مجله علمی – پژوهشی
عمران مـــــدرس
دوره پانزدهم، ویژه نامه، تابستان ۱۳۹٤

ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی و یکپارچه در شبیه-سازی متوسط روزانه دبی جریان درحوضه آبریز رودخانه قره‌سو-اردبیل

مریم افخمی[۱]، فرزین نصیری صالح[۲*]

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و مخیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲. استادیار، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

Nasiri_f@modares.ac.ir

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۲/۱۸] تاریخ پذیرش: [۱۳۹٤/۱/۲٦]

چکیده– در این مطالعه، عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی MIKE SHE و یکپارچه MIKE NAM برای شبیه‌سازی متوسط روزانه دبی در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو با مساحت حدود ٤۱۰۰ کیلومتر مربع واقع در استان اردبیل ارزیابی و مقایسه شده است. به منظور اطمینان از شبیه‌سازی صحیح فرآیندهای هیدرولوژیکی به وسیله‌ی هر دو مدل، دبی شبیه‌سازی شده با دبی مشاهداتی مربوط به ایستگاه هیدرومتری سامیان واقع در خروجی حوضه آبریز برای سال ۲۰۰۳ کالیبره و برای سال ۲۰۰٤ صحت سنجی و با بهره‌گیری از معیارهای ارزیابی دقت، مقایسه شده‌اند. برای ارزیابی کارایی مدل در دوران واسنجی و صحت سنجی از معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، انحراف استاندارد باقی مانده‌ها (STDres)، ضریب همبستگی (r) ،ضریب بازده همبستگی نش- ساتکلیف (E)، خطای برآورد دبی بیشینه و خطای برآورد زمان اوج بهره گرفته شده است. بر اساس معیار بازده کارایی مدل در دوران واسنجی و صحت سنجی که به ترتیب مقادیر ۷۱ و ٦۳ درصد را به خود اختصاص داده‌اند؛ نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل توزیعی MIKE SHE نشان می‌دهد که این مدل قابلیت مناسبی در شبیه سازی دبی متوسط روزانه جریان در مقیاس حوضه آبریز دارد. همچنین مقدار ضریب بازده ۸۳ و ٦۰ درصد به ترتیب برای دوران واسنجی و صحت سنجی نشان می‌دهد که مدل یکپارچه MIKE NAM در شبیه سازی دبی متوسط روزانه جریان در مقیاس حوضه آبریز قابلیت مناسبی دارد. البته با توجه به ضریب بازده محاسبه شده در دوره صحت‌سنجی، مدل توزیعی MIKE SHE نسبت به مدل یکپارچه MIKE NAM، عملکرد بهتری را داشت.

واژگان کلیدی:متوسط روزانه دبی جریان، مدل توزیعیMIKE SHE، مدل یکپارچه MIKE NAM، حوضه آبریز رودخانه قره سو– اردبیل.

۱– مقدمه

مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز از نظر نمایش مکانی به سه دسته‌توزیعی[۱]، نیمه توزیعی[۲] و یکپارچه[۳] تقسیم می‌شوند. به طور کلی در مدل‌های توزیعی، ابتدا کل حوضه آبریز به شبکه‌های مربعی یا المان‌های کوچک تقسیم شده و سپس معادلات برای متغیرهای حالت مرتبط با هر المان حل می‌شوند. در این دسته از مدل‌ها، مقدار هر پارامتر

1. Distributed
2. Semi-Distributed
3. Lumped

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

مؤثر بر حوضه برای هر المان به طور جداگانه در نظر گرفته می‌شود. در مدل‌های یکپارچه، حوضه آبریز به صورت یک واحد یکپارچه در نظر گرفته شده و پارامترهای مؤثر بر حوضه با مقادیر متوسط آن لحاظ می‌شوند. به شکل کلی، یک مدل یکپارچه به وسیله‌ی معادلات جبری دیفرانسیلی یا تجربی بیان می‌شود؛ به گونه‌ای که تغییرات مکانی فرآیندها، ورودی‌ها، شرایط مرزی و ویژگی‌های هندسی سیستم (حوضه) را مدنظر قرار نمی‌دهد. مدل‌های نیمه توزیعی برای در نظر گرفتن مزیت مدل‌های توزیعی و یکپارچه پیشنهاد شده‌اند. این مدل‌ها توزیع پیوسته و مکانی از متغیرهای حالت را نشان نمی‌دهند اما قادرند ویژگی‌های مهم حوضه را نشان دهند[۱]. به کارگیری مدل‌های توزیعی هنگامی سودمند است که اطلاعات گسترده‌ای از حوضه آبریز مانند هدایت هیدرولیکی خاک، پوشش گیاهی، شیب و غیره در دسترس باشد زیرا این نوع از مدل‌ها به داده-های ورودی وسیعی برای شبیه سازی نیاز دارند. البته از مزایای مهم مدل MIKE SHE علاوه بر توزیعی بودن آن می‌توان به این مورد اشاره کرد که چون بیشتر الگوریتم‌های توصیف کننده حرکت‌های آب در این مدل، بر پایه فرآیندهای فیزیکی(بهره-گیری از قوانین بقای جرم و ممنتوم)است؛ باعث می‌شود تا بنابر اهداف مورد استفاده، نتایج دقیق‌تری به دست آیند. همچنین ساختار مدولار مدل MIKE SHE باعث می‌شود تا ارتباط بین فرآیندهای مختلف مربوط به شبیه سازی فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی آسان‌تر امکان‌پذیر باشد. در مقابل، مدل یکپارچه MIKE NAM داده‌های مربوط به انواع کاربری اراضی، پوشش سطحی و ویژگی‌های پروفیل خاک را در نظر نمی‌گیرد؛ بنابر این در تمام مسائل هیدرولوژیکی نمی-توان از این مدل استفاده کرد و بیشتر کاربرد آن برای شبیه-سازی بارش – رواناب است. البته به دلیل آن‌که به ورودی های کمتری برای شبیه‌سازی نیاز دارد؛ زمان کمتری را صرف شبیه-سازی می‌کند بنابراین نتایج با سرعت بیشتری به دست خواهند آمد. تاکنون در پژوهش‌های مختلفی در دنیا از مدل‌های توزیعی MIKE SHE و یکپارچه MIKE NAM برای بررسی مسائل گوناگون مطرح در هیدرولوژی استفاده شده است. مادسن (۲۰۰۰) در پژوهشی واسنجی خودکار مدل بارش–رواناب و مفهومی MIKE NAM را با استفاده از روش اهداف چندگانه بررسی کرد. هدف اصلی او در این پژوهش، فرموله کردن استراتژی کالیبراسیون خودکار مدل MIKE NAM و بررسی جنبه‌های متفاوت هیدروگراف برای بهینه‌سازی اهداف چندگانه شامل بررسی و اندازه‌گیری تعادل آب، شکل هیدروگراف، دبی اوج جریان‌ها و کمینه مقدار جریان‌ها بود[۲]. شمس الدین و هاشم (۲۰۰۲) با استفاده از مدل یکپارچه بارش- رواناب MIKE NAM، حوضه آبریزی در مالزی را شبیه‌سازی کردند. نتایج کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل بر اساس دبی مشاهداتی و نیز برآورد شاخص کارایی مدل به میزان ۰/۷۵ و مجذور مربعات خطا به میزان ۰/۰۸ نشان داد که این مدل قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی حوضه آبریز با اقلیم مرطوب را داراست[۳]. جورجیتا (۲۰۰۵)در پژوهشی، مدل بارش– رواناب MIKE NAM را برای محاسبه بیلان آب در حوضه آبریزی در لیتوانی به کاربرد. او در این پژوهش، اثر داده‌های ورودی بر میزان عدم قطعیت نتایج و خروجی‌های مدل و نیز امکان انتقال پارامترهای مدل به حوضه‌های فاقد آمار را بررسی کرد[٤]. مسله و حبیب (۲۰۰۵) در پژوهشی، کارایی مدل‌های توزیعی فیزیک بنیان و مدل‌های مفهومی را بررسی کرده و تأثیر تغییرات مکانی و زمانی نمونه‌های بارش بر این مدل‌ها را ارزیابی کردند. آن‌ها برای انجام این بررسی از مدل توزیعی MIKE SHE و مدل مفهومی و یکپارچهHMS (Hydrologic Modelling System) استفاده کردند. نتایج به دست آمده از این مدل‌سازی نشان داد که مدل MIKE SHE نسبت به تغییرات مکانی و زمانی بارش حساس‌تر است که این امر نشان دهنده دقت بالاتر این مدل نسبت به مدل یکپارچه HMS می‌باشد[۵]. الزاسر و همکاران (۲۰۰٦) با استفاده از مدل بارش- رواناب MIKE NAM به بررسی اثر تغییر اقلیم به ویژه تغییر در بارش و افزایش دما بر تعادل آب و پاسخ هیدرولوژیکی حوضه آبریزی در ایرلند پرداختند. آن‌ها دریافتند که این مدل کارایی خوبی در مدل سازی تغییرات بارش- رواناب در اثر تغییرات اقلیمی دارد[٦]. مک مایکل و همکاران (۲۰۰٦) با استفاده از مدل MIKE SHE، جریان ماهانه را در یک حوضه آبریز نیمه خشک در بخش مرکزی کالیفرنیا تخمین زدند. همچنین آنان با استفاده

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

از این مدل، آثار عدم قطعیت در داده‌های ورودی شاخص سطح برگ (LAI) را نیز بررسی کردند[۷]. جنیسک (۲۰۰۷) در یک مقاله مروری به مقایسه برخی از مدل‌های هیدرولوژیکی که در مدل سازی فرآیند بارش- رواناب کاربرد دارند؛ پرداخت. او در این مقاله علاوه بر معرفی و مقایسه مدل‌ها، بر این نکته تأکید کرد که یکی از کاربردهای مدل بارش– رواناب، محاسبات مربوط به بیلان آب در حوضه آبریز است. یکی از مدل‌هایی که ویژگی‌های آن در این مقاله مورد توجه قرار گرفته بود؛ مدل مفهومی و توزیعی MIKE SHE است. نکته مثبت این مدل، جامع بودن آن بیان شده است که در واقع قادر است فرآیندهای اصلی مربوط به فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی را مدل کند[۸]. ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) به ارزیابی عملکرد مدل MIKE SHE در شبیه‌سازی حوضه آبریزی در غرب چین پرداختند. هدف نهایی ایشان از این مدل سازی، بررسی فرآیند بارش- رواناب در حوضه مورد نظر بود[۹]. دالگریس و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل MIKE NAM، آب سطحی و فرآیند بارش- رواناب را در حوضه آبریزی در یونان شبیه سازی کردند تا بتوانند به این طریق ظرفیت‌های اکوسیستم منطقه را شناسایی و روش‌های حفظ و نگه‌داری جنگل‌ها و مناطق ساحلی را بررسی نمایند[۱۰]. ویجسکارا و همکاران (۲۰۱۲) نیز مدل هیدرولوژیکی MIKE SHE را در حوضه آبریزی در جنوب کانادا برای شبیه‌سازی دبی رودخانه البو به کار گرفتند. آن‌ها با مقایسه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دبی رودخانه نشان دادند که این مدل کارایی بسیار بالایی در شبیه‌سازی دبی در حوضه آبریز دارد[۱۱]. با وجود مزایای گفته شده؛ در برخی از مواقع برتری مدل‌های پیچیده برپایه فیزیکی تنها در حد فرضیه بوده و ارزیابی‌های کافی در این زمینه انجام نشده است. بنابراین لازم است این‌گونه مدل‌ها برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز گوناگون با ویژگی‌های مختلف مورد استفاده قرار گیرند تا کارایی آن‌ها در مقایسه با سایر مدل‌های هیدرولوژیکی از جمله مدل‌های یکپارچه مشخص شود. البته قابل گفتن است که ارزیابی مقایسه عملکرد مدل‌های توزیعی MIKE SHE و یکپارچه MIKE NAM در شبیه سازی دبی روزانه جریان تا این لحظه در هیچ یک از مقالات داخلی و خارجی نیز ارائه نشده است.

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی عملکرد مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی MIKE SHE و یکپارچه NAM MIKE در شبیه‌سازی متوسط روزانه دبی جریان در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو است. این حوضه با مساحت حدود ٤۱۰۰ کیلومتر مربع در استان اردبیل واقع شده است. از داده‌های دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری سامیان واقع در خروجی حوضه در سال ۲۰۰۳ برای واسنجی و از داده‌های سال ۲۰۰٤ برای صحت‌سنجی مدل‌ها استفاده شده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- معرفی مدل توزیعی MIKE SHE

مدل MIKE SHE، یک مدل توزیعی، قطعی و با اساس فیزیکی می‌باشد که قادر است تمام فرآیندهای مربوط به فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی کند. این مدل به وسیله‌ی سه مرکز اروپایی مشتمل بر انستیتو هیدرولیک دانمارک، انستیتو هیدرولوژی انگلستان و شرکت فرانسوی سوگره[1]، ایجاد و به وسیله‌ی کمیسیون جوامع اروپایی حمایت شده است. هم اکنون شرکت دانمارکی DHI ارائه دهنده این مدل است[۱۲]. ویژگی توزیعی مدل این امکان را فراهم می‌سازد تا توزیع مکانی پارامترهای حوضه آبریز، متغیرهای اقلیمی و پاسخ هیدرولوژیکی از طریق شبکه‌های متعامد و ستونی از لایه‌های افقی در هر مربع شبکه، صورت گیرد. این مدل، ساختار مدولار دارد و شامل دو مدول اصلی حرکت آب[2] و کیفیت آب[3] است. ساختار مدولار، داده‌ها را قادر می‌سازد تا بین مؤلفه‌ها مبادله شوند و نیز می‌توان مؤلفه‌های جدید به مدل افزود. در این مطالعه از مدول حرکت آب برای شبیه سازی فرآیندهای مربوط به فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی استفاده شده است که این مدول، خود مؤلفه‌های مختلفی دارد و هر مؤلفه، بخش مشخصی از این فرآیند

1. SOGREAH
2. Water Movement (WM)
3. Water Quality

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

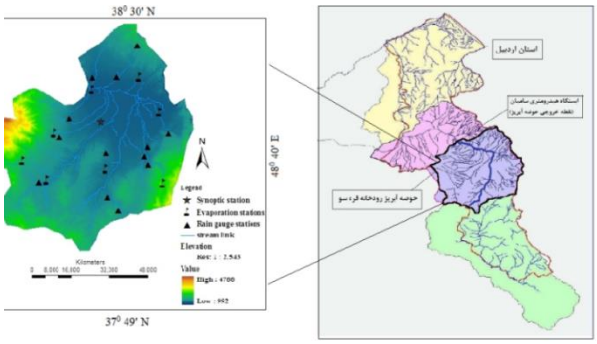
فیزیکی را توصیف می‌کند[۱۲]. در این مدل، تبخیر و تعرق با استفاده از روش کریستنسن – ینسن[1] و بخش غیر اشباع که در آن فرآیندهای نفوذ و بازتوزیع آب خاک صورت می‌گیرد؛ با استفاده از معادله ریچارد[2]، مدل می‌شود. از معادلات کامل سن ونانت[3] نیز برای تعیین رواناب سطحی به جای روش عدد منحنی SCS استفاده می‌شود. همچنین ذوب برف نیز شبیه‌سازی می‌شود[۱۳].

۲-۲- معرفی مدل یکپارچه MIKE NAM

مدل MIKE NAM، یک مدل قطعی، یکپارچه و مفهومی برای شبیه‌سازی فرآیند بارش - رواناب است که مانند مدل MIKE SHE به وسیله‌ی شرکت دانمارکی DHI ارائه شده است. این مدل، اجزای مختلف این فرآیند را به وسیله‌ی محاسبات پیوسته مقدار آب در چهار مخزن متفاوت و وابسته به هم که هر یک نماینده مؤلفه‌های فیزیکی متفاوتی از حوضه آبریز است؛ در نظر می‌گیرد. این مخازن عبارتند از: ۱) مخزن برف ۲) مخزن سطحی آب ۳) مخزن بخشریشه ٤) مخزن آب زیرزمینی. در این مدل به صورت پیش فرض ۹ پارامتر شامل بیشترین مقدار آب در مخزن سطحی[4]،بیشترین مقدار آب در مخزن ریشه[5]، ضریب رواناب جریان سطحی[6]، ثابت زمانی برای جریان داخلی[7]، ثابت زمانی برای روندیابی جریان سطحی[8]، مقدار آستانه بخش ریشه برای جریان سطحی[9]، مقدار آستانه بخش ریشه برای جریان داخلی[10]، مقدار آستانه بخش ریشه برای دبی آب زیرزمینی[11] و ثابت زمانی برای مسیر جریان پایه[12] که به طور کلی نشان دهنده مخازن بخش سطحی، بخش ریشه و بخش آب زیرزمینی است؛ فعال است. علاوه بر این ۹ پارامتر، می‌توان پارامترهای دیگری را نیز در مدل MIKE NAM فعال نمود تا مواردی همچون ذوب برف نیز در شبیه‌سازی لحاظ شود[١٤].

۲-۳- معرفی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو – اردبیل

حوضه آبریز رودخانه قره‌سو دارای مساحتی حدود ٤١٠٠ کیلومترمربع است. این محدوده، از شرق با استان گیلان واز طرف شمال غرب و غرب با محدوده مطالعاتی مشگین و از طرف جنوب نیز با محدوده مطالعاتی خلخال و طارم مجاورت دارد. مختصات جغرافیایی منطقه، '٤٥ ^{0}٤٧ تا '٤٠ ^{0}٤٨ طول شرقی و '٤٩ ^{0}٣٧ تا '٣٠ ^{0}٣٨ عرض شمالی، در قسمت شمال غربی ایران واقع شده است. در شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز رودخانه قره سو در نقشه استان اردبیل مشخص شده است. ارتفاع بلندترین نقطه (قله کوه سبلان) نسبت به سطح دریا برابر ٤٧٨٨ متر و ارتفاع پست ترین نقطه واقع در حوالی پل سامیان برابر ۱۲۰۰ متر می‌باشد.در این پژوهش از آمار و اطلاعات ۱۲ ایستگاه باران سنجی، ۷ ایستگاه تبخیرسنجی، ۱ ایستگاه سینوپتیک و ۱ ایستگاه هیدرومتری استفاده شده است.براساس اطلاعات هواشناسی موجود در دوره آماری ۳۰ ساله، میزان بارش در دراز مدت ۲۸٤/۳ میلی‌متر بوده و دمای متوسط سالانه دراز مدت در ایستگاه سینوپتیک اردبیل ۸/۹ درجه سانتی‌گراد، کمینه حرارت ۳۳/۸- درجه سانتی‌گراد و بیشینه حرارت ۳۹ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. بخش عمده کاربری اراضی منطقه از نوع علفزار[13] و گندم زار[14] است[۱۵].



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه قره سو در استان اردبیل

4.Kristensen- Jensen Method
2. Richard Equation
3. Saint – Venant Equations
4. Maximum Water Content in Surface Storage
5. Maximum Water Content in Root Zone Storage
6. Overland Flow Runoff Coefficient
7. Time Constant for Interflow
8. Time Constants for Routing Overland Flow
9. Root Zone Threshold Value for Overland Flow
10. Root Zone Threshold Value for Inter Flow
11. Root zone threshold value for ground water recharge
12. Time constant for routing baseflow

13. Grassland
14. Cropland/Natural Vegetation

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

۲-٤- داده‌های ورودی به مدل MIKE SHE

به شکل کلی مدل توزیعی MIKE SHE، نیازمند سه دسته اطلاعات به عنوان ورودی اولیه به مدل است. دسته اول داده-های رقومی بوده که شامل اطلاعاتی راجع به خصوصیات فیزیکی منطقه مانند وضعیت توپوگرافی، کاربری اراضی و بافت خاک منطقه است. در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه مورد مطالعه، مدل توزیعیMIKE SHE از اطلاعات رقومی برای استخراج پارامترهای مدل به صورت توزیعی در کل حوضه استفاده می‌کند. دسته دوم، نقشه‌های مربوط به توزیع ایستگاه-های باران سنجی، تبخیرسنجی و دماسنجی و دسته سوم شامل داده‌های ثبت شده به وسیله‌ی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری است.داده‌های بارش مورد نیاز، مجموع باران و آب معادل برف است، که از ۱۲ ایستگاه باران سنجی، به دست آمده است. داده‌های مربوط به تبخیر و تعرق و دمای منطقه نیز از ۷ ایستگاه تبخیرسنجی تهیه شده است. چون در منطقه تنها یک ایستگاه سینوپتیک وجود دارد؛ داده‌های توزیعی مربوط به دما از ایستگاه‌های تبخیرسنجی تهیه شده‌اند.این مدل قادر است تا داده‌ها را به صورت ساعتی، دقیقه‌ای و حتی ثانیه‌ای بگیرد اما به دلیل آنکه داده‌ها در ایستگاه‌های هواشناسی به صورت روزانه تهیه شده‌اند پس در مدل‌سازی از داده‌های روزانه استفاده شده است. برای بررسی تغییرات توپوگرافی حوضه، از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM)[1] که از نقشه DEM ایران با دقت تفکیک پذیری شبکه مربعی ۹۰ متری استخراج شده؛ استفاده شده است .نقشه‌های کاربری اراضی و بافت خاک منطقه مطالعاتی از تصاویر ماهواره‌ای AVHRR[2] یک کیلومتری به دست آمده-اند. این نقشه‌ها نیز به صورت رقومی با اندازه شبکه ۹۰ متر تبدیل شده‌اند. در نقشه کاربری اراضی از سیستم طبقه‌بندی IGBP[3] برای تعیین مشخصات نوع پوشش استفاده شده است.برای هر یک از انواع اراضی، مدل به شاخص سطح برگ[4] (LAI) و عمق ریشه[5] (RD) نیاز دارد. مقادیر این پارامترها به فایلی که در آن ویژگی‌های پوشش گیاهی با فرمت خاص مدل توزیعی MIKE SHE تعریف می‌شود؛ وارد می‌شود.با توجه به تصاویر ماهواره‌ای، نوع خاک در حوضه آبریز رودخانه قره‌سو شامل سه نوع خاک در طبقه‌بندی USDA[6] است. بر اساس نوع خاک، بسیاری از ویژگی‌های هیدرولیکی خاک مانند هدایت هیدرولیکی، تخلخل، ظرفیت زمین[7]، نقطه پژمردگی[8]، رطوبت باقی‌مانده[9] و شاخص توزیع تخلخل[10] به عنوان پارامترهای تعیین می‌شوند. درمدل MIKE SHE از معادلات ون گنوختن[11] برای تعیین و توصیف هدایت هیدرولیکی و منحنی باقیمانده[12]در سری‌های خاک استفاده می‌شود. پارامترهای مدل معادله ون گنوختن به عنوان ورودی به مدل وارد می‌شوند که شامل مقدار رطوبت اشباع شده (θ_{sat})، مقدار رطوبت باقیمانده (θ_r)، هدایت هیدرولیکی اشباع شده (K_s)، α و n می‌باشند در این رابطه، α (cm^{-1}) و n فاکتورهای شکل منحنی هستند[۱۲].

۲-۵- داده‌های ورودی به مدل MIKE NAM

برخلاف مدل توزیعیMIKE SHE، این مدل تنها از سری‌های زمانی بارش، تبخیروتعرق پتانسیل، دما و نیز از پارامترهایی که در بخش معرفی مدل MIKE NAM توضیح آن بیان شد؛ برای شبیه‌سازی حوضه آبریز استفاده می‌کند. به شکل خلاصه می-توان گفت که داده‌های پایه مورد نیاز برای مدل MIKE NAM شامل پارامترهای مدل، شرایط اولیه، داده‌های هواشناسی و داده‌های هیدرومتری (برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل) است. از آنجا که مدل MIKE NAM یک مدل یکپارچه است؛ حوضه را به صورت یک واحد منفرد در نظر می‌گیرد؛ بنابراین پارامترها و متغیرها، بیانگر متوسط هر مقدار در کل حوضه است. برخی از پارامترهای مدل را می‌توان از داده‌های موجود و شرایط فیزیکی حوضه به دست آورد. اما پارامترهای نهایی باید از طریق واسنجی و با استفاده از داده‌های مشاهداتی به دست آیند[۱٦].

1. Digital Elevation Model (DEM)
2. AVHRR: Advanced Very High Resolution Radiometer
3. IGBP: International Geophere – Biosphere Program
4. Leaf Area Index
5. Rooting Depth
6. U.S. Department of Agriculture
7. Field Capacity
8. Wilting point
9. Residual moisturs
10. Pore size distribution index
11. Van Genuchten Equations
12. Retention curve

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

جدول (۱) معیارهای ارزیابی مدل‌ها برای شبیه‌سازی دبی جریان

معیار	روش محاسبه
خطای برآورد دبی حداکثر	$P_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left\lvert \frac{(P_{si}-P_{oi})}{P_{oi}} \right\rvert}{N} \times 100$
خطای برآورد زمان دبی اوج	$T_e = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lvert (T_{si}-T_{oi}) \rvert}{N}$
ریشه میانگین مربعات خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-Q_{oi})^2}{N}}$
انحراف استاندارد باقی مانده‌ها	$STDres = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-Q_{oi}-\bar{E})^2}{N}}$
ضریب همبستگی	$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o}).(Q_{si}-\overline{Q_s})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_o})^2 . \sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-\overline{Q_s})^2}}$
بازده همبستگی نش – ساتکلیف	$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-Q_{si})^2}{\sum_{i=1}^{N}(Q_{oi}-\overline{Q_s})^2}$

P_{si}: دبی اوج شبیه سازی شده درگام زمانی i ام، P_{oi}: دبی اوج مشاهداتی درگام زمانی i ام، T_{si}: زمان اوج دبی شبیه سازی شده درگام زمانی i ام، T_{oi}: زمان اوج دبی مشاهداتی درگام زمانی i ام، Q_{si} : دبی جریان شبیه سازی شده (m^3/s) درگام زمانی i ام، Q_{oi}: دبی جریان مشاهداتی (m^3/s) درگام زمانی i ام، $\overline{Q_s}$: میانگین داده‌های شبیه سازی شده، $\overline{Q_o}$: میانگین داده‌های مشاهداتی، $\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(Q_{si}-Q_{oi})}{N}$، n: تعداد اوج‌ها و N : تعداد مقادیر مشاهده‌ای.

۲-۶- واسنجی و صحت‌سنجی

در این پژوهش برای واسنجی، مدل‌ها به گونه‌ای تنظیم شده‌اند که تا حد امکان نتایج دبی شبیه‌سازی شده در خروجی حوضه با دبی مشاهداتی در آن محل که در این پژوهش ایستگاه هیدرومتری سامیان است؛ یکسان باشند. به دلیل تعداد زیاد داده‌های گمشده در ایستگاه‌های ثبت بارش و تبخیر و عدم قطعیت حاصل از آن، به ناچار برای کالیبراسیون مدل‌ها دوره آماری انتخاب شده است که تعداد داده‌های گمشده کمتری داشته است. به همین منظور از داده‌های مربوط به سال ۲۰۰۳ استفاده شده است. برای تعیین دقت و خطای مدل‌ها در شبیه-سازی دبی از معیارهای معرفی شده در جدول (۱) استفاده شده است. بر اساس این مقایسه‌ها و ارزیابی‌ها، تعدیل پارامترها به منظور بهبود کارایی مدل انجام می‌شود. برای تأیید اعتبار نتایج به دست آمده در دوره واسنجی در هر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی بایستی مدل برای دوره زمانی دیگری به جز دوره زمانی واسنجی صحت سنجی شود. در واقع با ثابت نگه داشتن مقادیر پارامترهای واسنجی شده، مدل در دوره زمانی دیگری دوباره اجرا می‌شود تا نتایج قبلی اعتبارسنجی شوند. در این پژوهش، هر دو مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی مربوط به دبی خروجی از حوضه که از ایستگاه هیدرومتری سامیان به دست آمده؛ برای دوره زمانی سال ۲۰۰٤ که تعداد داده های گمشده بسیار کمتری نسبت به سایر سال‌های آماری داشت؛ صحت سنجی شده‌اند.

۳- نتایج و بحث

برای ارزیابی توانایی مدل‌های به کار رفته در این پژوهش برای شبیه‌سازی متوسط دبی روزانه جریان، دبی خروجی شبیه سازی شده با دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری سامیان واقع در خروجی حوضه آبریز رودخانه قره سو مقایسه شده‌اند که جداول آن در ادامه آمده است.

۳-۱- شبیه‌سازی متوسط دبی روزانه جریان با استفاده از مدل توزیعی MIKE SHE

شکل (۲) بیانگر هیدروگراف دبی خروجی شبیه‌سازی شده به همراه دبی خروجی مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری سامیان، در دوران واسنجی و صحت‌سنجی است. برای انجام واسنجی مدل توزیعی MIKE SHE، ابتدا پارامترهای مربوط به خاک منطقه با استفاده از واسنجی خودکار و پارامترهای مربوط به تبخیر و تعرق و برگاب با استفاده از واسنجی دستی، واسنجی و سپس پارامترهای مربوط به ذوب برف و ظرفیت نگهداشت واسنجی شده‌اند. طبق بررسی‌های انجام شده در حین فرآیند واسنجی، مدل به پارامترهای مربوط به خاک از جمله ضریب هیدرولیکی خاک حساسیت بیشتری نشان داد. برای بررسی کارایی مدل توزیعیMIKE SHE معیارهای ارزیابی محاسبه و نتایج آن در جدول (۲) ارائه شده است. بررسی مقادیر ارائه شده در جدول (۲) و شکل (۲) نشان می‌دهند باوجود آن‌که معیار بازده نش- ساتکلیف، بازده مناسبی را در مدت دوره واسنجی نشان می‌دهد اما در برخی از زمان‌های مربوط به این دوره، اختلافاتی میان دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی مشهود است. برخی از این اختلافات را می‌توان در اثر عدم ثبت دقیق داده‌ها به وسیله‌ی دستگاه‌های اندازه‌گیری دانست. در

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

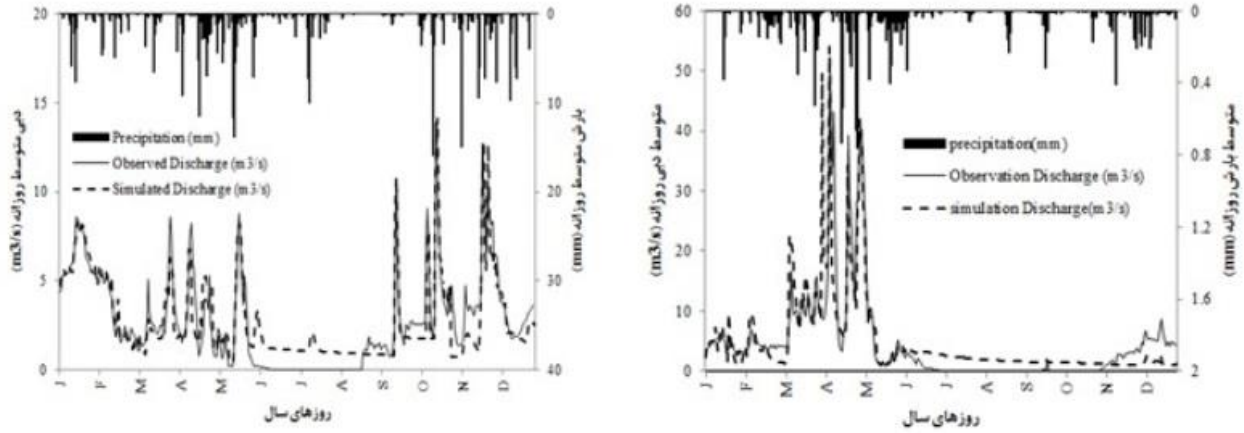
گزارش‌های دبی روزانه در ایستگاه سامیان در سال ۲۰۰۳ مشاهده می‌شود که مقدار دبی از اواخر بهار تا اوایل پاییز، در بیشتر روزها صفر گزارش شده است. یکی از دلایل عدم هماهنگی داده‌ها در تابستان می‌تواند برداشت آب باشد. طبق گزارش سازمان هواشناسی استان اردبیل، در روستاهای مجاور رودخانه قره‌سو از آب این رودخانه برای مصارف گوناگون برداشت می‌کنند که این امر باعث می‌شود تا در برخی از تابستان‌ها آبدهی رودخانه در خروجی حوضه به مقدار صفر تقلیل یابد. از آنجا که در مدل MIKE SHE حالتی برای در نظر گرفتن مصارف برداشتی از رودخانه وجود ندارد بنابراین اختلاف میزان دبی در این زمان از واسنجی میان داده‌های شبیه-سازی شده و مشاهداتی احتمالاً به این دلیل قابل توجیه است. همچنین به دلیل در نظر نگرفتن شرایط خاک یخ زده در مدل، در فصول سرد و یخبندان، علی رغم یخ زده بودن خاک و در نتیجه کاهش نفوذپذیری، مدل این حالت را در نظر نگرفته و در نتیجه باعث می‌شود تا رواناب کمتری را نسبت به رواناب ثبت شده، شبیه سازی کند. همچنین این مدل دماهای متوسط روزانه را در یک زمان خاص از روز در نظر گرفته و آن دماها را به صورت خطی درونیابی می‌کند. بنابراین مدل نمی‌تواند به خوبی باران و برف را از هم تفکیک کند به همین خاطر پیک رواناب مشاهداتی با پیک رواناب شبیه سازی شده دارای اختلاف است.

جدول (۲) معیارهای ارزیابی کارایی مدل MIKE SHE در شبیه‌سازی دبی مبه وسیله‌ی جریان

معیار ارزیابی	دوره واسنجی	دوره صحت سنجی
(%) Pe	۳٦/۰۸	۱۱/۳۸
(day) Te	۱/۲۹	۱/٦۷
(m^3/s) RMSE	٤/۰٥۷۱	۱/٥۹۸
(m^3/s) STDres	٤/۰٥۲۳	۱/٦
r	۰/۸٥	۰/۸۰
E	۰/۷۱	۰/٦۳

۳-۲- شبیه‌سازی متوسط دبی روزانه جریان با استفاده از مدل یکپارچه MIKE NAM

شکل (۳)بیانگر هیدروگراف دبی خروجی شبیه‌سازی شده به همراه دبی خروجی مشاهداتی در ایستگاه هیدرومتری سامیان، در دوران واسنجی و صحت‌سنجی است. برای بررسی کارایی مدل یکپارچه MIKE NAM معیارهای ارزیابی محاسبه و نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. بررسی مقادیر ارائه شده در جدول (۳) و شکل (۳) نشان می‌دهند در این مدل نیز.

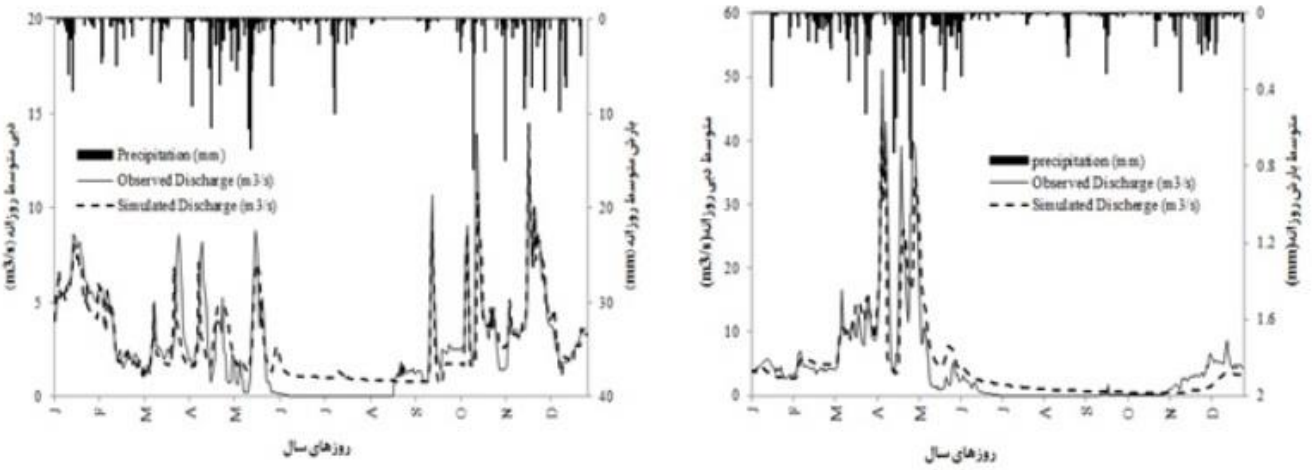


(الف) دوره واسنجی (۲۰۰۳)

(ب) دوره صحت سنجی (۲۰۰۴)

شکل (۲) مقایسه هیدروگراف دبی شبیه سازی شده با استفاده از مدل MIKE SHE و دبی مشاهداتی

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]



(الف) دوره واسنجی (۲۰۰۳) (ب) دوره صحت سنجی (۲۰۰۴)

شکل (۳) مقایسه هیدروگراف دبی شبیه سازی شده با استفاده از مدل MIKE NAM و دبی مشاهداتی

جدول (۳) معیارهای ارزیابی کارایی مدل MIKE NAM در شبیه‌سازی دبی مبه وسیله‌ی جریان

معیار ارزیابی	دوره واسنجی	دوره صحت سنجی
(%) Pe	۳۵/۳۶	۱۳/۲٤
(day) Te	۱/۷۵	۱/۰۰
(m^3/s) RMSE	۳/۱۳	۱/٦٦٥۱
(m^3/s) STDres	۳/۱۲۲	۱/٦٦٥۰
r	۰/۸۷	۰/۷۸
E	۰/۸۳	۰/٦۰

می‌دهند در این مدل نیز با وجود آنکه معیار نش–ساتکلیف، بازده مناسبی را در مدت دوره کالیبراسیون نشان می‌دهد اما در برخی از زمان‌های مربوط به این دوره، اختلافاتی میان دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی مشهود است. مدل یکپارچه MIKE NAMنیز حالت خاک یخ زده را در نظر نمی‌گیرد. این امر باعث می‌شود تا در ماه‌های فصل زمستان که خاک در بیشتر اوقات به دلیل بارش برف و نیز دمای غالب زیر صفر درجه سانتی‌گراد، یخ زده است؛ میزان نفوذ پذیری خاک کاهش و میزان رواناب افزایش یابد. اما از آنجایی که مدل این حالت را برای پروفیل خاک در نظر نمی‌گیرد؛ میزان رواناب شبیه‌سازی شده در فصل زمستان نسبت به مقدار مشاهداتی کمتر است. همچنین اختلاف بین دبی شبیه‌سازی شده با دبی مشاهداتی از اواسط ماه می تا اوایل ماه ژوئن احتمالاً به دلیل آن است که این مدل، داده‌ها را به صورت متوسط روزانه در نظر می‌گیرد بنابراین نمی‌تواند رگبارهای بهاری را به طور دقیق شبیه‌سازی نماید.

۳-۳- مقایسه عملکرد مدل توزیعی MIKE SHEو مدل یکپارچه MIKE NAMدر شبیه‌سازی متوسط دبی جریان

همان‌گونه که در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است؛ اگرچه مدل توزیعی MIKE SHE نسبت به مدل یکپارچه MIKE NAMدر دوره واسنجی مجموع دبی‌های اوج را با خطای بیشتری شبیه‌سازی کرده اما زمان مربوط به دبی‌های اوج را با خطای کمتری شبیه‌سازی کرده است. همچنین ضرایب همبستگی و بازده نش– ساتکلیف محاسبه شده نشان می‌دهند در این حوضه آبریز، مدل یکپارچه MIKE NAM، دبی خروجی

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

از حوضه را در دوره واسنجی بهتر شبیه‌سازی کرده است. این امر می‌تواند به دلیل آن باشد که مدل یکپارچه MIKE NAM از تعداد ضرایب واسنجی کمتری نسبت به مدل توزیعی MIKE SHE برخوردار است و بیشتر این ضرایب نیز به طور خودکار کالیبره می‌شوند. همچنین این جداول نشان می‌دهند بر خلاف دوره واسنجی، مدل یکپارچه MIKE NAM نسبت به مدل توزیعی MIKE SHE مجموع دبی‌های اوج را با خطای بیشتری شبیه‌سازی کرده اما زمان مربوط به دبی‌های اوج در دوره صحت‌سنجی (سال ۲۰۰٤) را با خطای کمتری شبیه‌سازی کرده است. با توجه به شکل‌های (۲) و (۳) مشخص است که هر دو مدل در ماه‌های نوامبر و دسامبر دبی کمتری را نسبت به دبی مشاهداتی شبیه‌سازی کرده‌اند. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که در هیچ یک از مدل‌ها شرایط خاک یخ زده در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین از ماه می تا اواسط ماه ژوئن که رگبارهای بهاری رخ می‌دهند، مدل توزیعی MIKE SHE نسبت به مدل یکپارچه MIKE NAM دبی جریان را بهتر شبیه‌سازی کرده است، زیرا مدل توزیعی شرایط پوشش گیاهی، برگاب و بافت خاک منطقه را در نظر می‌گیرد و این امر باعث می‌شود تا در این نوع رخدادها نسبت به مدل یکپارچه که چنین شرایطی را در نظر نمی‌گیرد؛ بهتر عمل کند.

۳-٤- خلاصه نتایج

با توجه به ضریب بازده محاسبه شده برای مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش در دوره واسنجی، مدل یکپارچه MIKE NAM نسبت به مدل توزیعی MIKE SHE، عملکرد بهتری داشت. اما در دوره صحت سنجی عکس این مطلب به دست آمد. همچنین هر دو مدل توزیعی MIKE SHE و یکپارچه MIKE NAM دبی مربوط به ماه‌های یخبندان را کمتر از مقدار مشاهداتی در همین دوره، شبیه‌سازی کردند که با نتایج پژوهش‌های الزاسر و همکاران (۲۰۰٦)، ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) و ویجسکارا و همکاران (۲۰۱۲) هماهنگی دارد. توجه به این نکته نیز ضروری است که هنگامی استفاده از مدل‌های توزیعی سودمند است که اطلاعات گسترده‌ای از حوضه آبریز مانند هدایت هیدرولیکی خاک، پوشش گیاهی، شیب و غیره در دسترس باشد زیرا این گونه مدل‌ها به داده‌های ورودی وسیعی برای شبیه‌سازی نیاز دارند. اگر بنابر ضرورت نیاز است تا نتایج شبیه‌سازی حوضه آبریز، زودتر به دست آیند بهتر است تا از مدل یکپارچه که نیاز به داده‌های ورودی کمتری دارد؛ استفاده شود. در هر حال، معیارهای ارزیابی به کار رفته در این پژوهش، نشان می‌دهند که هر دو مدل توزیعی MIKE SHE و یکپارچه MIKE NAM قابلیت مناسبی در شبیه‌سازی دبی خروجی از این حوضه آبریز دارند.

٤- نتیجه گیری و پیشنهادها

مدل‌های توزیعی و با اساس فیزیکی روز به روز بیشتر توسعه یافته و بیش از پیش مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما از آنجا که در مورد کارایی این گونه مدل‌ها از یک سو، ادعاهای گوناگون وجود دارد و از سوی دیگر لازم است تا اعتبار این ادعاها در مورد مدل‌های پیشرفته با دلایل منطقی اثبات شود؛ در این پژوهش، مدل توزیعی و فیزیکی MIKE SHE و مدل یکپارچه و مفهومی MIKE NAM برای شبیه‌سازی دبی متوسط جریان در خروجی حوضه آبریز رودخانه قره‌سو در استان اردبیل به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که هر دو مدل عملکرد مناسبی دارند. با توجه به قابلیت‌های بالای مدل توزیعی MIKE SHE، پیشنهاد می‌شود این مدل برای سایر حوضه‌های آبریز کشور که دارای داده‌های بیشتری برای شبیه سازی دقیق‌تری است؛ به کار گرفته شود. همچنین پیشنهاد می‌شود تا نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی دبی خروجی از حوضه آبریز با استفاده از مدل‌های MIKE SHE و MIKE NAM با نتایج به دست آمده از سایر مدل‌های هیدرولوژیکی از جمله مدل‌های نیمه توزیعی و یا مدل‌های ساده‌تر مانند مدل توماس مقایسه و عملکرد مدل‌ها برای دستیابی به مدل مناسب‌تر، ارزیابی شوند.

٥- مراجع

[1]Pechlivanidis, I., Jacson, B., Mcintyre, N., and Wheater, H.,"Catchment scale hydrological modeling: A review of model types, calibration approaches and uncertainty methods in the contex of recent developments in technology and applications", *Journal of Global NEST*, 13(3),pp. 193-214, 2011.

[2] Madsen, H., "Automatic calibration of a conceptual

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

rainfall-runoff model using multiple objectives"*Journal of Hydrology*, 235, pp. 276-288, 2000.
[3] Shamsudin, S., andHashim, N., "Rainfall runoff simulation using MIKE NAM", *Journal ofCivil Engineering*, 15(2), pp. 26-38 , 2002.
[4] Vaitiekuniene, J., "Application of rainfall-runoff model to set up the water balance for Lithuanian basins"*Journal of Enviromental research, engineering and management*, 1(31), pp. 34-44, 2005.
[5] Meselhe, E.A., and Habib, E.H., "Performance Evaluation of Conceptual and Physicslly-based Hydrologic Models", Proceedings for the Army Science Conference (24th), Orlando, Florida, 2005.
[6] Elsasser, B., Bell, A.K. and Glasgow, G., "Climate change scenarios and impact on catchment and rainfall runoff response" National Hydrology Seminar, 2006.
[7] McMichael, C., Hope, A., and Loaiciga, H.,"Distributed hydrological modelling in California semi-arid shrublands:MIKE SHE model calibration and uncertainty estimation",*Journal of Hydrology*, 317, pp. 307–324, 2006.
[8] Jenicek, M.,"Rainfall-runoff modeling in small and midllle-large catchments-an overview"*Journal ofCharles Univesity of prague*, 111(3), pp. 305-313, 2007.
[9] Zhang, Z., Wang, S., Sun, G., and McNulty, S.,"Evaluation of the MIKE SHE model for application in the LOESS PLATEAU",*Journal of The American Water Resources Association*, 44(5),pp. 1108-1120, 2008.
[10] Doulgeris, C., Georgiou, P., Papadimos, D., and Papamichail, D., "Ecosystem approach to water resources management using the MIKE11 modeling system in the Strymonas river and lake Kerkini",*Journal of Enviromental Management*, 94(1), pp. 132-143, 2012.
[11] Wijesekara, G., Farjad, B., Gupta, A., Oiao, Y., Delaney, P., and Marceau, D.,"Improved calibration and validation of the MIKE SHE model for the ELBOW River Watershed in southern Alberta Canada", Global Geospatial Conference, University of Calgary, Quebec, 2012.
[12] DHI, *MIKE SHE User Manual*, Hørsholm, Denmark, Danish Hydraulic Institute, 2007.
[13] Oogathoo, S., "Runoff Simulation in the CANAGAGIGUE CREEK Watershed using the MIKE SHE Model", Master of Science, Dissertation, Dept Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada, 2006.
[14] DHI, "*MIKE 11: A Modeling System for Rivers and Channels. Reference Manual*", Danish Hydraulic Institute, Denmark, 2009.
[۱۵] گزارشی از اداره کل هواشناسی استان اردبیل (قابل دسترس در سایت http://www.arww.ir)
[۱٦] شهبازی، ع.، آخوندعلی، ع.، «ارائه الگوریتم واسنجی مدل مفهومی بارش–رواناب MIKE NAMدر حوضه‌های فاقد داده-های هواشناسی کافی (مطالعه موردی حوضه آبریز ا... – جوکنک)»، کنفرانس بین‌المللی منابع آب، ۱۳۸۹.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-04-24]