

مدلی برای تعیین اجزای بیلان آب سطحی و زیرزمینی دشت توپسرکان

سمانه پورمحمدی^{*}، محمد تقی دستورانی^۲، علیرضا مساح بوانی^۳، هادی جعفری^۴، محمدحسن رحیمیان^۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۴

^۱ دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، مرکز ملی تحقیقات و مطالعات باروری ابرها، موسسه تحقیقات آب ایران

^۲ استاد گروه منابع طبیعی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه فردوسی مشهد

^۳ دانشیار گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تهران پردیس ابوریحان

^۴ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۵ دانشجوی دکتری مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: s.poormohammadi@gmail.com

چکیده

بیلان آبی دشت‌ها از مهم‌ترین مسائلی است که در مدیریت منابع آب و تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های منابع طبیعی، محیط زیست و کشاورزی مورد توجه می‌باشد. این در حالی است که بررسی بیلان آبی به علت ورودی‌ها و خروجی‌های زیاد و عدم قطعیت‌هایی که در تخمین برخی پارامترها در طبیعت وجود دارد، پیچیدگی‌های زیادی را در محاسبات ایجاد می‌کند. بررسی همزمان بیلان آب سطحی و زیرزمینی به علت افزایش مولفه‌های ورودی و خروجی در دشت و حوضه‌های آبخیز منتهی به آن، این پیچیدگی را دو چندان می‌نماید. بنابراین هدف از انجام تحقیق حاضر، ارائه مدلی جامع و در عین حال ساده برای تعیین اجزای بیلان آبی دشت‌ها و حوضه‌های آبخیز منتهی به آنها می‌باشد که تمامی پارامترهای بیلان آب سطحی و زیرزمینی را در بر گیرد. بدین منظور، پس از دریافت داده‌های بارش، رواناب، نقشه‌های پایه اولیه و اطلاعات ژئوهیدرولوژیکی دشت توپسرکان همدان، به تحلیل داده‌ها و تعیین ورودی‌ها و خروجی‌های دشت پرداخته شد. پس از اینکه بیلان آبی سطحی و زیرزمینی به صورت جداگانه بررسی شد، در نهایت فرمول ساده و جامعی برای تعیین بیلان آبی دشت ارائه گردید. از مزایای فرمول ارائه شده کاهش تعداد مولفه‌های ورودی بیلان از ۶ به ۳ (شامل رواناب ورودی، جریان زیرقشری ورودی و بارش) و کاهش مولفه‌های خروجی از ۵ به ۳ (تبخیر و تعرق، جریان زیرسطحی خروجی و رواناب خروجی) می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب سطحی، آب زیرزمینی، بیلان آب، تغییرات ذخیره، دشت توپسرکان

A model For Determination of Surface And Groundwater Balance Components In Tuyserkan Plain

S Poormohammadi^{1*}, MT Dastorani², AR Masah Bavani³, H Jafari⁴, MH Rahimian⁵

Received: 5 February 2014 Accepted: 14 January 2015

¹- Ph.D. of watershed engin. and sci., National Cloud Seeding Research Center. Water Research Instit., Iran

²-Prof., Faculty of Natural Resources., Univ. of Ferdowsi, Mashhad, Iran

³- Prof., Faculty of Agric., Univ. of Abureyhan., Tehran ,Iran

⁴- Assist. Prof., Faculty of Earth Science., Univ. of Shahrud Technology, Iran

⁵- Ph.D. Student, Faculty of Agri. Yazd Univ of Isfahan Technology, Iran

*Corresponding Author, Email: s.poormohammadi@gmail.com

Abstract

Plain water balance is one of the most important issues from the view of water resource management and decision-making and planning of natural resources, agriculture and environment aspects. On the other hand, a survey of the water balance due to diversity of input and output components and uncertainties in the estimation of some environmental parameters makes the calculations extremely complex. Simultaneous evaluation of ground and surface water balance due to increases of input and output components in the field and watershed scales can intensify this complexity. The purpose of this study is to introduce a comprehensive and simple water balance equation, including all parameters of ground and surface water balance. In order to be able to analyze the data and determine outputs and inputs of Tuyserkan plain water balance, the data of precipitation and runoff as well as the primary base map data were collected. Initially, ground and surface water balance components were investigated separately, and then a comprehensive and simple formula was introduced to determine the complete plain water balance. The simplicity of the proposed equation is an advantage as the water balance components have been considerably decreased, (6 input components have been decreased to 3, including incoming surface runoff, incoming subsurface flow and precipitation and 5 output components have been decreased to 3, including evapotranspiration, outgoing subsurface flow and outgoing surface runoff). The presented equation seems to be applicable for other plains.

Keyword: Groundwater, Storage changes, Surface water, Tuyserkan plain, Water balance

مقدمه

جزء که دید کامل و جامعی را می‌تواند از منطقه مطالعاتی ارائه دهد تاکنون کمتر مورد توجه قرار گرفته است. در تحقیقی که توسط مونوز و همکاران (۲۰۱۲) در ارتباط با بیلان آب دو حوضه آبخیز در مکزیک انجام گرفت به مقایسه و بررسی بیلان آب دو حوضه آبخیز نزدیک بهم با داشتن پوشش گیاهی طبیعی و جنگل‌های متراکم پرداختند. بیلان آب در این دو حوضه برای دو دوره آماری متوالی برآورد شد. به این منظور برای هر دو حوضه مقدار بارش، رواناب، تبخیر پوشش خشک (تعرق)، تبخیر پوشش مرطوب (برگاب) و آب قابل بارش ابر به‌کمک داده‌برداری‌های زمینی و

تعیین بیلان آبی دشت‌ها و حوضه‌های آبخیز کشور می‌تواند جهت مدیریت و برنامه‌ریزی‌های منابع آب کمک بسیاری نماید. نکته قابل توجه آنکه بیلان آب در سطح یک حوضه و دشت فرآیند پیچیده‌ای می‌باشد که باید به‌صورت جامع و کامل بررسی شود، چراکه پارامترهای ورودی و خروجی زیادی وجود دارد که تعیین همه جانبه بیلان آب در دشت‌ها و حوضه‌ها را با پیچیدگی همراه می‌سازد. لذا تحقیقاتی که تاکنون صورت گرفته به صورت جداگانه بیلان آب سطحی و زیرزمینی را مورد بررسی قرار داده و تلفیق این دو

مدل هایدروس^۲ به پیش‌بینی رواناب با ۴ سناریو با استفاده از دو پارامتر بارش و تبخیر و تعرق اندازه‌گیری شده پرداختند. نتایج نشان داد که خطاهای ایجاد شده در اندازه‌گیری بارش و تبخیر و تعرق به راحتی از خطای مدل قابل تفکیک نمی‌باشد. دیوید و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی بیلان آب در یک حوضه شهری در منطقه خشک و نیمه‌خشک در کلرادوی آمریکا در دوره ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶ پرداختند. در این تحقیق بر جزء تبخیر و تعرق بعنوان مهمترین بخش هدررفت حوضه شهری به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم پرداخته شده است. اجزای بیلان مورد محاسبه شامل: بارش، رواناب، تبخیر و تعرق، زهکشی و ضریب ذخیره بوده است. نتایج تحقیق نشان داد بیشترین هدررفت آب در این حوضه شهری به‌صورت تبخیر و تعرق (مستقیم و غیرمستقیم) می‌باشد. چاوین و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی بلندمدت بیلان آب در حوضه خشک و کوهستانی آپرکریک در جنوب آیداهو پرداختند. در این تحقیق بیلان آب حوضه در یک دوره ۲۴ ساله با استفاده از داده‌های مشاهداتی و مدل‌های مفهومی برآورد شده است. این حوضه آبخیز دارای ۲۶ هکتار مساحت، برف‌گیر و نیمه‌بیابانی همراه با زهکش‌های چشمه‌ای می‌باشد. تغییرپذیری بین بارش سالانه و رواناب به‌وسیله زمان وقوع بارش و رطوبت پیشین خاک توضیح داده شد ($R^2=0/54$). بارش فصول بهار و زمستان و همچنین کسر رطوبتی خاک در آغاز سال آبی برای تعیین ۸۳٪ تغییرات جریان رودخانه‌ها محاسبه گردید که برای این کار از مدل عددی شاول^۳ با دقت ۸۵٪ استفاده شد. مدل مفهومی برای این حوضه بر اساس مشاهدات زمینی، تخمین‌های عددی و مطالعات قبلی نوشته شد. برای این منظور در ابتدا باید بارش زمستانه و ذوب برف تابستانه و تاثیر آن بر پروفیل رطوبتی خاک و همچنین آب‌های زیرزمینی و زیرقشری که به رودخانه‌ها و چشمه‌ها می‌پیوست، مورد بررسی قرار گیرد. در این مدل تغییرات تبخیر و تعرق و رطوبت در منطقه ریشه گیاه نیز بررسی شد. نتایج این تحقیق، تعامل اقلیم و کاربری زمینی با سیستم‌های

مدل‌سازی اندازه‌گیری شد. نتایج تحقیق نشان داد که میانگین بارش سالانه منطقه ۳۴۶/۷ میلی‌متر است که ۸۰ درصد آن در فصل مرطوب می تا اکتبر اتفاق می‌افتد. آب حاصل از مه تنها در طول فصول خشک نوامبر تا آوریل ایجاد می‌شود و کمتر از ۶ درصد بارش هر دو حوضه محسوب می‌شود. آب هدر رفته از برگاب بیشتر از سایر هدررفت‌های ناشی از تبخیر پوشش گیاهی می‌باشد. در تحقیقی که توسط ژیانگ‌هو و همکاران (۲۰۱۲) صورت گرفت به بررسی توانایی تصاویر ماهواره‌ای در پیش‌بینی بارش جهت استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و بیلان آب حوضه زینچیانگ^۱ در چین پرداخته است. نتایج حاکی از مناسب بودن تصاویر ماهواره‌ای در تخمین بارش‌های روزانه و بارش‌های ۵ روزه در حوضه زینچیانگ داشت. تعیین بارش ماهیانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیز با ایستگاه‌های اندازه‌گیری زمینی همبستگی بین ۸۱ تا ۸۸ درصد را نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که بارش ایجاد شده با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند رواناب روزانه را با دقت بالایی پیش‌بینی نماید، جریان ماهانه و سالانه رودخانه نیز با دقت قابل قبولی از این روش قابل پیش‌بینی می‌باشد. مقایسه نتایج نشان داد که از این مدل به خوبی برای تعیین اجزای بیلان آبی (بارش و رواناب) در حوضه می‌توان استفاده نمود. در تحقیقی که توسط استفانی و همکاران (۲۰۱۰) در منطقه سیاتل در ایالات متحده آمریکا انجام شد به بررسی خطاهای اندازه‌گیری اجزای بیلان آب و پیش‌بینی رواناب در پلات‌های آزمایشی بر روی یک دامنه پرداختند. بارش به عنوان ورودی به پلات‌ها با استفاده از یک‌سری ایستگاه‌های باران‌سنج نصب شده در بالادست پلات‌ها اندازه‌گیری می‌شد، رواناب خروجی توسط سطوح‌های مخصوص اندازه‌گیری و تبخیر و تعرق نیز با استفاده از ایستگاه هواشناسی به‌صورت بیلان انرژی و با استفاده از رابطه پنمن مانتیث تخمین زده شد. بررسی‌های دقت اجزای بیلان نشان داد که مقدار بارش با بیشترین دقت (خطای ۸ درصد) و مقدار تبخیر و تعرق (خطای ۱۸٪) از پلات با کمترین دقت و با عدم قطعیت‌های زیادی همراه است. سپس با استفاده از

^۲. Hydrus

^۳. Shaw (هلن شاول در سال ۱۹۸۹ این مدل را نوشته است)

^۱ - Xinjiang catchment

نتایج نشان داد که الگوریتم سبال^۱ با دقت ۸۵٪ می‌تواند تبخیر و تعرق واقعی حوضه آبخیز را برآورد کند. در تحقیقی که قوشه‌یی (۱۳۸۹) بر روی بیلان آبی دشت دامغان استان سمنان انجام داد، به این نتیجه رسید که سطح آب دشت در طی ۱۴ سال حدود ۳۴ متر افت داشته است و همچنان ممنوعیت استفاده از آب زیرزمینی در این دشت باید رعایت شود. در تحقیقی که نیکبخت و همکاران (۱۳۹۱) بر روی بیلان آبی دشت عجب شیر آذربایجان شرقی انجام دادند به این نتیجه رسیدند که تبدیل سیستم آبیاری سنتی به سیستم تحت فشار باعث افزایش سطح ایستابی دشت تا ارتفاع ۸۸ سانتی‌متری خواهد شد. در تحقیقی که توسط یانگ و همکاران (۲۰۱۲) بر روی یکی از آبخوان‌های چین صورت گرفت، با استفاده از یک مدل عددی انتقالی به بررسی سطح ایستابی دشت از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۰ پرداختند، نتایج نشان داد که شعاع مخروط افت در چاه‌ها افزایش و سطح ایستابی دشت پائین افتاده است. محمدی قلعه‌نی و همکاران (۱۳۹۱) تاثیر عوامل اقلیمی بر افت سطح ایستابی دشت ساوه را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از آمار چاه‌های مشاهداتی، بهره‌برداری، چشمه و قنوات دشت و رابطه آن با ایستگاه‌های باران‌سنج و شاخص خشکسالی و ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه، رابطه همبستگی مناسبی بین کاهش دبی رودخانه، شاخص خشکسالی SPI و سطح ایستابی دشت به‌دست آمد. در تحقیق دیگری که توسط شیرافکن و جعفری (۱۳۹۲) صورت گرفت به بررسی بیلان آبی دشت بهاباد استان یزد پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که میزان افت سطح ایستابی دشت در قسمت‌های شمالی ۶۰ سانتی‌متر و در قسمت‌های جنوبی ۴۰ سانتی‌متر بوده است. همان‌طوری که در تحقیقات بالا اشاره شد، بیلان آب سطحی یا زیرزمینی عموماً به‌صورت مجزا بررسی شده است. هدف از تحقیق حاضر، ارائه مدلی ساده و جامع جهت تعیین بیلان کلی دشت توپوگرافیک شامل بیلان آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. ارتباط هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز بالادست و آبخوان‌های پایین‌دست اقتضاء می‌کند که برای برآورد و ارزیابی

هیدرودینامیکی در حوضه‌های خشک و کوهستانی را نشان داد. لنترز و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی بیلان آب و انرژی و تاثیر تغییرات اقلیم فصلی و پوشش گیاهی بر آن، در منطقه نیمه‌مرطوب نبرسکا در آمریکا پرداختند. برای اندازه‌گیری بیلان آب و انرژی از ایستگاه‌های مخصوصی برای پایش در طول فصل رشد گیاهی از آوریل تا اکتبر ۲۰۰۹ در طول مسیر رودخانه نصب گردید که مقدار آب و دمای خاک را اندازه‌گیری می‌کرد. نتایج نشان داد که مدل پریستلی تیلور تخمین منطقی از تبخیر و تعرق را دارد، ولی در اوایل فصل کمی بیش برآورد دارد. تحلیل بیلان آب در این حوضه نشان داد که تغییرات سطح آب رودخانه بستگی به میزان تجمع آب ورودی به حوضه دارد. در تحقیقی که گاور و همکاران (۲۰۱۱) بر روی آبخوان رودخانه بنگانگا در هند انجام دادند از مدل ترکیبی مادفلو و GIS برای تعیین مناطق مستعد برداشت آب زیرزمینی استفاده کردند. بدین منظور از نقشه کاربری اراضی، توپوگرافی، زهکشی، خاک و زمین‌شناسی و فاکتور شیب برای تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی استفاده شد. نتایج نشان داد که افزایش تخلیه آب چاه‌ها در مناطق مستعد تنش زیادی بر سطح آب آبخوان خواهد داشت و نهایتاً به این نتیجه رسیدند که استفاده تلفیقی از این دو مدل برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی منطقه و استحصال آب موثر خواهد بود. در تحقیقی که توسط الیائوتی و همکاران (۲۰۰۸) در آبخوانی در مصر صورت گرفت به بررسی تغییرات آب دشت به‌کمک مدل GMS پرداخته شد. واسنجی آن در سال ۱۹۹۰ و اعتبارسنجی و صحت‌سنجی مدل از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶ صورت گرفت. نتایج آنها نشان داد که تغییرات سطح سفره بستگی به تغییرات فصلی تخلیه ناشی از نفوذ طبیعی بارش و آبیاری دارد. پورمحمدی و همکاران (۱۳۹۰) اجزای بیلان آبی حوضه آبخیز منشاد در استان یزد را مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق، تبخیر و تعرق واقعی توسط الگوریتم سبال برآورد شد و با در نظر گرفتن تبخیر و تعرق واقعی به عنوان جزء باقیمانده بیلان آبی، تبخیر و تعرق واقعی بدست آمده از الگوریتم سبال مورد ارزیابی قرار گرفت.

^۱ Surface Energy Balance for Land

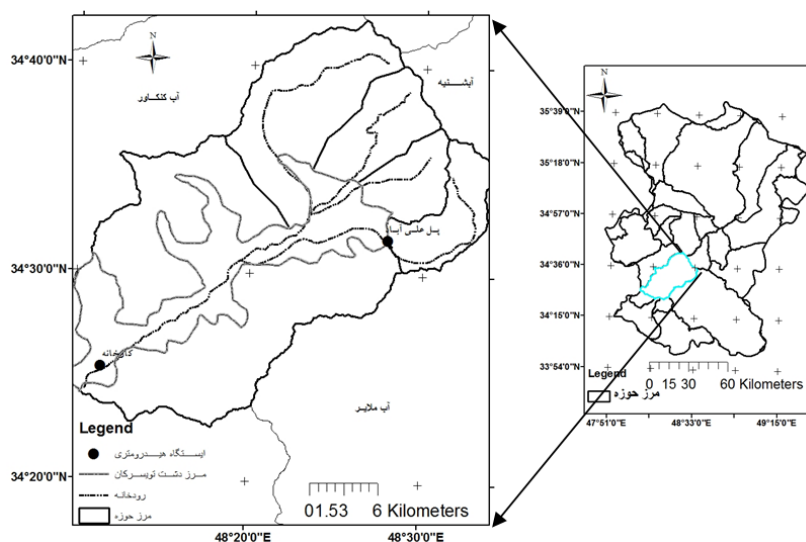
باغی می‌باشد. آب و هوای حوضه آبخیز تویسرکان سرد و نیمه‌خشک و دارای بارندگی سالانه ۴۵۰ میلی‌متر می‌باشد. مساحت حوضه آبخیز تویسرکان ۷۹۱ کیلومتر مربع می‌باشد. از ویژگی‌های رسوبات دشت تویسرکان می‌توان به دانه‌بندی مناسب آن که عمدتاً حاوی سنگریزه، ماسه و سیلت با درصد بسیار کمی از ذرات ریزدانه رسی است، اشاره نمود. با افزایش عمق از مقدار ذرات ریز دانه به شدت کاسته می‌شود. این دشت دارای تعداد ۱۲۰۰ حلقه چاه بهره‌برداری و ۱۵ چاه مشاهداتی و ۳ چاه پیزومتری می‌باشد. بخش اعظم مصارف چاه‌های بهره‌برداری برای امور کشاورزی منطقه استفاده می‌شود. در ورودی این دشت ۴ شاخه رودخانه مربوط به ۴ زیرحوضه وارد شده که بر روی یکی از آن‌ها ایستگاه هیدرومتری قرار دارد که این ایستگاه هیدرومتری در خروجی یکی از زیرحوضه‌های ورودی به دشت قرار گرفته است. مساحت کل دشت ۱۶۴ کیلومتر مربع است که ۲۳٪ مساحت کل حوضه آبخیز تویسرکان را در بر گرفته است. شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری و چهار شاخه رودخانه در ورودی دشت تویسرکان را نمایش می‌دهد.

ورودی‌ها و خروجی‌ها به یک سیستم جامع منابع آب، بیلان آب‌های سطحی و زیرزمینی با هم مورد ارزیابی قرار گیرند تا کاربرد بهتری در مدیریت منابع آب داشته باشند سطح ایستابی دشت در قسمت‌های شمالی ۶۰ سانتی‌متر و در قسمت‌های جنوبی ۴۰ سانتی‌متر بوده است. همان‌طوری که در تحقیقات بالا اشاره شد، بیلان آب سطحی یا زیرزمینی عموماً به صورت مجزا بررسی شده است. هدف از تحقیق حاضر، ارائه مدلی ساده و جامع جهت تعیین بیلان کلی دشت تویسرکان شامل بیلان آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد. ارتباط هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز بالادست و آبخوان‌های پایین‌دست اقتضاء می‌کند که برای برآورد و ارزیابی ورودی‌ها و خروجی‌ها به یک سیستم جامع منابع آب، بیلان آب‌های سطحی و زیرزمینی با هم مورد ارزیابی قرار گیرند تا کاربرد بهتری در مدیریت منابع آب داشته باشند.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مطالعاتی

دشت تویسرکان در قسمت جنوبی استان همدان واقع شده است. این دشت در حوضه آبخیز تویسرکان واقع شده و دارای سطح وسیعی از کشت زراعی و



شکل ۱- آبراهه‌های ورودی به دشت و موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در دشت تویسرکان.

روش تحقیق

در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است. در این تحقیق ابتدا با در نظر گرفتن ورودی‌ها و خروجی‌های سطحی و زیرزمینی به‌طور جداگانه تغییرات ذخیره در هر بخش محاسبه و در نهایت مدل ساده و جامعی برای بیلان کلی دشت ارائه گردید.

پارامترهای بیلان آب زیرزمینی

در این بخش پس از جمع‌آوری داده‌های اولیه هیدروژئولوژیکی دشت تویسرکان، اقدام به تهیه نقشه‌های پایه شامل مدل رقومی ارتفاع، پراکنش چاه‌ها، مرز دشت و ... شد. سپس با استفاده از عمق سطح ایستابی در چاه‌های مشاهده‌ای و ارتفاع دهانه پیژومترها از سطح دریا، نقشه هم‌پتانسیل سطح آب دشت ترسیم گردید. با توجه به این اطلاعات، نقشه جهت جریان ترسیم و ورودی‌ها و خروجی‌های دشت مشخص شدند. سپس جریان ورودی از مرز، نفوذ ناشی از بارش، نفوذ ناشی از کف روخانه و آب برگشتی ناشی از آبیاری (نفوذ) به‌عنوان ورودی‌های دشت و جریان خروجی از مرز، زهکشی آب زیرزمینی و تخلیه چاه‌های بهره‌برداری به‌عنوان خروجی‌های دشت مورد محاسبه قرار گرفتند.

سپس با استفاده از مقادیر کل ورودی‌ها و خروجی‌های دشت بیلان آب زیرزمینی دشت محاسبه و با مقدار تغییرات حجم ذخیره مقایسه (حاصل‌ضرب میزان افت در مساحت در آبدهی ویژه دشت) شد تا صحت مدل بیلان مورد ارزیابی قرار گیرد. معادله زیر فرمول کلی بیلان آب استفاده شده در بخش زیرزمینی می‌باشد:

$$\Delta S_g = I_g - O_g \quad [1]$$

$$I_g = I_{inf} + I_p + I_{SS} \quad [2]$$

$$O_g = O_{well} + O_{river} + O_{SS} \quad [3]$$

که در این معادلات، ΔS_g تغییرات ذخیره زیرزمینی، I_g ورودی‌های آب زیرزمینی، O_g خروجی‌های آب زیرزمینی، I_{inf} ورودی ناشی از نفوذ آب آبیاری و کف روخانه، I_p ورودی ناشی از بارش،

I_{SS} ورودی زیرقشری از مرز، O_{well} تخلیه چاه‌ها، چشمه‌ها و قنات، O_{river} خروجی ناشی از زهکش رودخانه و O_{SS} خروجی زیرقشری از مرز دشت است (لازم به ذکر است در روابط بالا تمامی واحدها به مترمکعب است). برای تعیین و رسم هیدروگراف دشت و تعیین تغییرات حجم ذخیره از فرمول ۴ استفاده شده است. در این بخش ابتدا توسط پلی‌گون‌های تیسین مساحت تحت تاثیر هر چاه پیژومتری تعیین و سپس میانگین سالانه ارتفاع سطح آب حوضه توسط رابطه زیر تعیین شد. که در این معادله H_{avg} میانگین سالانه ارتفاع سطح آب (متر)، h_i ارتفاع سطح آب (متر)، a_i مساحت هر پلی‌گون تیسین (متر مربع)، و A کل مساحت محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

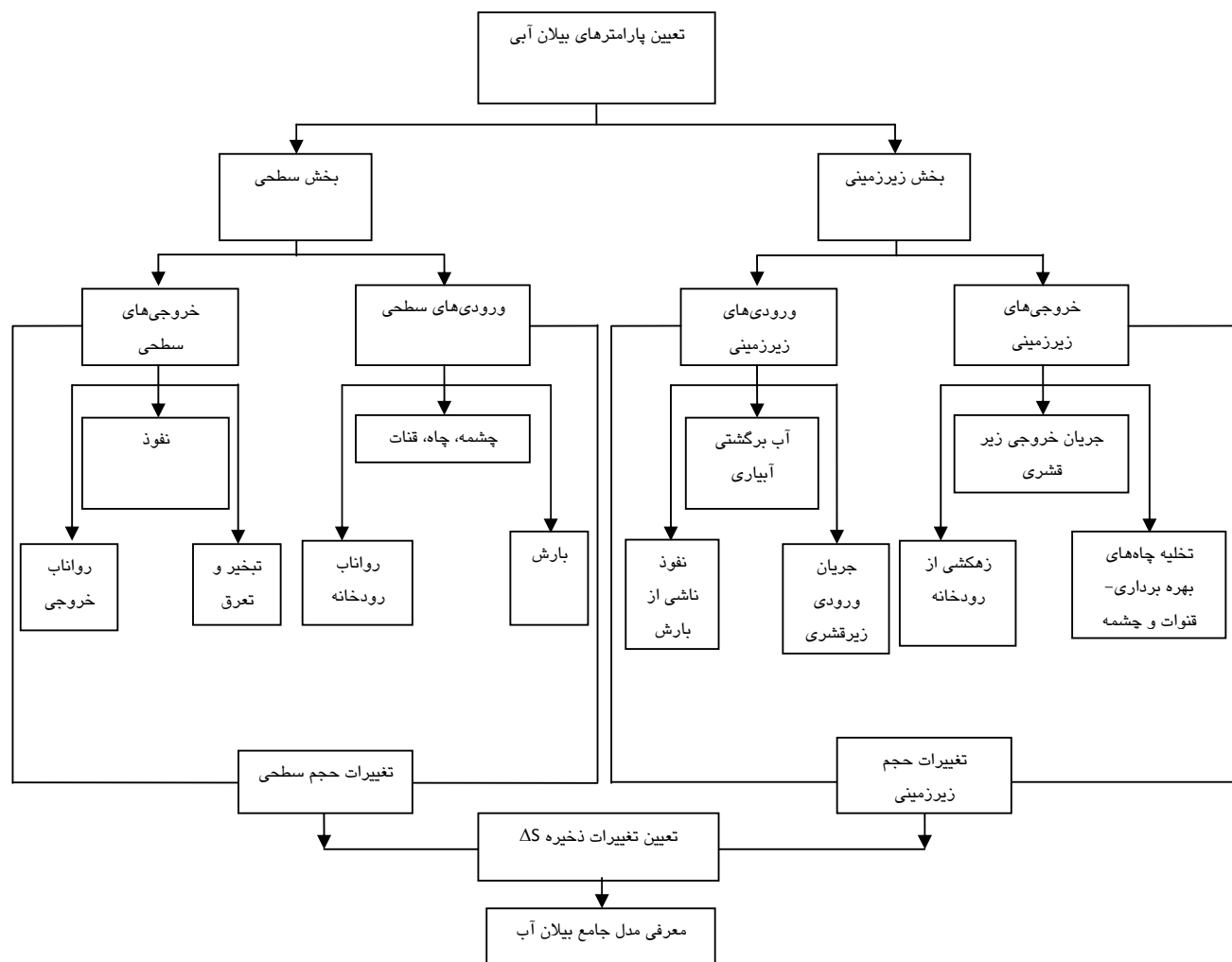
$$H_{avg} = \sum_{i=1}^N \frac{a_i}{A} h_i \quad [4]$$

در مرحله بعدی به‌کمک معادله ۵ تغییرات حجم ذخیره در طول سال آبی ۸۸-۸۷ بدست آمد. در این معادله S_y آبدهی ویژه می‌باشد که با توجه به ویژگی‌های بافت خاک دشت، ضریب ۰/۰۵ (اوبوبی و همکاران ۲۰۱۲) در نظر گرفته شد، A مساحت کل دشت (مترمربع) و ΔH میزان افت یا خیز عمق آب چاه‌ها (متر) و ΔV تغییرات حجم ذخیره دشت (مترمکعب) می‌باشد.

$$\Delta V = A S_y \Delta H \quad [5]$$

جریان خروجی و ورودی زیر قشری

در شکل ۳ نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت تویسرکان در اردیبهشت‌ماه سال ۸۸ مشاهده می‌شود. با توجه به جهت جریان ترسیم شده بر روی این نقشه، دشت تویسرکان دارای چهار ورودی و یک خروجی زیرقشری می‌باشد که ورودی‌ها به‌ترتیب با علامت I_1 ، I_2 ، I_3 و I_4 و خروجی نیز با علامت O نمایش داده شده است.



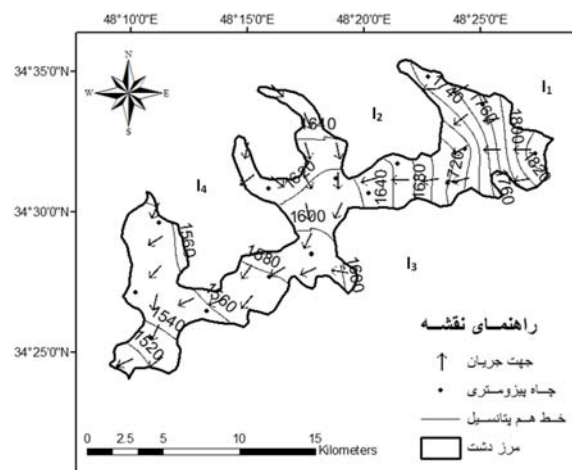
شکل ۲- روندنمای انجام تحقیق.

در این معادله، Q دبی ورودی یا خروجی از مرز (متر مکعب بر روز)، W عرض مجرای جریان (متر)، I : متوسط شیب هیدرولیکی جریان (متر بر متر) و T ضریب قابلیت انتقال (متر مربع بر روز) در دشت می‌باشد. تغذیه ناشی از نفوذ بارش، نفوذ از کف رودخانه و تغذیه ناشی از آب برگشتی از دیگر جریان‌های ورودی به دشت می‌باشند که به‌طور جداگانه محاسبه شدند.

با توجه به نقشه جهت جریان (شکل ۳)، دشت تویسرکان دارای یک خروجی و چهار ورودی می‌باشد که با توجه به معادله داری که در زیر آمده است (شیرافکن و جعفری ۱۳۹۲)، میزان جریان ورودی و خروجی از مرزها محاسبه می‌شود:

$$Q=W.I.T$$

[۶]



شکل ۳- نقشه هم‌پتانسیل آب زیرزمینی دشت تویسرکان در اردیبهشت‌ماه سال ۸۸.

پارامترهای ورودی

شامل بارش، رواناب ورودی به دشت، تغذیه ناشی از چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها می‌باشند. حجم ورودی بارش با توجه به رابطه گرادیان بارش ارتفاع در دشت تویسرکان و اطراف آن در سال آبی ۸۸-۸۷ برآورد شد. ۷۵ درصد تغذیه ناشی از چاه‌ها، قنوات و چشمه‌ها به عنوان ورودی دیگر آب سطحی دشت در نظر گرفته شد که با استفاده از تخلیه سالانه آن‌ها بدست آمد. جهت تعیین رواناب ورودی به دشت با توجه به اینکه ۴ شاخه آبراه وارد دشت می‌شود و تنها یکی از شاخه‌ها در ورود به دشت ایستگاه هیدرومتری دارند، از رابطه دیکن (مهدوی ۱۳۸۴) که در ذیل به آن اشاره شده است، برای تعیین دبی ورودی به دشت در سایر زیرحوضه‌های مطالعاتی استفاده شد.

$$Q_1 = Q_2(A_1/A_2)^{0.75} \quad [10]$$

که در این معادله، A_1 مساحت زیرحوضه (کیلومترمربع)، A_2 مساحت حوضه در محل ایستگاه (کیلومترمربع)، Q_2 میزان سیلاب ایستگاه با دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه)، Q_1 میزان سیلاب زیرحوضه با دوره بازگشت‌های مختلف (مترمکعب بر ثانیه) است.

پارامترهای خروجی

پارامترهای خروجی بیلان سطحی شامل: تبخیر و تعرق، نفوذ و رواناب خروجی از مرز دشت می‌باشد. در این تحقیق، تبخیر و تعرق واقعی با استفاده از

برای تعیین میزان نفوذ بارش در دشت و تغذیه ناشی از آب برگشتی با توجه به بافت خاک دشت ضریب ۲۵٪ و برای نفوذ کف رودخانه ضریب ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. برای تعیین تخلیه ناشی از چاه‌های بهره‌برداری و قنوات از میزان دبی هر چاه و ساعات کارکرد آن‌ها در طول سال آبی ۸۸-۸۷ استفاده گردید. مورد دیگری که باید به عنوان خروجی از دشت مورد بررسی قرار می‌گرفت، تخلیه ناشی از زهکش رودخانه موجود در دشت بود و با توجه به اینکه دبی پایه در فصل خشک صفر بوده، این پارامتر صفر در نظر گرفته شده است.

بیلان سطحی دشت

برای برآورد پارامترهای بیلان سطحی دشت از فرمول‌های زیر استفاده می‌شود.

$$\Delta S_s = I_s - O_s \quad [7]$$

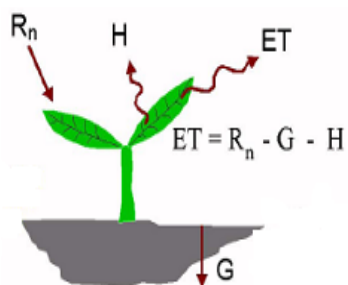
$$I_s = I_p + I_{well} + I_R \quad [8]$$

$$O_s = O_{inf} + O_{ET} + O_R \quad [9]$$

که در این معادلات ΔS_s تغییرات ذخیره سطحی، I_s ورودی‌های آب سطحی، O_s خروجی‌های آب سطحی، I_R ورودی رواناب سطحی، I_p ورودی بارش، I_{well} ورودی از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات (آب برداشتی)، O_{inf} خروجی ناشی از نفوذ، O_{ET} خروجی ناشی از تبخیر و تعرق و O_R خروجی ناشی از رواناب سطحی است (تمامی واحدها متر مکعب می‌باشد).

نهایی بر روی تصویر ماهواره‌ای تعیین می‌گردد. جزئیات بیشتر این مدل توسط باستیان‌سن و همکاران (۱۹۹۸)، باستیان‌سن (۲۰۰۰) و تاسومی و همکاران (۲۰۰۳) ارائه شده است.

با تعیین اجزای معادله توازن انرژی (اجزای سمت راست در معادله ۱۱)، مقدار ET به صورت لحظه‌ای (زمان گذر ماهواره از منطقه مطالعاتی) بدست می‌آید که با به‌کارگیری جزء تبخیری (EF) و با فرض برابری این جزء در زمان گذر ماهواره با مقدار آن در طول روز، قابل تبدیل به ET روزانه است (باستیان‌سن و همکاران، ۲۰۰۵). در این تحقیق از ۲۷ تصویر ماهواره‌ای مودیس برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی سببال استفاده شد. سعی گردید که هر ۱۰ روز یک تصویر ماهواره‌ای برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی استفاده شود. البته به‌علت ابری و برفی بودن منطقه مطالعاتی در اواخر پائیز، زمستان و اوایل بهار، تهیه تصویر با فواصل ۱۰ روزه در این ایام مقدور نبود و فاصله زمانی بین تصاویر بزرگتر انتخاب گردید. به کمک این تصاویر، نقشه تبخیر و تعرق واقعی تجمعی برای سال آبی ۸۷-۸۸ تهیه شد. در این تحقیق همچنین از سه تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به روزهای ۱۵۰، ۲۱۴ و ۲۷۰ ژوئیه برای کوچک‌مقیاس سازی^۳ تبخیر و تعرق به دست آمده با تصاویر مودیس استفاده شد و اندازه پیکسل نقشه نهایی به ۳۰ متر تبدیل گردید.



شکل ۴ - نمایش اجزای معادله توازن انرژی، در این تصویر مقدار R_n انرژی خالص رسیده به زمین و مقادیر ET، G و H به ترتیب تبخیر و تعرق (شار گرمای نهان تبخیر)، شار گرمای خاک و شار گرمای محسوس می‌باشد (به نقل از باستیان‌سن و همکاران ۱۹۹۸).

الگوریتم توازن انرژی سببال به دست آمد (باستیان‌سن و همکاران ۲۰۰۵). نفوذ با توجه به اطلاعات در دسترس بافت خاک و کاربری اراضی و نقشه زمین شناسی در دشت به صورت تقریب ۲۵٪ برای آب چاه و بارش و ۵٪ برای نفوذ کف رودخانه در نظر گرفته شد. مقدار رواناب خروجی نیز از طریق داده‌های ایستگاه هیدرومتری در انتهای دشت که بر روی رودخانه وجود داشت، استفاده شد.

برآورد تبخیر و تعرق واقعی

برای تعیین تبخیر و تعرق واقعی دشت (به‌عنوان یکی از مهمترین خروجی‌های دشت)، از الگوریتم توازن انرژی سطحی زمین (سببال) استفاده شده است. مدل سببال از اطلاعات تصاویر رقومی اخذ شده توسط ماهواره لندست یا سایر سنجنده‌های سنجش از دوری که قادر به ثبت تشعشعات مادون قرمز حرارتی و همچنین تشعشعات مرئی^۱ و نزدیک مادون قرمز^۲ می‌باشند، استفاده می‌نماید. مقدار ET در هر پیکسل (به عنوان مثال هر ۳۰ در ۳۰ متر مربع تصویر لندست TM و ETM+) برای لحظه‌ای خاص که همان زمان اخذ تصویر می‌باشد، محاسبه می‌گردد. فرآیند محاسبه بر اساس توازن کامل انرژی استوار است که در آن مقدار ET از کسر نمودن مقدار انرژی باقی‌مانده از معادله کلاسیک بیلان انرژی به دست می‌آید (شکل ۴). در این روش مقدار ET (و یا به عبارتی شار گرمای نهان تبخیر، LE) برابر با تشعشع خالص (R_n) منهای شار گرمای وارده به خاک (G) منهای شار گرمای محسوس وارده به هوای اطراف (H) خواهد شد:

$$ET = R_n - G - H \quad [11]$$

اجزای این فرمول بر حسب Wm^{-2} می‌باشند. اجزای G و R_n به کمک تصاویر ماهواره‌ای و فرمول‌هایی با مبنای فیزیکی محاسبه می‌شوند. شار گرمای محسوس (H) نیز با اجرای مدل سببال، تعیین می‌گردد. اساس مدل سببال، اختلاف دما بین هوای سطح زمین و هوای نزدیک به سطح است که با انتخاب پیکسل‌های حد

^۱ -Visible

^۲ -Near Infra Red (NIR)

^۳ .Down scaling

نتایج و بحث

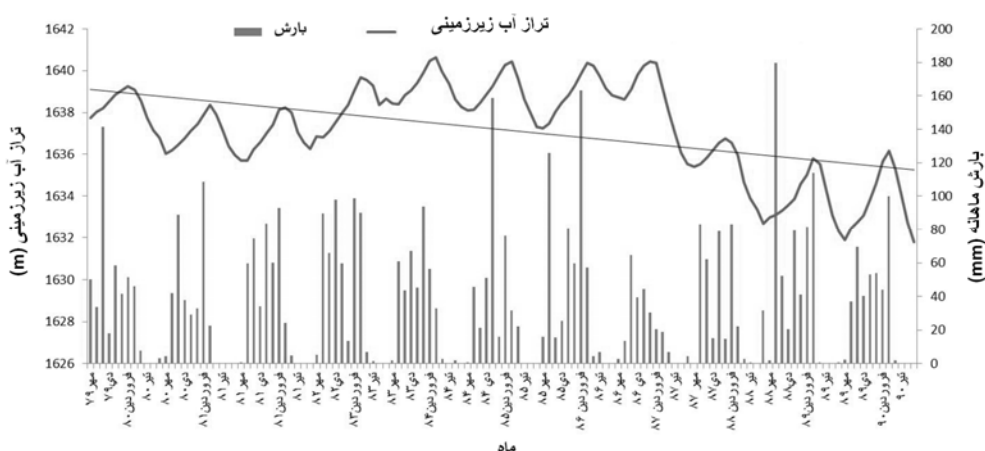
بیان آب زیرزمینی

در جدول ۲ سهم اجزاء بیلان دشت توپسرکان در سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ ارائه شده است. همانطور که مشخص می‌باشد، بیشترین سهم ورودی به دشت مربوط به جریان‌های زیرسطحی ورودی از مرز (زیرزمینی) دشت بوده که به میزان ۴۵/۵۸ میلیون متر مکعب می‌باشد. تغذیه ناشی از آب برگشتی آبیاری از چاه‌ها، چشمه‌ها و قنوات در دشت ۲۲/۸۲ میلیون متر مکعب بوده، تغذیه ناشی از نفوذ بارش ۱۲/۳۳ میلیون مترمکعب و کمترین سهم در جریان‌های ورودی به دشت مربوط به نفوذ از کف رودخانه به مقدار ۱/۸۶ میلیون متر مکعب می‌باشد.

در مجموع، آب ورودی به دشت توپسرکان در سال آبی ۸۸-۸۷ برابر با ۸۲/۵۹ میلیون مترمکعب می‌باشد. در مورد پارامترهای خروجی از دشت با توجه به جدول ۲، خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و قنوات بیشترین سهم در خروجی آب از دشت را داشته‌اند که به میزان ۹۹/۳۲ میلیون مترمکعب می‌باشد. جریان خروجی از مرز دشت ۳/۴۱ میلیون مترمکعب و جریان خروجی ناشی از زهکش آب زیرزمینی به علت خشک شدن رودخانه در بخش خروجی دشت، صفر در نظر گرفته شد. در مجموع، آب خروجی از دشت در این سال ۱۰۲/۷۴ میلیون متر مکعب به دست آمده است.

شکل ۵ هیدروگراف واحد دشت توپسرکان از سال ۷۹ تا ۸۹ را نمایش می‌دهد. هر چند افت متوسط سطح ایستابی دشت با توجه به نمودار ۰/۳۲ متر در سال بوده است، لیکن در سال آبی ۸۸-۸۷ این افت حدود ۲/۴ متر می‌باشد که علاوه بر استفاده بی‌رویه از چاه‌های بهره‌برداری به دلیل خشکسالی متوالی در سال-های آبی ۸۷-۸۶ و ۸۸-۸۷ است. با توجه به میزان افت دشت و آبدهی ویژه به صورت تقریبی (۰/۰۵ بر اساس بافت خاک و زمین‌شناسی منطقه)، تغییرات حجم ذخیره در سال آبی ۸۸-۸۷ به میزان ۲۰/۱۵ - میلیون متر مکعب بوده است. به طور کلی روند نمودار شیب کاملاً نزولی داشته که نشان‌دهنده افت شدید سفره آب زیرزمینی در سال‌های اخیر (فروردین ۱۳۸۷ به بعد) است.

جدول ۱ مشخصات مجاری ورودی و خروجی جریان بر اساس نقشه هم‌پتانسیل سال ۸۸-۸۷ را نمایش می‌دهد. با توجه به جدول، مجموع ورودی‌ها و خروجی از مرز دشت در سال آبی ۸۸-۸۷ به ترتیب برابر با ۴۵/۵۸ و ۳/۴۱ میلیون مترمکعب می‌باشد.



شکل ۴- هیدروگراف دشت توپسرکان از سال ۷۹ تا ۸۹.

است. بین عدد به دست آمده مربوط به تغییرات حجم در دوره بیلان و بیلان بدست آمده از ورودی‌ها و خروجی‌ها، به میزان ۰/۱ میلیون مترمکعب اختلاف می‌باشد که می‌تواند به علت در دسترس نبودن اطلاعات کافی از دشت و تقریبی بودن برخی از فاکتورها باشد.

با توجه به اعداد ارائه شده در جدول ۲ و بررسی اجزاء ورودی و خروجی دشت، می‌توان به این نتیجه رسید که بیلان آب زیرزمینی در دشت تویسرکان در سال آبی ۸۷-۸۸ منفی بوده و به میزان ۲۰/۱۴ میلیون متر مکعب، خروجی‌ها بیشتر از ورودی‌ها بوده

جدول ۱- مشخصات مجاری ورودی و خروجی جریان بر اساس نقشه هم پتانسیل سال ۸۷-۸۸

نوع جریان	علامت	عرض جریان (m)، (w)	قابلیت انتقال* (T) ، (m ² d ⁻¹)	شیب هیدرولیکی، آ (اختلاف بار تقسیم بر طول جریان)	دبی جریان داریسی (Q)، (m ³ d ⁻¹)
	I ₁	۶۰۰۵	۳۲۳	۰/۰۱۴	۲۷۹۸۶
	I ₂	۵۸۳۷	۱۴۰۰	۰/۰۰۷	۵۶۱۰۳
ورودی	I ₃	۲۹۷۲	۱۵۰۰	۰/۰۰۵	۲۲۹۰۱
	I ₄	۴۵۷۷	۱۰۰۰	۰/۰۰۴	۱۷۸۷۵
خروجی	O	۱۵۳۱	۸۱۵	۰/۰۰۷	۹۳۵۵

* لازم به ذکر است که ضریب قابلیت انتقال از داده های ارائه شده در گزارشات آب منطقه‌ای استان همدان با توجه به آزمایشات پمپاژ استخراج شده است (بی نام ۱۳۸۱)

جدول ۲- سهم اجزاء بیلان آبی دشت تویسرکان در سال آبی ۸۷-۸۸

جریان	پارامتر	حجم (Mm ³)	جمع
	تغذیه ناشی از نفوذ بارش	۱۲/۳۳	
ورودی	جریان زیرقشری ورودی به محدوده دشت	۴۵/۵۸	۸۲/۵۹
	تغذیه ناشی از آب برگشتی	۲۲/۸۲	
	تغذیه ناشی از نفوذ از کف رودخانه	۱/۸۶	
	جریان خروجی زیرقشری از محدوده دشت	۳/۴۱	
خروجی	خروجی ناشی از زهکشی آب زیرزمینی	۰	۱۰۲/۷۴
	خروجی ناشی از پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و قنات	۹۹/۳۲	
بیلان	-	-	-۲۰/۱۴

همان‌طور که قبلاً بیان شد در دشت تویسرکان یک ایستگاه هیدرومتری در ورود به دشت و یک ایستگاه هیدرومتری در انتهای دشت وجود دارد. همچنین از فرمول تجربی دیکن برای تعیین رواناب ورودی سایر شاخه‌ها استفاده شد و رواناب ورودی به دشت برای هر چهار شاخه رودخانه محاسبه گردید. در جدول ۳ مشخصات رواناب ورودی در هر شاخه رودخانه نشان داده شده است. بیشترین بارش زیرحوضه‌ها مربوط به زیرحوضه شماره ۱ به میزان ۶۳۴/۷ میلی‌متر می‌باشد. کمترین میزان بارش مربوط به زیرحوضه شماره ۴ به میزان ۴۸۳/۵ میلی‌متر است. در مجموع، رواناب ورودی

تعیین اجزای بیلان آب زیرزمینی در منطقه مطالعاتی، این امکان را فراهم نمود که بتوان معادله ساده‌تری را برای محاسبه بیلان آب زیرزمینی ارائه نمود. فرمول بیلان ارائه شده برای آب زیرزمینی دشت تویسرکان به صورت زیر می‌باشد:

$$\Delta S_g = 0.25 * I_{well} + 0.25 * I_p + 0.05 * I_R + I_S - O_{well} - O_S \quad [12]$$

بیلان آب سطحی

تعیین رواناب ورودی و خروجی به دشت

برای تعیین میزان رواناب ورودی و خروجی دشت نیاز به اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری می‌باشد.

خروجی دشت، میزان رواناب خروجی از دشت صفر در نظر گرفته شد.

به دشت ۳۷/۱ میلیون مترمکعب می‌باشد. لازم به ذکر است که به‌علت خشک‌بودن ایستگاه هیدرومتری در

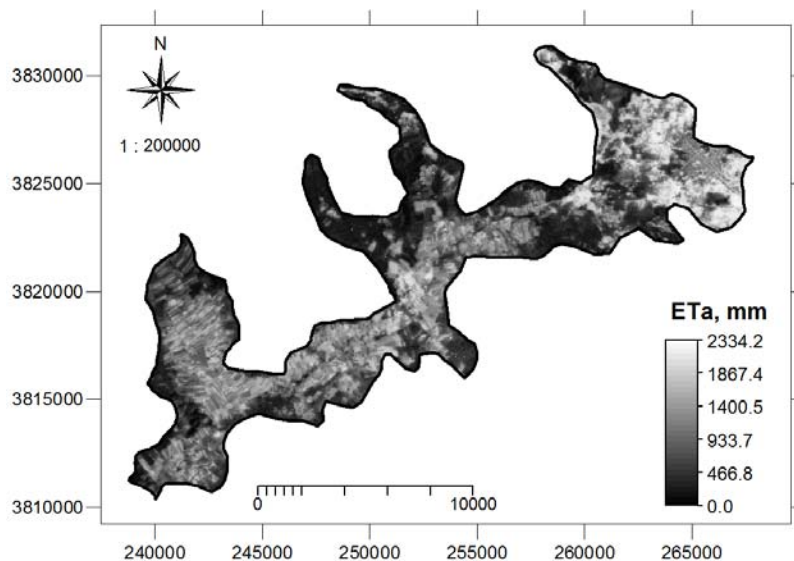
جدول ۳- مشخصات رواناب ورودی در هر شاخه رودخانه در دشت تویسرکان.

شماره زیر حوضه	مساحت (km ²)	متوسط بارش (mm)	دبی خروجی (m ³ s ⁻¹)	میزان رواناب (Mm ³)
۱	۵۵/۲	۶۳۴/۷	۰/۲۴	۷/۶
۲	۴۳/۳	۵۶۵/۵	۰/۲۰	۶/۲
۳	۶۰/۰	۵۹۵/۰	۰/۲۶	۸/۰
۴	۱۴۰/۰	۴۸۳/۵	۰/۴۸	۱۵/۲
مجموع	۲۹۸/۵	-	۱/۱۸	۳۷/۰

نقاط مختلف دنیا، دقت این الگوریتم بین ۸۰ تا ۹۶ درصد عنوان شده و کارایی آن به اثبات رسیده است (پورمحمدی ۱۳۸۸، رحیمیان ۱۳۹۲، آلن و همکاران ۲۰۰۶، باستیان‌سن و همکاران ۲۰۰۵)، اما تعیین دقت این مدل در منطقه مطالعاتی، نیازمند اندازه‌گیری‌های دقیق لایسیمتری است.

تبخیر و تعرق واقعی دشت

شکل ۶ نقشه تبخیر و تعرق واقعی سالانه سال آبی ۸۷-۸۸ دشت تویسرکان را نمایش می‌دهد که با توجه به پوشیده‌بودن دشت از مزارع و گیاهان چندساله نظیر باغات، انتظار می‌رود که مجموع تبخیر و تعرق سالانه دشت نسبتاً بالا باشد. بر این اساس، میانگین تبخیر و تعرق واقعی دشت تویسرکان حدود ۷۴۰ میلی-متر بدست آمد. اگرچه بر اساس تحقیقات انجام شده در



شکل ۶- نقشه تبخیر و تعرق واقعی دشت تویسرکان.

بیشترین میزان ورودی مربوط به تغذیه ناشی از چاه-ها، چشمه‌ها و قنوات می‌باشد و بعد از آن ورودی‌های

سهم اجزاء بیلان سطحی دشت تویسرکان برای سال آبی ۸۸-۱۳۸۷ در جدول ۴ ارائه شده است.

خروجی از دشت توپسرکان ۱۵۸/۷۳ میلیون مترمکعب می‌باشد. بیلان آب‌های سطحی دشت توپسرکان ۱۹/۱۲+ میلیون مترمکعب می‌باشد که نشان می‌دهد ۱۹/۱۲ میلیون مترمکعب ورودی‌های سطحی دشت از خروجی‌های آن بیشتر می‌باشد.

بارش و رواناب به‌ترتیب بیشترین سهم ورودی‌های سطحی دشت توپسرکان را شامل می‌شوند. در مجموع ورودی‌های سطحی دشت توپسرکان ۱۷۷/۸۵ میلیون مترمکعب می‌باشد. بخش اصلی خروجی از دشت مربوط به تبخیر و تعرق واقعی از سطح دشت می‌باشد که ۱۲۱/۷ میلیون مترمکعب می‌باشد و در مجموع مقدار

جدول ۴- سهم اجزاء بیلان سطحی دشت توپسرکان در سال آبی ۸۸-۸۷.

نوع جریان	پارامتر	مقدار (Mm ³)	جمع
ورودی	تغذیه ناشی بارش	+۴۱/۳	+۱۷۷/۸۵
	تغذیه ناشی از رواناب ورودی	+۳۷/۲	
	تغذیه ناشی از چاه، چشمه و قنوت	+۹۹/۳۲	
خروجی	تبخیر و تعرق	-۱۲۱/۷	-۱۵۸/۷۳
	رواناب خروجی	۰	
	نفوذ ناشی از بارش	-۱۰/۳	
	نفوذ آب چاه، چشمه و قنوت	-۲۴/۸	
بیلان	نفوذ از کف رودخانه	-۱/۸۶	+۱۹/۱۲
	-	-	

همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد، این معادله دارای سه پارامتر ورودی ($I_p+I_R+I_{SS}$) و سه پارامتر خروجی ($O_{SS}+O_{ET}+O_R$) است و برخی پارامترها نظیر I_{well} و O_{inf} و همچنین ضرایب استفاده شده برای تخمین نفوذ عمقی (۰/۲۵) و نفوذ از کف رودخانه (۰/۰۵) حذف شده‌اند. این پارامترها و ضرایب مذکور که به‌طور جداگانه در معادلات بیلان آب سطحی و زیرزمینی در نظر گرفته شده بودند، هم به‌عنوان ورودی (مثبت) و هم به‌عنوان خروجی (منفی) در معادله جامع بیلان آب حوضه وارد شده و حذف گردیده‌اند. بنابراین معادله نهایی، دارای شکل ساده و در عین حال جامع می‌باشد که می‌تواند برای تمامی دشت‌ها و حوضه‌ها مورد استفاده قرار گیرد. ورودی‌های این معادله شامل بارش (I_p)، رواناب ورودی (I_R) و جریان‌های زیرسطحی ورودی (I_{SS}) و خروجی‌های آن شامل رواناب خروجی (O_R)، تبخیر و تعرق (O_{ET}) و جریان زیرسطحی خروجی (O_{SS}) می‌باشد. البته به‌دلیل عدم وجود رواناب سطحی

همان‌طوری که در بخش بیلان آب زیرزمینی اشاره شد، تعیین تمامی اجزای بیلان آب در منطقه مطالعاتی، این امکان را فراهم می‌کند که بتوان معادله ساده‌تری را برای محاسبه بیلان آب ارائه نمود. بعد از قرار دادن ورودی‌ها و خروجی‌های سطحی دشت و اعمال ضرایب مربوطه، فرمول بیلان ارائه شده برای آب سطحی دشت توپسرکان به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$\Delta S_s = I_p + I_{well} + I_R - O_{ET} - O_{inf} \quad [۱۳]$$

با کمک معادلات ۱۲ و ۱۳، معادله ساده شده‌ای برای بیلان آب زیرزمینی و سطحی دشت به‌دست آمد که می‌تواند به‌عنوان معادله جامع بیلان آبی دشت مورد استفاده قرار گیرد:

$$\Delta S = (I_p + I_R + I_{SS}) - (O_{SS} + O_{ET} + O_R) \quad [۱۴]$$

به دلیل منفی بودن تغییرات ذخیره دشت، انتظار می رود که رطوبت متوسط خاک در طی سال کاهش یابد. این تغییرات معادل با کاهش ۰/۳ درصدی رطوبت حجمی خاک تا عمق دو متری زمین است که در صورت تداوم آن در سال‌های متوالی، می‌تواند باعث اثرات منفی زیادی نظیر تخریب ساختمان خاک، تشدید فرسایش، ایجاد درز و شکاف و نشست زمین شود.

خروجی در دشت تویسرکان، O_R صفر منظور شده است. با توجه به معادلات ۱۲، ۱۳ و ۱۴، تغییرات بیلان آب سطحی (ΔS_s)، تغییرات بیلان آب زیرزمینی (ΔS_g) و تغییرات ذخیره (ΔS) دشت تویسرکان محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. همان‌طور که در این جدول نشان داده شده، تغییرات ذخیره دشت در سال آبی ۸۷-۸۸ برابر با ۱/۰۲- میلیون مترمکعب است.

جدول ۵- تغییرات بیلان آب سطحی و زیرزمینی و تغییرات ذخیره کل در دشت تویسرکان (Mm^3).

تغییرات بیلان آب سطحی (ΔS_s)	تغییرات بیلان آب زیرزمینی (ΔS_g)	تغییرات ذخیره کل (ΔS)	تغییرات رطوبت حجمی خاک (%)
+۱۹/۱۲	-۲۰/۱۴	-۱/۰۲	-۰/۳

نتیجه‌گیری کلی

مهمترین نتیجه این تحقیق ارائه مدلی جامع برای بررسی تغییرات بیلان آبی دشت است که به دلیل تلفیق اجزای بیلان آب سطحی و زیرزمینی با همدیگر و حذف برخی عوامل، این مدل ساده‌تر شده و به راحتی قابل استفاده است. این در حالی است که به دلیل در دسترس نبودن برخی پارامترها و استفاده از فرمول‌های تجربی (نظیر دیکن)، بررسی مجزای تغییرات بیلان آب سطحی و یا زیرزمینی در یک دشت، در مواردی به موضوعی پیچیده تبدیل می‌شود و دقت آن بدلیل وابستگی به تخمین برخی ضرایب (نظیر میزان نفوذ عمقی، نفوذ از کف رودخانه و ...) کاهش می‌یابد. حتی گاهی نمی‌توان تمامی اجزاء معادله بیلان را اندازه‌گیری نمود و برخی از آن‌ها را باید به عنوان جزء باقی‌مانده در معادله بیلان محسوب کرد. در مدل معرفی شده در این تحقیق، برخی از این موارد مرتفع گردیده و نیاز به تخمین‌های کمتری برای تعیین تغییرات بیلان کلی دشت است. با توجه به اینکه در دشت‌ها و حوضه‌های آبخیز، معمولاً یا بیلان آب سطحی در نظر گرفته می‌شود و یا بیلان آب زیرزمینی، مدل ارائه شده در این تحقیق می‌تواند برای مدیریت یکپارچه منابع آب حوضه‌ها و دشت‌های کشور و برنامه‌ریزی‌های کلان بخش منابع طبیعی و کشاورزی مورد استفاده قرار گیرد. البته با توجه به اینکه تعیین بیلان آبی دشت و حوضه‌های آبخیز به علت

تعدد پارامترها و همچنین نداشتن اطلاعات جامع و غیرقابل اندازه‌گیری، دارای عدم قطعیت‌هایی نیز هست، لذا پیشنهاد می‌شود مدل ارائه شده در این تحقیق در چند دشت و حوضه آبخیز کشور که دارای اطلاعات کامل می‌باشد ارزیابی و صحت‌سنجی شود. نتایج به دست آمده در بخش آب زیرزمینی دشت تویسرکان نشان می‌دهد که برداشت بی‌رویه از چاه‌های بهره‌بردارانی باعث کاهش سطح سفره آب زیرزمینی در این دشت شده است. با توجه به کاهش بارش و خشکسالی‌های اخیر، سطح کشت دیم در منطقه کاهش و کشاورزان به کشت آبی و استفاده از آب چاه‌ها و قنات روی آورده‌اند که می‌تواند منجر به تشدید بحران آبی در دشت و افت شدید سفره گردد. افزایش روزافزون وسعت زمین‌های کشاورزی در دشت و اطراف آن، از دیگر دلایل این امر است. لذا پیشنهاد می‌گردد که بهره‌بردارانی غیرمجاز از چاه‌ها متوقف شده و به جای افزایش سطح زیر کشت، به مدیریت بهینه آبیاری در منطقه و افزایش راندمان آب آبیاری و کاهش استفاده بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی توجه شود تا با این وسیله هم بتوان منابع آبی دشت را حفظ نمود و هم شاهد کشاورزی پایدار در دشت تویسرکان بود. همانند سایر حوضه‌ها، بیشترین میزان خروجی سطحی، مربوط به تبخیر و تعرق از دشت بوده است. چنانچه تبخیر و تعرق با تولید اقتصادی محصولات کشاورزی

دشت همراه نباشد، این جزء باید بهینه‌سازی شود. روش‌های مدیریتی آب در مزرعه نظیر اصلاح و بهبود سامانه‌های سنتی آبیاری، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و کشت گیاهان با نیاز آبی کمتر، می‌تواند به بهینه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی دشت کمک نماید.

منابع مورد استفاده

بی‌نام، ۱۳۸۱. مطالعه جامع آب زیرزمینی دشت‌های استان همدان. شرکت آب منطقه ای استان همدان.

پورمحمدی س، ۱۳۸۸. ارزیابی و برآورد اجزاء بیلان آبی در حوضه‌های مناطق خشک با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز منشااد یزد). پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد.

پورمحمدی س، دستورانی م، چراغی سع، مختاری م و رحیمیان م، ۱۳۹۰. ارزیابی و برآورد اجزای بیلان آبی در حوضه‌های مناطق خشک با بکارگیری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. آب و فاضلاب شماره ۳، صفحه‌های ۸۴ تا ۱۰۱.

رحیمیان م، ۱۳۹۲. استفاده از آلوگوریتیم توازن انرژی سطحی زمین (SEBAL) برای تخمین تبخیر و تعرق پسته (مطالعه‌ی موردی: اردکان در استان یزد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهرکرد.

شیرافکن م و جعفری ه، ۱۳۹۲. ارزیابی بیلان هیدروژئولوژیکی آبخوان بهاباد در استان یزد. صفحه‌های ۴۸-۵۵. هشتمین همایش زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.

قوشه‌یی م، ۱۳۸۹. محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان. صفحه‌های ۹۸-۱۰۲. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، موسسه تحقیقات آب ایران، تهران.

محمدی قلعه‌نی م، ابراهیمی ک و عراقی‌نژاد ش، ۱۳۹۱. ارزیابی تاثیر عوامل اقلیمی بر افت منابع آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آب خوان دشت ساوه). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۹، شماره ۴، صفحه‌های ۲۵ تا ۳۸.

مهدوی م، ۱۳۸۴. اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران.

نیکبخت ج، نجیب ز و حسن‌پور اقدم م، ۱۳۹۱. تبدیل سیستم‌های آبیاری سنتی به تحت فشار بر افزایش ذخیره و سطح آب زیرزمینی مطالعه موردی: دشت عجب شیر، آذربایجان. صفحه‌های ۲۵-۲۲. اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، تهران.

- Allen R, Pereira LS, Raes D and Smith M, 2006. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper No 56, Rome Italy.
- Bastiaanssen, WGM, Menenti M, Feddes RA and Holtslag AM, 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1) Formulation. *Journal of Hydrology* (212-213): 213-229.
- Bastiaanssen WGM, Noordman EJM, Pelgrum H, David G and Allen RG, 2005. SEBAL model with remotely sensed data to improve water resources management under actual field conditions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131 (1): 85-93.
- Bastiaanssen WGM, 2000. SEBAL-based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology* 229: 87-100.
- Chauvin GM, Flerchinger GN, Link TE, Marks D, Winstral AH and Seyfried MS, 2011. Long-term water balance and conceptual model of a semi-arid mountainous catchment. *Journal of Hydrology* 400: 133-140.
- David IS, William TP, Roy L, and Eileen P, 2010. Consumptive use and resulting leach-field water budget of a mountain residence. *Journal of Hydrology* 388: 335-349.
- El-Yaouti F, Mandour AEI, Khattach D and Kaufmann O, 2008. Modelling groundwater flow and advective contaminant transport in the Bou-Areg unconfined aquifer (NE Morocco). *Journal of Hydro-environment Research* 2: 192-209.
- Lenters JD, Cutrell GJ, Istanbuluoglu E, Scott DT, Herrman KS and Irmak A, 2011. Eisenhauereasonal energy and water balance of a *Phragmitesaustralis* -dominated wetland in the Republican River basin of south-central Nebraska (USA). *Journal of Hydrology* 408: 19-34.

- Gaur S, Chahar B and Didier R, 2011. Grailot, Combined use of groundwater modeling and potential zone analysis for management of groundwater. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13: 127–139.
- Muñoz V, Holwerda F, Gómez M, Equihua M and Asbjornsen H, 2012. Balances of old-growth and regenerating montane cloud forests in central Veracruz, Mexico. *Journal of Hydrology* (462–463): 53–66.
- Stephanie K, Kamp F and Burges SJ, 2010. Quantifying the water balance in a planar hill slope plot: effects of measurement errors on flow prediction. *Journal of Hydrology* 380: 191–202.
- Tasumi M, Allen RG, Trezza R and Wright JL, 2003. Satellite-based energy balance to assess within-population variance of crop coefficient curves. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 131: 94-109.
- Obuobie E, Diekkrueger B, Agyekum W and Agodzo S, 2012. Groundwater level monitoring and recharge estimation in the White Volta River basin of Ghana. *Journal of African Earth Sciences* 232: 51–72.
- XiangHu Li , Zhang Qi and Chong YX, 2012. Suitability of the TRMM satellite rainfalls in driving a distributed hydrological model for water balance computations in Xinjiang catchment, Poyang Lake basin. *Journal of Hydrology* (426–427): 28–38.
- Yang QC, Liang J and Yang Z, 2012. Numerical modeling of groundwater flow in daxing (Beijing, China), Pp.78-81. In: 2nd International Conference on Advances in Energy Engineering, Beijing, China.