تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۷، مهر ۱۴۰۰ (ص ۱۷۹۳-۱۷۷۹)
(علمی – پژوهشی)
DOI: 10.22059/ijswr.2021.319317.668900

Estimation of Recharge and Flow Exchange between River and Aquifer Based on Coupled Surface Water-Groundwater Model

VIDA KAMKAR [1], ARASH AZARI[1*], SEYED EHSAN FATEMI[1]
1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Science and Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran.
(Received: Feb. 2, 2021- Revised: Apr. 13, 2021- Accepted: June. 19, 2021)

ABSTRACT

Integrated operation of surface water and groundwater resources is one of the most important challenges facing water resources researchers. Integrated use is, in fact, the exploitation of surface and groundwater resources in order to increase the amount of available water and the sustainable use of available water resources. Therefore, one of the main goals of the present study is to simulate the interaction of surface water and groundwater by creating a dynamic couple between the WEAP surface water model and the MODFLOW groundwater model in the Miandarband plain. In this regard, the Soil Moisture Hydrological method was used to simulate the unsaturated zone of the soil. The results of simulation of surface and groundwater interaction were presented and the conditions for the use of water resources in the area was investigated for the continuous current policy. One of the most important achievements of this research is the simulation of saturated and unsaturated zones of the soil using complete hydroclimatology balance components as a coupled model of surface and groundwater. In the period of 6 years, the highest amount of aquifer recharge in the Miandarband plain, is about 10 to 19 million cubic meters in November to March. In some of these months, in addition to rainfall, the aquifer recharge is due to the infiltration of irrigation water. The highest rate of groundwater drowdown (7.5 meters) is related to the northern part of the plain and the average drowdown in the whole plain at the end of the 6-year operation period (October 2007 to September 2013) will be about 4 meters.

Keywords: River and Aquifer Interaction, Soil Unsaturation Zone, Recharge Rate, WEAP-MODFLOW.

* Corresponding Author’s Email: a.azari@razi.ac.ir

برآورد تغذیه و تبادل جریان بین رودخانه و آبخوان بر اساس مدل متصل شده آب سطحی- آب زیرزمینی

ویدا کامکار[۱]، آرش آذری[۱*] سید احسان فاطمی[۱]

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۴- تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱/۲۴- تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۳/۲۹)

چکیده

بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب‌سطحی و زیرزمینی یکی از مهم‌ترین چالش‌های پیش روی محققین منابع آب می باشد. استفاده تلفیقی در واقع، بهره‌برداری از منابع آب‌سطحی و زیرزمینی به منظور افزایش میزان آب قابل دسترسی و استفاده پایدار از منابع آب موجود است. بنابراین از اهداف اساسی مطالعه جاری، شبیه‌سازی برهم کنش آب‌سطحی و زیرزمینی با استفاده از ایجاد اتصال دینامیکی بین مدل آب‌سطحی WEAP و مدل آب‌زیرزمینی MODFLOW در دشت میان‌دربند می‌باشد. در این راستا برای شبیه‌سازی منطقه غیر اشباع خاک از روش هیدرولوژیکی رطوبت خاک استفاده گردید. نتایج حاصل از برهم کنش آب سطحی و زیرزمینی ارائه شده و شرایط موجود بهره‌برداری از منابع آب منطقه در صورت ادامه سیاست‌های موجود مورد بررسی قرار گرفت. یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق ایجاد شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیراشباع خاک با استفاده از مولفه‌های بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی به صورت یک مدل متصل شده آب‌سطحی و زیرزمینی است. نتایج نشان داد در یک دوره ۶ ساله بیشترین مقدار تغذیه آبخوان در سطح دشت میان‌دربند کرمانشاه در ماه‌های آبان تا فروردین در حدود ۱۰ تا ۱۹ میلیون متر مکعب است. در برخی از این ماه‌ها علاوه بر بارندگی مقداری از تغذیه ناشی از نفوذ آب آبیاری می‌باشد. بیشترین میزان افت تراز سطح آب‌زیرزمینی به مقدار ۷/۵ متر مربوط به ناحیه شمالی دشت و میزان متوسط افت در کل دشت در انتهای دوره بهره‌برداری ۶ ساله (مهر ۸۶ تا شهریور ۹۲) حدود ۴ متر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: اندرکنش رودخانه و آبخوان، ناحیه غیر اشباع خاک، نرخ تغذیه، WEAP-MODFLOW.

مقدمه

به منظور افزایش میزان آب قابل دسترسی و استفاده پایدار از منابع آبی بهره‌برداری تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی و تبادل بین رودخانه و آبخوان از مهم‌ترین موضوعات منابع آبی به شمار می‌روند. در چهار دهه اخیر تکنیک‌های تحلیل سیستم‌ها در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مورد توجه محققان مهندسی منابع آب قرار گرفته‌است. انواع‌مدل‌های بکار رفته در این گونه مسائل به سه دسته مدل‌های شبیه‌سازی، بهینه‌سازی و ترکیب شبیه‌سازی و بهینه‌سازی تقسیم می شوند. مدل شبیه‌سازی به طور کلی برمبنای "اگر آنگاه‌ها "است. به این معنی است که تحت یک طراحی و یا سیاست بهره‌برداری ، به احتمال زیاد در هر زمان و یک مکان چه روی خواهد داد. روش‌های شبیه‌سازی برای حل مدل‌هایی از تحلیل سیستم‌های منابع آب است که دارای روابط و قیدهای غیر خطی هستند، از طرفی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی، سیستم‌های پیوسته ای هستند که به طور دائم با هم در ارتباط می باشند (Sophocleous, 2002; Brenot *et al.*, 2015). برای مدیریت تغییرات تراز آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیرسطحی در قسمت‌های مختلف دشت ارومیه از مدل MODFLOW استفاده شد. در این تحقیق برای ساماندهی و سنجش واکنش منابع آب‌زیرزمینی در صورت اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و اجرایی، از مدل‌سازی توزیعی بر اساس بسته ورودی تغذیه استفاده شد (Jonoubi *et al.*, 2013).

در برخی تحقیقات، اتصال مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی بر اساس شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیر اشباع صورت گرفته است. شبیه‌سازی همزمان منطقه اشباع و غیر اشباع خاک می تواند تبادل بین آب‌های سطحی و زیرزمینی را در فواصل زمانی و مکانی مختلف با شبیه‌سازی بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی در هر منطقه از طریق یک مدل لینک شده آب سطحی و زیرزمینی محاسبه نماید (Engeler *et al.*, 2011; Zeinali *et al.*, 2020a; Zeinali *et al.*, 2020b). مزیت روش‌های شبیه‌سازی در توانایی آنها برای حل مسائل مربوط به سیستم‌های پیوسته منابع آب سطحی و زیرزمینی است که دارای روابط و

* نویسنده مسئول: a.azari@razi.ac.ir

معادلات پیچیده هستند (Rugel *et al*., 2016). در هر حال نیاز به یک یا چند ابزار شبیه‌سازی که بتواند سیستم‌های پیچیده را بر اساس واقعیت موجود شرح داده و به کاربر اجازه شرکت در توسعه مدل را به منظور افزایش اعتماد در فرآیند مدل‌سازی بدهد، وجود دارد (Hu *et al*., 2016; Ivkovic, 2009; Pahar and Dhar, 2014; Bayesteh and Azari, 2021). پیش بینی تراز آب زیرزمینی بدون استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی معمولا بصورت یک سری میانگین بوده و نقشه توزیعی برای دشت ارایه نمی دهد (Guzman *et al*., 2019; Nadiri *et al*. 2019).

در بسیاری از تحقیقات استفاده تلفیقی از منابع آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از یک مدل ریاضی در دشت با اعمال محدودیت‌های مدیریتی و هیدرولوژیکی منجر به افزایش بهره-وری آب شده است (Zibaei *et al*. 2013; Shamsaei and Forghani, 2011; Nazri *et al*., 2012).

جزئیات سیستم واقعی و رفتار آن ممکن است بسیار پیچیده تر از آن چیزی باشد که در مدل در نظر گرفته شده است. اگر سیستم مورد مطالعه بیشتر از حد مورد نیاز ساده سازی گردد ممکن است نتوانیم اطلاعات مورد نیاز را از مدل بدست آوریم (Bear, 2010; Eastoe *et al*. 2010; Ramírez-Hernández *et al*., 2013). از این رو شبیه‌سازی سیستم آب‌های زیرزمینی و سطحی بصورت منفرد بدون توجه به ارتباط دینامیک آن ها منجر به بروز پاسخ‌هایی خواهد شد که با عملکرد واقعی سیستم متفاوت خواهد بود. مدل‌های شبیه‌سازی در دو بخش آب سطحی و زیرزمینی، پاسخ‌هایی را تولید می کند که از قوانین حاکم بر فرآیندهای سیستمی این دو منبع تبعیت می کنند (Gorelick, 1983). لذا برنامه‌ریزی صحیح در این زمینه مستلزم تهیه مدل مفهومی مناسب برای آگاهی از نحوه برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی در منطقه و تخمین و محاسبه پارامترها و عوامل سطحی و زیرزمینی موثر بر آن می‌باشد (Weitz and Demlie, 2013). در این راستا Graham *et al*. (2015) یک مدل مفهومی رودخانه- آبخوان توسعه دادند که قادر بود تاثیر مقادیر متفاوت رهاسازی جریان از سد را بر میزان تبادل رودخانه و آبخوان مورد ارزیابی قرار دهد. Sanz *et al*. (2011) به بررسی اثر برداشت از آب زیرزمینی بر دبی رودخانه با استفاده از مدل MODFLOW2000 پرداختند.

مطالعه روند پیشرفت مدل‌های ریاضی نشان می دهد مجموعه ای از عوامل مانند شرایط محیطی شامل دما و شوری آب، عوامل هیدرولیکی مانند مقاطع رودخانه و سطح خیس شده و پارامترهای هیدرولیکی آبخوان، نحوه توزیع و برداشت آب در حوضه و عوامل توپوگرافی و زمین‌شناسی و غیره در میزان تبادل آب سطحی و زیرزمینی موثر هستند (Fleckenstein *et al*., 2010; Luo and Sophocleous, 2011; Zampieri *et al*., 2012).

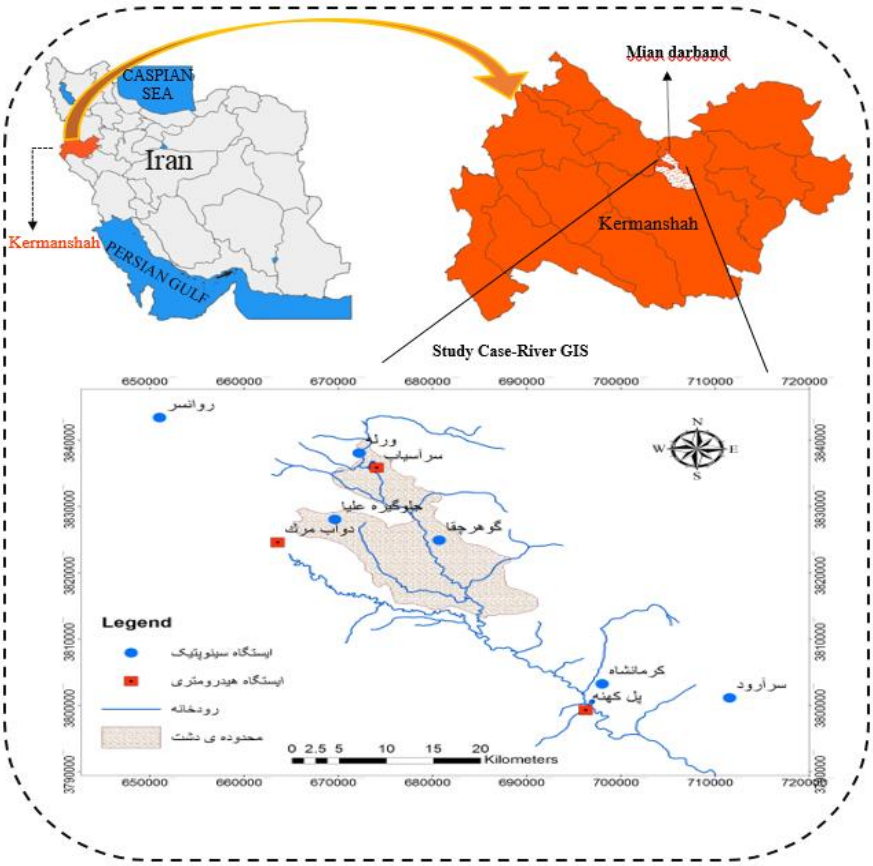
شبیه‌سازی هم زمان آبهای سطحی و زیرزمینی یکی از روش‌های مفید و قدرتمند برای تعیین تبادل رودخانه و آبخوان و همچنین محاسبه دقیق تر میزان تغذیه و تخلیه از آبخوان می باشد. بنابراین از اهداف اساسی این تحقیق، بررسی اثر برهم‌کنش آب سطحی و زیرزمینی با استفاده از شبیه‌سازی سیستمی آن‌ها و ایجاد اتصال دینامیکی بین منابع آب سطحی و زیرزمینی منطقه توسط مدل‌های ریاضی مربوطه می‌باشد. در این مدل لینک شده بر خلاف مدل‌های پیشنهادی که تاکنون ارائه شده، تمامی اجزاء دخیل در سیستم آب سطحی و زیرزمینی در منطقه مطالعاتی شبیه‌سازی می گردد. طوری که داده‌ها و اطلاعات بین این دو سیستم در گردش بوده و این گردش در هر یک از گام‌های زمانی اتفاق می‌افتد. این امر باعث می‌شود تا محققین منابع آب درک بهتری از موضوع داشته و با شناسایی اجزاء دخیل در برنامه‌ریزی تلفیقی منابع آب، از ذخایر منابع آب سطحی و زیرزمینی با حداکثر مطلوبیت استفاده نمایند. علاوه بر این در بسیاری از تحقیقات انجام شده اندرکنش آب‌سطحی و زیرزمینی در نظر گرفته نمی‌شود، که دراین تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. به عنوان نکته آخر در تمام منابع بسته تغذیه به عنوان یک بخشی از مدل آب‌زیرزمینی تعریف می‌شود، ولی در این تحقیق میزان تغذیه در کل دشت پس از اتصال آب‌سطحی و زیرزمینی، با استفاده از مدل رطوبت خاک محاسبه می‌شود. این امر باعث می شود میزان تبادل رودخانه و آبخوان به عنوان یکی از پارامترهای مهم در بیلان آب دشت در طول مسیر رودخانه قابل محاسبه باشد. از اهداف دیگر این تحقیق بررسی سهم هریک از منابع آب سطحی شامل نفوذ از سطح دشت و رودخانه‌ها در تغذیه آبخوان و استخراج پارامترهای تاثیر گذار در این زمینه می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه دشت میاندربند در غرب ایران واقع در محدوده استان کرمانشاه است (شکل ۱). این دشت از مرزهای شرقی به خط‌الراس نه چندان مرتفع حوضه آبریز گاماسیاب و بابرجستگی‌هایی از دشت بیستون جدا می‌گردد، از جنوب به ارتفاعات کوه چرمی و کوه سفید، از شمال به ارتفاعات کوه پرو و کوه خلج و از غرب به برجستگی‌های کوه ویس و محدوده دشت روانسر-سنجابی محدوده می‌گردد. دشت میان‌دربند یکی از دشتهای حاصلخیز در محدوده استان کرمانشاه بوده که هم از لحاظ آبهای سطحی و هم از لحاظ آب زیرزمینی در سالهای قبل

از غنای خوبی برخوردار بوده است. بند انحرافی رازآور واقع در ۵۰ کیلومتری جاده کرمانشاه به کامیاران برای تأمین آب دشت میان-دربند احداث شده است. در منطقه مورد مطالعه علاوه بر آب سطحی، منبع دیگر تامین آب منطقه، چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در سطح دشت می باشد. بر اساس آمار و اطلاعات دریافتی از بخش آب‌های زیرزمینی شرکت آب منطقه ای کرمانشاه، تعداد چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مطالعاتی ۱۵۹۸ حلقه می باشد. از هر دو منبع آب سطحی وزیرزمینی برای تامین نیاز مصارف گوناگون کشاورزی، شرب و صنعت در منطقه مورد نظر استفاده می شود. یکی از مشکلاتی که همواره قابل طرح بوده است بررسی نقش چاه‌های بهره‌برداری در تخلیه و کاهش آبدهی رودخانه‌ها بخصوص در حوضه‌های سرشاخه رودخانه کرخه است که همواره از طرف وزارت نیرو مورد تاکید بوده است. در صورت ایجاد گرادیان هیدرولیکی بالا بین سطح آب رودخانه و تراز سطح آب زیرزمینی در اثر کاهش تراز در آبخوان، دبی نشت رودخانه به آبخوان افزایش پیدا می کند. لذا ارایه مدلی دینامیک برای محاسبه اندرکنش رودخانه و آبخوان و میزان تغذیه یا تخلیه رودخانه و آبخوان در بازه‌های مختلف بخصوص در مناطقی مانند میاندربند که رودخانه عبوری از آن از سرشاخه‌های رودخانه کرخه محسوب می شود بسیار حائز اهمیت است.



شکل ۱- موقعیت محدوده مطالعاتی، رودخانه‌ها، ایستگاه‌های هیدرومتری و سینوپتیک

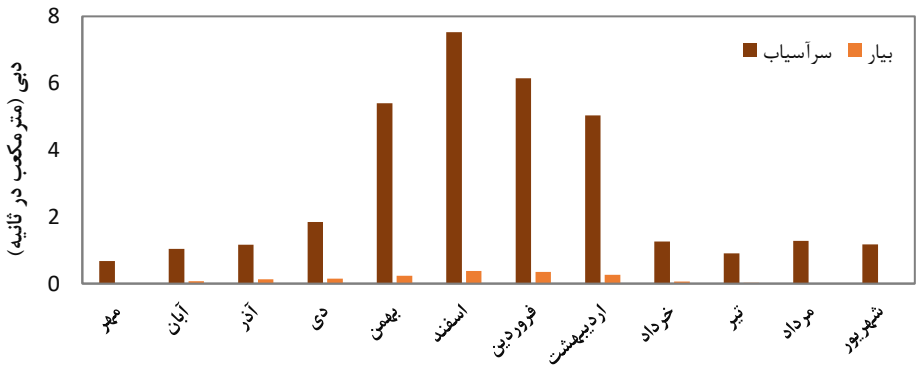
ساخت مدل آب سطحی WEAP

به طور کلی اطلاعات ورودی به مدل شامل دو دسته می‌باشند. بعضی از این پارامترها به عنوان پارامترهای عمومی بیان شده است که شامل طول دوره برنامه‌ریزی، تعیین سال پایه ماه، تنظیمات مدل، شروع شبیه‌سازی، گام‌های زمانی و غیره می‌باشد. با توجه به آمار و اطلاعات موجود، طول دوره شبیه‌سازی۶ سال در نظر گرفته شد که شروع آن از مهرماه ۱۳۸۶ و پایان آن شهریورماه ۱۳۹۲ می‌باشد. گام‌های‌زمانی شبیه‌سازی، ماهیانه و واحد محاسباتی، متریک می‌باشد. به صورت کلی ماه شروع شبیه‌سازی در مدل، مهرماه می‌باشد. سپس سری‌های زمانی داده‌های ثبت شده هیدرولوژیکی‌و هواشناسی و اطلاعات مربوط به نیاز ماهیانه مصارف، اطلاعات رودخانه‌ها و محل‌های برداشت، ضرایب و پارامترهای موردنیاز و غیره بصورت فایل‌های متنی با قابلیت فراخوانی خودکار به مدل معرفی شدند. از طرفی به دلیل این‌که پراکنش مناسبی از ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژی در محدوده مورد مطالعه (دشت میان‌دربند) در دسترس نیست،

از این‌رو از اطلاعات و آمار ایستگاه‌های مجاور محدوده مطالعاتی موردنظر استفاده شده است و با استفاده از آمار این ایستگاه‌ها پارامترهای اقلیمی در هر یک از دشت‌های مطالعاتی برآورده شد. میانگین پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در مدل در جدول (۱) نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی صحیح جریان در رودخانه‌ها و سر شاخه‌ها از ایستگاه‌های هیدرومتری بیار و سرآسیاب واقع بر رودخانه رازآور استفاده شد. مقادیر میانگین آبدهی در محل این ایستگاه‌ها در طول دوره شبیه‌سازی در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۱- میانگین پارامترهای هواشناسی مورد استفاده در مدل در دشت در طول دوره شبیه‌سازی

پارامتر	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بارندگی(mm)	۱۸/۳	۷۴/۴	۹۵/۶	۶۸/۲	۷۸	۱۸/۱	۹۴/۳	۸۶/۳	۵۱/۶	۰/۷	۰/۸	۰/۲
دما (c ◦)	۱۸	۱۱/۳	۵/۵	۲/۴	۲/۴	۶/۵	۱۱/۱	۱۵/۹	۲۱/۹	۲۶/۸	۲۷/۹	۲۳/۸
رطوبت نسبی (%)	۴۷	۶۵	۷۴	۷۶	۷۸	۶۵	۶۲	۵۹	۴۱	۴۱	۳۹	۳۷
سرعت باد (m/s)	۳/۷	۳/۸	۳/۶	۳/۸	۴/۱	۴/۳	۴	۱۷/۹	۴/۱	۴	۴	۳/۹
ساعات آفتابی (hours)	۲۶۲	۱۹۹	۱۵۷	۱۴۵	۱۴۷	۱۶۹	۲۱۰	۲۴۷	۳۳۹	۳۵۵	۳۴۱	۳۲۳



شکل ۲- میانگین آبدهی ماهیانه رودخانه رازآور در محل ایستگاه‌های موجود بر آن

محاسبه روند هیدرولوژیکی (روش رطوبت خاک)

مدل رطوبت خاک برای شبیه‌سازی روند هیدرولوژیکی واقعی دشت مطالعاتی در این تحقیق بکار رفت. این مدل چرخه کامل هیدرولوژیکی که شامل بارش، ذوب برف در صورت وجود، آب آبیاری، تبخیر و تعرق، آب مصرفی گیاهان، نگهداشت خاک و شرایط رطوبتی آن، میزان نفوذ، میزان جریان افقی در خاک، رواناب حاصل از بارش و آب برگشتی آبیاری با در نظر گرفتن پارامترهای اقلیمی مانند دما، سرعت باد، ساعات آفتابی، رطوبت هوا و موقعیت جغرافیایی و نوع کاربری منطقه می‌باشد، را شبیه‌سازی می‌کند (Sieber and Purkey, 2015). این روش به دلیل استفاده از طیف وسیعی از پارامترهای دخیل در چرخه هیدرولوژیکی و همچنین قابلیت آن در تخمین میزان تغذیه حاصل از بارش و آب آبیاری و میزان تبادل رودخانه و آبخوان که مورد استفاده در مدل آب زیرزمینی می‌باشد، برای شبیه‌سازی انتخاب شد.

بدنه این مدل شامل دو محدوده۱ بوده که در یکی معادلات و پارامترهای مربوط به پروفیل سطحی و اولیه خاک (منطقه غیر اشباع) تحلیل می‌شود و در محدوده پایین تر روابط مربوط به نفوذ عمقی در قسمت ثانویه خاک (منطقه اشباع) مورد استفاده قرار می گیرد. در این تحقیق بدلیل استفاده همزمان از مدل آب زیرزمینی و اتصال دینامیکی آن با مدل آب سطحی، ناحیه اشباع توسط مدل MODFLOW شبیه‌سازی شده و نتایج آن به این مدل ارسال می‌گردد. لذا در این تحقیق، مدل رطوبت خاک، ناحیه بالایی (منطقه غیر اشباع) را شبیه‌سازی می‌نماید.

معادله اصلی موازنه آب در این مدل بصورت زیر تعریف می شود:

۱- Bucket

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t)k_{c,j}(t)(\frac{5z_{1,j} - 2z_{1,j}^2}{3}) - P_e(t)z_{1,j}^{RRF_j} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^2 - (1-f_j)k_{s,j} z_{1,j}^2$$

که در آن:

j شماره هر منطقه از کل N منطقه است.

$Z_{1,j}$ ذخیره نسبی نسبت به کل ذخیره موثر در منطقه ریشه خاک در هر ماه از شبیه‌سازی است و بصورت عددی بین صفر و یک تعیین می‌شود.

Rd_j کل ذخیره موثر آب در منطقه ریشه (بر حسب میلی متر) مربوط به منطقه j در زمان t است.

در قسمت اول معادله، $P_e(t)$ میزان بارش موثر کل در زمان t است که شامل ذوب برف نیز می‌باشد و با استفاده از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$P_e = P_i m_c + m_r \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

$$m_r = Ac_i m_c \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

$$Ac_i = Ac_{i-1} + (1-m_c)P_i \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

$$m_c = \begin{cases} 0 & T_i < T_s \\ 1 \quad if & T_i > T_l \\ \dfrac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & T_s \le T_i \le T_l \end{cases} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در معادلات فوق:

m_c ضریب ذوب برف است.

T_i دمای مشاهداتی ثبت شده منطقه در ماه i ام است.

T_l و T_s به ترتیب دمای ذوب برف و دمای انجماد در منطقه است.

P_j میزان بارش کل ماهیانه ثبت شده در منطقه (میلی متر) است.

در قسمت دوم معادله، PET میزان تبخیر و تعرق پتانسیل گیاه مرجع (میلی متر) به روش پنمن مانتیث و $K_{c,j}$ ضریب گیاهی مربوط به هر کدام از گیاهان منطقه و کاربری‌های مختلف است. در قسمت سوم معادله فوق، RRF_j فاکتور دوام رواناب در هر ماه و برای هر کاربری منطقه است. هر چه این فاکتور بیشتر شود میزان رواناب سطحی کاهش می‌یابد. قسمت چهارم و پنجم معادله فوق به ترتیب مربوط به جریانات داخلی منطقه غیر اشباع و میزان نفوذ عمقی به منطقه اشباع است. در این قسمت‌ها $K_{s,j}$ هدایت هیدرولیکی ناحیه ریشه در شرایط اشباع (پس از بارندگی یا آبیاری) بر حسب میلی متر در ماه می‌باشد. f_j ضریب جزئی هدایت است که بستگی به خاک، کاربری منطقه و شرایط توپوگرافی دارد. این ضریب بین صفر و یک بوده و بیان می کند چه سهمی از جریان آب در منطقه ریشه در شرایط اشباع بصورت افقی حرکت کرده و چه سهمی بصورت عمودی نفوذ می کند.

مجموع رواناب مستقیم سطحی و رواناب زیرسطحی در اثر جریان داخلی در هر منطقه بر حسب واحد حجم از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$RT(t) = \sum_{j=1}^{N} A_j (P_e(t) z_{1,j}^{RRF_j} + f_j k_{s,j} z_{1,j}^2) \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

A_j مساحت هر منطقه است.

در حالت اتصال دینامیکی بین آب سطحی و زیرزمینی، میزان تغذیه به آبخوان بر حسب واحد حجم در ماه طبق معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$R = \sum_{j=1}^{N} A_j (1-f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2 \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

وقتی که از مدل آب زیرزمینی استفاده نمی‌شود بجای پارامتر تغذیه، میزان نفوذ عمقی بر حسب میلی متر از معادله زیر محاسبه می‌شود.

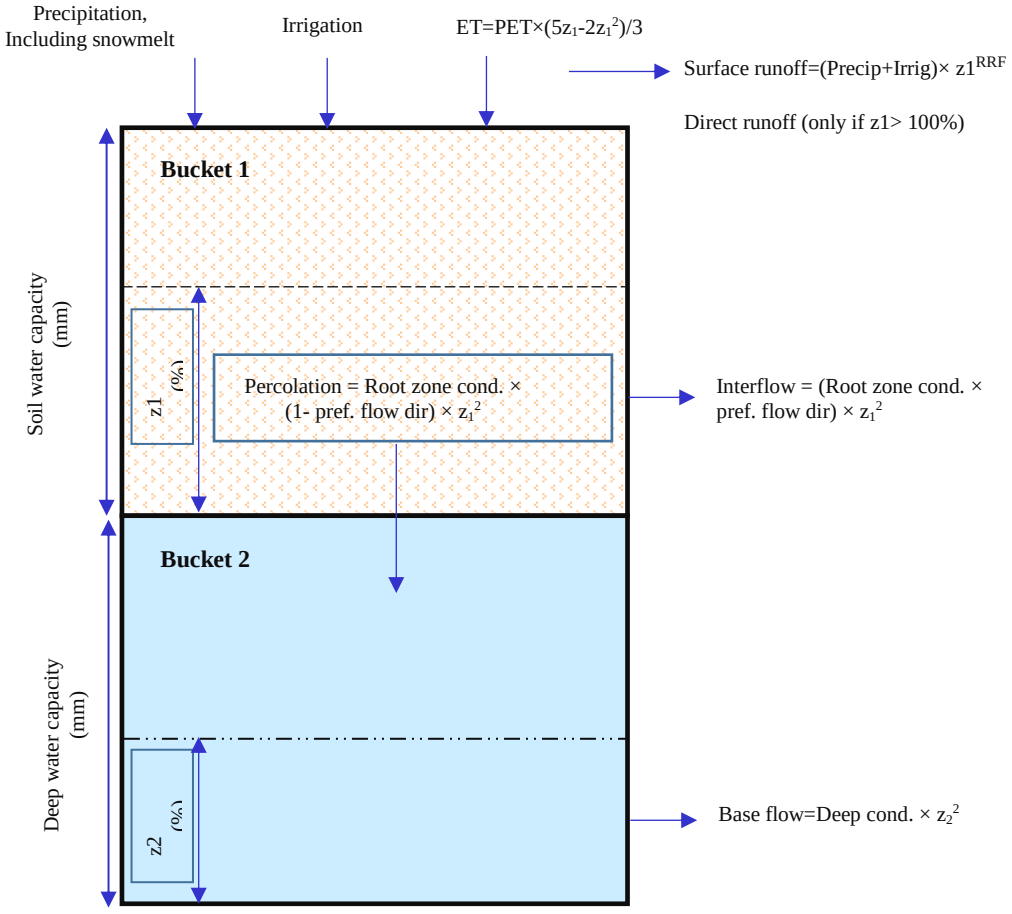
$$S_{\max} \frac{dz_2}{dt} = (\sum_{j=1}^{N} (1-f_j) k_{s,j} z_{1,j}^2) - k_{s2} z_2^2 \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

در معادله اخیر قسمت دوم مربوط به جریان پایه ای است که در قسمت عمیق و اشباع خاک به سمت رودخانه حرکت می کند. K_{z2} هدایت اشباع ناحیه عمیق خاک بر حسب میلی متر بر ماه و Z_2 ذخیره نسبی آب در قسمت عمیق یا ثانویه خاک است و بر حسب جزئی از کل ظرفیت نگهداشت آب خاک در منطقه عمیق تعریف می‌شود. به منظور درک بهتر مساله، نحوه عمل مدل رطوبت خاک در دو پروفیل اولیه و ثانویه خاک بطور شماتیک در شکل (۳) نشان داده شده است (سایبر وهمکاران ۲۰۱۵). به دلیل تغییرات رطوبتی خاک در طول دوره شبیه‌سازی و تاثیر عوامل گوناگون مانند بارش، آبیاری، دما، تبخیر، بافت خاک، پوشش گیاهی و غیره بر آن، ضرایب مدل رطوبت خاک برای هر ماه در طول دوره شبیه‌سازی واسنجی شد.

ساخت مدل آب زیرزمینی

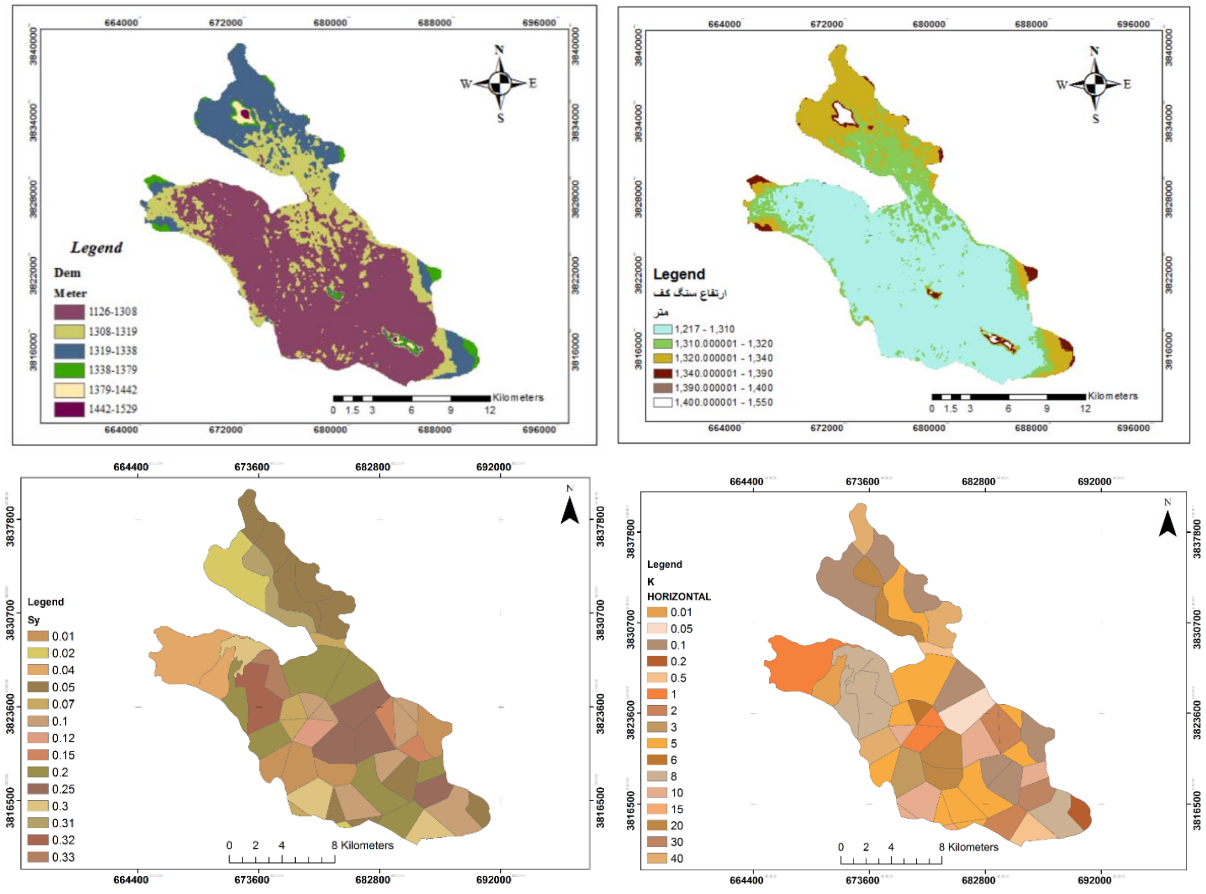
براساس جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در کل دشت میان-دربند جهت شبکه بندی در راستای شمال شبکه۵۰۰×۵۰۰ متر در نظر گرفته شد .لذا شبکه بندی مدل با تعداد۳۳۶۳ سلول (۵۷ردیف و۵۹ستون) بافواصل ۵۰۰متر ساخته شدکه شامل۱۰۷۰ سلول فعال و ۲۲۹۳ سلول غیر فعال بود. در این

مطالعه برای شبیه‌سازی مرزهای ورودی و خروجی دشت میان-دربنداز بسته مرز بار عام[۱] استفاده شد. در این بسته دبی جریان ورودی یا خروجی متأثر از گرادیان هیدرولیکی در مرز و کاندکتانس سلول مرزی می باشد. با استفاده از مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده و لوگ اطلاعات چاه‌ها نقشه سنگ کف دشت تهیه شد. همچنین نقشه DEM دشت برای استفاده در مدل آب زیرزمینی ترسیم گردید (شکل ۵). در مدل MODFLOW-2000 برای شبیه‌سازی چاه‌های بهره‌برداری در دشت میاندربند (۱۵۹۸ حلقه چاه) از بسته WELL استفاده شد و سلول‌های چاه مشخص گردید. هر کدام از سلول‌های چاه در بدنه مدل لینک شده به مصارف مربوط (کشاورزی، شرب و صنعت) متصل شدند. تغذیه دشت یکی از پارامترهای مهم در مدل آب زیرزمینی می‌باشد. معمولا به دلیل ویژگی‌های مختلف خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شدت بارندگی و شیب زمین، در نقاط مختلف میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی متفاوت می‌باشد. در مدل MODFLOW برای در نظر گرفتن تغذیه از بسته RCH استفاده می‌گردد. اما در حالت اتصال دینامیک آب سطحی و زیرزمینی این پارامتر توسط روش رطوبت خاک محاسبه شده و به بدنه آب زیرزمینی وارد شد. برای تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان از روش زون‌بندی استفاده گردید. زون بندی منطقه برای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه بر اساس لوگ حفاری چاه‌های مشاهداتی، اکتشافی و پیزومتری و همچنین مقاطع ژئوفیزیکی تهیه شده از منطقه انجام گرفت. با توجه به جنس خاک و رسوبات هر زون مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه تخمین زده شد. در نهایت پس از انجام فرآیند واسنجی، برای هر زون مقدار بهینه شده هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه لحاظ شد. در بخش شبیه‌سازی آب زیرزمینی، پس از آزمون‌های واسنجی و صحت سنجی مدل و اطمینان از دقت آن، پهنه‌بندی نهایی پارامترهای اصلی مدل یعنی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه مطابق با شکل (۵) تهیه شد. این متغیرها به صورت آرایه‌های ماتریسی متناسب با شبکه بندی مدل درآمده و در بسته‌های متناسب با هر کدام گنجانده شد.



شکل ۳- اجزای مدل رطوبت خاک بطور شماتیک

۱- General Head Boundry



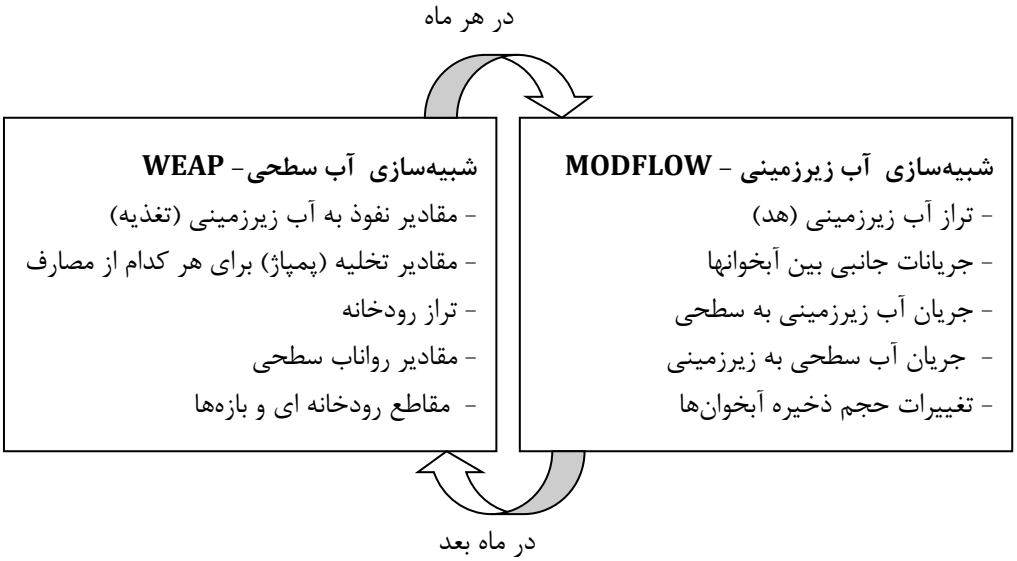
شکل ۵- ارتفاع سنگ کف، DEM، زون بندی K و زون‌بندی Sy

کدنویسی بسته‌های مدل MODFLOW 2005

در این مرحله بعد از اینکه واسنجی مدل انجام شد و ضرایب هیدرودینامیک بدرستی تخمین زده شدند، بسته‌های مدل آب زیرزمینی (DIS، LPF، BA6، OC، PCG، MFN، RIV و غیره) با استفاده از مدل ریاضی MODFLOW 2005 برای اتصال به مدل آب سطحی کد نویسی شد. بسته‌های نامبرده که همه‌ی اطلاعات موردنیاز مدل آب زیرزمینی را در بر داشت، در درون پوشه آب زیرزمینی متصل شده به مدل WEAP قرارداده شد. بعد از اینکه تمام بسته‌ها ساخته شد و اطلاعات مورد نیاز مدل تکمیل گردید، واسنجی و صحت‌سنجی مدل در دو حالت ماندگار و غیرماندگار صورت گرفت. برای انجام عملیات واسنجی و صحت سنجی از داده‌های ثبت شده پیزومتری مربوط به چاه مشاهده ای در کل دشت استفاده شد. واسنجی مدل برای یک دوره ۴ ساله و از مهر ۸۶ تا شهریور ۹۰ انجام، و همچنین صحت سنجی مدل به مدت دو سال و از مهر ۹۰ تا شهریور ۹۲ انجام شد.

اتصال مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی

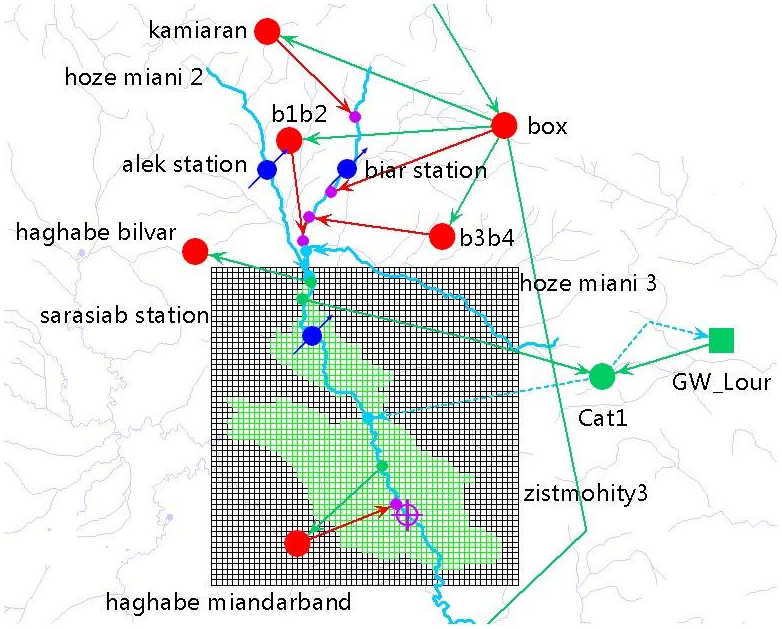
با اتصال صحیح WEAP باMODFLOW ، مطابق شکل (۶) داده‌ها و نتایج بصورت پویا می‌توانند بین این دو مدل گردش کنند. این بازخورد بین دو مدل آب سطحی و زیرزمینی در هر گام زمانی محاسباتی اتفاق می‌افتد. برای این کار اقدام به تهیه یک فایل لینکی در محیط GIS شد که در آن مطابق با شکل (۷) با هم‌پوشانی شبکه آب زیرزمینی بر محدوده مطالعاتی، هر یک از لایه‌های تعریف شده در WEAP به سلول‌های متناظر که آن سطح را پوشش می‌داد متصل گردید. لذا سلول‌های متناظر با زیرحوضه‌ها و کاربری هر یک از آنها، سلول‌های چاه‌ها، سلول‌های مصارف موجود (کشاورزی، شرب، روستایی و ...)، سلول‌های متناظر با محدوده آبخوان، سلول‌های رودخانه‌ای و بسته‌های تهیه شده MODFLOW و غیره، همگی در فایل لینکی تعریف شدند. طوری که همه اجزای متناظر این فایل هم در مدل آب سطحی و هم در مدل آب زیرزمینی موجود بود. با اتصال درست، می‌توان اثرات تغییر تراز در سطح آب زیرزمینی و یا تغییر تراز مخزن آب سطحی را بر کل سیستم مشاهده کرد که این موضوع به خوبی مورد آزمون قرار گرفت. پس از آن در حالت اتصال دو مدل، بار دیگر عملیات واسنجی برای مدت ۴ سال (مهر ۸۶ تا شهریور ۹۰) و صحت سنجی برای مدت ۲ سال (مهر ۹۰ تا شهریور ۹۲) برای کل سیستم انجام شد. فایل نهایی مورد آزمون قرار گرفته، در طول دوره شبیه‌سازی(مهر۸۶ تا شهریور۹۲) به عنوان فایل ارتباطی بین مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی عمل نمود.



شکل ۶- چرخش داده‌ها و نتایج در مدل لینک شده آب سطحی و زیرزمینی در هر ماه در طول دوره شبیه‌سازی

نحوه بررسی اندرکنش آب رودخانه‌ها و آبخوان میان دربند

برای بررسی اندرکنش آب رودخانه‌ها و آبخوان میان دربند، بیلان آب در شرایط اتصال دینامیک مدل‌ها انجام شد. در محاسبه بیلان، مقادیر برداشت از هر کدام از منابع سطحی و زیرزمینی، مصارف مختلف، مقادیر رواناب و برگشت آب کشاورزی و فاضلاب به هر کدام از سیستم‌های رودخانه‌ای، مقادیر نشت از رودخانه‌ها به آب زیرزمینی و بالعکس، مقدار نفوذ عمقی (تغذیه آب زیرزمینی)، بارندگی روی دشت، شرایط رطوبتی خاک و غیره در نظر گرفته شد. تبادل بین رودخانه و دشت با توجه به عرض مقطع، تراز سطح آب رودخانه در بازه بین دو مقطع، تراز بستر، ضریب قابلیت انتقال بستر، سطح آب زیرزمینی، برداشت از رودخانه یا آبخوان و غیره در تمامی بازه‌ها محاسبه شد.

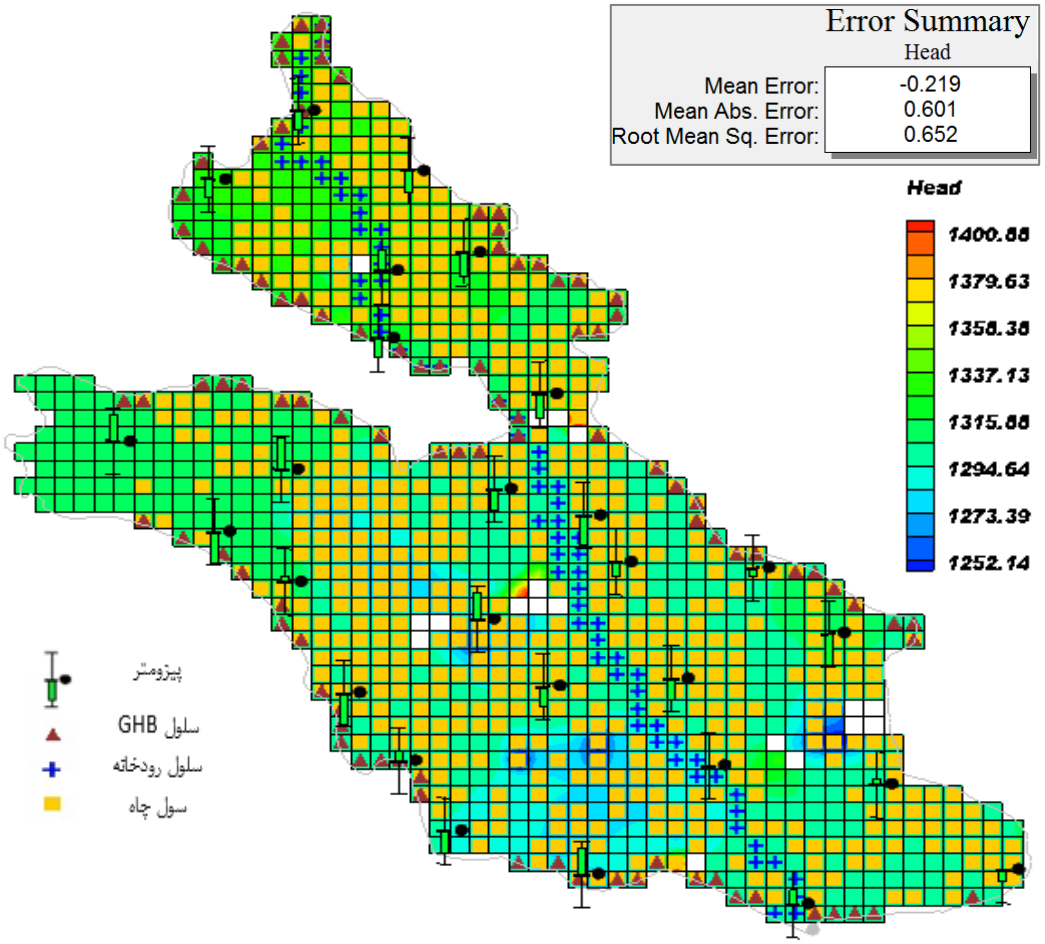


شکل ۷- محدوده مدل تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی در محدوده مطالعاتی در حالت اتصال پویا

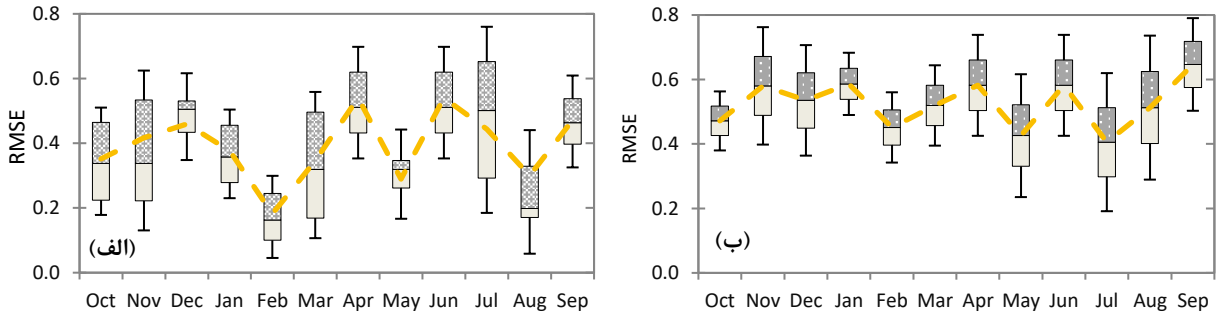
نتایج و بحث

قبل از اتصال مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی، مدل آب زیرزمینی برای پارامترهای اصلی مدل یعنی هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، واسنجی و صحت سنجی شد. در این مرحله برای مقایسه آماری مقادیر محاسباتی و مشاهداتی تراز آب زیرزمینی در محل چاهک‌های مشاهده‌ای در دشت میاندربند از آماره

متوسط خطای مطلق[۱]، استفاده شد. نتایج حاصل از این بررسی در شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی مجدد مدل پس از اتصال دو مدل آب سطحی و زیرزمینی در حالت غیرماندگار (شکل ۹)، نشان داد مدل با دقت خوبی قادر به پیش بینی تغییرات تراز آب زیرزمینی در اثر تنش‌های وارد شده به آن است طوری که مقدار RMSE در تمامی ماه‌های شبیه‌سازی کمتر از ۱ و بطور متوسط کمتر از ۰/۸ می باشد.



شکل ۸- اجزای مدل عددی تهیه شده و تراز آب زیرزمینی دشت در حالت ماندگار

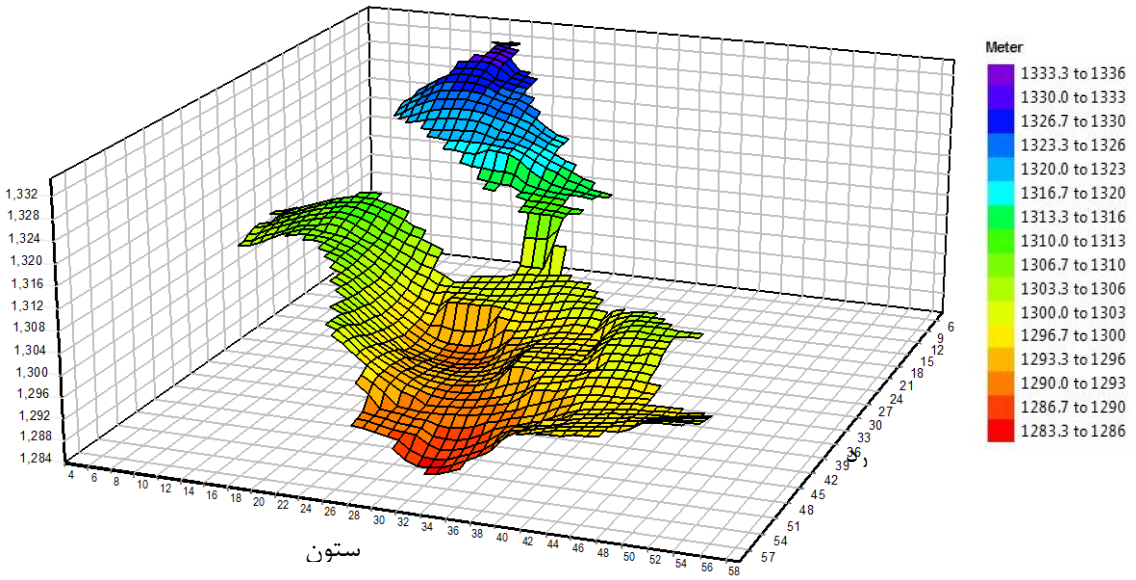


شکل ۹- مقادیر آماره میانگین قدرمطلق خطای تراز آب در مدل مادفلو در حالت غیرماندگار در طول دوره الف- واسنجی ب- صحت سنجی

مطابق با شکل (۱۰) تراز سطح آب زیرزمینی در پایان دوره شبیه‌سازی (سپتامبر ۲۰۱۶) در حالت اتصال پویای مدل آب سطحی و زیرزمینی بصورت سه بعدی شبیه‌سازی شد. بیشترین و کمترین تراز سطح آب به ترتیب در قسمت‌های شمالی و جنوبی

۱ - Absolute Mean Error

دشت می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین میزان افت سطح آب زیرزمینی نسبت به ابتدای دوره شبیه‌سازی ، به ترتیب مربوط به نواحی شمالی و جنوبی دشت بوده است.

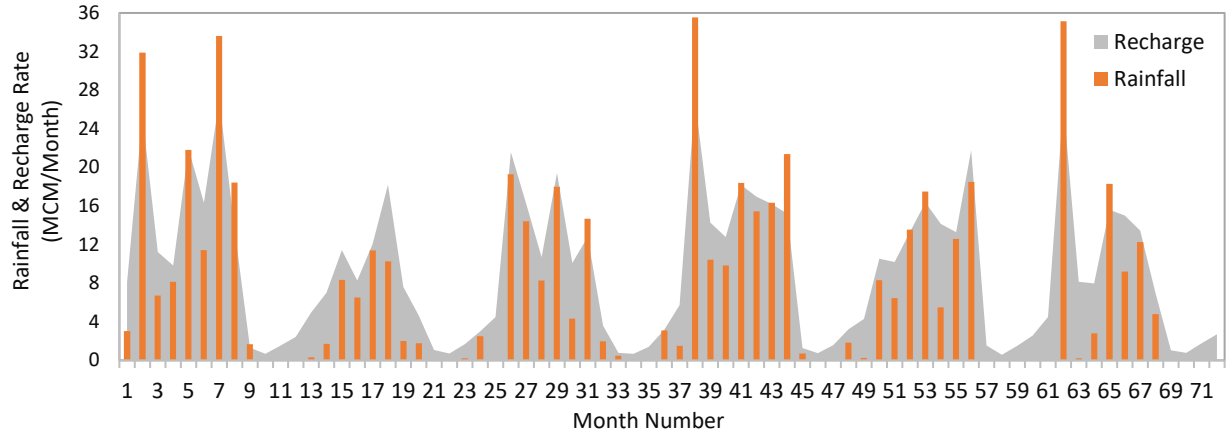


شکل ۱۰- تراز آب زیرزمینی در پایان دوره شبیه‌سازی در مدل لینک شده- سپتامبر ۲۰۱۶

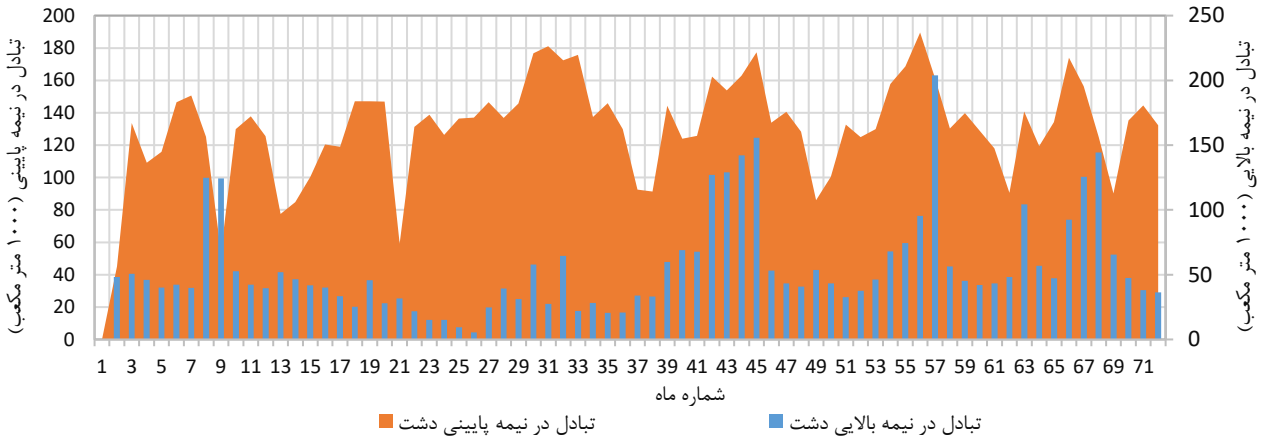
میزان تغذیه و تبادل رودخانه رازآور با آبخوان

مقدار بارندگی روی دشت و تغذیه ناشی از بارندگی و آب آبیاری در سطح کل دشت با استفاده از شبیه‌سازی ناحیه غیر اشباع خاک (مدل رطوبت خاک) در طول دوره شبیه‌سازی محاسبه شد که در شکل (۱۱) نشان داده شده است. بیشترین مقدار تغذیه آبخوان از طریق سطح دشت در طول دوره ۶ ساله در ماه‌هایی است که میزان بارندگی روی دشت زیاد است. در برخی از این ماه‌ها علاوه بر بارندگی مقداری از تغذیه ناشی از نفوذ آب آبیاری است. اما در ماه‌های گرم سال (ژوئن تا سپتامبر) تغذیه تنها از طریق نفوذ آب آبیاری صورت می گیرد. این مقدار تغذیه ناشی از نفوذ از سطح دشت بوده و شامل تبادل رودخانه‌ها با آبخوان نمی شود. در این تحقیق مقدار تغذیه از طریق سطح دشت با توجه به شبیه‌سازی ناحیه غیر اشباع خاک (مدل رطوبت خاک) برای تمامی سلول‌های دشت محاسبه شده و با توجه با ارتباط دینامیکی این مدل با مدل آب زیرزمینی، مقدار تغذیه محاسباتی جایگزین بسته تغذیه در مدل MODFLOW می گردد. اما در مطالعات Hadded *et al* (2013) ناحیه غیر اشباع خاک مدل سازی نشده و تغذیه روی دشت در مدل MODFLOW و تحت عنوان بسته تغذیه محاسبه شده است. در مطالعات Sanz *et al*. (2011) نیز با وجود اینکه مقدار تغذیه به سه روش و در خارج از مدل آب زیرزمینی محاسبه شد اما در نهایت مقادیر محاسبه شده تحت عنوان نواحی همگن در بسته تغذیه مدل MODFLOW وارد شد. میزان تبادل رودخانه‌ها با آبخوان بر اساس میزان جریان رودخانه، مقاطع و خصوصیات هیدرولیکی رودخانه‌ها بطور جداگانه در مدل رطوبت خاک و MODFLOW محاسبه شد. در این تحقیق با توجه به ارتباط دینامیکی مدل آب سطحی و زیرزمینی، تبادل رودخانه و آبخوان در تمامی سلول‌های رودخانه ای محاسبه شد. در حالی که در مطالعه Hadded *et al*. (2013) ارتباط هیدرولیکی و اندرکنش بین آبخوان و رودخانه شبیه‌سازی نشده است.

همچنین Luo and Sophocleous (2011) تبادل بین رودخانه و آبخوان را بدون ایجاد اتصال دینامیک منابع آب سطحی و زیرزمینی و فقط با استفاده از روابط خطی و نمایی بصورت بازه ای تخمین زدند. Graham *et al*. (2015) نیز تنها بر اساس یک مدل مفهومی ساده و داده‌های ۸ چاهک مشاهده ای متوالی تا فاصله ۳۳۰ متری واقع در یک طرف رودخانه میزان نشت از رودخانه به آبخوان را محاسبه نمودند. میزان آب تبادلی بین رودخانه‌های گاوه‌رود و برازآور و آبخوان در ماه‌های مختلف متفاوت بوده و در هر بازه متناسب با دبی رودخانه، و میزان پخش آب روی دشت، در طول شبیه‌سازی است. بر این اساس میزان تبادل نشت بین رودخانه و کل آبخوان در محدوده مطالعاتی محاسبه شد که در شکل (۱۲) ارائه شده است.



شکل ۱۱- مقدار بارندگی و تغذیه آبخوان در طول دوره شبیه‌سازی (MCM/Month)



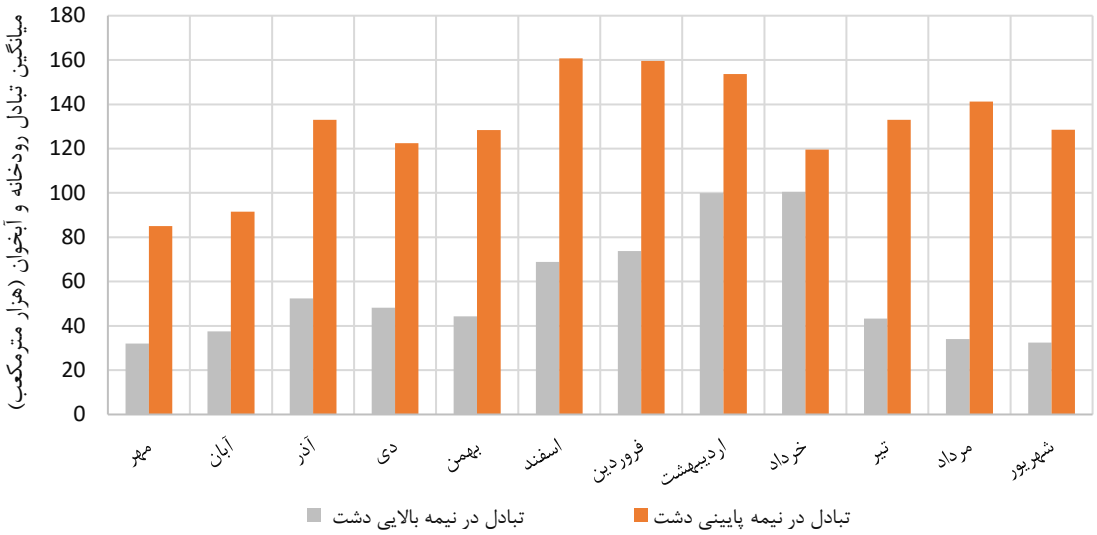
شکل ۱۲- میزان تبادل آب بین رودخانه رازآور در نیمه‌های بالایی و پایینی دشت میاندربند در طول دوره شبیه‌سازی (MCM/Month)

شکل (۱۲) مقادیر بیشترین و کمترین میزان تبادل بین رودخانه و آبخوان در طول دوره ۶ ساله را به خوبی نمایش می‌دهد. در این رودخانه به دلیل بالاتر بودن تراز سطح آب رودخانه نسبت به دشت، تبادل بین رودخانه رازآور در نیمه‌های بالایی و پایینی دشت میاندربند به صورت نشت از رودخانه به آبخوان صورت می گیرد و هیچ جریانی از آبخوان به رودخانه در طول دوره شبیه‌سازی صورت نمی گیرد. طبق شکل(۱۳) بیشترین و کمترین میزان میانگین ماهانه آب قابل تبادل در رودخانه رازآور به نیمه پایینی دشت میان‌دربند مربوط به اسفند و مهر می باشد. این امر به دلیل افزایش یا کاهش دبی این رودخانه در اثر افزایش یا کاهش بارندگی در این ماه‌هاست. همچنین بیشترین میزان میانگین آب قابل تبادل در رودخانه رازآور نیمه بالایی دشت میان دربند مربوط به ماه‌های اردیبهشت و خرداد است. علت این امر رهاسازی بیشتر جریان سد گاوشان واقع در بالادست رودخانه و انتقال آن به رودخانه رازآور در این ماه‌ها برای تامین نیاز اراضی پایین دست می باشد. کمترین میزان تبادل در این بخش همچنان در مهرماه اتفاق افتاده است.

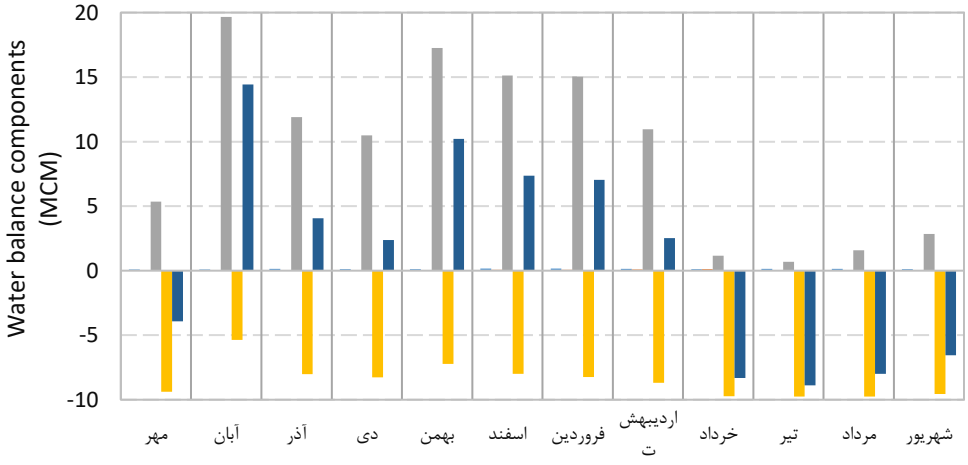
اجزای بیلان در محیط اشباع (لایه آبدار)

یکی از مزیت‌های مدل متصل شده این است که بیلان آب زیرزمینی در طول دوره بهره‌برداری با در نظر گرفتن کلیه عوامل سطحی و زیرسطحی موثر بر آن قابل محاسبه بوده و تغییرات حجم ذخیره آبخوان بصورت دینامیک و بازخوردی در هر ماه از دوره بهره‌برداری قابل رویت است. در صورت تغییر هر کدام از عوامل جوی و اقلیمی، تغییر الگوی کشت، الگوی بهره‌برداری از آب سطحی و زیرزمینی و غیره اثر آن سریعا به کل سیستم منتقل شده و می توان نتایج حاصل از آن را مورد تحلیل قرار داد. پس از اجرای مدل برای مدت ۶ سال در شرایط وضع موجود بهره‌برداری ، اجزای بیلان در محیط اشباع (لایه آبدار) توسط مدل محاسبه شد. متوسط ماهیانه پارامترهای بیلان در شکل (۱۴) نشان داده شده است. مطابق با این شکل در هر سال بطور متوسط در حد فاصل ماه‌های آبان تا اواخر اردیبهشت تغییرات ذخیره آبخوان مثبت و در بقیه ماه‌ها منفی است. اما در کل دوره بهره‌برداری (۷۲ ماه) بیلان آب منفی بوده و بطور مداوم از حجم ذخیره آبخوان کاسته می شود. این موضوع منجر به افت سطح

آب زیرزمینی در بخش‌هایی از آبخوان گردیده است.



شکل ۱۳- میزان تبادل ماهانه آب بین رودخانه رازآور در نیمه‌های بالایی و پایینی دشت میاندربند



	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
Leakage from Razavar River to Aquifer	0.09	0.09	0.13	0.12	0.13	0.16	0.16	0.15	0.12	0.13	0.14	0.13
groundwater discharge to the river	0.03	0.04	0.05	0.05	0.04	0.07	0.07	0.10	0.11	0.04	0.03	0.03
Recharge to Groundwater from Plain	5.34	19.66	11.91	10.48	17.25	15.13	15.05	10.96	1.17	0.69	1.59	2.85
Outflow to Miandarband Plain	-9.39	-5.36	-8.03	-8.27	-7.22	-7.99	-8.24	-8.68	-9.73	-9.75	-9.75	-9.56
ΔS	-3.92	14.44	4.07	2.38	10.21	7.37	7.05	2.53	-8.33	-8.89	-7.98	-6.55

شکل ۱۴- اجزای بیلان آب در محدوده آبخوان

تغییرات افت سطح آب زیرزمینی

از دیگر مزایای مدل متصل شده مشاهده تغییرات تراز آب زیرزمینی در کل سلول‌های فعال دشت در طول دوره بهره‌برداری است. این امر به کاربر اجازه می دهد تغییرات افت در کل آبخوان تحت تاثیر هر سیاست بهره‌برداری را مشاهده نماید. همچنین این امکان وجود دارد که بطور موردی در هر یک از سلول‌های هم مرز با رودخانه، مناطق مرزی تحت تاثیر جریانات ورودی و خروجی به آبخوان و یا سلول‌های موجود در محل تجمع چاه‌های بهره‌برداری میزان افت تراز آب زیرزمینی قابل مشاهده باشد. بطور نمونه میزان افت در قسمت شمالی (جریانات خروجی از دشت و تجمع چاه‌های بهره‌برداری)، مرکزی (محل تجمع چاه-های بهره‌برداری) و جنوبی(تجمع کمتر چاه‌ها و مجاورت با رودخانه) بررسی شده‌است که بیشترین میزان آن به مقدار ۷/۵ متر مربوط به ناحیه شمالی بود. نتایج نشان داد میزان متوسط افت تراز سطح آب زیرزمینی با در نظر گرفتن کل سطح آبخوان میان‌دربند در انتهای دوره بهره‌برداری ۶ ساله (مهر ۸۶تا شهریور ۹۲) حدود ۴ متر خواهد بود.

نتیجه‌گیری

امکان شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیراشباع خاک با استفاده از

مولفه‌های بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی در قالب یک مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی یکی از مهمترین دستاوردهای این تحقیق است. در این حالت اثر تغییرات هر یک از پارامترهای هواشناسی، خاک، بهره‌برداری از منابع آب و اقدامات مدیریتی سریعا به کل سیستم منتقل شده و نتایج آن قابل مشاهده بود. در مراحل واسنجی و صحت سنجی مدل تلفیقی آب سطحی و زیرزمینی در حالت اتصال دینامیک مشخص شد، پارامترهای گسترده‌ای نظیر ضریب کاندکتانس بستر رودخانه، ضریب نگهداشت خاک، مقدار تغذیه و تخلیه دشت، هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه آبخوان و غیره دخالت دارند که در این میان مدل به مقدار تغذیه و هدایت هیدرولیکی منطقه اشباع و غیر اشباع حساسیت بیشتری داشت. در این مدل متصل شده اثر تغییرات بهره‌برداری از منابع آب ،هر یک از پارامترهای هواشناسی، خاک و اقدامات مدیریتی به کل سیستم فورا منتقل می‌گردد و نتایج آن قابل رویت می‌باشد،به گونه‌ای که یکی از مهمترین دستاوردهای این تحقیق ایجاد شبیه‌سازی ناحیه اشباع و غیراشباع خاک با استفاده از مولفه‌های بیلان کامل هیدروکلیماتولوژی به صورت یک مدل متصل شده آب سطحی و زیرزمینی اجرا می‌گردد. نحوه عملکرد و ارزیابی تأثیر پارامترهای موثر در فرآیند اندرکنش آب‌های سطحی و زیرزمینی، برای مقیاس‌های منطقه‌ای اعمال شده است و همچنین پایگاه‌های اطلاعاتی مربوط به مختصات، آنالیزهای آماری داده‌ها ،تعداد لایه-ها و مشخصات کلی مورد نیاز در تشکیل یک مدل مفهومی تعیین گردیده است. در واقع از جمله قابلیت مدل‌های شبیه‌ساز آب سطحی به عنوان نمونه درمدلWEAP، به دلیل کاربر دوست بودن مدل مورد نظر در این تحقیق از مدل WEAP برای شبیه-سازی منابع آب سطحی حوضه به کار رفته است، که در واقع جزئیات حوضه را به گونه‌های دقیق‌تر مدلسازی کرده است. همچنین استفاده از مدل‌های WEAP و MODFLOW در کنار یکدیگر به علت وجود یک الگوریتم بهینه‌سازی در تخصیص منابع آب در مدل، WEAP استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی و بهینه-سازی به گونه‌ایی محسوب می گردد. با توجه به کالیبراسیون مدل، شبیه‌سازی بهره‌برداری از منابع آب موجود در حوضه مورد بررسی، با استفاده از مدل WEAP در دوره آماری مورد نظر به طور قابل قبولی انجام یافته است و نتایج حاصل از شبیه‌سازی انطباق قابل قبولی را با شرایط واقعی نشان می‌دهد. در طول دوره ۶ سال بیشترین مقدار تغذیه آبخوان در سطح دشت در ماه بهمن است و به این علت که در این ماه‌ها میزان بارندگی روی دشت زیاد بوده است. در ماه‌های گرم سال تغذیه دشت تنها از طریق نفوذ آب آبیاری انجام می گیرد. بر اساس نتایج مدل تلفیقی، در رودخانه رازآور در نیمه بالایی و پایینی دشت میان‌دربند، تبادل به صورت نشت از رودخانه به آبخوان به دلیل بالاتر بودن تراز سطح آب رودخانه صورت می گیرد. بیشترین میزان میانگین آب قابل تبادل در رودخانه رازآور توسط آبخوان مربوط به ماه‌های بهمن تا اردیبهشت بوده است. به دلیل این که در این ماه‌ها افزایش دبی این رودخانه در اثر بارندگی‌های فصلی اتفاق افتاده است. همچنین کمترین میزان میانگین آب قابل تبادل در رودخانه رازآور توسط آبخوان میان‌دربند مربوط به ماه‌های تیر تا شهریور است.

"هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Bayesteh, M and Azari, A. (2021). Stochastic Optimization of Reservoir Operation by Applying Hedging Rules. J. Water Resour. Plann. Manage., 147(2), 04020099.

Bear, J. (2010). Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport. Springer Verlag. Vol. 23. 834 P.

Brenot, A., Petelet-Giraud, E. and Gourcy, L. (2015). Insight from surface water-groundwater interactions in an alluvial aquifer: contributions of δ2H and δ18O of water, δ34SSO4 and δ18OSO4 of sulfates, 87Sr/86Sr ratio. Procedia Earth and Planetary Science, 13, 84 – 87.

Eastoe, C. J., Hutchison, W. R., Hibbs, B. J., Hawley, J. and Hogan, J. F. (2010). Interaction of a river with an alluvial basin aquifer: Stable isotopes, salinity and water budgets. Journal of Hydrology, 395, 67–78.

Engeler, I ., Hendricks Franssen H. J., Müller, R. and Stauffe, F. (2011). The importance of coupled modelling of variably saturated groundwater flow-heat transport for assessing river–aquifer interactions. Journal of Hydrology, 397, 295-305.

Fleckenstein, J. H., Krause, S., Hannah, D. M. and Boano, F. (2010). Groundwater-surface water interactions-New methods and models to improunderstanding of processes and dynamics. *Journal of Advances in Water Resources*, 33, 1291-1295.

Gorelick, S. M. (1983). A review of distributed parameter groundwater management modelling methods. *Water Resources Research*, 19 (2), 305-319.

Graham, P. W., Andersen, M. S., McCabe, M. F., Ajami, H., Baker, A. and Acworth, I. (2015). To what extent do long-duration high-volume dam releases influence river–aquifer interactions? A case study in New South Wales, Australia. *Hydrogeology Journal*, 23, 319–334.

Guzman, S. M., Paz, J. O., Tagert, M. L. M. and Mercer, A. E. (2019). Evaluation of Seasonally Classified Inputs for the Prediction of Daily Groundwater

Levels: NARX Networks Vs Support Vector Machines. *Environmental Modeling & Assessment*, 24(2), 223-234.

Hu, L., Xu, Z. and Huang, W. (2016). Development of a river-groundwater interaction model and its application to a catchment in Northwestern China. *Journal of Hydrology*, 543, 483–500.

Ivkovic , K. M. (2009). A top–down approach to characterise aquifer–river interaction processes. *Journal of Hydrology*, 365, 145–155.

Jonoubi, R., Rezaei, H. and Bahmanesh, J. (2013). Underground water management through combining surface and sub-surface water using Modflow model in urmia plain. *Journal of water and irrigation management*, 3 (1), 49-68. (In Farsi)

Luo,Y. and Sophocleous, M. (2011). Tow-way coupling of unsaturated-saturated flow by integrating the SWAT and MODFLOW models with application in an irrigation district in arid region of West China. *Journal of Arid Land*, 3(3), http://doi.org/ 10.3724/SP.J.1227.2011.00164.

Nadiri, A. A., Naderi, K., Khatibi, R., and Gharekhani, M. (2019). Modelling groundwater level variations by learning from multiple models using fuzzy logic. Hydrological sciences journal, 64(2), 210-226.

Nazri, A. A. M., Syafalni., Abustan I., Rahman, M T A., Zawawi M H. and Dor N. (2012). Authentication Relation between Surface-Groundwater in Kerian Irrigation Canal System, Perak using Integrated Geophysical, Water Balance and Isotope Method. Procedia Engineering, 50, 284 – 296.

Pahar, G. and Dhar, A. (2014). A Dry Zone-Wet Zone Based Modeling of Surface Water and Groundwater Interaction for Generalized Ground Profile. *Journal of Hydrology*, 519(27), 2215-2223.

Ramírez-Hernández, J., Hinojosa-Huerta, O., Peregrina-Llanes, M., Calvo-Fonseca, A. and Carrera-Villa, E. (2013). Groundwater responses to controlled water releases in the limitrophe region of the Colorado River: Implications for management and restoration. Journal of Ecological Engineering, 59, 93-103.

Rugel, K., Golladay, S. W., Jackson, S. R. and Rasmussen, T. C. (2016). Delineating groundwater/surface water interaction in a karstwatershed: Lower Flint River Basin, southwestern Georgia, USA. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 5, 1–19.

Sanz, D., Castaño, S., Cassiraga, E., Sahuquillo, A., José Gómez-Alday, J., Peña, S. and Calera, A. (2011). Modeling aquifer–river interactions under the influence of groundwater abstraction in the Mancha Oriental System (SE Spain). Hydrogeology Journal, 19, 475–487.

Sieber, J. and Purkey, D. (2015) User guide for WEAP. Stockholm Environment Institute, U.S. Center.

Sophocleous. M. (2002). Interaction between Ground Water and Surface Water: The State of the Science, *Hydrogeology Journal*, 10, 52-67.

Shamsaei., A., and Forghani, A. (2011). Integrated exploitation of surface water and groundwater resources in arid areas. *Iranian Water Resources Research*, 7(2), 26- 36. (In Farsi)

Weitz, J. and Demlie, M. (2013). Conceptual modelling of groundwater–surface water interactions in the Lake Sibayi Catchment, Eastern South Africa. *Journal of African Earth Sciences*, 99(2), 613-624.

Zampieri, M., Serpetzoglou, E., Anagnostou, E. N., Nikolopoulos. E. I. and Papadopoulos, A. (2012). Improving the representation of river–groundwater interactions in land surface modeling at the regional scale: Observational evidence and parameterization applied in the Community Land Model. *Journal of Hydrology*, 420(421), 72–86.

Zeinali, M., Azari, A. and Heidari, M. (2020a). Simulating Unsaturated Zone of Soil for Estimating the Recharge Rate and Flow Exchange Between a River and an Aquifer. Water Resources Management, 34, 425–443.

Zeinali, M., Azari, A. and Heidari, M. (2020b). Multiobjective Optimization for Water Resource Management in Low-Flow Areas Based on a Coupled Surface Water–Groundwater Model. Journal of Water Resource Planning and Management (ASCE), 146(5), 04020020.

Zibaei, M. H., Zibaei, M. and Ardokhani, K. (2013). Evaluation of scenarios of integrated use of surface and groundwater resources in Firoozabad plain of Fars. Journal of Agricultural Economics Research, 5(1), 157-181.