تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۲، پائیز ۱۳۹۳
Volume 10, No. 2, Fall 2014 (IR-WRR)
۵۶-۶۸

به‌کارگیری سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در پروژهٔ مدیریت یکپارچه آب و خاک شبکه آبیاری سد البرز (مدل MIKEBASIN)

سیده فاطمه هاشمی[۱]، علی شاهنظری[۲*] و مریم نوابیان[۳]

چکیده

اعمال مدیریت عادلانهٔ تخصیص آب در تشکل‌ها ضرورت استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری را به عنوان ابزاری مؤثر برای تحلیل تأمین و تقاضا ایجاب می‌نماید. مدل هیدرولوژیکی MIKEBASIN یکی از مدل‌های این سیستم می‌باشد که به منظور شبیه‌سازی و مدیریت تخصیص آب در حوضه رودخانه توسعه یافته است. هدف از این مطالعه بررسی چگونگی عملکرد این مدل به عنوان ابزار سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری در پروژه یکپارچه آب و خاک شبکه آبیاری سد البرز واقع در حوضه رودخانه بابل است. در این راستا، واحدهای عمرانی به ۲۰ تشکل آب‌بران تقسیم گردید که منابع آب در این محدوده به ترتیب شامل منابع آب سطحی، آبندان و آب زیرزمینی می‌باشد. با هدف تخصیص آب به تشکل‌ها، شبیه‌سازی بیلان منابع و مصارف در قالب مقادیر ۲۸ سالهٔ رواناب حوضه‌های اصلی و زیرحوضه‌ها، اطلاعات مخزن سد و نیاز آبی تشکل‌های آب‌بران، آب زیرزمینی و آبندان به صورت ماهانه انجام شد. در ارزیابی نحوهٔ تخصیص منابع آب توسط مدل MIKEBASIN در تشکل‌های آب‌بران، میزان تأمین با هدف حداقل نمودن کمبودها و بر اساس اولویت مکانی هر تشکل برآورد شد. بر همین اساس تشکل‌های بالادست آب بیشتری را دریافت نمودند. نتایج همچنین نشان می‌دهد که از ۴۶۰ میلیون متر مکعب تقاضای تشکل‌ها، ۲۷۷/۰۲ میلیون متر مکعب آن از آب‌های سطحی و ۱۳۱/۰۱ میلیون متر مکعب آن از آب زیرزمینی و مابقی آن (۱/۹۲ میلیون متر مکعب) از آبندان تأمین می‌شود که میزان کمبودهای برآورد شده با توجه به معیار ۸۵ درصد تأمین، ۱۳/۵ میلیون متر مکعب است. نهایتاً اینکه نتایج حاصل از تخصیص منابع آب این مطالعه به میزان قابل ملاحظه‌ای با نتایج مطالعات قبلی انجام شده، مطابقت دارد.

کلمات کلیدی: شبکهٔ البرز، تخصیص منابع آب، تشکل‌های آب‌بران، مدل MIKEBASIN.

تاریخ دریافت مقاله: ۱ تیر ۱۳۹۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۳ خرداد ۱۳۹۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.
۲- استادیار،گروه مهندسی آب، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران.
۳- کارشناس مدل منابع آب، شرکت انجام نهاد آب، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

Application of Decision Support System in Integrated Water and Land Management Project in Alborz Irrigation Network (MIKEBASIN Model)

S.F. Hashemi [1], A. Shahnazari [2] and M. Navabian [3]*

Abstract

Management practices of equity allocation for water in water user associations (WUA), requires the use of decision support system as effective tool for supply and demand analysis. The river management model MIKEBASIN is one of these systems which developed for simulation and water allocation management in river basin. The objective of this study is evaluating the application of this model as a decision support system in Alborz integrated land and water management project. In this regard, the project area is divided into 20 water user associations and water resources in this area respectively are surface water, Ab-bandans and groundwater. As a matter of water allocation to WUAs, the simulation of resources and demand was done monthly in 28 years with the data of main catchment runoff and sub-catchment, reservoir and demand of WUAs, groundwater and Ab-bandans. In assessing the condition of water resources allocation by MIKEBASIN model in WUAs, demand volume with the aim of minimizing the deficiencies and spatial priorities on the basis of any association was evaluated. Accordingly upstream WUAs received more water. Also the result showed that demand of 460 MCM of WUAs, 277.02 MCM is supplied from surface water and 131.01 MCM from groundwater and remaining (1.92 MCM) is from Ab-bandans. According to criterion of 85% supply, the evaluated deficiency is 13.5 MCM. Finally, the result of this research was in accordance with the results of other studies.

Keywords: Alborz Scheme, Water Resources Allocation, Water User Association, MIKEBASIN Model.

Received: June 22, 2013
Accepted: May 24, 2014

1- M.Sc. Student in Irrigation and Drainage, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: sfhashemi85@yahoo.com.
2- Assistant Professor, Agricultures Sciences and Natural Resources University Sari, Iran. Email: Aliponh@yahoo.com.
3-Water Resources Modeling Expert, Anjam Nahad Ab, Tehran, Iran. Email: mnavabian@gmail. com
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

یکی از مسایل موجود در مدیریت یکپارچه منابع آب و خاک[1]، تخصیص عادلانه آب بین بخش‌ها و مصارف مختلف است که با افزایش جمعیت و تقاضا بیش از پیش مورد توجه سیاست‌گذاران بخش آب قرار گرفته است. از سویی دیگر تحقیقات نشان می‌دهد که سازمان‌های دولتی و نهادهای وابسته به آنها در اعمال مدیریت مصرف منابع آب چندان موفق نبوده‌اند که عمدتاً ناشی از عدم مشارکت واقعی بهره‌برداران در امر تصمیم‌گیری، مدیریت و نگهداری شبکه‌های آبیاری و زهکشی است (زارعی،۱۳۸۴). لذا مدیریت تخصیص آب باید به شکلی اصلاح گردد تا بخش‌های اجرایی شبکه‌های آبیاری و زهکشی تغییر کرده و سرمایه‌گذاری‌ها از منابع دولتی به منابع غیر دولتی منتقل شود. بدین ترتیب تغییر مدیریت آبیاری[2] یا مدیریت مشارکت‌مدار[3] مطرح می‌شود که مستلزم سپردن کار به تشکل‌های مردمی است (Shyamsundar et al., 2005 و Garces-Restrepo et al., 2007). در این راستا تعاونی‌هایی تحت عنوان تشکل آب‌بران ایجاد شد که با ایجاد احساس مالکیت، زمینه را برای مشارکت کشاورزان فراهم نموده و با تعدیل نیروی انسانی، قادر به کاهش هزینه‌های مدیریت بهره‌برداری و نگهداری می‌شود (Chakravorty and Umetsu, 2003 و Kazbekov et al., 2009).

به‌منظور اعمال مدیریت تخصیص عادلانهٔ آب در تشکل‌ها، بایستی راهکارهای بهره‌برداری و تخصیص این منابع اصلاح گردد. سیستم پشتیبان تصمیم‌گیری[4] این فرصت را فراهم می‌کند تا با دسترسی سریع به سناریوهای تخصیص و شبیه‌سازی مسائل وابسته به آن، نحوه حصول به اهداف مدیریت پایدار منابع آب را ارزیابی نماید (Yates et al., 2005). این سیستم مجموعه‌ای از برنامه‌ها و داده‌های مرتبط است که در تحلیل و تصمیم‌گیری به‌کار گرفته می‌شود و با ایجاد بانک اطلاعاتی از یک سو قادر به فرموله کردن مسائل بوده و از سویی دیگر برنامه‌ای را برای مدل‌سازی تصمیمات مختلف، فراهم می‌سازدکه قادر به حل معادلات مربوط به بیلان جرمی است (Kjelds et al., 2004). این مدل‌ها با امکانات پیش‌بینی و ارزیابی استراتژی‌های مدیریت، مدل‌سازی و تحلیل را به وسیله صفحه گسترده انجام داده و با ایجاد شبکهٔ خطی و اولویت قرار دادن مصرف‌کنندگان، امنیت لازم جهت تأمین آب را فراهم می‌نماید (Letcher et al., 2007). در این راستا مدل‌های مختلفی توسعه یافته است. از جملهٔ این مدل‌ها می‌توان به MODSIM (Fredericks et al., 1998)، MIKEBASIN (DHI, 2003)، WEAP (Yates et al., 2005; McCartney and Arranz, 2007)، IRIS (Loucks et al., 1981)، Aquatool (Andrue et al., 1996) و REALM (Perera et al., 2005) اشاره نمود.

مدل MIKEBASIN یکی از قدرتمندترین مدل سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری است که قادر است همزمان به هیدرولوژی حوضه آبریز و مدیریت تخصیص آب موجود میان تقاضاهای مختلف بپردازد. این مدل که نرم‌افزار اختصاصی شبیه‌سازی منابع آب می‌باشد امکان تحلیل سیستم‌های چند مخزنه و چند منظوره را فراهم می‌سازد. از اولین کارهای شبیه‌سازی که با این مدل انجام گرفته شبیه‌سازی حوضه رودخانه مان در شمال شرق تایلند توسط جوآ و گوپتا است (Jha and Gupta, 2003). با توسعهٔ مدل کاربردهای مختلفی از شبیه‌سازی آن مورد بررسی قرار گرفت که پاره‌ای از این تحقیقات براساس ویژگی و قابلیت‌های کلی و زیرمدل‌های مختلف مدل MIKEBASIN استوار است (جاویدی-صباغیان و همکاران، ۱۳۸۸، فتحیان و باقری، ۱۳۹۱، Maneta et al., 2006; Ershadi et al., 2005; Nishatand and Rahman,2009; Bangash et al., 2012) و در مواردی نیز اتصال این مدل با سایر مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (Ireson et al., 2006 و Pott et al., 2007). همچنین در تحقیقات دیگر این مدل در کنار سایر مدل‌های مطرح برای تخصیص آب مورد ارزیابی قرار گرفت (باقری و مرید، ۱۳۹۲، Assaf et al., 2008 ; Nyabeze et al., 2007). در زمینه مدل‌سازی منابع و مصارف در سطح حوضه، مطالعات باقری و مرید (۱۳۹۲) نشان داد که مدل MIKEBASIN همانند مدل‌های دیگر تخصیص سیستم‌های منابع آب نظیر WEAP عملکرد قابل قبولی دارد. همچنین می‌توان به ارزیابی سیستم منابع آب حوضه صوفی چای با استفاده از دو نوع سری زمانی روندار و روندزدایی شده اشاره نمود. نتایج نشان داد که جریان رودخانه صوفی‌چای، روند کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵٪ داشته است (فتحیان و باقری ، ۱۳۹۱). مدل ترکیبی MIKEBASIN و GIS به‌عنوان ابزاری مفید در ارزیابی چرخهٔ هیدرولوژیکی و بررسی چگونگی تخصیص آب به بخش‌های مختلف حوضه رودخانه فرانکولی برزیل مورد استفاده قرار گرفت و نشان داد که در شرایط کمبود داده، مدل MIKEBASIN به خوبی قادر است که اثر متقابل آب سطحی و آب زیرزمینی را شبیه‌سازی نماید (Bangash et al., 2012).

دراین مطالعه سعی شده است تا شبیه‌سازی بیلان منابع و مصارف با استفاده از مدل MIKEBASIN مورد ارزیابی قرار گیرد. در

تحقیق‌های پیشین روی مدل مذکور، تنها به ارائه قابلیت‌های کلی مدل هیدرولوژیکی و بررسی الگوهای مختلف تخصیص در سطح حوضه پرداخته شده است، ولی پژوهش حاضر این اقدامات را با تأکید بر استفاده تلفیقی از منابع آب زیرزمینی و سطحی با اعمال قوانین سه‌گانهٔ بهره‌برداری مخازن در تشکل‌های آب‌بران در پروژه مدیریت یکپارچه آب و خاک البرز[5] بررسی کرده است. بدیهی است که تشکیل تشکل‌های آب بران همگام با به‌کارگیری ابزار سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در عین حال که می‌تواند راه حلی مناسب برای مشکل توزیع و تخصیص آب بین کشاورزان ارائه دهد، با تعیین بیلان منابع و مصارف شبکهٔ البرز از اهمیت قابل توجهی در بین کشاورزان و نیز مدیران بخش آب برخوردار خواهد بود.

۲- روش تحقیق

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شبکهٔ آبیاری و زهکشی سد البرز در حوضه آبریز پایین‌دست میان رودخانهٔ بابل و سیاهرود واقع شده و از شمال به دریای مازندران و از جنوب به سلسله جبال البرز محدود می‌شود. در این محدوده ۳ رودخانه اصلی بابل، تالار و سیاهرود برای آبیاری اراضی منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد. سد البرز نیز در حوضه بالادست رودخانه بابل در عرض جغرافیایی ۱۵ ´-۳۶ تا ´۴۶-۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ´۳۵-۵۲ تا ´۰۰-۵۳ شرقی قرار گرفته است. در پائین‌دست سد البرز، دو بند انحرافی رئیس‌کلا و گنج‌افروز و دو کانال آبیاری وابسته به این دو بند احداث شده است که ظرفیت آن به ترتیب ۱/۲ متر مکعب بر ثانیه و ۲۳/۳ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. با احداث این کانال‌ها قابلیت انتقال آب به تمامی تشکل‌های محدوده شبکه سد البرز میسر شده است. همچنین ایستگاه هیدرومتری پاشاکلا در بالادست سد و ایستگاه قرآن تالار در پائین‌دست سد روی رودخانه بابل قرار گرفته است. ایستگاه شیرگاه و ساروکلا نیز به ترتیب روی رودخانه تالار و سیاهرود قرار دارند. موقعیت شبکهٔ سد البرز، سد البرز و تقسیم‌بندی مرزهای تشکل‌های آب‌بران در شکل ۱ نمایش داده شده است. طبق تحلیل آبی Nespak (2009)، پروژه مدیریت یکپارچه آب و خاک در شبکه آبیاری سد البرز با تقسیم‌بندی اصلی به‌صورت ۲۰ واحد تشکل آب‌بران موجود در محدودهٔ طرح و سه تشکل در خارج از محدودهٔ طرح صورت پذیرفت. اما در پژوهش حاضر همان‌گونه که در شکل ۱ نیز مشاهده می‌شود تنها به بررسی تخصیص منابع و مصارف ۲۰ تشکل آب‌بران واقع در محدودهٔ طرح پرداخته شده است. ارزیابی تحلیل بیلان منابع و مصارف در محدودهٔ شبکهٔ آبیاری و زهکشی سد البرز نشان می‌دهد کل نیاز آبی منطقه ۵۲۷ میلیون متر مکعب برآورد شد که ۲۹۹ میلیون متر مکعب آن از آب‌های سطحی (۵۷٪) و ۱۶۱ میلیون متر مکعب آن از آب زیرزمینی (۳۱٪) و مابقی آن (۳۳ میلیون متر مکعب) از آب‌بندان تأمین می‌شود. لذا میزان کمبودهای مشاهده شده ۳۴ میلیون متر مکعب خواهد بود (Nespak, 2009).

۲-۲- معرفی مدل MIKEBASIN

مدل MIKEBASIN، تحت بسته نرم‌افزاری ArcMAPGIS که توسط شرکت دانمارکی DHI[6] توسعه داده شده، یک سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی است که تخصیص منابع آب حوضه را در قالب چارچوب‌های مکان و زمان و به صورت مجموعه‌ای از گره – رابط[7] در نظر گرفته و توزیع آب را بر اساس معادلهٔ بیلان جرمی آب، شبیه‌سازی می‌نماید (رابطهٔ ۱). بر طبق این رابطه ورودی[8] به سیستم برابر خواهد بود با مجموع خروجی[9] از سیستم و آب ذخیره شده[10] در سیستم که این الگو در رابطهٔ (۱) ارائه شده است (DHI, 2003):

$$Inflow = Outflow + \Delta Storage \qquad (۱)$$

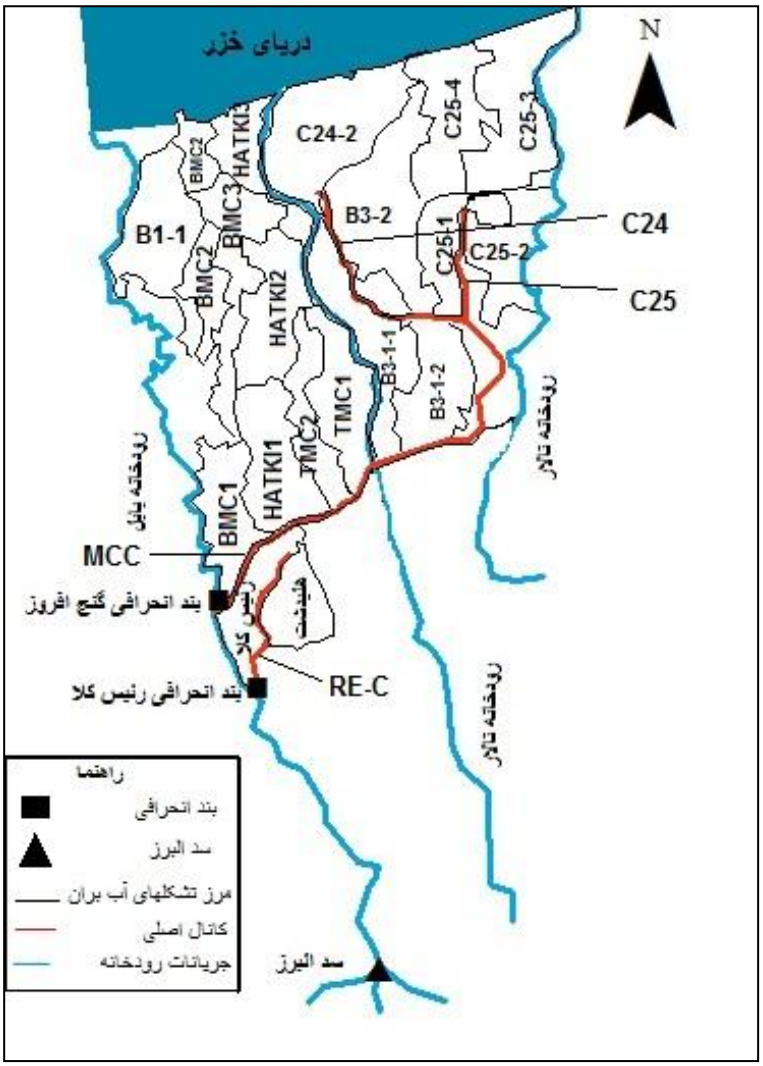
کار با MIKEBASIN معمولاً شامل چندین مرحله است. به این ترتیب که ابتدا پیکربندی شبکه با در نظر گرفتن نقاط مصرف، منابع تأمین‌کنندهٔ آب نظیر رودها و موقعیت مخازن ذخیرهٔ آب ترسیم می‌شود. سپس مقادیر گره‌های مصرف، اطلاعات مربوط به انواع مخازن، قوانین بهره‌برداری در محل گره‌ها و نیز سری زمانی جریان رودخانه در زیر حوضه به مدل وارد می‌گردد. در نهایت با مشخص شدن منابع آب و اطلاعات آب استحصال شده، وضعیت تعادل و یا عدم تعادل بین منابع و مصارف منطقه ارزیابی می‌گردد.

ورود اطلاعات در مدل MIKEBASIN بر اساس الگوی گره – رابط می‌باشد بدین مفهوم که داده‌های ورودی تنها در قالب دو مجموعه گره و حوضه‌های آبریز (با توجه به روابط هیدرلوژیکی شبکه آبیاری و زهکشی)، به مدل وارد می‌گردند (شکل ۲).

بطورکلی گره شامل گرهٔ مصرف، گرهٔ مخزن و گره‌های انشعاب می‌باشند. گرهٔ مصرف بر حسب تعریف، گره‌ای است که می‌تواند از یک یا چند منبع تأمین آب شامل آب‌بندان و آب زیرزمینی و بر اساس اولویت مصرف به طور جداگانه و یا تلفیقی آب دریافت می‌کند. مخزن ذخیره آب در مدل MIKEBASIN، به سه صورت مخزن منحنی فرمان[11]، مخزن استخر تخصیص[12] و مخزن دریاچه‌ای[13] و در قالب گرهٔ مخزن[14]، قابل تعریف است که با توجه به منحنی حجم – سطح – ارتفاع و سری زمانی ماهانه سایر خصوصیات تراز آب مخزن به‌کار گرفته می‌شود. با توجه به اطلاعات قابل دسترس از مخازن کشور، در پژوهش حاضر مخزن نوع اول به

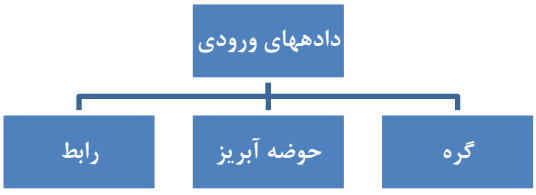
عنوان سدهای مخزنی و مخزن نوع دوم به عنوان آبندان فرض گردید. گرهٔ انشعاب[15] نیز گره‌ای است که روی رودخانه واقع شده است و از طریق این انشعاب آب از رودخانه اصلی به سازه‌های انتقال منتقل می‌شود که به عنوان کانال یا بند انحرافی فرض و به مدل وارد شد. رابطها نیز در مدل به منزله معرفی رودخانه یا نقاط برداشت از رودخانه تعریف می‌شود که مستلزم در نظر گرفتن الگوریتم‌های خاص شبیه‌سازی و اولویت‌های تأمین و مصرف در مدل می‌باشد.

بر مبنای مفهوم حوضه آبریز در مدل مذکور دو نوع حوضهٔ آبریز شامل حوضهٔ آبریز جریانات رودخانه‌ها (محل ایستگاه‌های هیدرومتری) و حوضهٔ ذخیرهٔ آبخوان آب زیرزمینی فرض گردید. با توجه به اینکه عمده‌ترین خصوصیت مدل MIKEBASIN شبیه‌سازی در سطح حوضه است (DHI, 2003)، مدل MIKEBASIN برای شبیه‌سازی هیدرولیکی نظیر جریانات



شکل ۱- موقعیت شبکهٔ سد البرز

حوضه‌ها روش‌های مختلفی را به‌کار می‌گیرد که در این مطالعه از روش روندیابی خطی مخزن استفاده شد. بر طبق آن برای محاسبهٔ میزان جریان ورودی به یک گره در یک گام زمانی معین، میزان جریان‌های برداشت‌شده از نقاط بالادست و میزان تخصیص منابع آب‌سطحی به گره‌های پایین‌دست با در نظر گرفتن اولویت‌های



شکل ۲- معرفی پارامترهای اساسی مدل MIKEBASIN

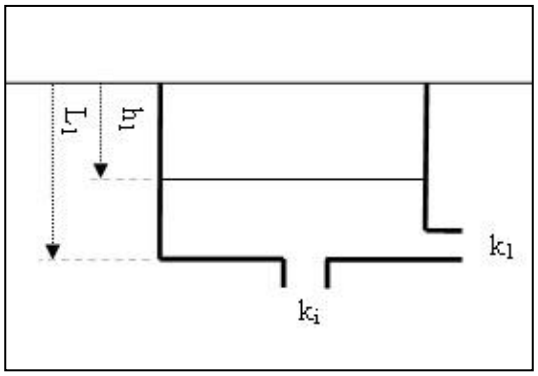
تعریف شده بر اساس رابطهٔ (۲) محاسبه و در مدل شبیه‌سازی می‌شود.

$$qo=(1 - x/((dt)/K)) .qi + x.s,\ x = 1- e(-dt/K) \quad (۲)$$

q_o خروجی از گره بر حسب m^3/s، dt طول بازهٔ زمانی بر حسب ثانیه، q_i ورودی به گره (m^3/s)، s میزان ذخیره زیرسطحی بر حسب متر مکعب و k تأخیر زمانی روندیابی خطی (پارامتر تأخیری) است. x ضریبی است که در روندیابی خطی مخزن برابر با صفر در نظر گرفته می‌شود. همچنین به منظور شبیه‌سازی برداشت آب زیرزمینی در مدل خطی مخزن با فرض آبخوان‌های کم عمق از رابطهٔ (۳) استفاده شد.

$$\frac{\partial h_i}{\partial t} = (-k1-ki)(h1 - L1) - qi \quad (۳)$$

پارامترهای L، h (پارامترهای ژئومتری)که به ترتیب ضخامت آبخوان و عمق سطح ایستابی (طول) هستندکه در شکل ۳ نشان داده شده است. همچنین k_i (زمان /۱) بر حسب تعریف ثابت زمانی است که دبی خروجی آبخوان به رودخانه را تعیین می‌کند. این مقدار با مقادیر هدایت هیدرولیکی آبخوان که با K نمایش داده می‌شود مغایر است ولی برای تعیین بایستی از مقادیر هدایت هیدرولیکی و ضخامت آبخوان استفاده نمود که مقادیر آن در جدول ۱ ارائه شده است. q_i نیز جریان ورودی به آبخوان می‌باشد که در رابطهٔ بالا بر جسب دبی ویژه (طول/ زمان) می‌باشد. بر طبق این معادله، در مدل MIKEBASIN برداشت آب زیرزمینی با سطح آب حوضه و همچنین میزان ذخیره آبخوان نسبت مستقیم دارد و اولویت تمام مصرف‌کنندگان در برداشت از آبخوان مربوطه یکسان فرض شد.



شکل ۳- ژئومتری مدل خطی آبخوان

نحوهٔ تخصیص آب ورودی به هر تشکل آب‌بر در مدل MIKEBASIN بر اساس اولویت مکانی تعریف می‌شود. در توضیح آن باید افزود که با فرض در نظر گرفتن آب‌های سطحی شبکه نظیر جریانات بهنگام رودخانه‌ها و رهاسازی سد مخزنی بدون لحاظ نمودن آب‌بندان و آب زیرزمینی، میزان تأمین با هدف حداقل نمودن کمبودها در نظر گرفته می‌شود. بر همین اساس مدل ملزم به در نظر گرفتن دو گونه اولویت مکانی خواهد بود. عمده‌ترین مفهوم اولویت، اولویت مکانی مجموعه گره‌های مصرفی است که از بالادست به پایین‌دست سیستم رودخانه و مخزن قرار گرفته‌اند. در این شرایط، به طرف نقاط پایین‌تر، از میزان تأمین کاسته می‌شود. از سویی دیگر، اولویت مکانی گره‌های مصرفی که از یک نقطه، نظیر یک کانال یا بند انحرافی، آب برداشت می‌کنند نیز می‌توان در مدل لحاظ نمود. در این مفهوم نیز می‌توان اولویت مکانی گره‌های مصرف و یا اولویت‌های یکسان را در نظر گرفت که با فرض لحاظ نمودن اولویت مکانی، نتایج شبیه‌سازی با واقعیت تطابق بیشتری دارد (فتحیان و باقری، ۱۳۹۱ و باقری و مرید، ۱۳۹۲) تلفیق این دو مفهوم، میزان آب ورودی به هر گره را تعیین می‌کند. به عبارت دیگر میزان کمبود در هر گره مصرف در گام زمانی برابر است با نیاز آبی که براساس الگوی کشت محاسبه شده منهای جریان ورودی به هر گره.

بر همین اساس و با در نظر گرفتن الزامات طراحی شبکهٔ آبیاری و زهکشی سد البرز، شماتیک منابع و مصارف در مدل مذکور ترسیم گشت و در گام بعدی داده‌های ورودی به مدل وارد شد. این داده‌ها شامل مقادیر رواناب حوضه‌های اصلی و زیرحوضه‌ها، اطلاعات آب‌بندان‌ها و خصوصیات آبخوان شبکهٔ سد البرز، اطلاعات مخزن سد و نیاز آبی گره‌های مصرف (تشکل‌های آب‌بران) می‌باشد. خلاصه‌ای از اطلاعات تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ سد البرز در جدول ۱ آمده است. این محدوده‌ها تا نسبت زیادی منطبق با تقسیم‌بندی Nespak (2009) می‌باشد، با این تفاوت که طبق تحلیل آبی Nespak (2009) محدودهٔ پروژه به صورت ۲۰ تشکل آب‌بران در محدودهٔ طرح (منطبق با مرزهای ۲۰ واحد تشکل‌های آب‌بران در پژوهش حاضر) و سه تشکل خارج طرح است. در حالی‌که در پژوهش حاضر، به منظور بررسی بیلان منابع آب، تنها ۲۰ تشکل آب‌بران واقع در محدودهٔ طرح، مبنای شبیه‌سازی قرار گرفته است و به ارزیابی سایر تشکل‌های خارج طرح بدلیل مصارف غیر کشاورزی نپرداخته است.

۳-۲- شبیه‌سازی شبکهٔ سد البرز با استفاده از مدل MIKEBASIN

در مرحلهٔ اولیهٔ شبیه‌سازی، میانگین ۲۸ ساله جریانات ورودی رودخانه‌های اصلی بابل، تالار و سیاهرود و سرشاخه‌های آن در قالب جریان مربوط به حوضه‌ها به صورت سری زمانی دبی ماهانه و بر اساس اطلاعات اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری

جمع‌آوری و به مدل وارد شد. سپس سری زمانی تقاضای تشکل‌های آب‌بران بر اساس الگوی کشت در قالب دبی بر حسب متر مکعب بر ثانیه به مدل وارد شد. در پژوهش حاضر هرکدام از تشکل‌ها به صورت تلفیقی و به ترتیب اولویت تأمین، از سه منبع آب بهنگام رودها و سد، آبندان و چاه تغذیه می‌شوند. در مرحلهٔ بعدی، بر اساس الزامات شبیه‌سازی، اطلاعات مخزن بر حسب داده‌های هندسی آن در قالب منحنی حجم – سطح – ارتفاع و به صورت گرهٔ پیش فرض مدل تعریف شد. در شبکهٔ مورد مطالعه، سد خاکی البرز با حجم مفید ۱۲۹ میلیون متر مکعب و ارتفاع تاج ۳۰۶ متر و میزان تبخیر سالانه معادل ۱۰۷۱/۵ میلی متر از سطح دریاچه سد البرز بر روی رودخانه بابل احداث شده که آب را در فصول غیر زراعی ذخیره و در فصل زراعی رها می‌سازد (Nespak, 2009). علاوه بر آن در مدل مذکور، دستورات مربوط به الزام رهاسازی آب به صورت تابعی از زمان نیز بایستی تعریف شود. مهم‌ترین این دستورات نظیر کنترل سیلاب و حداکثر نیاز محیطی است که در پژوهش حاضر این مقادیر به ترتیب ۳۰۰ متر و ۱ متر مکعب در ثانیه فرض شده است (Nespak, 2009). در شبکهٔ مورد مطالعه به منظور ارزیابی نحوهٔ بهره‌برداری از مخزن، دستور منحنی فرمان سد تعریف شد. خصوصیات سری زمانی تراز آب در مخزن نیز در گام بعدی به مدل وارد شد. این قوانین که شامل رقوم کف، رقوم حجم مرده و تراز تاج سد است، الزاماً تابعی از زمان بوده که بر طبق فرضیات شبکه مقادیر آن در طی اجرای پروژه ثابت در نظر گرفته شد. باید توجه نمود که جریانات رواناب مربوط به هر کدام از زیرحوضه‌ها به اضافهٔ رهاسازی از سد البرز، منابع سطحی تأمین‌کنندهٔ تقاضای تشکل‌های آب‌بران است و در شبیه‌سازی مدل، میزان رهاسازی از سد البرز همراه با جریان بهنگام رودخانه‌ها فرض شد و اولویت اول را دارد. همچنین آب‌بندان‌ها در مرحلهٔ بعدی شبیه‌سازی به صورت گرهٔ مخزن به مدل وارد گردید، با این تفاوت که دستور بهره‌برداری آن استخر تخصیص می‌باشد.

جدول ۱- خلاصهٔ مشخصات تشکل‌های آب‌بران

تشکل‌ها	تقاضا (MCM)	مشخصات آبخوان تحت هر تشکل			مشخصات آبندان تحت هر تشکل	
		ضخامت (m)	هدایت هیدرولیکی (m/day)	سطح آب (m)	سطح (ha)	حجم مفید (MCM)
B1-1	۳۹/۳	۳۲	۲/۹۵	۷/۵	۴	۰/۱
B3-1-1	۲۷/۳	۴۰	۷/۰۵	۲۰	۱۰۸	۲/۱
B3-1-2	۲۲/۵	۷۲	۸/۳۳	۲۲/۵	۱۹۹	۳/۱
B3-2	۳۰/۱	۴۰	۲/۳۶	۵	۷۸۴	۱۰/۹
BMC1	۱۹/۵	۸۵	۷/۰۶	۳۲/۵	۱۳۸	۱/۹
BMC2	۲۲/۲	۳۱	۲/۰۸	۷/۵	۲۱۹	۳/۹
BMC3	۲۱/۹	۴۰	۱/۶۱	۱۵	۳۹۹	۴/۳
C24-1	۱۰/۶	۷۲	۳/۵۳	۱۲/۵	–	–
C24-2	۲۸/۷	۵/۵	۶۸/۳۳	۲/۵	۴۶	۲/۸
C25-1	۳۸/۴	۶۵	۱۱/۹۱	۲۲/۵	۳	۰/۱
C25-2	۱۸/۶	۵۸	۰/۳۹	۱۲/۵	–	–
C25-3	۲۴/۱	۱۲	۱/۸۸	۲/۵	۳۲۷	۵/۱
C25-4	۲۶/۲	۱۲	۱/۸۸	۵	–	–
HATKI1	۳۴/۱	۷۲	۱/۷۶	۲۷/۵	۳۷۳	۵/۹
HATKI2	۱۲/۷	۷۲	۱/۷۶	۱۰	۳۶۳	۳/۸
HATKI3	۱۵/۷	۵/۵	۱۱/۷۳	۲/۵	–	–
Halidasht	۱۳/۴	۵۸/۵	۲۳/۸۸	۵۰	۶	۰/۱
Raiskola	۱۰/۱	۵۸/۵	۲۳/۸۸	۵۰	۲۳	۰/۲
TMC1	۳۵/۲	۷۲	۱۹/۴	۲۲/۵	۵۹	۱/۲
TMC2	۱۴/۱	۷۲	۱۹/۴	۲۰	۱۴۵	۲/۴

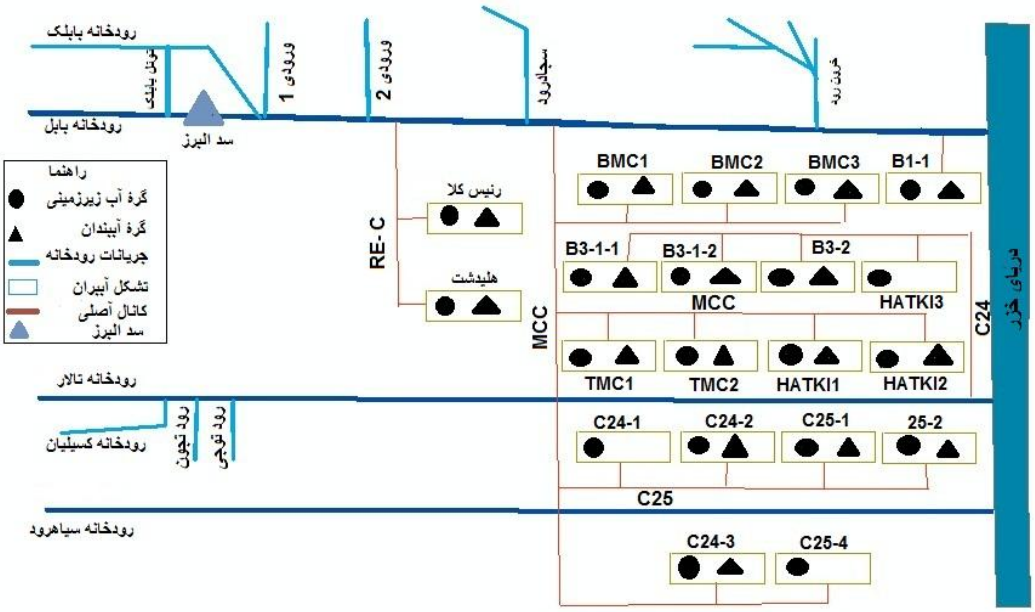
در این گره نیز منحنی حجم – سطح– ارتفاع و همچنین سری زمانی ماهانه سایر خصوصیات تراز آب مخزن به مدل وارد شد. مساحت آب‌بندان‌ها از تصاویر ماهواره‌ای بدست آمده و متوسط عمق آنها دو متر به منظور تأمین مصارف کشاورزی در نظر گرفته شد. در این مطالعات، ۰/۹ متر از عمق هر آب‌بندان برای پرورش ماهی تخصیص داده شده و آب قابل دسترس در بقیه عمق آب‌بندان برای مصارف کشاورزی در نظر گرفته شد که فرض گردید در تأمین مصارف تشکل‌ها اولویت دوم را دارد. پمپاژ از آب زیرزمینی مکمل منابع آب سطحی محدودهٔ پروژه است و فرض شد که اولویت سوم را دارد، بر اساس اطلاعات آبخوان، مشخصات آن در مدل تعریف می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا برای هر تشکل میزان پمپاژ تعیین شده و سپس منبع آب زیرزمینی هر تشکل در قالب حوضهٔ آبریز و با مقادیر k (ثابت زمانی)، h (تراز آب زیرزمینی) و D (ضخامت آبخوان) به مدل وارد شد و شبیه‌سازی آن انجام گردید. به همین منظور، بیلان منابع آب زیرزمینی برای ۲۸ سال دورهٔ آماری ۱۹۷۷–۲۰۰۵ مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه به منظور معرفی بندهای انحرافی رئیس‌کلا و گنج‌افروز از دستور گره‌های انشعاب در مدل استفاده شد. داده‌های این گره‌ها براساس دبی رودخانهٔ اصلی و مقادیر مجاز قابل انتقال تعریف می‌شود. سیستم کانال رئیس‌کلا شامل کانال اصلی رئیس‌کلا RE-C با دبی ۱/۲ متر مکعب بر ثانیه و سیستم کانال گنج افروز شامل کانال اصلی (MCC) با ظرفیت ۲۳/۳ متر مکعب و کانال‌های C24 و C25 است که به ترتیب دارای دبی ۶/۳ و ۱۴ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد و هر کدام دارای ملزومات خاصی در زمینهٔ طراحی هیدرولیکی می‌باشند و با احداث این کانال‌ها قابلیت انتقال آب به تمامی تشکل‌های محدوده شبکه البرز میسر شد (Nespak, 2009).

۳- نتایج و تحلیل نتایج

۳-۱- شبیه سازی برداشت آب از منابع سطحی و سد البرز

به منظور بررسی وضعیت منابع و مصارف در تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ سد البرز، مدل MIKEBASIN برای هر گرهٔ مصرف (تشکل آب‌بران) تا مقطع سد البرز اجرا شد که در اجرای مدل مذکور، هر ۲۰ تشکل در طی ۲۸ سال با گام زمانی ماهانه و به طور همزمان لحاظ گردید. شکل ۴ موقعیت تشکل‌های آب بران، مخزن سد البرز و آب‌بندان‌ها، بندهای انحرافی و کانال‌های اصلی و مخازن برداشت آب زیرزمینی را به طور شماتیک در شکل ۴ نشان داده است. مطابق این شکل، یک سد مخزنی و ۱۶ مخزن آبندان، ۲۰ گرهٔ مصرف کشاورزی و ۵۶ کانال انتقال آب در نظر گرفته شد. همچنین علاوه بر منابع آب سطحی، ۲۰ منبع آب زیرزمینی نیز منظور شده است.

در ارزیابی نحوهٔ تخصیص، ابتدا باید میزان آب ورودی به هر تشکل مورد بررسی قرار گیرد. در جدول ۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی آب‌های حاصل از سد البرز و حوضهٔ رودخانه بابل، تالار و سیاهرود به تفکیک ماه‌های زراعی به طور میانگین ۲۸ ساله ارائه شده است:



شکل ۴- دیاگرام مصارف و منابع تشکل‌های شبکه آبیاری سد البرز

جدول ۲- شبیه‌سازی اولیه میزان آب ورودی به هر تشکل آب‌بران با لحاظ کردن آب سطحی شبکه (رودخانه‌ها و سد البرز) (میلیون متر مکعب)

تشکل‌ها	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
B1-1	۰	۰	۴/۴۹	۳/۲۷	۶/۶۵	۷/۶۲	۶/۶۳	۰/۳۴	۰/۲۹	۰/۰۴	۰	۰
B3-1-1	۰	۰	۳/۱۵	۲/۱۷	۳/۲۳	۱/۰۱	۱/۳۶	۰/۱۳	۰/۰۵	۰	۰	۰
B3-1-2	۰	۰	۲/۶۵	۲/۰۱	۲	۰/۲	۰/۸۵	۰/۱۴	۰/۰۷	۰/۰۱	۰	۰
B3-2	۰	۰	۳/۴۷	۲/۶۷	۱/۹۳	۰/۲۳	۰/۶۵	۰/۱۹	۰/۰۷	۰/۰۱	۰	۰
BMC1	۰	۰	۲/۲۳	۱/۵۹	۰/۷	۰/۱	۰/۳	۰/۲۴	۰/۱	۰/۰۱	۰	۰
BMC2	۰	۰	۲/۴۴	۱/۷۸	۰/۵	۰	۰/۲۶	۰/۲۷	۰/۱۶	۰/۰۱	۰	۰
BMC3	۰	۰	۲/۲۹	۱/۷۷	۰/۳۴	۰	۰/۰۴	۰/۲۲	۰/۱۷	۰	۰	۰
C24-1	۰	۰	۰/۸۵	۰/۹۵	۲/۲۳	۲/۷۸	۲/۴۵	۰/۶۱	۰/۳۱	۰/۰۲	۰	۰
C24-2	۰	۰	۲/۲۶	۲/۵۸	۵/۷۵	۷/۴۷	۵/۹۹	۱/۶۳	۰/۸۵	۰/۰۵	۰	۰
C25-1	۰	۰	۳/۰۶	۳/۴۶	۷/۰۴	۵/۸	۴/۷۶	۲/۳۶	۰/۸۶	۰/۰۶	۰	۰
C25-2	۰	۰	۱/۳۵	۱/۸۴	۳/۰۱	۱/۴۳	۱/۴۸	۱/۰۵	۰/۴۸	۰/۰۸	۰	۰
C25-3	۰	۰	۱/۷۳	۱/۳۳	۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰	۰
C25-4	۰	۰	۳/۱	۲/۱۸	۳/۹۳	۱/۹۵	۱/۹۵	۰/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰
HATKI1	۰	۰	۳/۹۴	۳/۱۳	۴/۶۸	۳/۴۵	۳/۱۲	۰/۴۷	۰/۲۲	۰/۰۲	۰	۰
HATKI2	۰	۰	۱/۵۱	۱/۱۵	۱/۳	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۱	۰	۰
HATKI3	۰	۰	۱/۷۳	۱/۳۳	۰/۶۲	۰/۰۹	۰/۲	۰/۱۶	۰/۰۸	۰/۰۱	۰	۰
Halidasht	۰	۰	۱/۵۵	۱/۱۵	۱/۰۳	۰/۵۲	۰/۶۳	۰/۱۷	۰/۰۷	۰	۰	۰
Raiskola	۰	۰	۰/۷۶	۰/۷۸	۱/۸۵	۲/۴۲	۲/۳۴	۰/۷۱	۰/۳	۰/۰۴	۰	۰
TMC1	۰	۰	۴/۰۵	۳/۲	۶/۷۸	۶/۸۴	۶/۵۸	۰/۵۱	۰/۲۳	۰/۰۴	۰	۰
TMC2	۰	۰	۱/۶۵	۱/۱۹	۰/۹۵	۰/۱۷	۰/۶۵	۰/۱۴	۰/۰۸	۰	۰	۰

مروری بر جدول ۲ نشان می‌دهد که مجموع آب‌های سطحی که می‌تواند جوابگوی تقاضای تشکل‌ها باشد، برابر با ۲۷۷/۰۲ میلیون متر مکعب است که از ارزیابی خروجی‌های مدل مذکور می‌توان دریافت ۷۴ میلیون متر مکعب آن از ذخیرهٔ سد البرز و مابقی از جریان آب رودخانه‌ها تأمین می‌شود. همچنین از بررسی شبیه‌سازی میزان آب ورودی به نقاط مصرف (تشکل‌های آب‌بران) در مدل MIKEBASIN می‌توان چنین نتیجه گرفت که اگر معیار اولویت مکانی نقاط برداشت با هدف کم کردن کمبودها تعیین‌کنندهٔ مفاهیم اولویت‌ها در مدل مذکور باشند، در این صورت مسیر کانال اصلی MCC و نقاط برداشت از سطح هر سه حوضهٔ رودخانه مبنایی برای تعیین اولویت مکانی در نظر می‌باشد و بدین ترتیب انتظار می‌رود از حوضه رودخانه بابل تا سیاهرود اولویت تأمین کاهش یابد. بر همین اساس تشکل‌های حوضهٔ رودخانهٔ سیاهرود (C24-2، C25-1، C25-2، C25-3 و C25-4) کمترین اولویت مکانی (دورترین تشکل‌ها نسبت به مخزن سد) را دارند که انتظار می‌رود میزان آب ورودی به این نقاط در مقایسه با تشکل‌های حوضهٔ رودخانهٔ بابل نسبتاً کم باشد و تأمین کامل تقاضای تشکل آب‌بران مستلزم استفاده از منابع دیگر تأمین‌کننده خواهد بود. به‌عنوان نمونه در تشکل‌های BMC1،Raiskola، C25-1، B3-1-1، HATKI1 وTMC1 مدل، آب ورودی بیشتری را در نظر می‌گیرد و این تشکل‌ها وابستگی بیشتری به آب شبکه دارند. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که مدل MIKEBASIN برای تشکل‌های بالادست آب بیشتری را در اختیار قرار می‌دهد که با نتایج حاصل از باقری و مرید (۱۳۹۲) مطابقت دارد. درتوضیح آن باید اضافه نمود که به جز تشکل C25-1 که در حوضهٔ رودخانه سیاهرود واقع شده و طبق تعریف کمترین اولویت مکانی را دارد، باقی تشکل‌ها در حوضهٔ رودخانه بابل قرار دارند که نسبتاً از اولویت مکانی بالاتری برخوردارند. بر همین اساس انتظار می‌رود که مدل، آب ورودی بیشتری را در نظر گیرد. اما تشکل C25-1 باید از منظر برآورد میزان کمبود مورد بررسی قرار گیرد. زیرا با توجه به تقاضای نسبتاً زیاد این تشکل، اگرچه آب ورودی بیشتری به آن اختصاص داده شده اما همچنان کمبودهای قابل ملاحظه‌ای در آن مشاهده می‌شود. این بدین معنا است که در مدل مذکور،

علاوه بر مفهوم اولویت مکانی، اولویت مکانی تشکل‌هایی که از یک نقطهٔ برداشت، آب دریافت می‌کنند نیز لحاظ می‌شود که به طور شماتیک در شکل ۴ ارائه شد. این تشکل‌ها عبارتند از مواردی که از کانال RE-C (رئیس‌کلا و هلیدشت)، کانال MCC (BMC1,2,3 و همچنین TMC1,2 و HATKI1,2)، کانال C24 (B3-1-1,2، B3-2 و HATKI3) و کانال C25 (C24-1,2 و C25-1,2,3,4) آب دریافت می‌کنند. این دو اولویت مبنای شبیه‌سازی مدل MIKEBASIN را فراهم می‌آورد. به‌عنوان نمونه تشکل HATKI1 که از کانال MCC آب دریافت می‌کند نسبت تشکل‌های BMC1,2,3 و همچنین TMC1,2 و HATKI2 اولویت مکانی بیشتری دارد و بدین ترتیب آب ورودی بیشتری به آن تخصیص داده می‌شود.

همچنین بررسی نتایج (جدول ۲) نشان می‌دهد که تشکل C24-1 فاقد کمبود است و احداث سد مخزنی البرز تأثیر بسزایی در رفع کمبودهای آن داشته است. در ادامه میزان کمبودهای محاسبه شده توسط مدل مذکور در جدول ۳ ارائه شده است. میزان کمبودها بر اساس الگوریتم شبیه‌سازی مدل و همچنین دستورات حاکم بر گره‌های مصرف محاسبه شده است. در این خصوص، مدل، کمبود را در شرایط تأمین حداقل ۸۵ درصد از نیازها در نظر می‌گیرد که در سیستم بهره‌برداری منابع آب، قدیمی‌ترین و کاربردی‌ترین معیار ارزیابی برای تحلیل سیستم‌های منابع آب می‌باشد (Hashimoto et al., 1982).

جدول ۳- شبیه‌سازی اولیه کمبودها در تشکل‌های آب‌بران با لحاظ کردن منابع آب سطحی شبکه (رودخانه‌ها و سد البرز) (میلیون متر مکعب)

تشکل‌ها	ماه											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
B1-1	۰	۰	۰/۱۳	۰/۲۳	۱/۶۲	۳/۱۷	۳/۱۶	۰/۴۵	۰/۰۳	۰	۰	۰
B3-1-1	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۲/۶۴	۶/۷۲	۵/۷	۰/۱	۰/۰۲	۰	۰	۰
B3-1-2	۰	۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۲/۸۷	۶/۰۲	۴/۷۹	۰/۰۹	۰/۰۱	۰	۰	۰
B3-2	۰	۰	۰/۲	۰/۰۹	۴/۵۴	۸/۰۵	۶/۹۴	۰/۱۲	۰/۰۳	۰	۰	۰
BMC1	۰	۰	۰/۱۵	۰/۱۳	۳/۴۱	۵/۲۶	۴/۵۹	۰/۰۶	۰/۰۱	۰	۰	۰
BMC2	۰	۰	۰/۲۶	۰/۱۷	۴/۱۵	۶/۰۸	۵/۳۳	۰/۰۷	۰/۰۱	۰	۰	۰
BMC3	۰	۰	۰/۳۸	۰/۱۷	۴/۲۸	۵/۹۹	۵/۵	۰/۰۹	۰/۰۱	۰	۰	۰
C24-1	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C24-2	۰	۰	۰	۰	۰/۲۳	۰/۳۵	۰/۶	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰
C25-1	۰	۰	۰	۰	۱/۰۱	۴/۶۱	۴/۱۲	۰/۰۷	۰	۰	۰	۰
C25-2	۰	۰	۰	۰	۱/۰۴	۳/۴۳	۲/۶۶	۰/۱۵	۰	۰	۰	۰
C25-3	۰	۰	۰	۰	۱/۲۶	۴/۶۶	¼	۰	۰	۰	۰	۰
C25-4	۰	۰	۰	۰/۰۱	۳/۰۲	۶/۹۴	۵/۱۳	۰/۱۹	۰	۰	۰	۰
HATKI1	۰	۰	۰	۰	۲/۶۳	۵/۹۱	۵/۳۴	۰/۰۶	۰/۰۲	۰	۰	۰
HATKI2	۰	۰	۰	۰	۱/۳۸	۲/۸۴	۲/۵	۰/۰۳	۰/۰۱	۰	۰	۰
HATKI3	۰	۰	۰/۱۴	۰/۰۵	۲/۶۸	۴/۲۳	۳/۷۷	۰/۱	۰/۰۲	۰	۰	۰
Halidasht	۰	۰	۰/۰۵	۰/۰۲	۱/۸۱	۳/۲۳	۲/۸	۰	۰	۰	۰	۰
Raiskola	۰	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰/۲۶	۰/۱۴	۰	۰	۰	۰	۰
TMC1	۰	۰	۰	۰	۰/۷۸	۲/۸۳	۲/۲	۰/۳	۰/۰۱	۰	۰	۰
TMC2	۰	۰	۰	۰/۰۶	۲/۰۴	۳/۷۶	۲/۹۶	۰/۰۵	۰/۰۱	۰	۰	۰

اعداد صفر در جدول نشان می‌دهد که در بعضی از فصول سال (ماه‌های ژانویه، فوریه، مارچ، دسامبر، اکتبر و نوامبر) آب‌های سطحی تأمین‌کنندهٔ تقاضای تشکل‌ها، شامل جریانات بهنگام رودخانه‌های بابل، تالار و سیاهرود به همراه رهاسازی سد البرز، برای تأمین مصارف تشکل‌های آب‌بران، کافی بوده است که با نتایج حاصل از پورمحمد (۱۳۹۰) و Nespak (2009) مطابقت دارد و این منابع سطحی بدون در نظر گرفتن سایر منابع (آبندان و آب زیرزمینی) می‌تواند الزامات مربوط و وابسته به ذخیرهٔ سد البرز، نیاز زیست محیطی و خروجی به دریا را نیز لحاظ نماید. همچنین مروری بر جدول ۳ نشان می‌دهد که در تشکل‌هاکمبودهای قابل ملاحظه‌ای در ماه‌های ژوئن تا اوت (فصول کشت) وجود دارد که مصادف با زمان آبیاری شالیزارها می‌باشد، بنابراین سیستم شدیداً نیاز به استفاده از منابع دیگر تأمین‌کننده آب یعنی آبندان‌ها و آب زیرزمینی دارد (پورمحمد، ۱۳۹۰ و Nespak, 2009). به‌عنوان نمونه تشکل‌های B3-1-1، B3-1-2، B3-2 و همچنین تشکل C25-4، BMC2,3 دارای کمبودهای قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. موقعیت مکانی تشکل‌های نام‌برده، همچنین میزان تقاضای سالانه آنها نشان می‌دهد که با توجه به تقاضای نسبتاً اندک تشکل C25-4، معیار شبیه‌سازی تخصیص میزان آب، اولویت مکانی است، لذا این تشکل به علت اولویت مکانی کمتر قادر نخواهد بود نیاز خود را بطورکامل رفع نماید. حال آنکه در تشکل‌های B3-1-1، B3-1-2، B3-2 برغم اولویت مکانی بیشتر، همچنان کمبود مشاهده می‌شود که ناشی از تقاضای نسبتاً زیاد تشکل‌ها بوده و به گونه‌ای تخصیص مدیریت می‌شود که کمبودها را حداقل نماید. این روند کم و بیش در سایر تشکل‌ها نیز قابل مشاهده است.

۳-۲- شبیه‌سازی برداشت از آب زیرزمینی و آبندان

در مطالعهٔ حاضر برنامه‌ریزی منابع آب به گونه‌ای انجام شد تا هیچ کمبودی در تأمین آب مشاهده نشود یا میزان کمبودها را به حداقل برساند که بر همین اساس کمبود در شرایط تأمین حداقل ۸۵ درصد از نیازها در نظر گرفته شد (Hashimoto et al., 1982)، ضمن آنکه بخشی از نیازها که نمی‌توانند به تنهایی از منابع آب سطحی تأمین شوند از طریق آب‌بندان‌ها جبران و مابقی نیاز با برداشت از آبزیرزمینی در نظرگرفته شد. بر همین اساس هر تشکل نیاز آبی خود را علاوه بر آب شبکه، از آبندان و آب زیرزمینی موجود در منطقه تأمین نموده است (Nespak, 2009). از آنجایی که نیاز هر تشکل با بیش از یک منبع تأمین می‌شود، بنابراین بایستی اولویت تأمین را در نظر گرفت. مطابق آنچه ذکر شد آب‌های سطحی شبکه اولویت اول، آب‌بندان اولویت دوم و آب زیرزمینی اولویت سوم را دارد . همچنین ۴ تشکل C24-1، C25-2، C25-4وHATKI3 فاقد آب‌بندان است. با توجه به ناچیز بودن تخصیص‌ها در فصول غیرزراعی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی برای آبندان و آب زیرزمینی در فصل زراعی به تفکیک ماه‌های سال بر حسب میلیون متر مکعب در جدول ۴ آورده شده است:

این شبیه‌سازی بر این فرض استوار است که آب زیرزمینی مورد نیاز از سفره‌های آب زیرزمینی با کیفیت قابل قبولی پمپاژ می‌شوند (Nespak, 2009). نتایج حاصل از برداشت آب‌های زیرزمینی در جدول ۴ نشان می‌دهد که تشکل‌های B1-1، B3-2، HATKI1، BMC3 و B3-1-2 وابستگی زیادی به آب زیرزمینی دارند، حال آن‌که تشکل‌های رئیس‌کلا، C25-2، C25-3، C24-2 و B3-1-1 کمترین میزان آب زیرزمینی را برداشت می‌نمایند. نگاهی اجمالی به وضعیت آب زیرزمینی این تشکل‌ها و میزان ذخیرهٔ آن نیز نشان می‌دهد (جدول ۱) که در مناطقی که کمبودهای قابل ملاحظه‌ای مشاهده شده، وضعیت آب زیرزمینی چندان مطلوب نیست و میزان ذخیره آنها نسبتاً اندک است که بایستی در مصرف آب زیرزمینی آن به راهکارهای جدیدی اندیشید. همچنین مروری بر جدول ۴ نشان می‌دهد که تشکل‌های منطقه توسعه (C24-1,2 و C25-1,2,3,4) وابستگی بیشتری به آب زیرزمینی داشته و همانگونه که انتظار می‌رفت وضعیت آب‌های سطحی و آب‌بندان چندان بهبود نیافته است که با نتایج حاصل از گزارش‌های Nespak (2009) مطابقت دارد. در واقع آب‌بندان‌های این مناطق در کنترل آب‌های سطحی به خوبی عمل نکرده و حجم ذخیره در آنها رقم قابل ملاحظه‌ای نیست.

۳-۳- میزان تخصیص آب از مخازن

بررسی مخازن اصلی شبکه سد البرز و همچنین آبندان‌های پایاب سد البرز توسط مدل MIKEBASIN انجام شد. سد البرز با بیش از ۷۸٪ ذخیره آب، در اکثر فصول سال دارای آب می‌باشد و میزان حجم تخصیص نیافتهٔ آن نیز ناچیز بوده و به میزان ۲/۶۸۷ میلیون متر مکعب رهاسازی زیست محیطی هم دارد، حال آنکه آب‌بندان‌های شبکه اکثراً خالی شده است. همانطور که از جدول ۵ استنباط می‌شود، آب‌بندان‌های شبکهٔ آبیاری سد البرز همراه با آب-های سطحی منطقه، تأثیر بسزایی در رفع کمبودهای احتمالی دارند و سد البرز نیز به خوبی می‌تواند جریان‌های فصلی حوضهٔ بالادست خود را ذخیره نموده و در مواقع کم‌آبی با توجه به منحنی فرمان، رهاسازی لازم را انجام دهد.

جدول ۴- شبیه‌سازی برداشت از آب زیرزمینی و آب‌بندان‌ها (میلیون متر مکعب)

ماه‌ها	Sep		Aug		Jul		Jun		May		Apr		Mar	
تشکل	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی	آبندان	آب زیرزمینی
B1-1	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰	۲/۲	۰	۲/۷۲	۰	۰/۷۲	۰	۰	۰	۰
B3-1-1	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۵	۰	۲/۹۵	۰/۰۳	۳/۶	۰/۰۲	۱/۹۴	۰	۰/۰۵	۰	۰
B3-1-2	۰	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۶	۰/۰۱	۵/۳۱	۰/۰۳	۵/۶۴	۰/۰۴	۲/۴۸	۰	۰	۰	۰
B3-2	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۲/۴۹	۰/۱۶	۲/۷	۰/۱۵	۱/۲۸	۰	۰	۰	۰
BMC1	۰	۰/۰۲	۰	۰/۳۳	۰/۰۲	۵/۷۹	۰/۰۶	۶/۲۵	۰/۰۳	۳/۶۶	۰	۰/۰۸	۰	۰/۱۸
BMC2	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۱	۰	۰/۰۱	۰/۶۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰
BMC3	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۰/۴۴	۰/۰۸	۰/۹۹	۰/۰۳	۰/۱۹	۰	۰	۰	۰
C24-1	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
C24-2	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۹	۰	۴/۷۸	۰	۵/۷۹	۰	۲/۷۴	۰	۰/۰۶	۰	۰/۰۷
C25-1	۰	۰	۰	۰/۰۴	۰	۰/۶	۰	۰/۳۴	۰	۰/۲۲	۰	۰	۰	۰
C25-2	۰	۰	۰	۰/۰۷	۰	۴/۱۲	۰	۴/۴۶	۰	۰/۹۷	۰	۰	۰	۰
C25-3	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۲/۴	۰/۱۴	۳/۰۱	۰/۰۱	۰/۹۵	۰	۰	۰	۰
C25-4	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۹	۰	۵/۶۹	۰	۶/۴۷	۰	۲/۵۳	۰	۰/۰۷	۰	۰/۰۶
HATKI1	۰	۰	۰	۰	۰/۰۳	۳/۸۱	۰/۰۹	۴/۵۶	۰/۰۷	۰/۹۷	۰	۰	۰	۰
HATKI2	۰	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۶	۰/۶۶	۰/۰۶	۰	۰	۰	۰	۰
HATKI3	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰	۲/۵۳	۰	۲/۶۹	۰	۱/۹۷	۰	۰/۰۴	۰	۰/۱۴
Halidasht	۰	۰	۰	۲/۷۸	۰	۳/۲۳	۰	۱/۷۵	۰	۰/۰۲	۰	۰/۰۵	۰	۰
Raiskola	۰	۰	۰	۰/۱۱	۰	۰/۲۲	۰	۰/۰۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
TMC1	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۴۵	۰/۰۲	۱/۵۳	۰/۰۳	۰/۱۶	۰	۰	۰	۰
TMC2	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۹۹	۰/۰۳	۲/۷۵	۰/۰۴	۰/۵۴	۰	۰	۰	۰

جدول ۵- تخصیص آب از آب‌بندان‌های شبکهٔ آبیاری سد البرز در تشکل‌های آب‌بران با استفاده از مدل MIKEBASIN

تشکل‌های آب‌بران	درصد ذخیرهٔ نسبی (٪)	سطح آب (m)	حجم آب ذخیره شده (MCM)	آب تخصیص نیافته (MCM)
B1-1	۵۰/۸۴	۱/۵۱	۰/۰۶	۰
B3-1-1	۵۵/۲	۱/۵۵	۱/۰۸	۰
B3-1-2	۷۵/۵۵	۱/۴۵	۱/۶۲	۰
B3-2	۱۲/۳۹	۰/۹۵	۱/۷۴	۰
BMC1	۱۶/۸۴	۱	۰/۳۶	۰
BMC2	۱۷/۴۲	۱/۰۱	۰/۵۹	۰
BMC3	۱۱	۰/۹۳	۰/۸۳	۰
C24-2	۶۶/۴۶	۲/۱۹	۱/۳۶	۰
C25-1	۵۹/۲۲	۱/۸۷	۰/۵۵	۰
C25-3	۱۷/۰۲	۱	۰/۸۷	۰
HATKI1	۷۵/۶۶	۱/۴۹	۳/۰۷	۰
HATKI2	۶۳/۹۱	۱/۳۸	۲/۵۵	۰
Halidasht	۲۴/۹	۰/۹۴	۰/۰۵	۰
Raiskola	۷/۹۲	۱/۷۵	۰/۷۹	۰/۰۶
TMC1	۷۵/۵۹	۱/۷۵	۰/۷۹	۰/۰۶
TMC2	۷۷/۳۷	۱/۴۶	۰	۱/۲

جدول ۶- بیلان منابع آب در شبکهٔ آبیاری سد البرز (میلیون متر مکعب)

تشکل‌های آب‌بران	تقاضا	منابع آب سطحی	آب زیرزمینی	آبندان	کمبودهای احتمالی
مجموع	۴۶۰	۲۷۷/۰۲	۱۳۱/۰۱	۱/۹۲	۱۳/۵

۴-۳- نتایج کلی تخصیص آب در تشکل‌های آب‌بران شبکهٔ آبیاری سد البرز

با استناد به مطالب فوق و بررسی‌های صورت گرفته، می‌توان نتایج بیلان منابع آب کل شبکهٔ البرز را برآورد نمود. این نتایج در جدول ۶ بصورت میانگین ارائه شده است. با ارزیابی نحوهٔ تخصیص منابع آب در تشکل‌های آب‌بران شبکه آبیاری سد البرز، مشخص شد که از میان ۲۰ تشکل انتخابی محدودهٔ البرز، ۵ تشکل BMC2، B3-2، HATKI3، C25-3 و C25-4 علی رغم استفاده از تمامی منابع آبی در محدودهٔ طرح وجود داشت، قادر به تأمین تمامی نیازهای خود نیستند.

۴- خلاصه و جمع‌بندی

با ارزیابی نحوهٔ تخصیص منابع آب توسط مدل MIKEBASIN، می‌توان دریافت مجموع آب‌های سطحی که می‌تواند جوابگوی تقاضای تشکل‌ها باشد، برابر با ۲۷۷/۰۲ میلیون متر مکعب (۵۵٪) و میزان تأمین از آبندان‌ها و آب زیرزمینی به ترتیب برابر با ۱/۹۲ میلیون متر مکعب و۱۳۱/۰۱ میلیون متر مکعب بوده است که میزان کمبودهای برآورد شده با توجه به معیار ۸۵ درصد تأمین، ۱۳/۵میلیون متر مکعب است. مقایسه نحوهٔ تخصیص منابع آب توسط مدل مورد استفاده در این مطالعه با نتایج مطالعات قبلی (Nespak, 2009) نشان داد که علی‌رغم تفاوت بین مقادیر بیلان، نتایج دو تحقیق مذکور به میزان قابل توجهی با هم مطابقت دارند و تفاوت موجود ناشی از اختلاف سطوح مناطق آبخور می‌باشد. از سویی دیگر با توجه به اینکه عملکرد شبکهٔ آبیاری و زهکشی به تامین مصارف نقاط نیاز بستگی دارد، بر همین اساس با میزان تأمین حداقل ۸۵ درصد از نیازها، کمبودهای محاسبه شده در شبکهٔ حاضر اجتناب‌ناپذیر است و می‌توان عملکرد شبکهٔ حاضر را موفق ارزیابی نمود.

پی‌نوشت‌ها

1- Integrated water and land project
2- Irrigation management transfer
3- Participatory irrigation management
4- Decission Support system(DSS)
5- Alborz Integrated Land &Water Management Project
6- Danish Hydraulic Institute
7- Link- Node
8- Inflow
9- Outflow
10- Δ Storage
11- Rule Curve Reservoir
12- Allocation Pool Reservoir
13- Lake Reservoir
14- Reservoir Node
15- Bifurcation node

۵- مراجع

باقری هارونی م ح و مرید س (۱۳۹۲) مقایسه مدل‌های WEAP و MIKEBASIN در تخصیص سیستم‌های منابع آب، مطالعه موردی: رودخانه تالوار. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۰، شماره ۱:۱۶۸- ۱۵۱.

پورمحمد ی (۱۳۹۰) مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب مطالعه‌ی موردی حوزه سد البرز. پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته آبیاری و زهکشی، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

جاویدی- صباغیان ر، شریفی م ب و میان آبادی ح (۱۳۸۸) مدل‌سازی منابع و مصارف آب در حوضه‌های آبریز به کمک نرم‌افزار MIKEBASIN (مورد مطالعاتی حوضه آبریز اترک- استان گلستان). کنفرانس بین المللی منابع آب.

زارعی ز (۱۳۸۴) بررسی فاکتورهای مؤثر در مشارکت کشاورزان در تشکل‌های آب‌بران، استان اصفهان. دانشگاه تهران. تهران. پایانه نامه کارشناسی ارشد.

فتحیان ف و باقری هارونی م ح (۱۳۹۱) تخصیص سیستم منابع آب با مدل MIKEBASIN در سری‌های زمانی روندار و روندزدایی شده جریان رودخانه، حوضه صوفی چای. نشریه آب و خاک. جلد ۲۶، شماره ۲: ۳۹۱-۳۸۱.

Assaf H, van Beek E, Borden C, Gijsbers P, Jolma A, Kaden S, Kaltofen M, Labadie JW, Loucks DP,Quinn NW, Sieber J, Sulis A, Werick WJ and Wood DM (2008) Simulation models for facilitating stakeholder involment in water resource planning and management: A comparison, evaluation, and identification of future needs in environmental modelling, software and decision Support (3): The State of the Art and New Perspective, A.IDEA Book Series. 229-246.

Andru J, Capilaa J, Sanchis E (1996) Aquatool: a generalized DSS for Water resources planning and

Letcher RA, Croke BFW and Jakeman AJ (2007) Integrated assessment modeling for water allocation and management: A generalized conceptual framework. Enviromental Modelling& Software 22, 733-742.

Loucks DP, Stedinger J R and Haith DA (1981) Water resource systems planning and analysis. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Maneta, M, Torres M, Vosti S, Wallender W, Allen S, Bassoi LH, Bcnnett L, Howitt R, Rodrigues L and Young J (2006) Assessing agriculture-water links at basin scale: hydroeconomic model of the São Francisco River basin, Brazil. São Francisco hydro-economic model. Agricultural Water Management 96: 1191–1200.

McCartney MP, Arranz R (2007) Evaluation of historic, current and future water demand in the Olifants River Catchment, South Africa. Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute. IWMI Research Report 118.48p.

Nyabeze WR, Mallory S, Hallowes J, Mwaka B and Sinha P (2007) Determining operating rules for the Letaba river system south Africa using three models. Physics and Chemistry of the Earth. 43: 1040-1049.

Nespak (2009) Water balance analysis and system operation, Alborze Integrated Land and Water Management Project. IWREMS Consultants, National Engineering Services Pakistan and TarhTadbir Engineering Company.

Nishat B and Rahman SMM (2009). Water resources modeling of the ganges-brahmaputra-meghna river basins using satellite remote sensing. Water Resources Association (JAWRA), 45: 1313-1327

Pott AJ, van der Merwe RJ, Meier KB and Summerton MJ (2007) The Integration of ACRU and MIKE BASIN via a GIS Based Application

Perera BJC, James B, Kularathna MDU (2005) Computer software tool REALM for sustainable water allocation and management. J Environ Manage. 77:291–300.

Shyamsundar P, Araral E and Weeraratne S (2005) Devolution of Resource Rights, Poverty, and Natural Resource Management – A Review. The World Bank No. 104.

Yates D, Sieber J, Purkey D, Huber Lee A (2005) WEAP21 - a demand-, priority and preference driven water planning model. Water International 30:501-512.

Operational management, Journal of Hydrology. 177: 269-291.

Bangash RF, Passuello A, Hammond M and Schuhmacher M (2012) Water allocation assessment in low flow river under data scarce conditions: A study of hydrological simulation in Mediterranean basin. Science of the Total Environment 440: 60-71.

Chakravortya U, Umetsu C (2003) Basinwide water management: a spatial model. Environmental Economics and Management 45:1–23.

DHI (2003) MIKEBASIN aversatile decision support tool for water resource Management planning, guide to getting started tutorial. Danish HydrualicInstitu, Denmark.

Ershadi A, H Khiabani And Lorup JK (2005) Applications of remote sensing, GIS and river basin modelling in integrated water resource management of Kabul river basin. ICDI 21st European Regional Conference.

Fredericks JW, Labadie JW, Altenhofen JM. (1998) Decision support system for conjunctive stream-aquifer management. J Water Res Pl-ASCE 124:69–78.

Garces-Restrepo C, Munoz G and Vermillion D (2007) Irrigation management transfer-worldwide efforts and result. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 32.

Hashimoto T, Stendinger JR and Loucks DP 1982. Reliability, resiliency, and vulnerability criteria for water resources system performance evaluation. Water Resources Research. 18: 1. 14-20.

Ireson A, Makropoulos C and Maksimovic C (2006) Water resources modelling under data scarcity: coupling MIKE BASIN and ASM groundwater model. Water Resources Management 20: 567–590.

Jha MK and Gupta AD (2003) Application of MIKEBASIN for water management strategies in a watershed. International Water Resources Association. 28:27-35

Kazbekov J, Abdullaev I, Manthrithilake H, Qureshi A and Jumaboev K (2009) Evaluating planning and delivery performance of Water User Associations (WUAs) in Osh Province, Kyrgyzstan. Agricultural Water Management 96: 1259–1267

Kjelds J, Jacobsen T, HughesJ and Krejcik J (2004) Decision support tools for intefrated water resources management. DHI Water & Environment, AgernAlle 5, 2970 Hørsholm, Denmark. International Congress on River Basin Management.