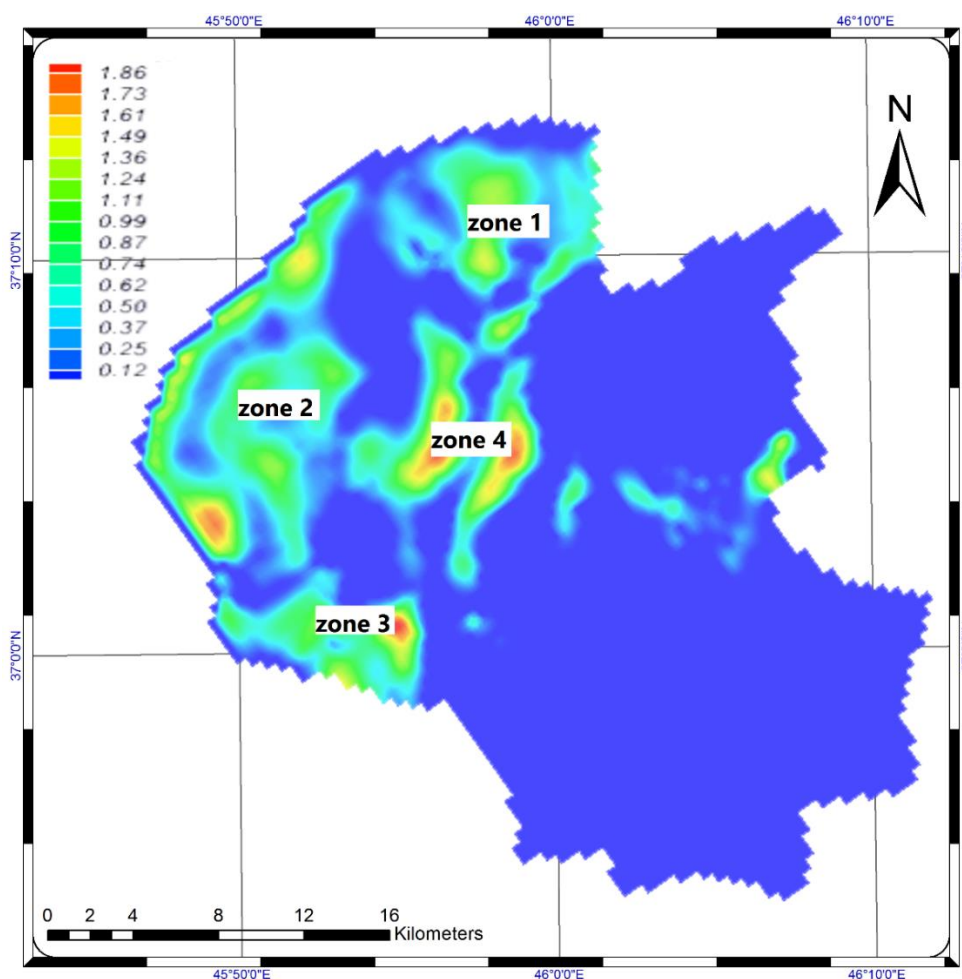
بر اساس نتایج بدست آمده از اجرای این سناریو، مشخص گردید که با اعمال این طرح سطح آب زیرزمینی در تمامی نقاط دشت افت قابل ملاحظه ای را به خصوص در نواحی شرقی تجربه خواهد کرد (شکل ۹-۶) و این افت ممکن است در سال های آتی نیز که در اجرای سناریو در نظر گرفته نشده اند ادامه یابد. با چشم پوشی از حالت ادامه روند افت در تراز سطح آب و با فرض این که پس از به وقوع پیوستن افت ناشی از کاهش رهاسازی آب در شبکه، شاهد به وجود آمدن شرایط نسبتاً پایدار در تراز سطح آب آبخوان باشیم، با توجه به نزدیک بودن سطح آب زیرزمینی به تراز سطح زمین در این منطقه، با این میزان کاهش تراز احتمال بروز مشکل خاصی برای آبخوان پیش بینی نمی شود. مضاف بر این مطالب، نتایج اجرای این سناریو نیز حکایت از آن دارد که در طول ۶ ساله اجرای طرح مذکور میزان تبخیر صورت گرفته از آبخوان به میزان ۱۰۰ میلیون متر مکعب کاهش می یابد که موجب کاهش هدر رفت میزان قابل توجهی آب در منطقه می گردد.



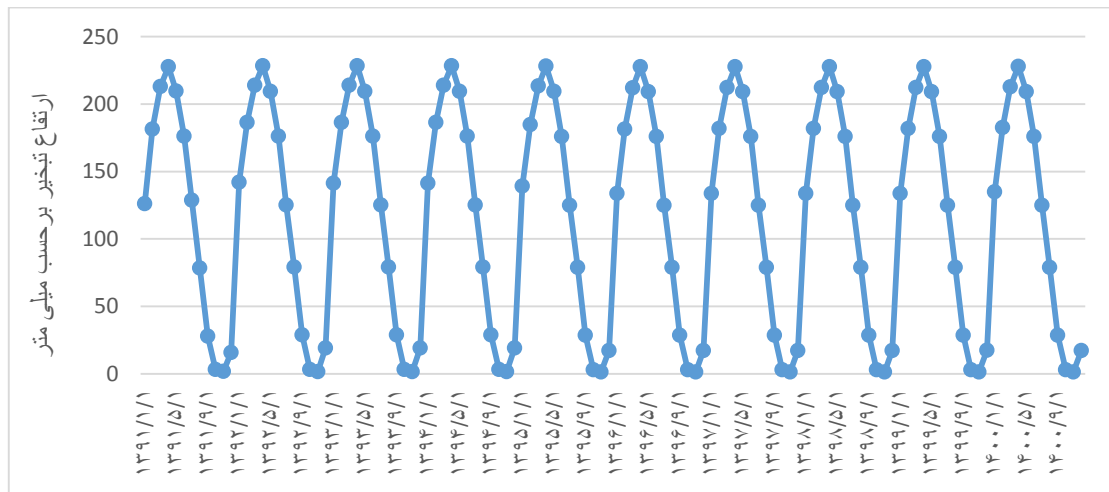
شکل ۹-۶ اختلاف تراز محاسبه شده بین فروردین ماه سال اجرای مدل (۱۳۸۹) و فرودین ماه سال اتمام سناریو (۱۴۰۰)

۳-۶- سناریو شماره ۲

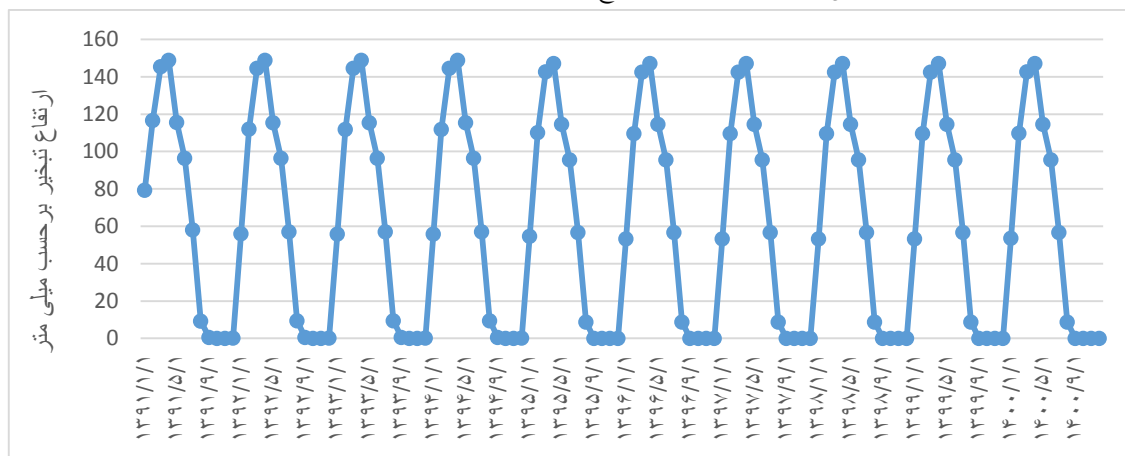
همان طور که در قسمت تفسیر نتایج مدلسازی نیز اشاره گردید، میزان تبخیر صورت گرفته از آبخوان به دلیل نزدیکی تراز سطح آب در آن به سطح زمین، در نواحی مشخصی که در قسمت شمالی دشت واقع شده اند، از میزان قابل توجهی برخوردار می باشد (شکل ۶-۱۰). برای مقابله با این مسئله که علاوه بر از بین بردن زمین های کشاورزی به دلیل شور شدن خاک آنها، موجب هدر رفت در حدود ۷۰ میلیون مترمکعب آب در سال نیز می گردد، پیشنهاد احداث زهکش در مناطق مورد بحث مطرح می گردد که به موجب آن در سناریو دوم به منظور کاهش میزان هدررفت آب در مناطق شمالی دشت، شبکه زهکشی با عمقی مابین ۰.۲ تا ۲.۵ متر، از سال ۱۳۹۵ در مدل ایجاد گردیده است. نتایج حاصل از احداث این شبکه که طول آن مجموعاً به ۴۰ کیلومتر میرسد، بر میزان کاهش تبخیر از آب زیر زمینی در مناطق مورد بحث در نمودار های شکل ۶-۱۱ تا شکل ۶-۱۴ آورده شده است.



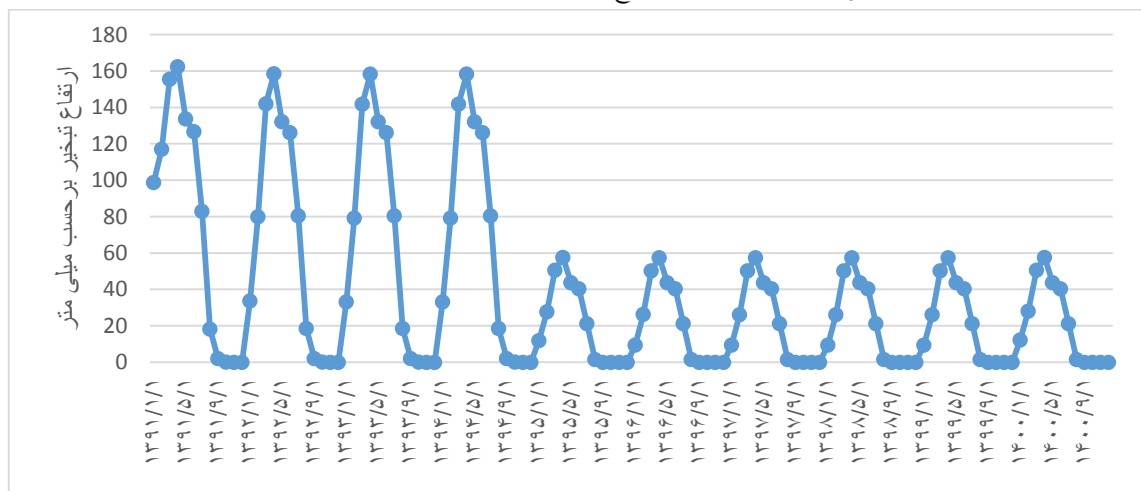
شکل ۶-۱۰ محل نواحی با شدت تبخیر بالا از آبخوان



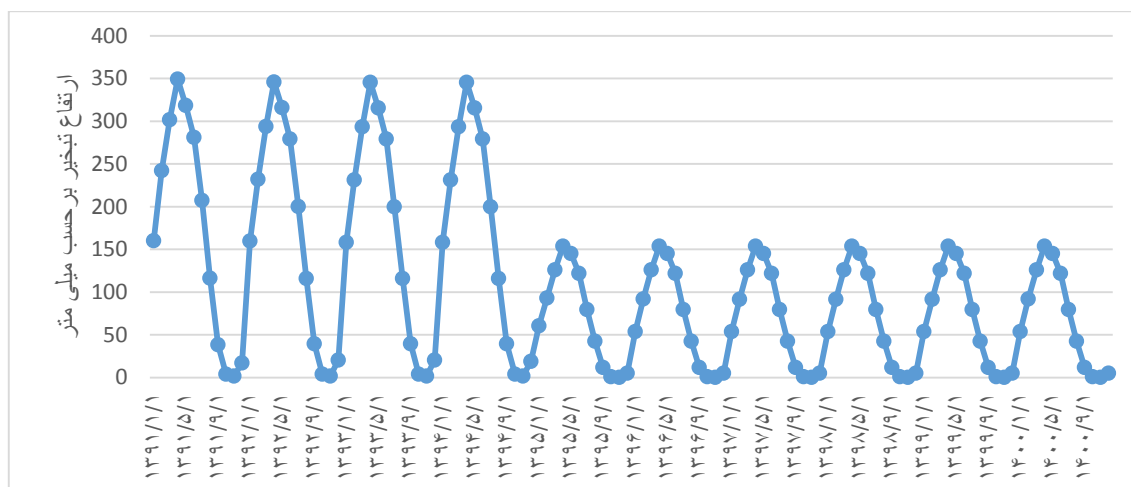
شکل ۶-۱۱ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۱



شکل ۶-۱۲ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۲



شکل ۶-۱۳ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۳



شکل ۶-۱۴ نمودار تغییرات ارتفاع تبخیر صورت گرفته از آبخوان در ناحیه ۴

همانگونه که در نتایج حاصل از مدلسازی نیز مشخص شده، با احداث زهکش می توان از شدت تبخیر و تعرق در نواحی مستعد جلوگیری کرده و با اجرای این طرح از هدر رفت ۶۰ میلیون مترمکعب آب در مدت ۶ سال جلوگیری نمود. البته در برخی از این نواحی نیز به دلیل تاثیر گذاری مرز انتهایی دشت بر سطح آب و همچنین پایین بودن ضریب هدایت هیدرولیکی در این مناطق، ایجاد زهکش در مدل نتوانسته است تغییر چندانی را در کاهش میزان تبخیر و تعرق داشته باشد. البته ذکر این نکته لازم می باشد که ممکن است در نمونه واقعی با توجه تاثیر پذیرفتن سطح آب در این مرز از نوسانات سطح آب در دشت (عدم صادق بودن فرض ثابت بودن سطح آب در مرز در طی دوره اجرای سناریو) در این مناطق نیز از میزان تبخیر و تعرق کاسته شود.

۴-۶- جمع بندی

در این گزارش سعی گردید تا با بهره گیری از داده های سنجش از دور، شامل محصولات بارش و تبخیر و تعرق واقعی در مدل آب زیر زمینی، ضمن سنجش میزان اعتمادپذیری استفاده از این داده ها در یک مدل آب زیرزمینی، با استفاده از نتایج بدست آمده از مدلسازی آبخوان دشت میاندوآب، به بررسی وضعیت بهره برداری از دشت و ارائه راهکارهای اجرایی جهت بهبود وضعیت فعلی پرداخته شود.

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که داده های بدست آمده از پردازش تصاویر ماهواره ای می تواند کمک زیادی در ساخت مدل آب زیر زمینی نماید، اما باید در نظر داشت که در شرایط کنونی استفاده از این داده ها منوط

به اعتبار سنجی آن ها با داده های زمینی می باشد. هرچند در این مطالعه به منظور بررسی دقت و کارایی استفاده از این تصاویر، سعی گردید کمترین وابستگی میان داده های زمینی وارد شده در مدل با محصولات سنجش از دوری برقرار گردد (که اتفاقا نتایج حاکی از عملکرد مناسب این محصولات نیز بود)، اما هنوز نمی توان در پیاده سازی یک مدل به طور کامل به این داده ها اتکا نمود و استفاده از داده های زمینی مانند تراز های چاه های مشاهده ای، نتایج آزمایشات پمپاژ و موقعیت ارتفاعی رودخانه ها از ملزومات این کار به شمار می رود. استفاده از تخمین توزیع مکانی میزان تغذیه آب زیرزمینی با استفاده از نتایج الگوریتم سبال در مناطق کشاورزی از دقت بالایی برخوردار می باشد و همچنین مدل آب زیرزمینی مادفلو در ارزیابی اثرات هیدرولوژیکی متقابل طرح های منابع آب بر روی آبخوان بسیار موفق عمل کرده و می تواند آینده ی طرح ها را به خوبی پیش بینی نماید.

میزان تراکنش آبی در دشت میاندوآب نسبت به سایر مناطق حوضه آبریز دریاچه ارومیه میزان قابل توجهی می باشد که از دلایل آن قرار گرفتن این دشت بر روی یکی از بزرگترین آبخوان های حوضه می باشد. این آبخوان برخلاف اکثر آبخوان های حوضه دریاچه ارومیه، افت تراز آب شدیدی را در سال های اخیر تجربه نکرده و هم نتایج حاصل از مدلسازی و هم اندازه گیری های میدانی نشان می دهد که سطح آب در این آبخوان در وضعیت مناسبی قرار دارد. اما باید توجه داشت که به دلیل بالا بود سطح آب به خصوص در مناطق جنوبی دشت، احتمال زهدار شدن زمین های کشاورزی و از بین رفتن آن ها به دلیل شوری خاک بسیار زیاد بوده و از این رو با توجه به نتایج حاصل از اجرای سناریو های مطرح شده، به نظر می رسد با اجرای طرح های بهینه سازی الگوی کشت در دشت و کاهش میزان رهاسازی آب در شبکه زرينه رود، علاوه بر جلوگیری از هدررفت ۱۰۰ میلیون مترمکعب آب در اثر تبخیر از آبخوان طی مدت ۶ سال مشکل شوری خاک زمین های قسمت های شمالی که به دلیل بالا بودن سطح آب زیر زمینی به وقوع پیوسته تا حدودی مرتفع می گردد. این در حالیکه با توجه به نتایج مدل سازی احتمال بروز مسئله زیست محیطی خاصی برای آبخوان این دشت ضعیف خواهد بود (افت تراز در حدود ۱،۲ متر پیش بینی می شود) که البته این مسئله نیاز به بررسی های تکمیلی دارد. از آنجایی که میزان کاهش هدررفت آب در صورت اجرای سناریو اول کمتر بوده و همچنین ملزومات اجرایی کمتری نیز برای عملیاتی شدن این طرح نسبت به طرح توسعه شبکه زهکشی در شامل دشت مورد نیاز است، توصیه می شود که اجرای این سناریو نسبت به سناریو دوم در اولویت قرار گیرد. همچنین با

اجرای مدل در حالت اعمال همزمان دو سناریو فوق مشخص گردید که میزان تبخیر و تعرق نسبت به حالت اجرای سناریو اول تفاوت فاحشی نداشته و اجرای سناریو اول برای کاهش میزان هدر رفت آب کافی می باشد.

در آخر به عنوان ارائه راهکار برای بهره برداری مناسبتر از آبخوان توصیه می گردد تا راندمان آبیاری در قسمت های شمالی دشت افزایش پیدا کرده تا با کاهش میزان تغذیه آبخوان از هدر رفت آب در اثر تبخیر جلوگیری شود، همچنین توصیه می شود استفاده از منابع آب سطحی (توسعه شبکه) بیشتر در قسمت های جنوبی دشت در دستور کار قرار گیرد و تا حد ممکن در قسمت های شمالی تر از منابع آب زیر زمینی برای توسعه کشاورزی استفاده نمود. البته لازم به ذکر است که با توجه به هدایت الکتریکی بالای آب در مناطق شمالی باید امکان استفاده از آب زیر زمینی در این مناطق بررسی شود. همچنین با توجه به این که در قسمت های جنوبی دشت، تعداد زیادی چاه به طور مستقیم از آب رودخانه استفاده می کنند، توصیه می شود با خریداری چاه های بهره برداری در این مناطق از کاهش جریان آب در رودخانه جلوگیری نمود.

۷- مراجع

۱. مطالعات بهنگام سازی بیلان منابع آب محدوده های مطالعاتی حوضه آبریز دریاچه ارومیه، ۱۳۹۲، شرکت مدیریت منابع آب ایران
۲. بهنگام سازی طرح جامع آب کشور، ۱۳۹۱، دفتر برنامه ریزی کلان آب و آبفا.
۳. پورخواه و همکاران، ۱۳۸۹، بررسی مسائل و مشکلات بهره برداری از شبکه آبیاری و زهکشی دشت زرینه رود (میاندوآب)، سومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، اهواز
۴. خاکبازان، ۱۳۸۸، به کارگیری مدل شبیه سازی هیدرولوژیکی و بیلان انرژی در تخمین تغییرات سطح آب زیر زمینی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۵. خالقیزاده، ۱۳۷۸، مدل کامپیوتری منابع آبی دشت میاندوآب با استفاده از کد کامپیوتری *MODFLOW*، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه
۶. دوستی رضایی و همکاران، ۱۳۹۰، اتخاذ تصمیمی اجرایی با ارزیابی وضعیت فعلی، عوامل موثر و ارائه راهکار برای احیای دریاچه ارومیه، کنفرانس علوم زمین، تهران
۷. سلطانی و همکاران، ۱۳۹۲، ارزیابی مدل *MODFLOW* در شبیه سازی اندرکنش مخازن آب سطحی بر آبخوان در راستای توسعه و بهره برداری پایدار، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تهران.
۸. طرح آبیاری و زهکشی زرینه رود - مطالعات آبهای زیرزمینی دشت میاندوآب، ۱۳۶۹، شرکت مهند سین مشاور مهاب قدس، سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی
۹. اصول هیدرولوژی کاربردی، علیزاده، انتشارات دانشگاه امام رضا مشهد، ۱۳۸۷
۱۰. عمادزاده، ۱۳۸۶، کاربرد سنجش از دور در تخمین بهره وری آب در حوضه آبریز (مطالعه موردی زیر حوضه قرسو)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
۱۱. فرهنگ و همکاران، ۱۳۹۰، بررسی کاربرد مدلهای ریاضی در پیش بینی جریان آب زیر زمینی، اولین همایش منطقه ای توسعه منابع آب، تهران
۱۲. گزارش وضعیت مطالعاتی و اجرایی پروژه های طرح زرینه رود، ۱۳۸۸، شرکت مهند سین مشاور مهاب قدس، سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی
۱۳. نوری و همکاران، ۱۳۸۹، بررسی تنش سفره های آبهای زیرزمینی با استفاده از *GIS* مطالعه موردی دشت های میاندوآب، تبریز و قزوین، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب ساحلی، ساری.

۱۴. یاری و همکاران، ۱۳۸۸، تعامل شبکه آبیاری و زهکشی دشت میاندوآب (زیرینه رود) با مدل منابع آب زیرزمینی دشت، اولین کنفرانس سراسری آب زیرزمینی، دانشگاه آزاد اسلامی بهبهان
۱۵. یاری الهام، ۱۳۸۸، تعامل شبکه آبیاری و زهکشی دشت میاندوآب (زیرینه رود) با مدل منابع آب زیرزمینی دشت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه
۱۶. یونس زاده و همکاران، ۱۳۹۳، بررسی خصوصیات داده های جهانی بارش، شماره ۲۰-E1-01-TR-۱۳۹۳/۱۰، مرکز سنجش از دور دانشگاه صنعتی شریف
۱۷. بررسی وضع موجود منابع و مصارف آب کشاورزی، اراضی زراعی باغی و بهره برداران و تحلیلی بر محدود کردن سطح زیر کشت (نکاشت زراعی) در پایاب بند نوروزلو سد شهید کاظمی بوکان در حوضه آبریز دریاچه ارومیه در استان های آذربایجان شرقی و غربی، ۱۳۹۳، وزارت جهاد کشاورزی، معاونت آب و خاک و صنایع
18. Allen, R. 'Morse, A. 'Tasumi, M. 'Bastiaanssen, W. 'Kramber, W. & Anderson, H. "Evapotranspiration from Landsat (SEBAL) for water rights management and compliance with multi-state water compacts." *Presented at Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS'01. IEEE 2001 International.*
19. Barthel, R. 'Rojanschi, V. 'Wolf, J. & Braun, J. (2005). "Large-scale water resources management within the framework of GLOWA-Danube. Part A: The groundwater model." *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 30(6-7), 372-382.
20. Bastiaanssen, W. 'Menenti, M. 'Feddes, R. & Holtslag, A. (1998). "A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL). 1. Formulation." *Journal of Hydrology*, 212, 198-212.
21. Batelaan, O. 'De Smedt, F. & Triest, L. (2003). "Regional groundwater discharge: phreatophyte mapping, groundwater modelling and impact analysis of land-use change." *Journal of Hydrology*, 275(1-2), 86-108.
22. Chiang 'W.H. 'Kinzelbach & W. (1988). *User's Manual of Processing Modflow*, zurich.
23. Cho, J. 'Barone, V. A. & Mostaghimi, S. (2009). "Simulation of land use impacts on groundwater levels and streamflow in a Virginia watershed." *Agricultural Water Management*, 96(1), 1-11.
24. Christoph Wels, P. D., M.Sc., P.Geo. (2012). *Guidelines for Groundwater Modelling to Assess Impacts of Proposed Natural Resource Development Activities*. British Columbia Ministry of Environment.
25. Doble, R. C. 'Simmons, C. T. & Walker, G. R. (2009). "Using MODFLOW 2000 to model ET and recharge for shallow ground water problems." *Ground Water*, 47(1), 129-35.
26. Herring, R. 'Herring, D. & Humberson, W. (2000). "NASA - MODIS Brochures", NASA, (ed.).
27. Hu, Y. 'Moiwo, J. P. 'Yang, Y. 'Han, S. & Yang, Y. (2010). "Agricultural water-saving and sustainable groundwater management in Shijiazhuang Irrigation District, North China Plain." *Journal of Hydrology*, 393(3-4), 219-232.

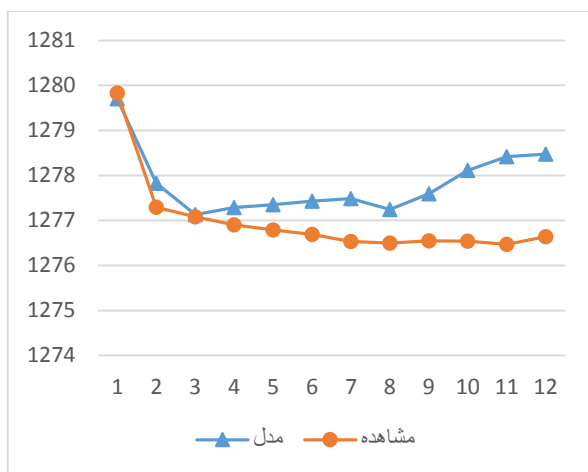
28. Khan, S. 'Hafeez, M. M. 'Rana, T. & Mushtaq, S. (2008). "Enhancing water productivity at the irrigation system level: A geospatial hydrology application in the Yellow River Basin." *Journal of Arid Environments*, 72(6), 1046-1063.
29. Lachaal, F. 'Mlayah, A. 'Bédir, M. 'Tarhouni, J. & Leduc, C. (2012). "Implementation of a 3-D groundwater flow model in a semi-arid region using MODFLOW and GIS tools: The Zéramdine-Béni Hassen Miocene aquifer system (east-central Tunisia)." *Computers & Geosciences*, 48, 187-198.
30. Li, H. T. 'Brunner, P. 'Kinzelbach, W. 'Li, W. P. & Dong, X. G. (2009). "Calibration of a groundwater model using pattern information from remote sensing data." *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 120-130.
31. Liaqat, U. W. 'Choi, M. & Awan, U. K. (2015). "Spatio-temporal distribution of actual evapotranspiration in the Indus Basin Irrigation System." *Hydrological Processes*, 29(11), 2613-2627.
32. McDonald, M. G. & Harbaugh, A. W. (1988). "A modular three-dimensional finite-difference ground-water flow model." USGS, Washington D.C.
33. Morgan, D. S. & Jones, J. L. (1996). *Numerical Model Analysis of the Effects of Ground-Water Withdrawals On Discharge to Streams and Springs in Small Basins Typical of the Puget Sound Lowland, Washington*. USGS, Washington D.C.
34. NASA. (2002). "Surface Energy Balance Algorithms for Land Idaho Implementation Advanced Training and Users Manual". US.
35. Paul 'Barlow 'A., S. & Leake. (2012). *Understanding and Managing the Effects of Groundwater Pumping on Streamflow*. USGS.
36. Raffensperger, J. F. (2011). "Matching users' rights to available groundwater." *Ecological Economics*, 70(6), 1041-1050.
37. Ramireddygari, S. 'Sophocleous, M. 'Koelliker, J. 'Perkins, S. & Govindaraju, R. (2000). "Development and application of a comprehensive simulation model to evaluate impacts of watershed structures and irrigation water use on streamflow and groundwater: the case of Wet Walnut Creek Watershed, Kansas, USA." *Journal of Hydrology*, 236(3), 223-246.
38. Shaki, A. A. & Adeloye, A. J. (2007). "Mathematical modelling of effects of Irawan irrigation project water abstractions on the Murzuq aquifer systems in Libya." *Journal of Arid Environments*, 71(2), 133-156.
39. Soheili, M. (2014). *Groundwater Modelling For Recharge Estimation Using Satellite Based Evapotranspiration Salland Case Water Resources and Environmental Management*, Twente, Netherlands.
40. *Standard guide for application of a solute transport model to a sitespecific groundwater pollution*. (1985). ASTM.
41. *Standard guide for calibrating a groundwater flow model application*. Standard D5981.(1996) ASTM.
42. Stanton, J. S. 'Ryter, D. W. & Peterson, S. M. (2013). "Effects of linking a soil-water-balance model with a groundwater-flow model." *Ground Water*, 51(4), 613-22.
43. Sun, D. 'Zhao, C. 'Wei, H. & Peng, D. (2011). "Simulation of the relationship between land use and groundwater level in Tailan River basin, Xinjiang, China." *Quaternary International*, 244(2), 254-263.

44. Switzman, H. 'Coulibaly, P. & Adeel, Z. (2015). "Modeling the impacts of dryland agricultural reclamation on groundwater resources in Northern Egypt using sparse data." *Journal of Hydrology*, 520, 420-438.
45. Tanji, K. K. & Kielen, N. C. (2002). *Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas*: FAO.61, ISSN 0254-5284
46. Trezza, R. 'Allen, R. G. & Tasumi, M. (2013). "Estimation of actual evapotranspiration along the Middle Rio Grande of New Mexico using MODIS and Landsat imagery with the METRIC Model." *Remote Sensing*, 5(10), 5397-5423.
47. Urquhart, E. A. 'Zaitchik, B. F. 'Hoffman, M. J. 'Guikema, S. D. & Geiger, E. F. (2012). "Remotely sensed estimates of surface salinity in the Chesapeake Bay: A statistical approach." *Remote Sensing of Environment*, 123(0), 522-531.
48. Wang, H. F. & Anderson, M. P. (1995). *Introduction to groundwater modeling: finite difference and finite element methods*: Academic Press.
49. Wang, H. F. & Anderson, P. (1988). *Introduction to ground water modeling.*: Freeman.
50. Xu, X. 'Huang, G. 'Zhan, H. 'Qu, Z. & Huang, Q. (2012). "Integration of SWAP and MODFLOW-2000 for modeling groundwater dynamics in shallow water table areas." *Journal of Hydrology*, 412-413, 170-181.

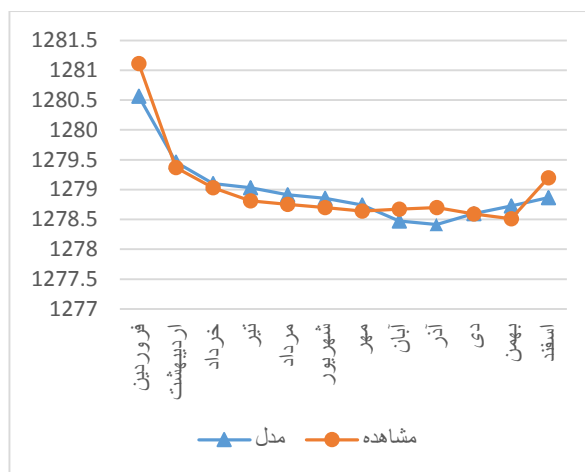
پیوست

پ-۱- نتایج مدلسازی پیزومترها

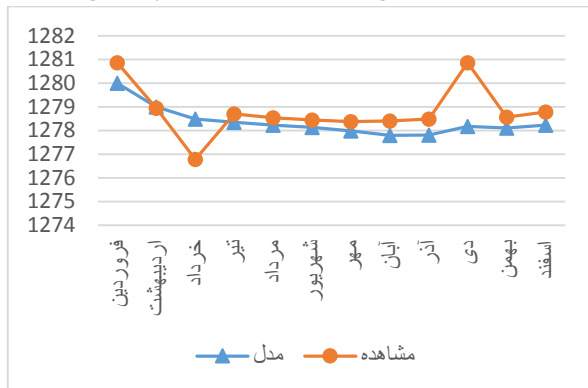
مقایسه نتایج مدلسازی با ترازهای اندازه گیری شده در چاه های مشاهده ای به شرح زیر می باشد، همچنین محل پیزومترها نیز در شکل ۵-۲۴ نشان داده شده است.



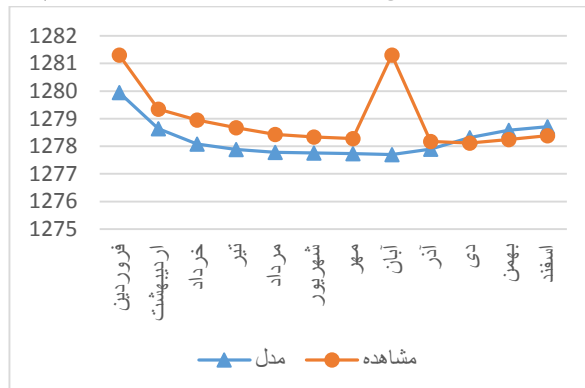
شکل ۷-۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای امام زاده تاج الدین



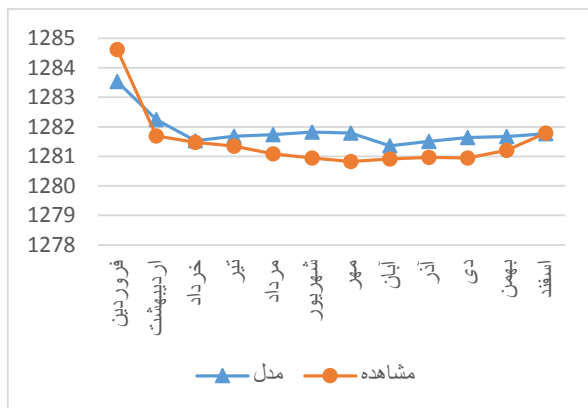
شکل ۷-۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای چقلو - جاده قدیم



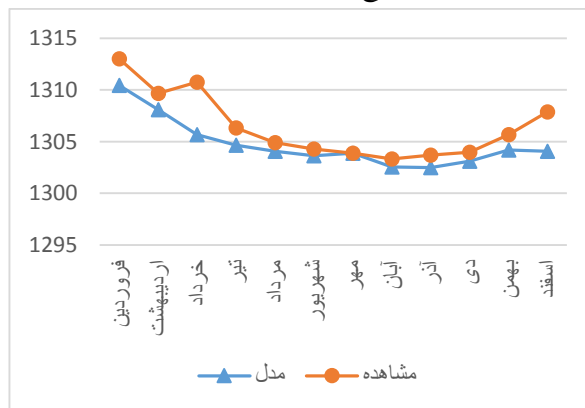
شکل ۷-۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای غرب آغداش



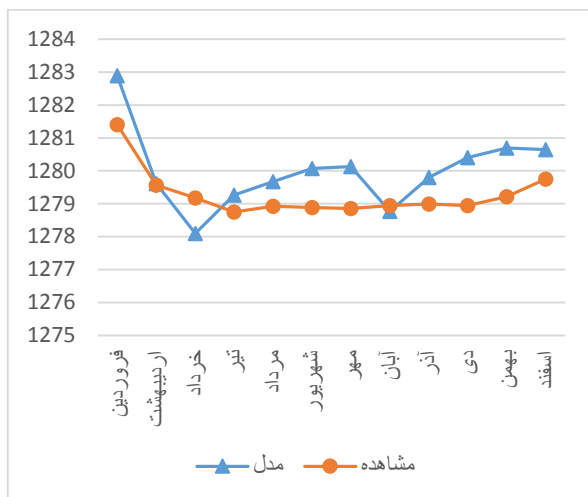
شکل ۷-۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای غرب مجیدآباد



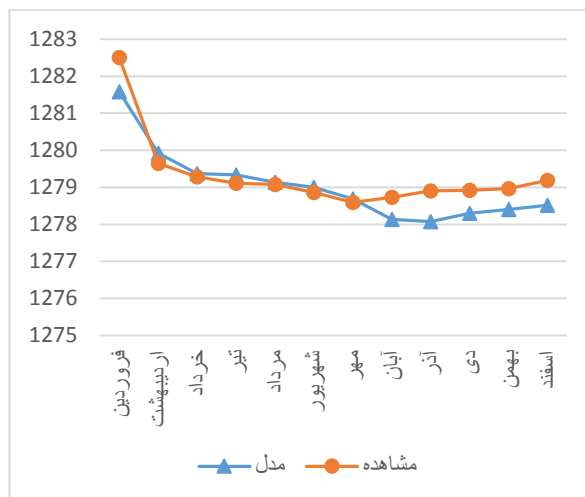
شکل ۷-۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شرانلو



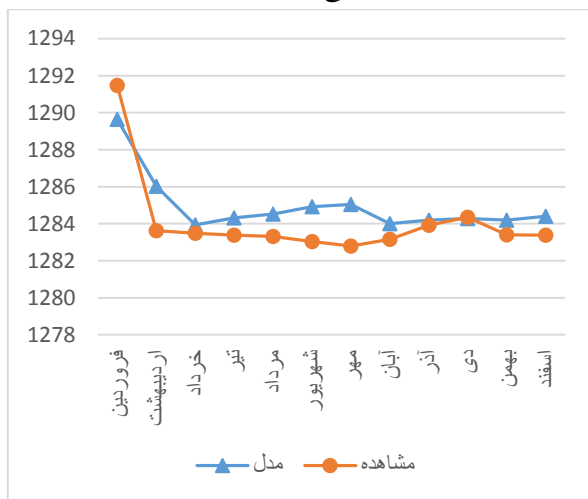
شکل ۷-۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قوریجان



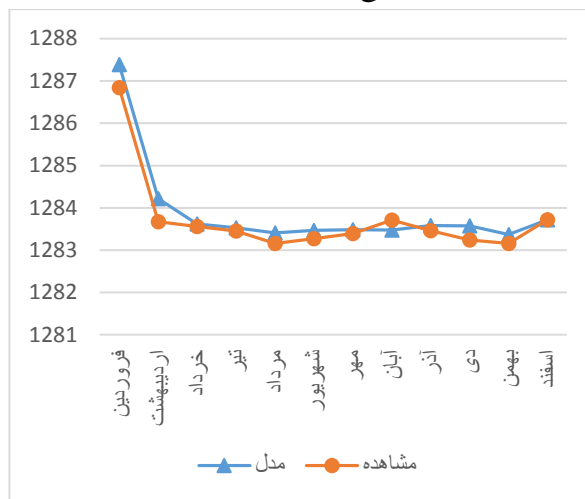
شکل ۷-۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قیچان



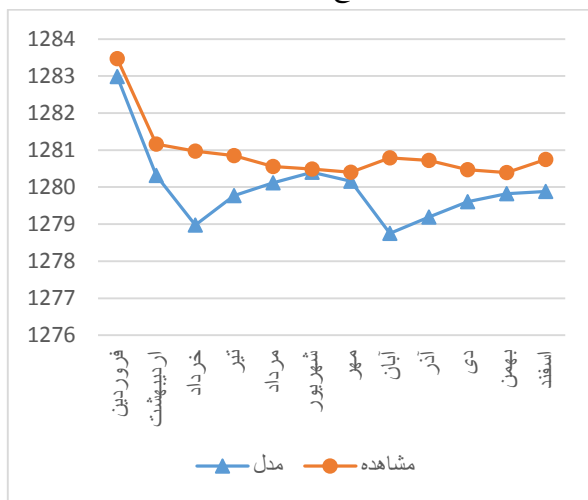
شکل ۷-۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای مسجد آغداش



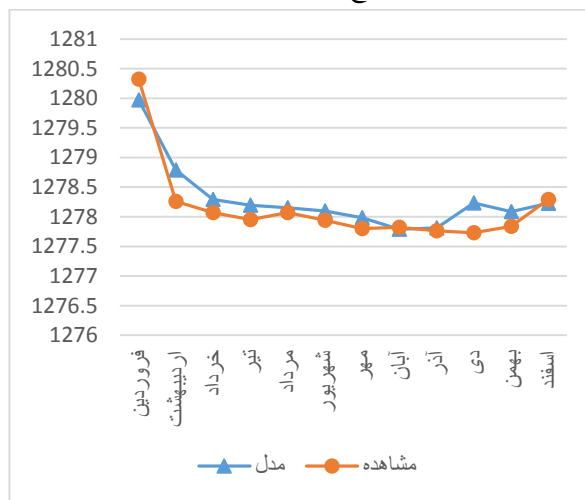
شکل ۷-۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تازه قلعه



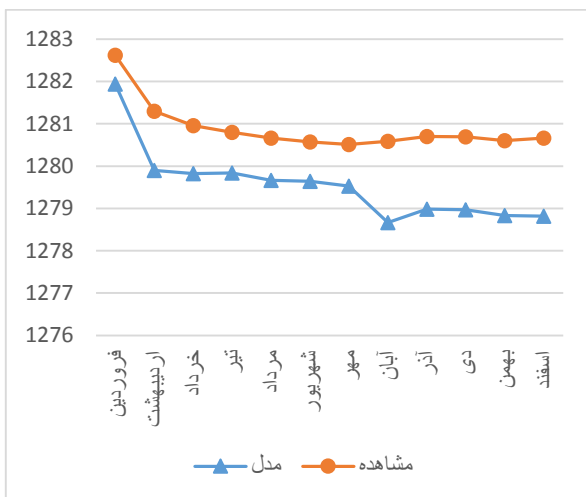
شکل ۷-۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای خزینه جدید



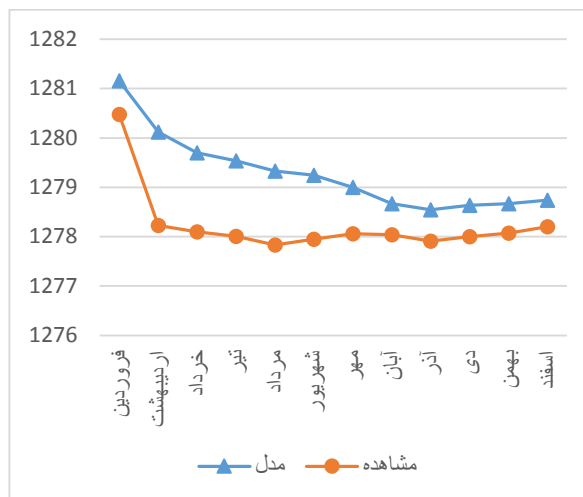
شکل ۷-۱۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ابراهیم حصار



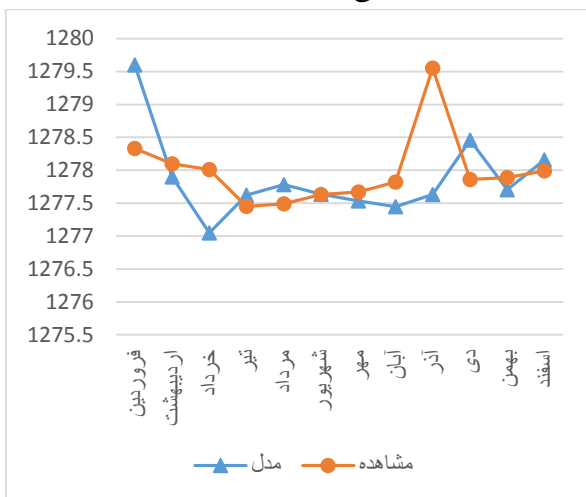
شکل ۷-۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای فسدوزشیلات



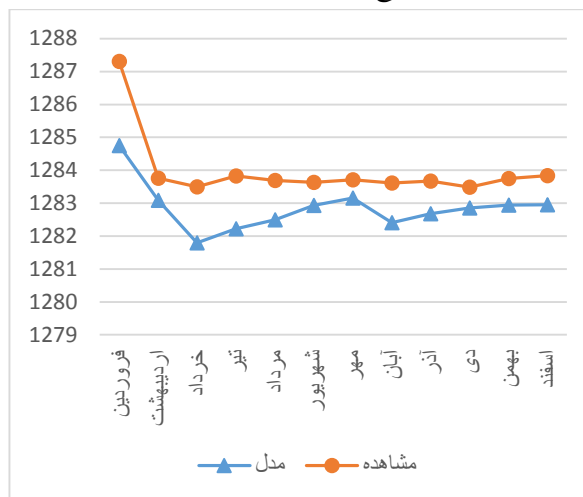
شکل ۷-۱۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ورودی فسندوز



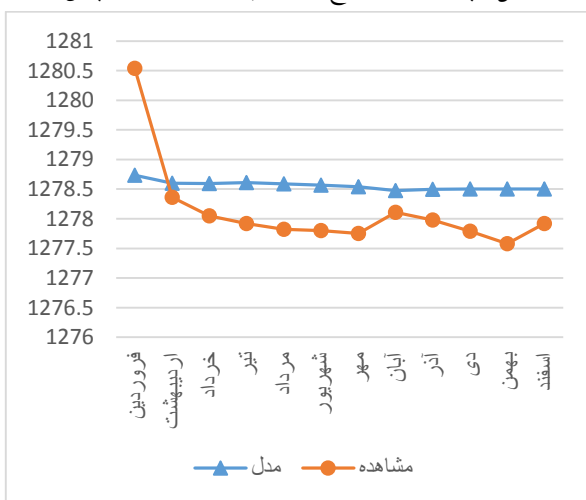
شکل ۷-۱۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای آغداش به قره قوزلو



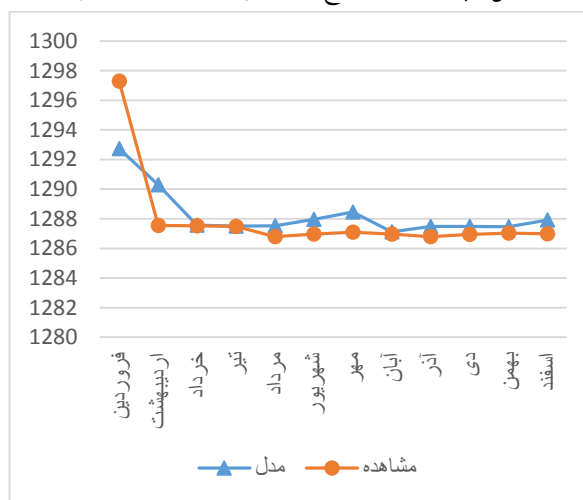
شکل ۷-۱۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قلعه پایین



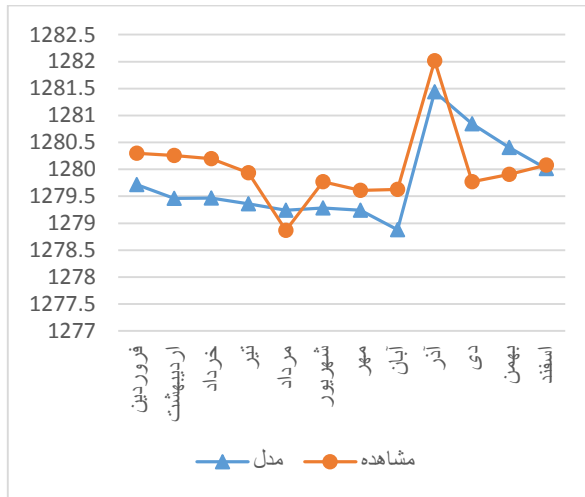
شکل ۷-۱۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شعبانلو



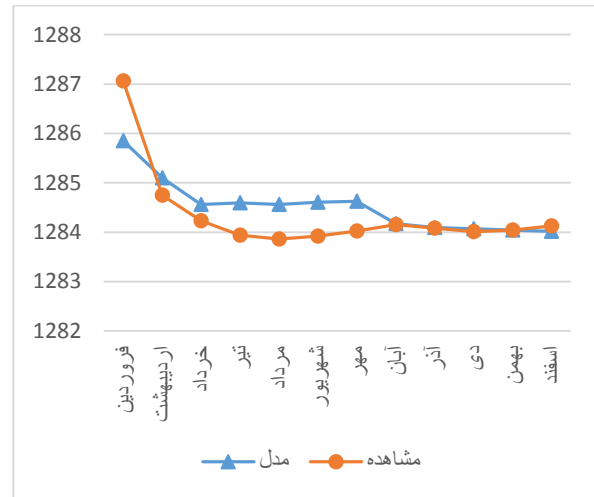
شکل ۷-۱۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد قره قوزلو -



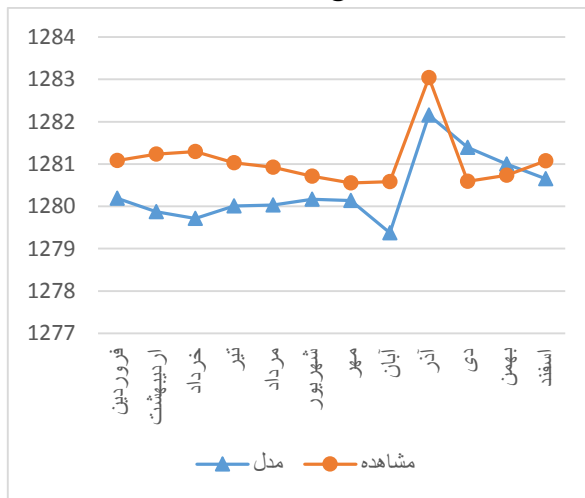
شکل ۷-۱۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ابتدای کمرندی ملکان



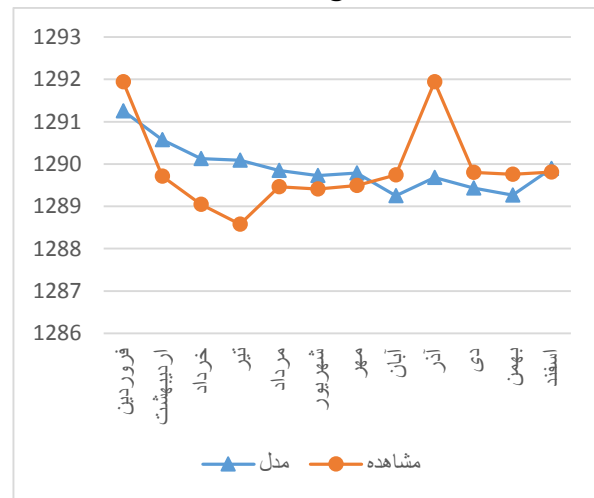
شکل ۷-۱۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قره پاپاق



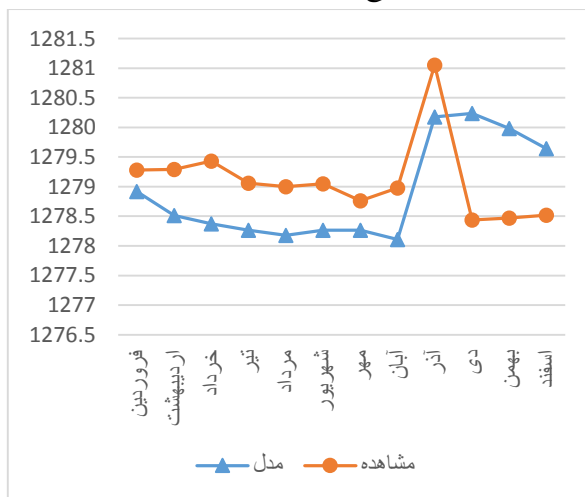
شکل ۷-۱۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای بکتاش



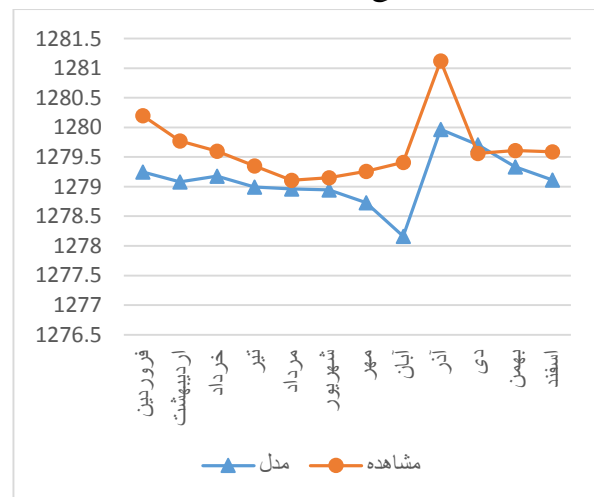
شکل ۷-۲۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد- چیلک



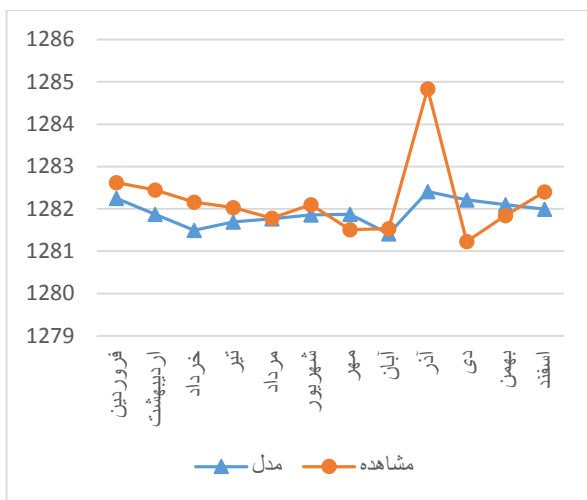
شکل ۷-۱۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای اراضی حسین آباد



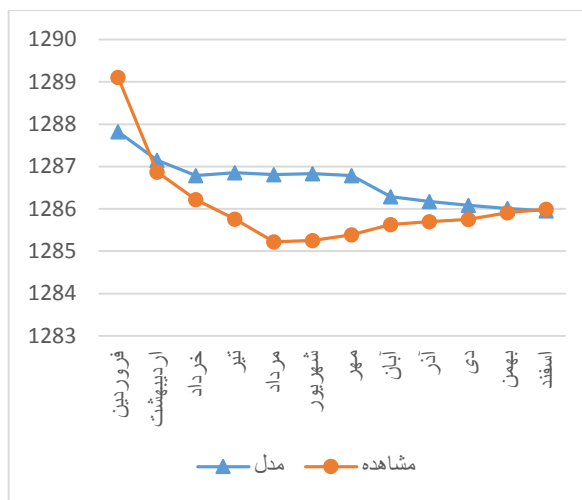
شکل ۷-۲۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای حیران



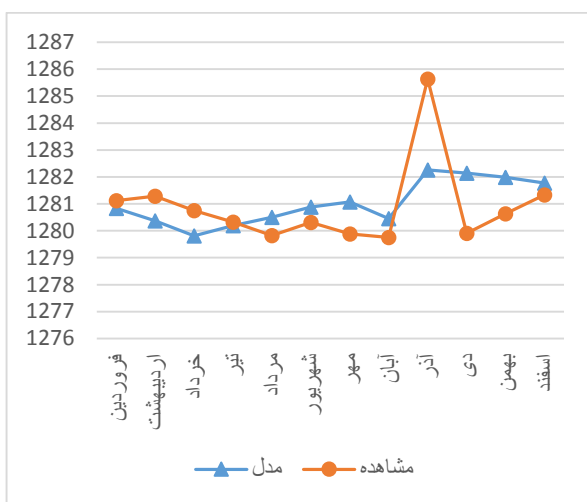
شکل ۷-۲۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تپه رش



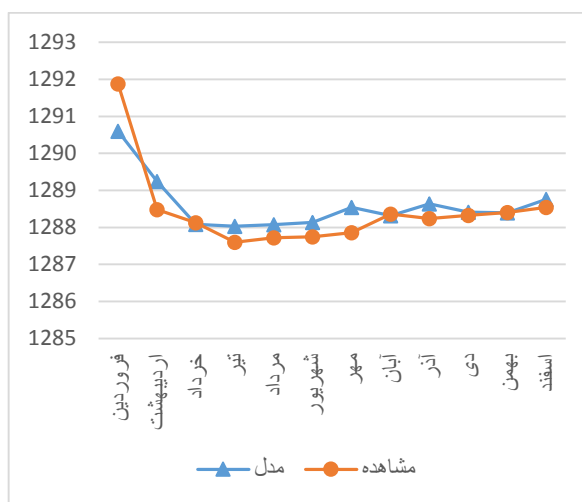
شکل ۷-۲۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای نظام آباد



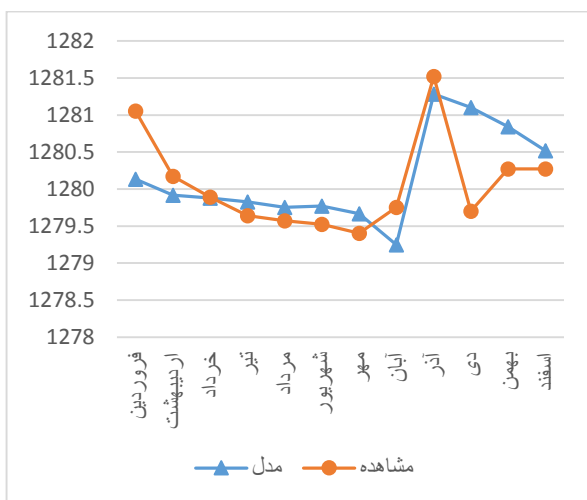
شکل ۷-۲۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای اسلام تپه



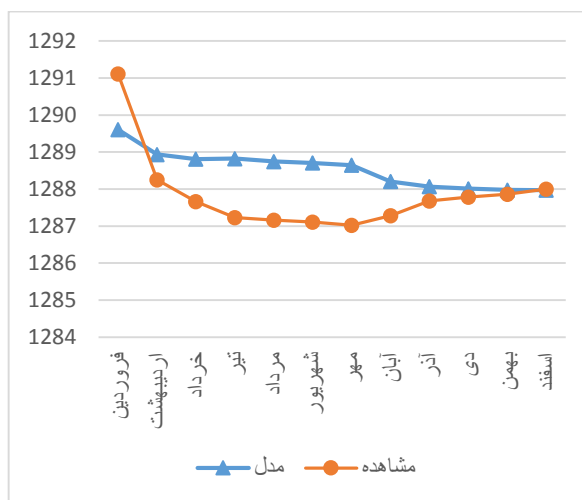
شکل ۷-۲۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای للکو



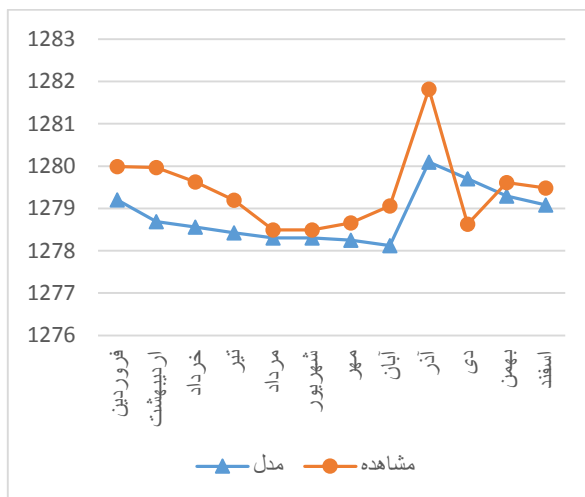
شکل ۷-۲۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جعفرآباد حسن آباد



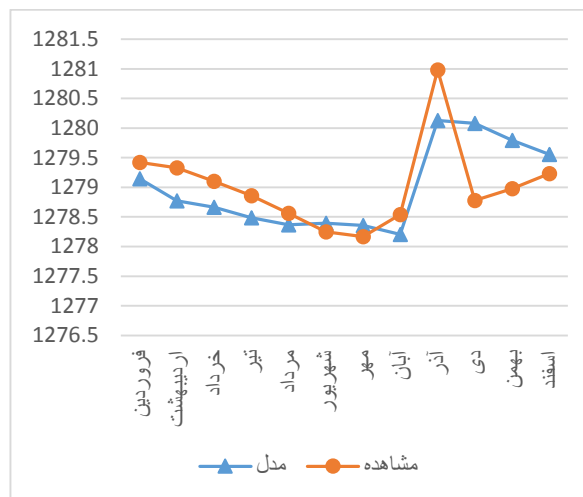
شکل ۷-۲۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای چوغانلو



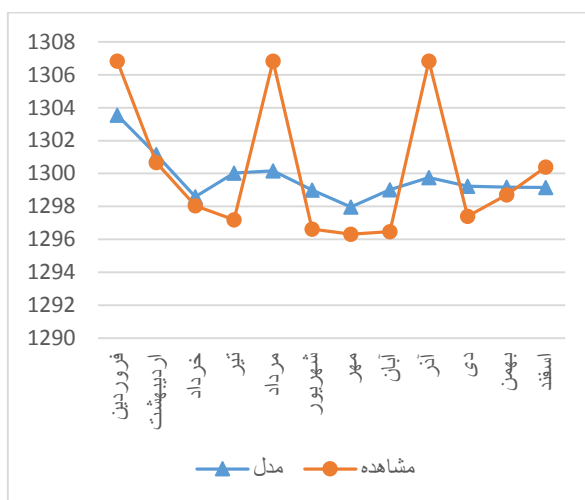
شکل ۷-۲۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای کوسالار



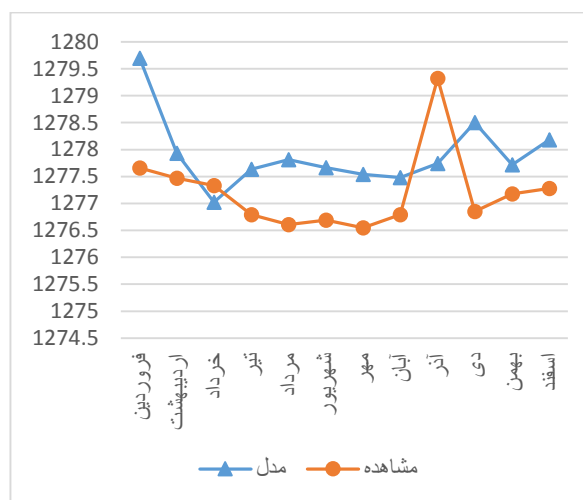
شکل ۷-۳۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قل حسن



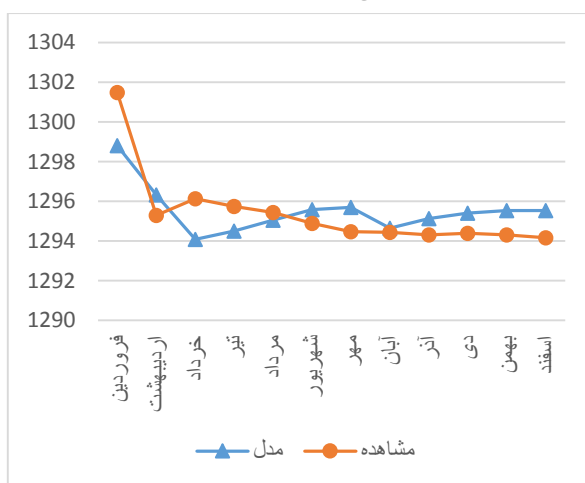
شکل ۷-۲۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای کورآباد



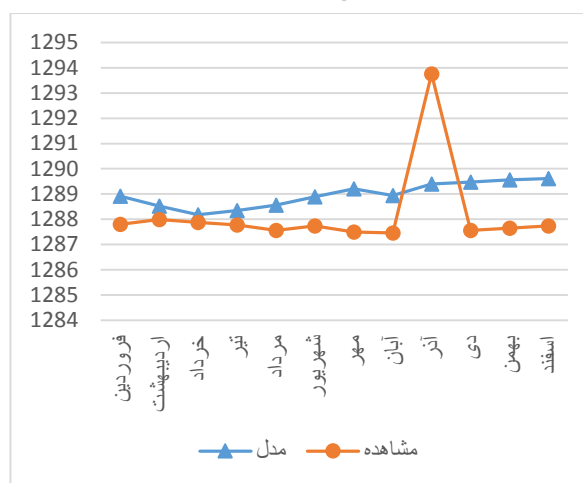
شکل ۷-۳۲ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ملاشهاب الدین



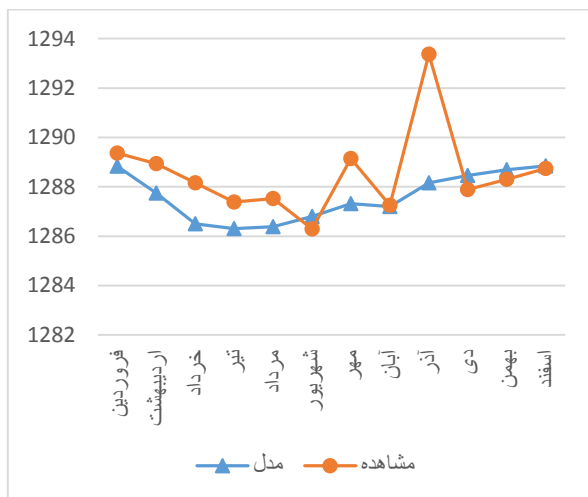
شکل ۷-۳۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای شماره ۳۵



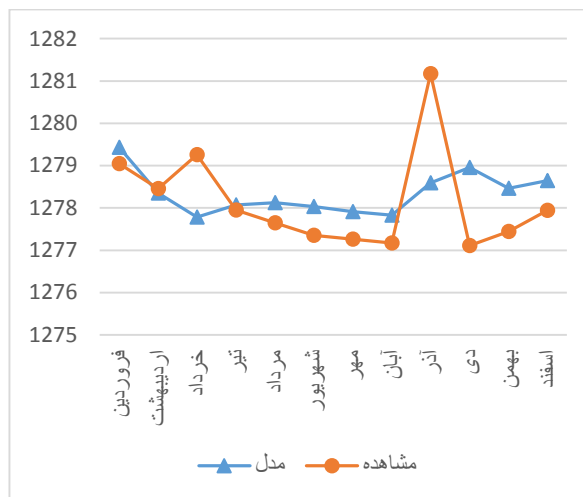
شکل ۷-۳۴ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای فجلو



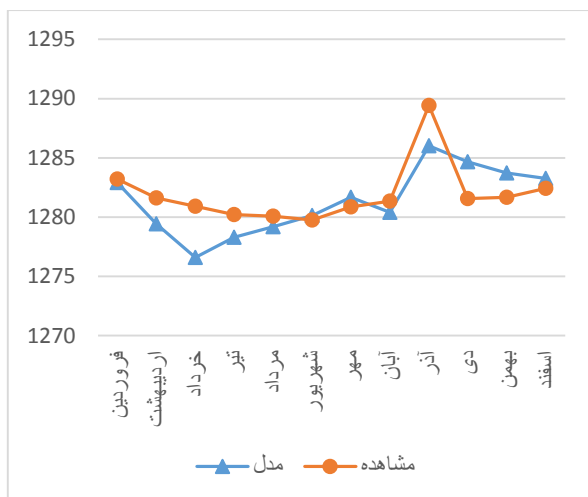
شکل ۷-۳۳ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ایستگاه کشاورزی میاندوآب



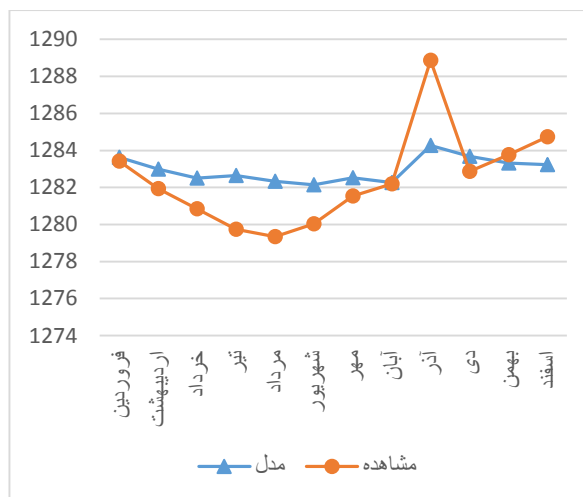
شکل ۷-پ ۳۶ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای جاده چیلک



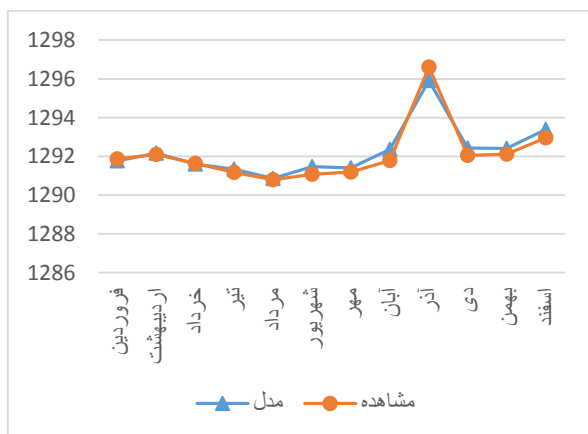
شکل ۷-پ ۳۵ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای قزقلعه



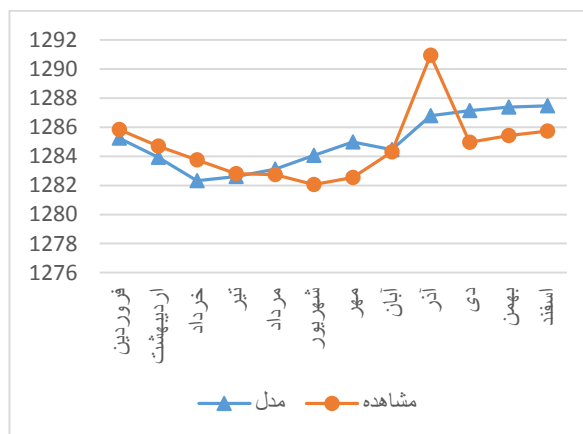
شکل ۷-پ ۳۸ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای سیستم (گرده لوله)



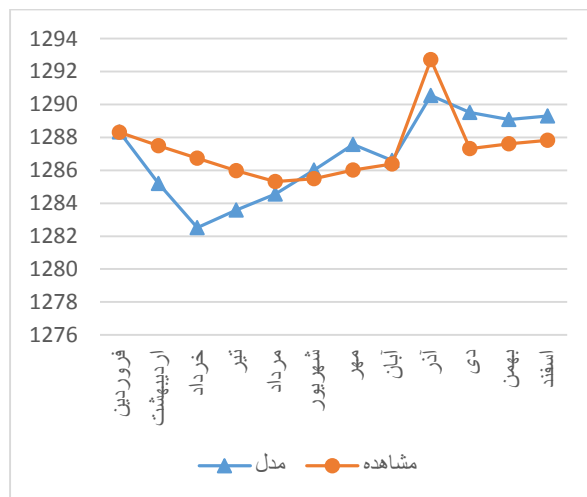
شکل ۷-پ ۳۷ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای گزلان



شکل ۷-پ ۴۰ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای عسگرآباد



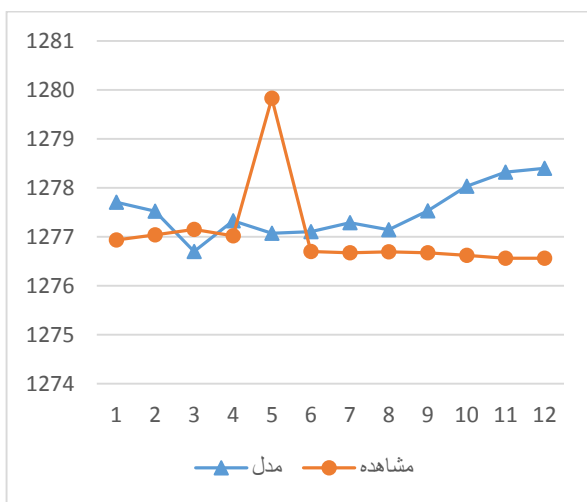
شکل ۷-پ ۳۹ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای تازه کند



شکل ۷-۴۱ مقایسه نتایج مدل در چاه مشاهده ای ملاکندی قدیم

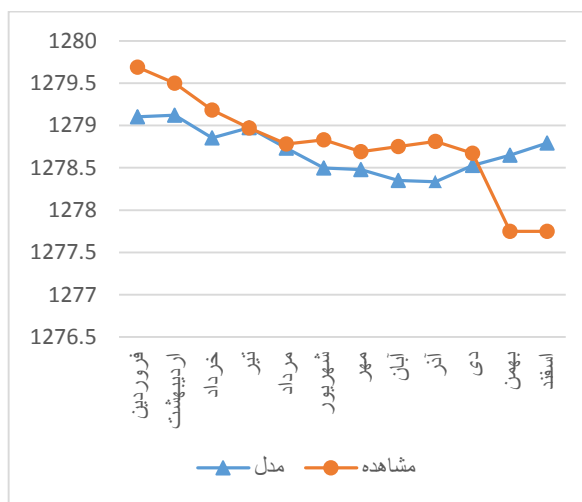
پ-۲- نتایج صحت سنجی پیزومترها

مقایسه نتایج اعتبار سنجی مدل با تراز های اندازه گیری شده در چاه های مشاهده ای نیز به شرح زیر می باشد، همچنین محل پیزومترها نیز در شکل ۵-۲۴ نشان داده شده است.



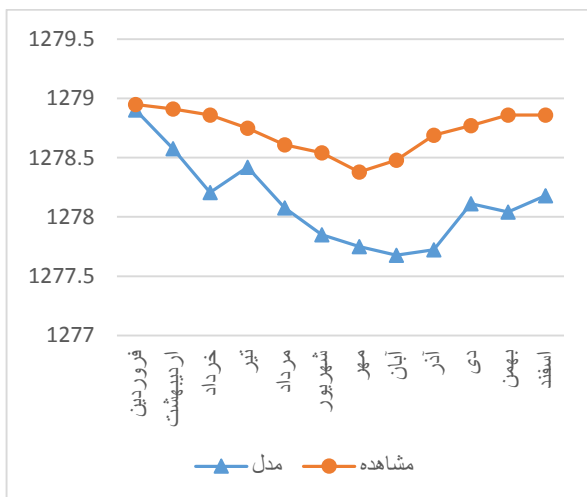
شکل ۷-۴۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای امام زاده تاج

الدین

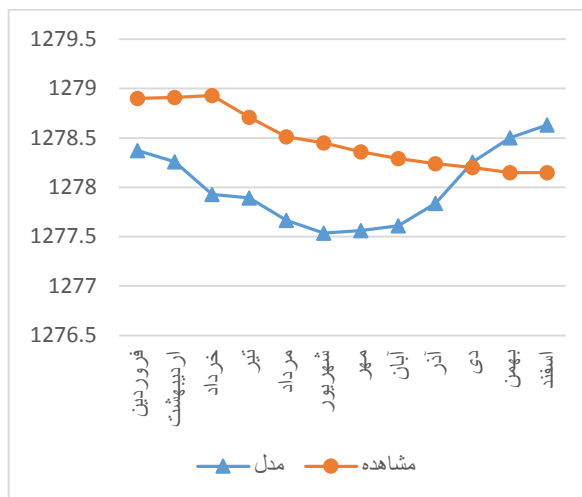


شکل ۷-۴۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای چقلو - جاده

قدیم

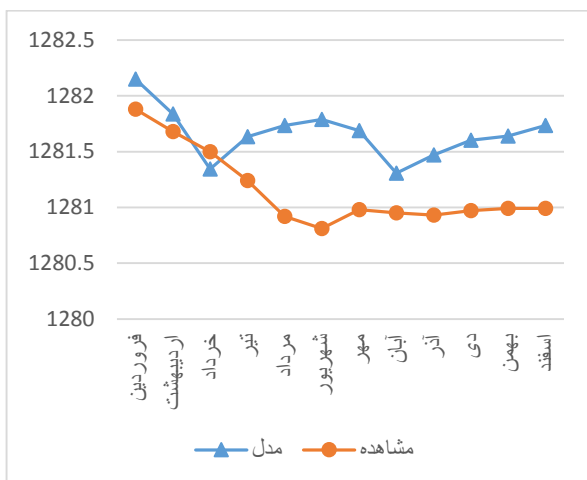


شکل ۷-۴۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای غرب آغداش

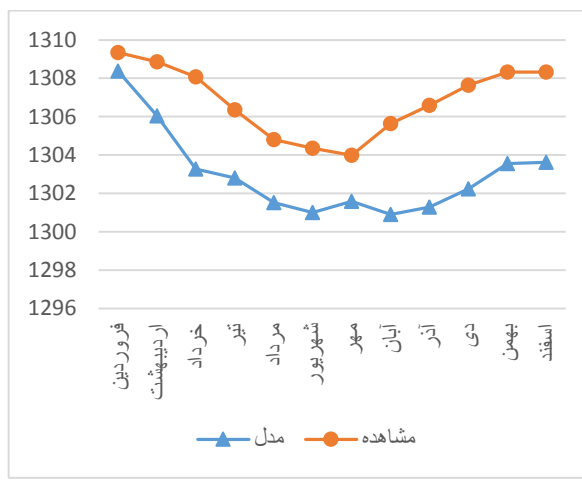


شکل ۷-۴۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای غرب

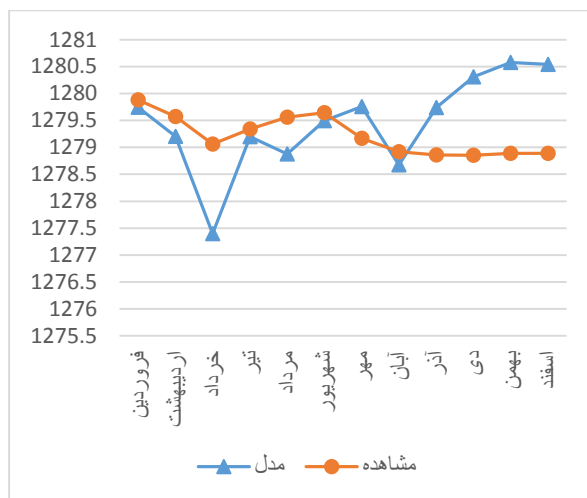
مجیدآباد



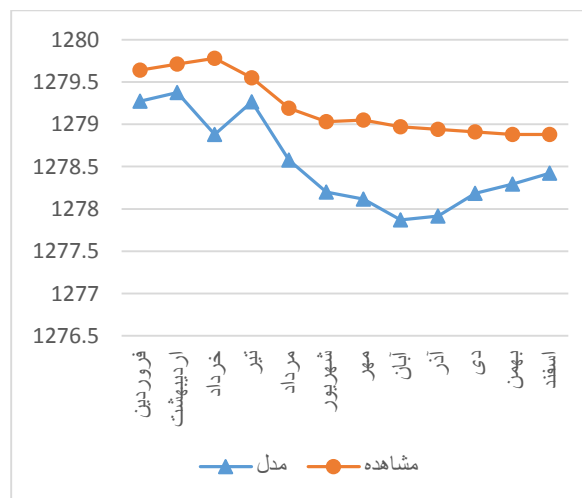
شکل ۷-۴۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شرانلو



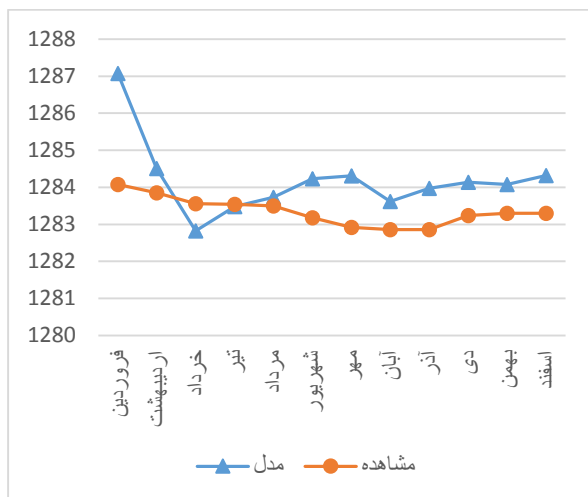
شکل ۷-۴۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قوریجان



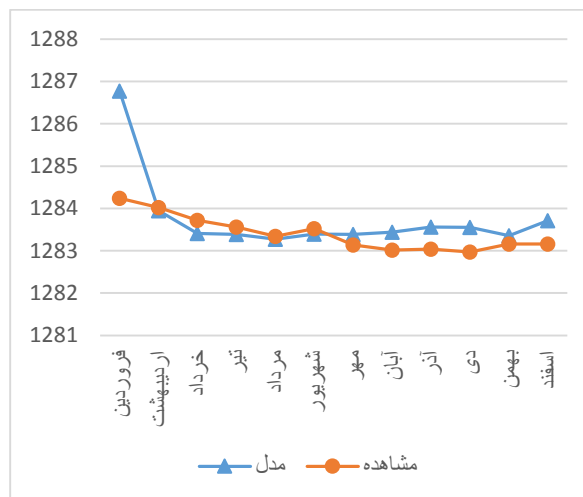
شکل ۷-۴۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قیچان



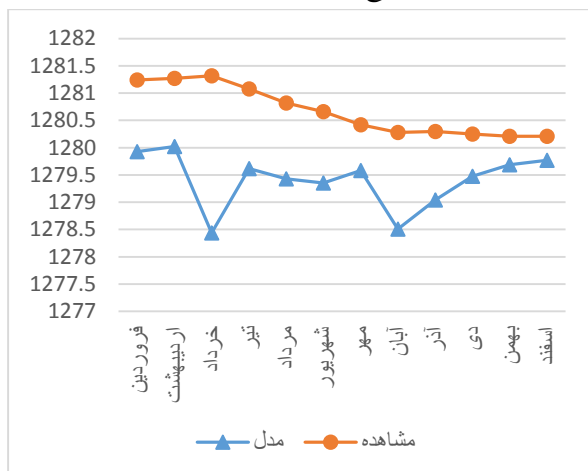
شکل ۷-۴۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای مسجد آغداش



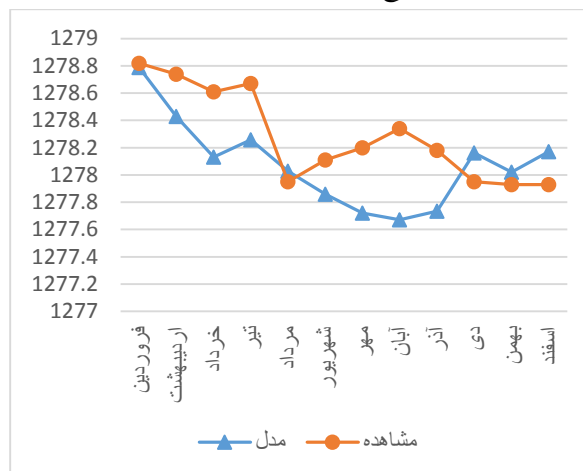
شکل ۷-۵۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تازه قلعه



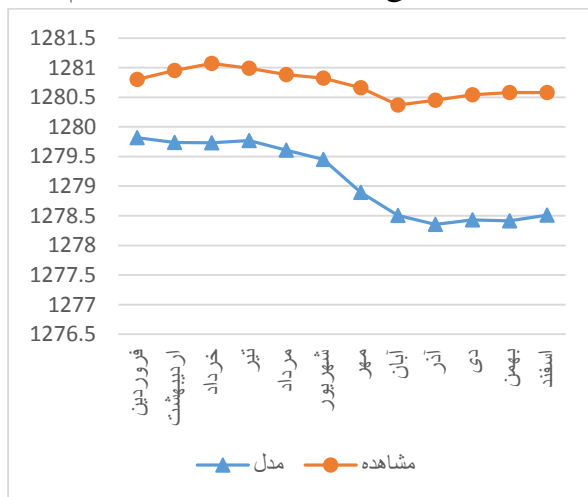
شکل ۷-۵۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای خزینه جدید



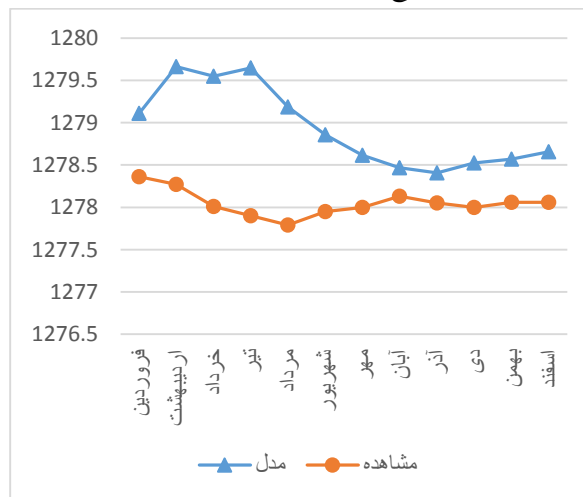
شکل ۷-۵۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابراهیم حصار



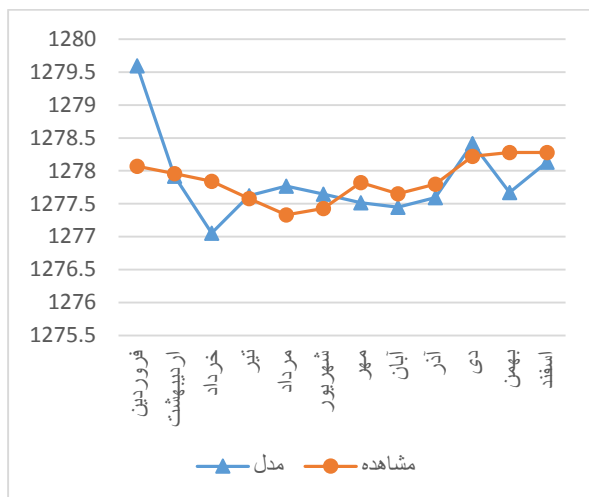
شکل ۷-۵۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای فسندوز شیلات



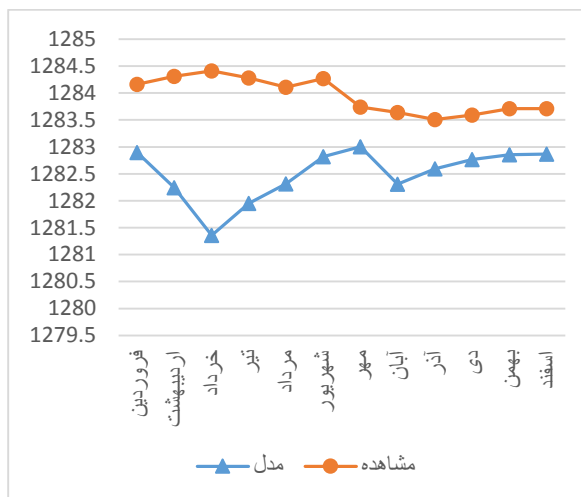
شکل ۷-۵۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ورودی
فسندوز



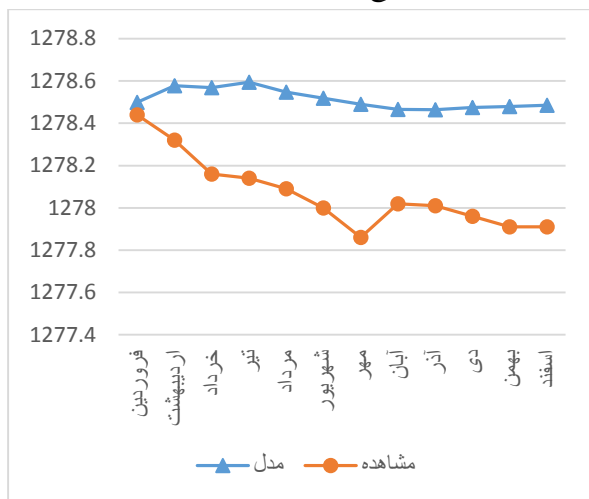
شکل ۷-۵۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای آغداش به قره
قوزلو



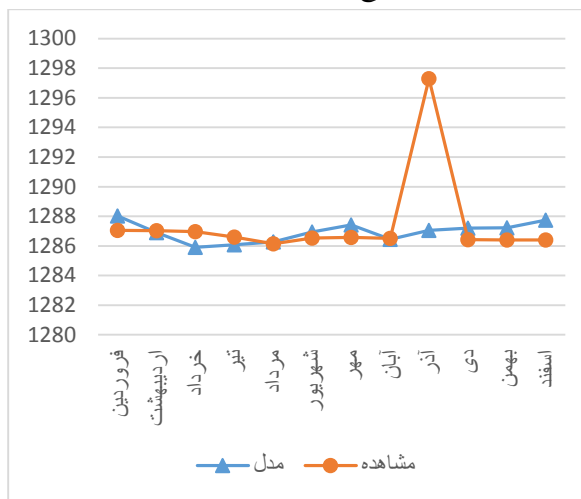
شکل ۷-۵۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قلعه پایین



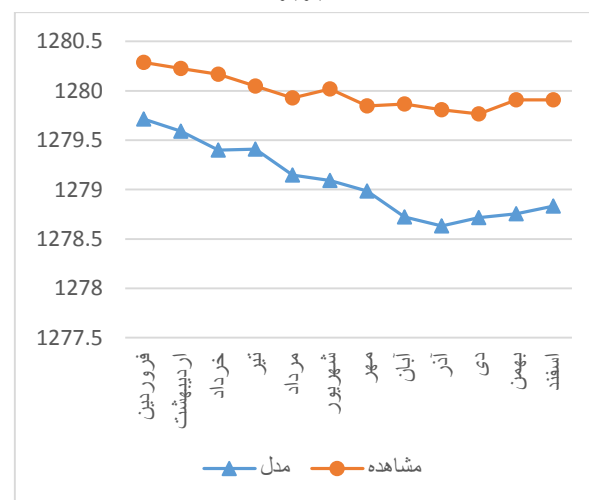
شکل ۷-۵۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شعبانلو



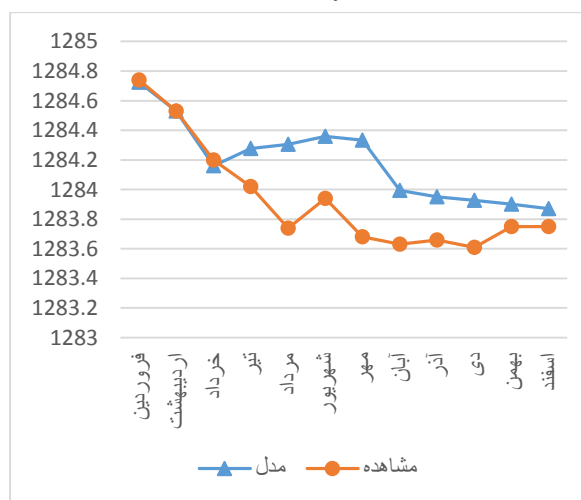
شکل ۷-۵۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قره قوزلو - پل چرچر



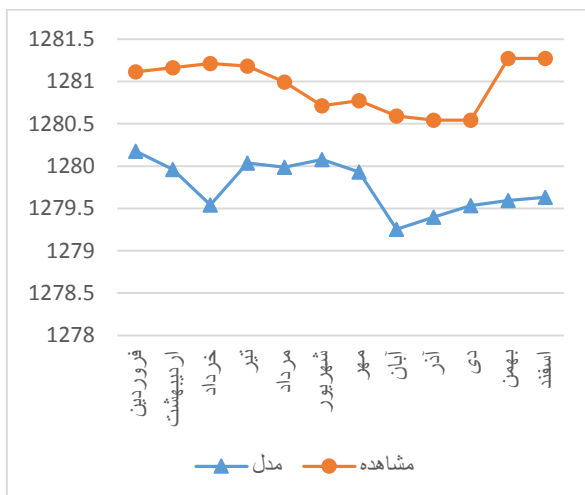
شکل ۷-۵۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابتدای کمربندی ملکان



شکل ۷-۶۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قره پاپاق

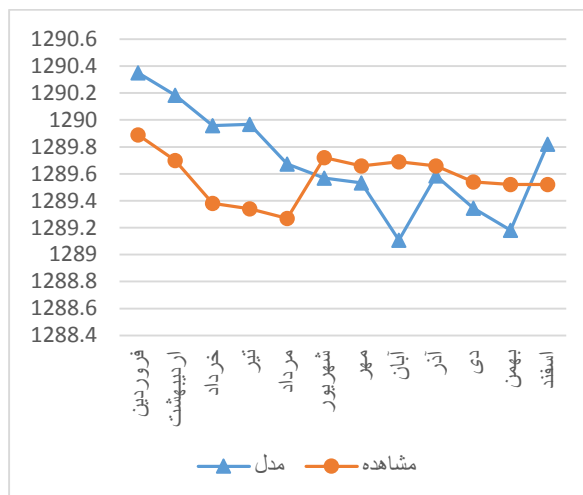


شکل ۷-۶۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ابکتابش



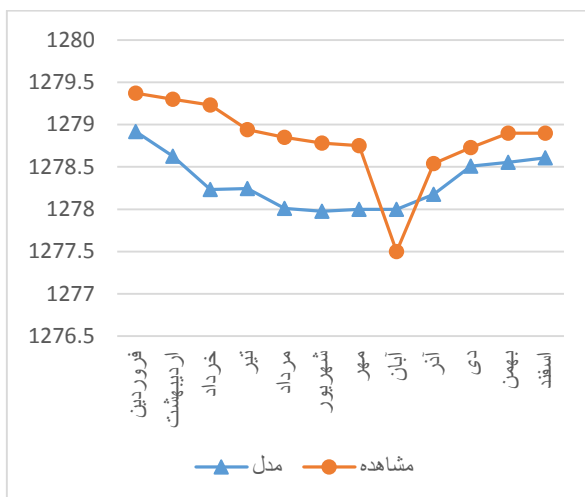
شکل ۷-۶۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جعفرآباد-

چیلک

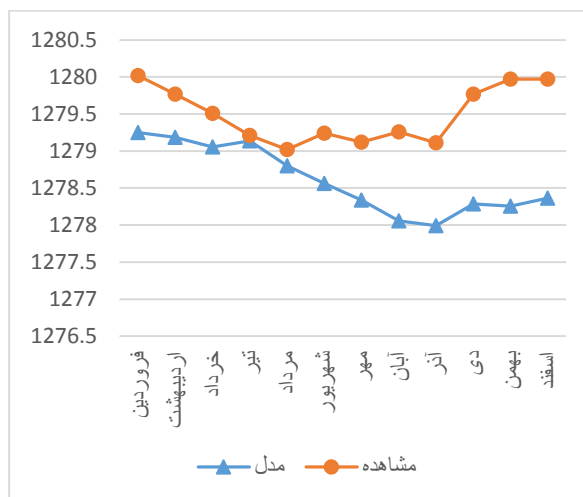


شکل ۷-۶۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای اراضی حسین

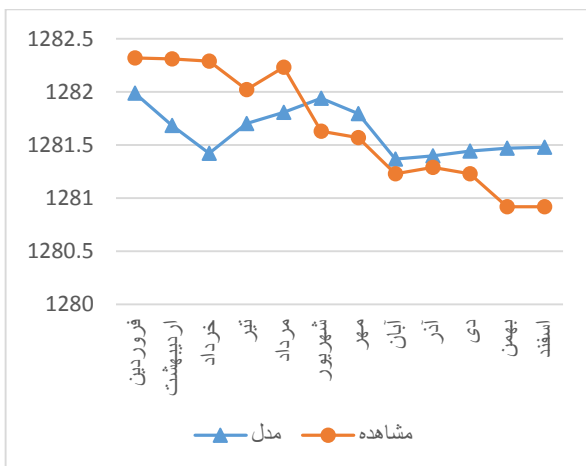
آباد



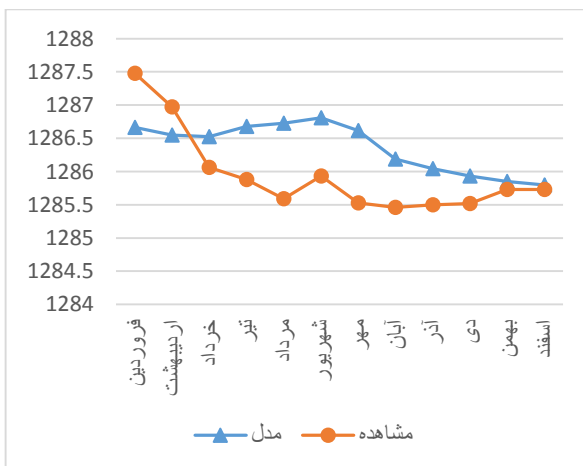
شکل ۷-۶۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای حیران



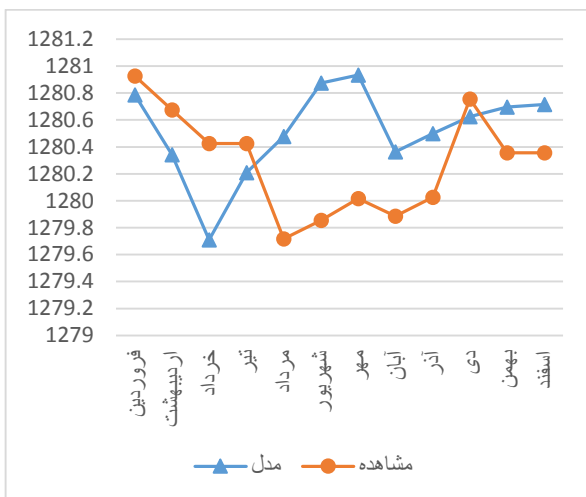
شکل ۷-۶۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تپه رش



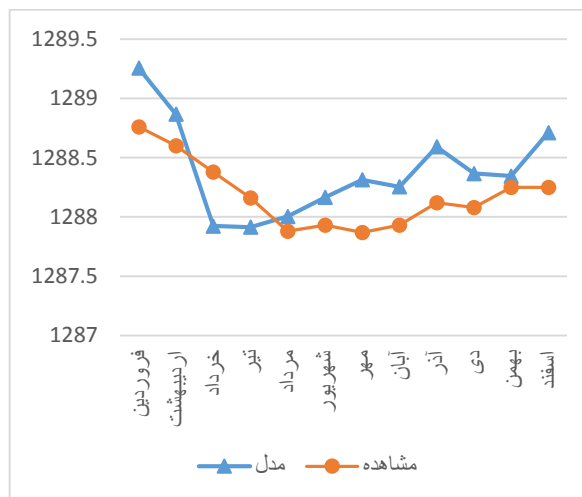
شکل ۷-۶۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای نظام آباد



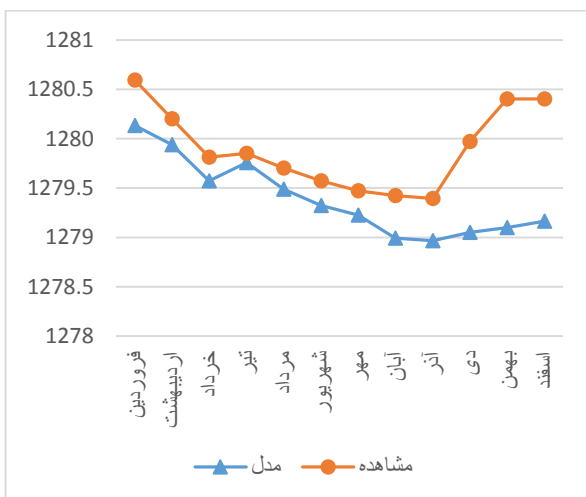
شکل ۷-۶۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای اسلام تپه



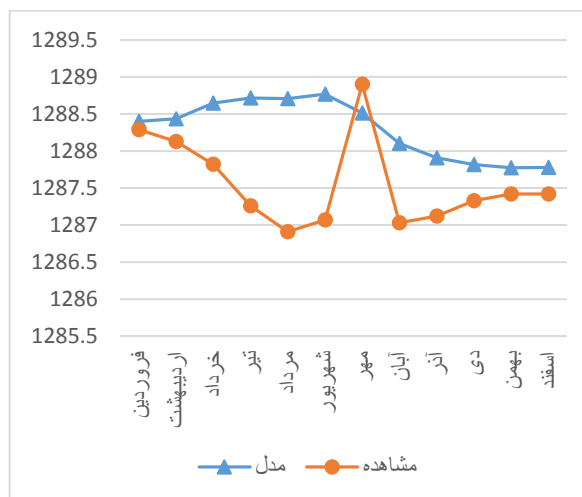
شکل پ-۶۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای للکو



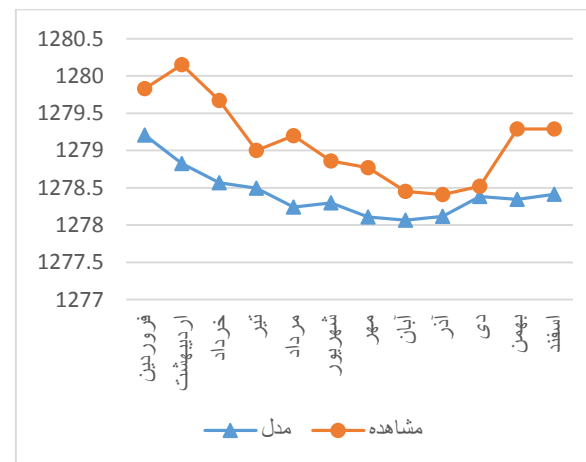
شکل پ-۶۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جعفرآباد حسن آباد



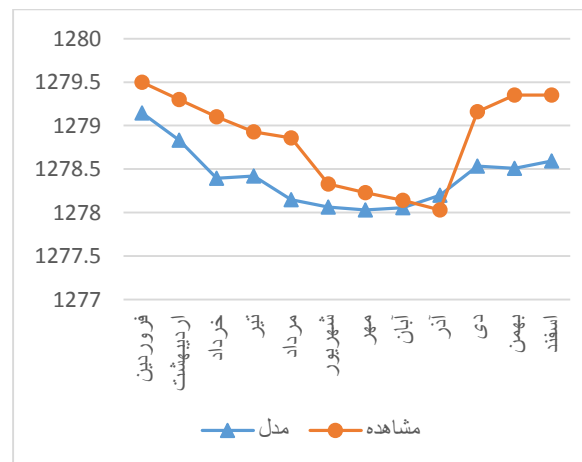
شکل پ-۷۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای چوغانلو



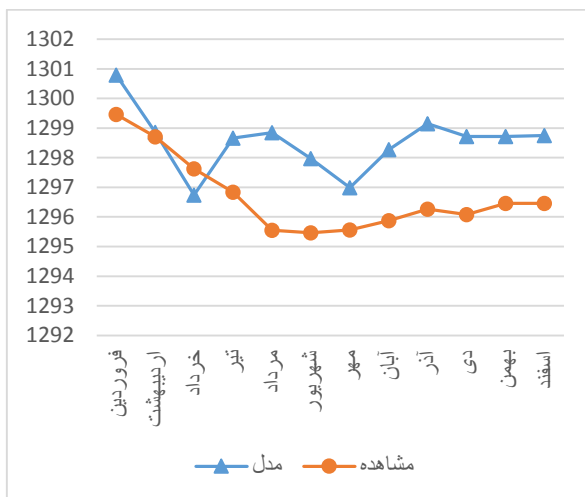
شکل پ-۷۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای کوسالار



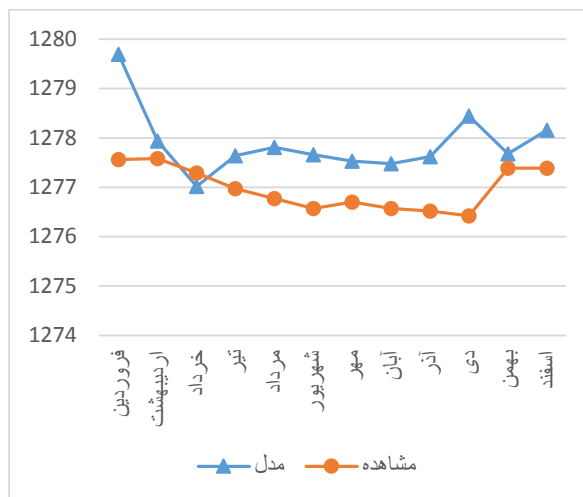
شکل پ-۷۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قل حسن



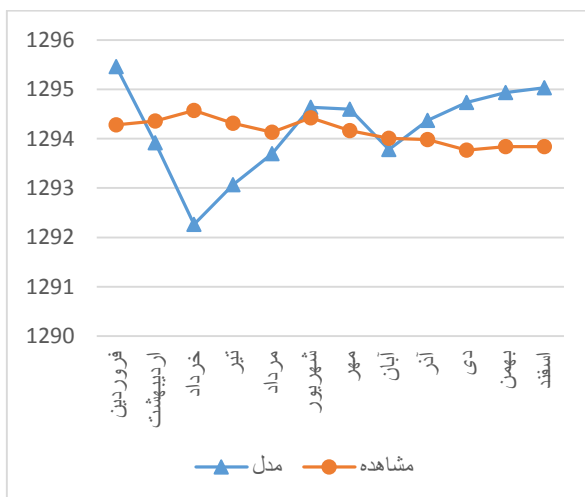
شکل پ-۷۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای کورآباد



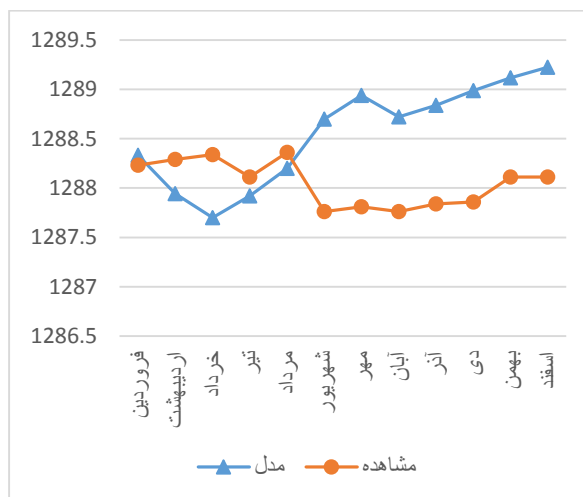
شکل ۷۵-پ-۷۵ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ملاشهاب الدین



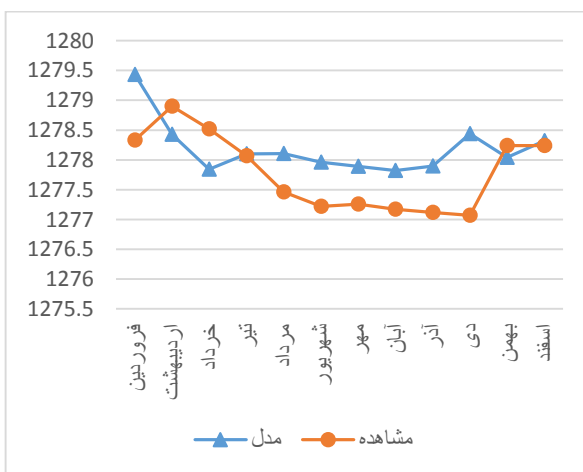
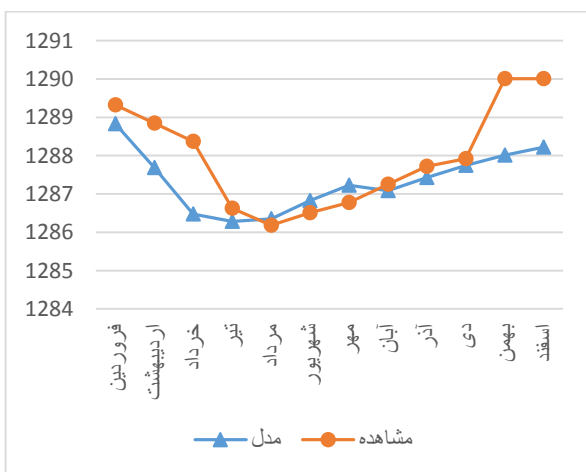
شکل ۷۴-پ-۷۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای شماره ۳۵



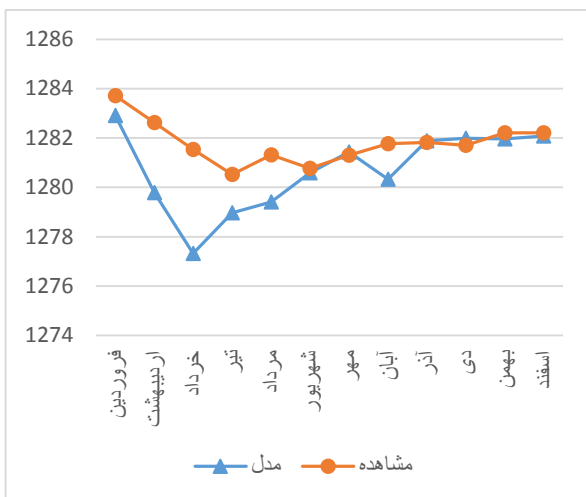
شکل ۷۷-پ-۷۷ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قجلو



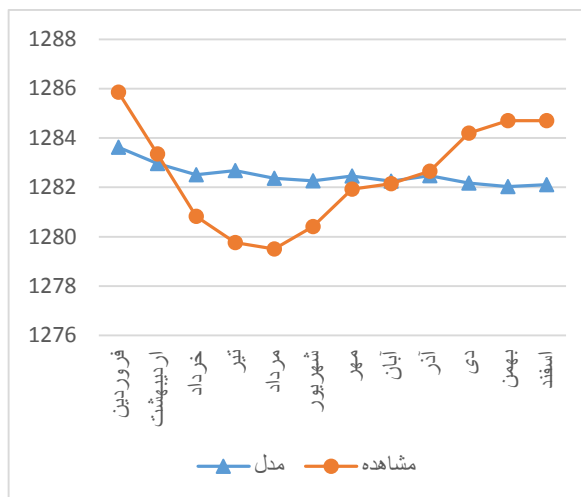
شکل ۷۶-پ-۷۶ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ایستگاه کشاورزی میاندوآب



شکل ۷-پ ۷۹ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای جاده چیلک

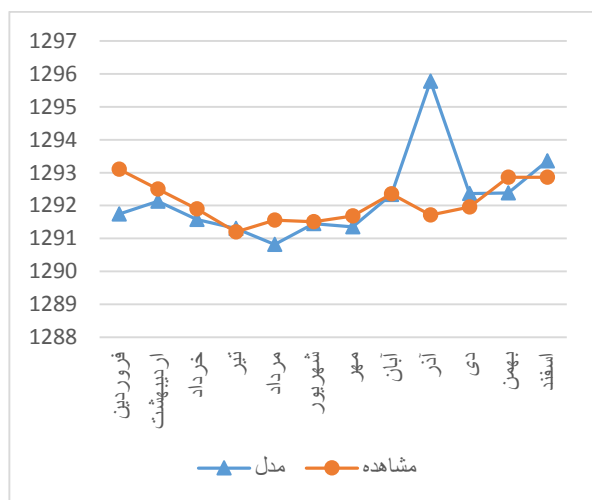


شکل ۷-پ ۷۸ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای قرقلعه

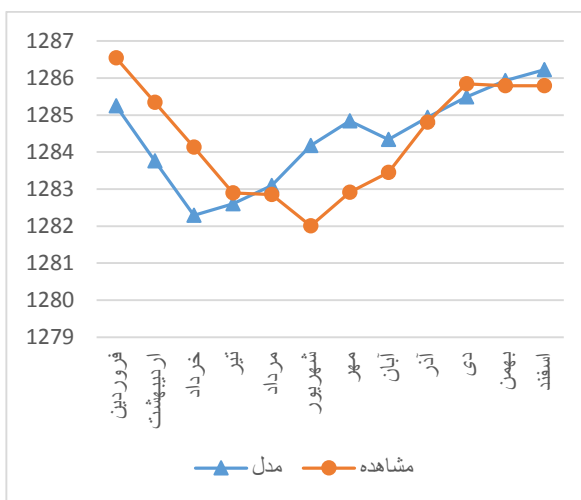


شکل ۷-پ ۸۱ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای سیستم (گرده

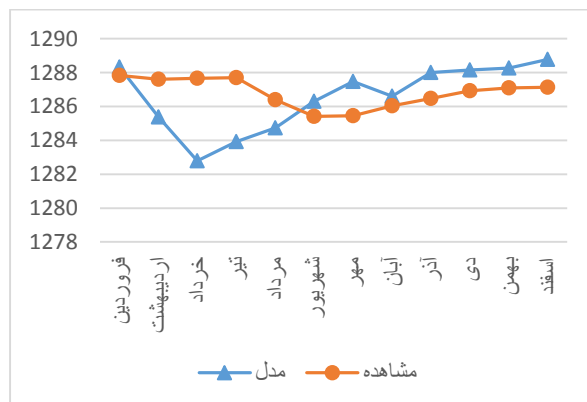
لوله)



شکل ۷-پ ۸۰ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای گزلان



شکل ۷-پ ۸۳ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای عسگرآباد



شکل ۷-پ ۸۲ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای تازه کند

شکل ۷-پ ۸۴ مقایسه نتایج صحت سنجی در چاه مشاهده ای ملاکندی قدیم

Abstract

Groundwater resources are considered as important resources of fresh water specifically in arid and semi-arid regions like Iran. Urmia Lake (UL) basin is one of these regions where groundwater resources play an important role in supplying water and due to inappropriate water resources management during the last two decades it has faced serious problems, like declination of water level in UL. Groundwater and surface water form an integrated system in the UL basin and have a mutual effect on each other. Hence, any improvement in exploitation of aquifers in that region could benefit UL water demand management.

Appropriate water resources management in Miandoab plain which transfer almost 50 percent of all surface water inflow to UL is very crucial for Lake recovery. About 30 percent of agricultural water use in this plain is supplied by Miandoab aquifer and the rest is supplied by Zarinerood irrigation network. Water resources management requires good understanding of the water cycle component interrelationship. Therefore, it is essential to understand the mutual effects of these components in detail. The main purpose of this study is to evaluate how groundwater resource management in Miandoab plain could improve surface water condition, with no major impact on agriculture sector in the region.

Groundwater flow is influenced by several processes and hydrological factors, from which, recharge is of high relevance. The Methodology used in this study is modeling of groundwater system with the use of remote sensing data. In intensive agricultural regions like Miandoab plain, groundwater recharge is highly influenced by agricultural water use. Therefore, SEBAL algorithm was used to estimate the crop water use.

As an overall conclusion, application of remote sensing data contributes greatly to groundwater modeling and could improve model precision. Results of the model in terms of water table level shows that the rate of evaporation is very high and performing different scenarios indicated that reducing the discharge water in the irrigation net or constructing drainage systems could mitigate the high evaporation rates from the aquifer.

Keywords: Ground Water,MODFLOW, Miandoab, SEBAL, Recharge, Remote sensing



Sharif University of Technology
Remote Sensing Research Center



Urmia Lake Restoration National
Committee (ULRNC)

Miandoab plain Groundwater modelling with the use of remote sensing technology to assess the impact of changes in aquifer conditions on surface flow

By:
Hamed Hamzekhani
Mohamamad Mahdi Aghaie

Nov-2015