

مدل سازی هیدرولوژی حوضه آبریز با استفاده از ArcSWAT

مجتبی شفیع^۱، حسین انصاری^۲، کامران داوری^۳

۱. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد Shafiei9@gmail.com

۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳. دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

مدل های حوضه آبریز به طور گسترده ای برای شبیه سازی مولفه های چرخه ی هیدرولوژی بکار می روند. این مدل ها امکان ارزیابی سناریوهای مدیریتی را که در حالت واقعی امکان بررسی آن در حوضه وجود ندارد برای ما فراهم می سازند. در این تحقیق مدل SWAT که مدلی مفهومی و نیمه توزیعی در مقیاس حوضه آبریز است برای شبیه سازی هیدرولوژیک حوضه نیشابور استفاده شده است. با توجه به اطلاعات موجود ابتدا پایگاه داده های مکانی با دقت مناسب برای حوضه تهیه شد، سپس مدل در دوره زمانی ۸ ساله اجرا شد. در فرآیند مدل سازی، حوضه آبریز نیشابور به ۲۲ زیرحوضه و در نهایت به ۱۴۶ واحد واکنش هیدرولوژیک (HRUs) تقسیم شد. هدف این مقاله ارائه روند مدل سازی حوضه و ارائه نتایج آن توسط ArcSWAT که برنامه الحاقی مدل SWAT در نرم افزار ArcGIS، می باشد، به طوری که نحوه ی ورود، دقت و پردازش اطلاعات در نتایج مدل بسیار تاثیر گذار است.

واژه های کلیدی: مدل سازی، SWAT، حوضه نیشابور، واحد واکنش هیدرولوژیک

۱- مقدمه

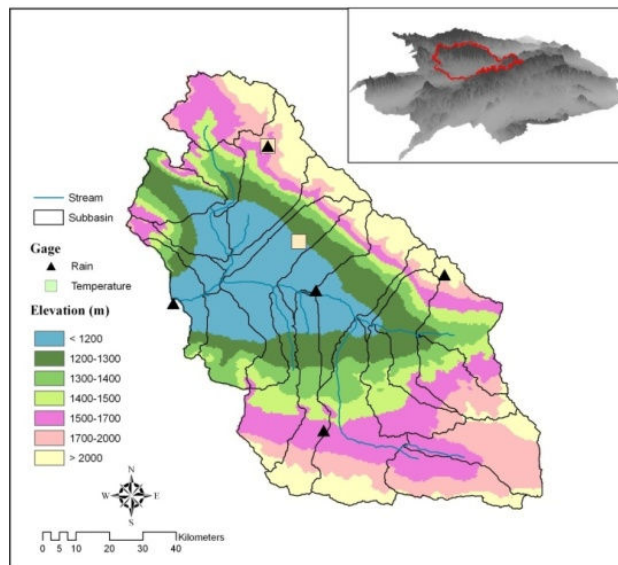
برای شبیه سازی در مقیاس حوضه های آبریز، مدل های هیدرولوژی عموماً به دو صورت فله ای (Lump) و توزیعی (Distributed) استفاده می شوند. مدل های فله ای قادر به بررسی تغییرات مکانی در جای جای حوضه نمی باشند، از طرف دیگر اجرای آنها نیاز به صرف وقت یا هزینه ناچیزی دارد. مدل های توزیعی با کمک قابلیت های GIS قادرند تمامی تغییرات مکانی را در حوضه لحاظ کنند اما اجرای (Run) آنها به خصوص در حوضه های وسیع بسیار زمان بر است. در دو دهه اخیر مدل های ارائه شده اند که ماهیت نیمه توزیعی داشته و در شبیه سازی های حوضه های وسیع موفق بوده اند. یکی از مدل های نرم افزاری که اخیراً در نقاط مختلف جهان به طور گسترده ای جهت شبیه سازی عوامل هیدرولوژیکی حوضه ها آبریز، چه از نظر کمی و کیفی، مورد استفاده قرار می گیرد مدل هیدرولوژیکی SWAT می باشد. این مدل توسط سرویس تحقیقات کشاورزی امریکا تهیه شده است (Arnold و همکاران، ۱۹۹۸). تحقیقات بسیار زیادی در استفاده از مدل SWAT در نقاط مختلف دنیا با اهداف متنوع انجام شده است. به عنوان مثال Jayakrishnan و همکاران، (۲۰۰۵) با کمک SWAT یک تحلیل در مقیاس ملی جهت ارزیابی تاثیر سناریو های مدیریتی کمیت و کیفیت آب انجام شده است. Abbaspour و همکاران (۲۰۰۷) از مدل SWAT برای شبیه سازی تمام فرآیندهای موثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه غذایی حوضه ی رودخانه تور در شمال شرقی کشور سوئیس استفاده کرده اند. ایشان نتیجه گرفتند که در

حوضه مانند تور که دارای کیفیت خوب داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد، به راحتی می‌توان از مدل SWAT به عنوان یک مدل پیشرو در مطالعات مدیریت حوضه استفاده کرد. در این مقاله هدف ارائه روند مدل‌سازی و نتایج شبیه‌سازی جریان در خروجی حوضه آبریز نیشابور توسط مدل SWAT و رابط جدید آن ArcSWAT می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز نیشابور با مساحت ۹۳۴۹ کیلومترمربع در استان خراسان رضوی واقع شده است. شمال شرقی حوضه را ارتفاعات بینالود می‌پوشاند، با ارتفاع ۳۳۰۵ متر و به سمت غرب ارتفاع کم می‌شود و به خروجی حوضه با ارتفاع ۱۰۶۵ متر منتهی می‌شود (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز نیشابور در استان خراسان رضوی به همراه زیرحوضه‌ها، ایستگاه‌ها و مدل رقومی ارتفاعی

۲-۲- مدل SWAT2005 و رابط ArcSWAT

مدل SWAT یک مدل نیمه‌توزیعی بوده که برای شبیه‌سازی حوضه آبریز بصورت پیوسته در مقیاس روزانه عمل می‌کند. در مدل ناهمگنی‌های مکانی در منطقه با تقسیم حوضه به زیرحوضه‌هایی بررسی می‌شود و سپس زیرحوضه‌ها به تعدادی واحدهای کوچکتر (واحدهای واکنش هیدرولوژیک، Hydrologic Response Unit) تقسیم می‌شوند، این واحدها تا حد امکان مشابه هستند و دارای ترکیبات یکسانی از خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. اجزاء بیلا آب در سطح واحدهای واکنش هیدرولوژیک محاسبه و سپس برای زیرحوضه‌ها میانگین‌گیری وزنی می‌شود [8]. تبخیر و تعرق پتانسیل توسط روش‌های پنمن-مونتیت، پرستلی-تایلور و هارگریوز می‌تواند صورت گیرد. رواناب سطحی از بارندگی روزانه توسط روش شماره منحنی اصلاح شده محاسبه می‌شود، همچنین روندیابی جریان توسط روش‌های ذخیره متغییر و ماسکینگام نیز قابل محاسبه است. پردازش و آماده‌سازی داده-

های ورودی مدل SWAT در نرم افزار ArcGIS 9.2 با استفاده از رابط ArcSWAT انجام می شود [10]. ArcSWAT در مقایسه با نسخه ی قبلی (AVSWAT در ArcView) هیچ گونه محدودیتی در مورد پیچیدگی و وسعت زیاد حوضه ها در شبیه سازی ندارد. از دیگر مزیت های آن علاوه بر کاربر پسند بودن، این است که در آن امکان مشاهده ترکیبات مختلف خاک و کاربری اراضی که برای تعریف HRUها استفاده می شود مهیا می باشد.

۲-۳- اطلاعات اقلیمی مدل حوضه

همانطور که ذکر شد مدل SWAT برای اجرا نیازمند داده های روزانه هواشناسی می باشد. یکی از قابلیت های مدل SWAT این است که دارای یک مولد داده های اقلیمی (Weather Generator) به نام WXGEN [8] می باشد که جهت تولید داده های روزانه یا بازسازی آمار مفقود بکار می رود. مقادیر روزانه داده های اقلیمی توسط متوسط ماهانه متناظر با آن از نزدیک ترین ایستگاه مولد داده (wgn) ساخته یا بازسازی می شود. لازم به ذکر است که ایستگاه مولد داده، ایستگاهی است که دارای آمار بلند مدت از تمامی پارامترهای هواشناسی (مانند باران، دما، تابش، سرعت باد و...) باشد که در ایران محدود به ایستگاه های سینوپتیک می باشند. در حوضه نیشابور تنها یک ایستگاه سینوپتیک در شهر نیشابور وجود دارد که از داده های آن برای ایستگاه مولد استفاده شده است. با توجه به ایستگاه های موجود و بررسی وضعیت آنها برای اطلاعات بارندگی و دما به ترتیب از آمار ۶ و ۲ ایستگاه در حوضه استفاده شده است (شکل ۱). مدل SWAT برای شبیه سازی فرآیندهای هیدرولوژی حوضه از داده های اقلیمی نزدیک ترین ایستگاه به مرکز ثقل هر زیرحوضه استفاده می کند. در مدل این امکان وجود دارد که با تعریف باندهای ارتفاعی (Elevation Bands) بتوان بارندگی شبیه سازی شده در زیرحوضه ها را تعدیل کرد به خصوص در شرایطی که تغییرات ارتفاعی در حوضه زیاد باشد.

۲-۴- پایگاه اطلاعات مکانی مدل حوضه

پایگاه اطلاعات مکانی مدل حوضه شامل مدل رقومی ارتفاعی حوضه، نقشه کاربری اراضی، نقشه خاک و پایگاه داده SWAT (SWAT2005.mdb Geodatabase) می باشد که در آن اطلاعات مربوط به شبیه سازی رشد گیاهان، مدیریت اراضی و سایر اطلاعات مدیریتی ذخیره شده است. نحوه آماده سازی و ورود آنها به ArcSWAT در این مطالعه تشریح شده است: الف) مدل رقومی ارتفاعی: مدل به توسط لایه رقومی ارتفاعی (DEM) قادر به تولید زیرحوضه ها و استخراج مشخصات فیزیکی آنها می باشد. بدین ترتیب که با وارد کردن مقدار «حداقل مساحت دلخواه»، حوضه به زیرحوضه های کوچکتر تقسیم می گردد. حداکثر اندازه شبکه های DEM در برآورد مقادیر باید ۵۰ متر باشد، کاهش اندازه از این حد اساساً تاثیری در برآورد مقدار رواناب ندارد [5]. لذا در این تحقیق از مدل رقومی ارتفاعی با دقت ۵۰ متر استفاده شد. ب) کاربری اراضی حوضه: نقشه کاربری اراضی حوضه دارای ۱۴ طبقه کاربری اراضی است که بصورت کدهای چهار حرفی در جدول اطلاعات لایه وارد می شوند. ج) پایگاه داده های مکانی خاک حوضه: نقشه واحدهای اراضی خاک دارای ۴۱ واحد اراضی می باشد. پارامترهای فیزیکی در پروفیل های شاهد خاک هر واحد استخراج گردید. سایر پارامترهای مورد نیاز برای هر لایه از پروفیل خاک توسط نرم افزار RetC [9] تخمین زده شده است و سپس به صورت کدهایی در پایگاه داده مدل وارد شدند [1].

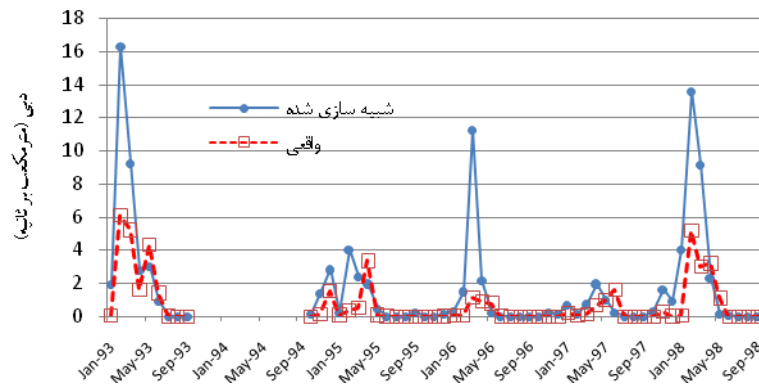
۳- نتایج و بحث

۳-۱- اجرای مدل در حوضه

پس از جمع‌آوری اطلاعات و تهیه فایل‌های ورودی، مراحل اجرای مدل به ترتیب ایجاد زیرحوضه‌ها، تعریف HRUs، اصلاح پارامترهای اولیه (در صورت امکان) و در انتها اجرای مدل در دوره شبیه‌سازی می‌باشد: الف) تقسیم بندی حوضه و تعریف واحدهای واکنش هیدرولوژیک: گام اول در مدل‌سازی حوضه تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها می‌باشد که براساس حداقل مساحت تعیین شده توسط کاربر صورت می‌گیرد. پیشنهاد شده این مقدار بین ۳ تا ۴ درصد مساحت حوضه باشد [2]. در این مطالعه مقدار ۳/۵ درصد لحاظ شد، در نهایت ۲۲ زیرحوضه ایجاد شد. مشخصات فیزیکی زیرحوضه‌هایی که توسط واسط مدل (ArcSWAT) ایجاد شده شامل: مساحت، طول آبراهه اصلی، شیب، خصوصیات ارتفاعی و... که در برآوردهای مدل استفاده می‌شوند. گام بعدی وارد کردن نقشه خاک و کاربری اراضی و انطباق آنها در زیرحوضه‌ها می‌باشد، که این کار به منظور تولید HRUها می‌باشد. در ArcSWAT معمولاً به دو صورت می‌توان واحدهای واکنش هیدرولوژیک را تعریف کرد، که به ترتیب به توزیع کاربری اراضی، خاک و شیب در حوضه بستگی دارد: (۱) بیشترین مساحت اشغال شده از کاربری اراضی، خاک و شیب در هر زیرحوضه. (۲) تعیین واحدها به صورت چندگانه به طوری برای هر کدام از کاربری اراضی، خاک و شیب حداقل درصدی از سطح حوضه تعیین می‌شود. همچنین در صورت داشتن توپوگرافی متنوع می‌توان در حوضه چندین طبقه شیب ایجاد کرد، این طبقات شیب نه تنها به تفکیک مکانی بهتر حوضه کمک می‌کند بلکه در تشخیص موقعیت مکانی واحدهای هیدرولوژیک نیز کمک می‌کند [1]. لذا، سه طبقه شیب برای حوضه تعریف شد که شامل ۰ تا ۳ درصد، ۳ تا ۱۵ درصد و بیش از ۱۵ درصد می‌باشند. به دلیل وجود تنوع در نقشه کاربری اراضی و خاک، و برای اطمینان از داشتن تفکیک پذیری بالا، واحدهای واکنش هیدرولوژیک به صورت چندگانه برای هر زیرحوضه تعریف شدند. و این کار با تعیین حداقل ۱۵ درصد سطح برای طبقه‌های کاربری اراضی، ۲۰ درصد برای طبقه‌های خاک و ۱۵ درصد برای طبقات شیب صورت گرفت و در نهایت حوضه به ۱۴۶ HRU تقسیم شد. ب) تعریف باندهای ارتفاعی حوضه جهت تعمیم بارندگی و دما به سطح: با توجه به اینکه تعداد ایستگاه‌های اندازه‌گیری دمای روزانه و بارندگی در سطح حوضه کم می‌باشند (دو ایستگاه برای دما و ۶ ایستگاه برای بارندگی)، این امکان در مدل وجود دارد که افت آهنگ تغییر دما و بارندگی نسبت به ارتفاع توسط ایجاد باندهای ارتفاعی در هر زیرحوضه به مدل معرفی شود، در غیر این صورت مدل مقدار بارندگی یا دمای مربوط به نزدیک‌ترین ایستگاه به زیرحوضه را بدون اصلاح لحاظ خواهد کرد. مقادیر مذکور توسط دو متغیر Tlaps و Plaps به مدل داده می‌شوند. با توجه به گرادیان‌های دما و بارندگی که به کمک ایستگاه‌های داخل و اطراف حوضه بدست آمده‌اند، مقادیر مذکور به ترتیب ۶ درجه سانتی‌گراد در هر کیلومتر و ۱۵۴ میلی‌متر در هر کیلومتر برای حوضه لحاظ شده است. در این تحقیق تعداد ۷ باند ارتفاعی تعریف شده است که در شکل ۱ نشان داده شده است.

۳-۲- اجرای مدل و نتایج شبیه‌سازی جریان

پس از پارامترسازی و ورود داده‌ها؛ با توجه به وجود نقص و عدم تطابق زمانی داده‌های روزانه درجه حرارت، بارندگی و هیدرومتری، یک دوره ۸ ساله برای شبیه‌سازی انتخاب شد. اجرای مدل براساس گام زمانی روزانه از ۱ ژانویه ۱۹۹۲ تا ۳۱ دسامبر ۱۹۹۹ صورت گرفت. در سال اول شبیه‌سازی به مدل اجازه داده شد تا با شرایط محیطی متعادل (Warm up) شود. سال‌های بعدی برای واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. با توجه به هدف مقاله در اینجا نتایج برآورد جریان در حالت بدون واسنجی آورده شده است.



شکل (۲): نتایج شبیه‌سازی دبی ماهانه در خروجی حوضه در حالت بدون واسنجی

۴- خلاصه و نتیجه‌گیری

در این مقاله نحوه مدل‌سازی و اجرای مدل ArcSWAT در حوضه ارائه شده است، که با توجه به جدید بودن این ویرایش از مدل در کمتر مواردی از مطالعات انجام شده به آن اشاره شده است به طوری که دقت و پردازش اطلاعات در نتایج مدل بسیار تاثیر گذار است.

مراجع

۱. شفيعی، م. ح، انصاری، ک، داوری، ب، قهرمان، س، مرید، ۱۳۸۸. شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه آبریز با استفاده از مدل نیمه توزیعی ArcSWAT (مطالعه موردی حوضه آبریز نیشابور). مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). در دست چاپ.
۲. Abbaspour, K.C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist, and R. Srinivasan. 2007. *Modelling hydrology and water quality in the pre- alpine/alpine Thur watershed using SWAT*. J. Hydrol. 333(2-4): 413-430.
۳. Arabi, M., R.S. Govindaraju, M.M. Hantush, and B.A. Engel. 2006. *Role of watershed subdivision on modeling the effectiveness of best management practices with SWAT*. J. Amer. Water Resour. Assoc. 42(2): 513-528.
۴. Arnold, J.G., R. Srinivasan, R.S. Muttiah, and J.R. Williams. 1998. *Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development*. J. Amer. Water Resour. Assoc. 34(1): 73-89.
۵. Chaplot, V. 2005. *Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions*. J. Hydrol. 312(1-4): 207-222.
۶. Jayakrishnan, R. Srinivasan, R. Santhi, C. Arnold, J.G, 2005. *Advances in the application of the SWAT model for water resources management*. Hydrol. Process. 19, 749-762.

7. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, J.R. Williams. 2005. *Soil and water assessment tool, theoretical documentation*. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment station and USDA Agricultural Research Service. Available online, www.brc.tamus.edu
 8. Sharpley, A.N. and J.R. Williams, eds. 1990. *EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. model documentation*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.
 9. van Genuchten, M.Th., F.J. Leij, , and S.R. Yates. 1992. *The RETC code for quantifying the hydraulic functions of unsaturated soils*. Project summary, EPA'S Robert S. Kerr Environmental Research Lab., Ada ,OK, USA.
 10. Winchell, M., R. Srinivasan, M. Di Luzio, and J. Arnold. 2009. *ArcSWAT 2.1.5 Interface for SWAT2005 User's Guide*. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment station and USDA Agricultural Research Service. Available online, www.brc.tamus.edu
- Arabi, M., R.S. Govindaraju, M.M. Hantush, and B.A. Engel. 2006. Role of watershed subdivision on modeling the effectiveness of best management practices with SWAT. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 42(2): 513-528.