Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

تعیین تغییرات حوضه آبریز با استفاده از روش ترکیبی مدل مفهومی ـ هوش مصنوعی

غلامرضا عندلیب[1*]، وحید نورانی[2]، الناز شرقی[3]

[1*] دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران
(gholamreza.andalib@gmail.com)

[2] استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[3] استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده فنی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۷/۰۶/۰۸، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۱/۲۵)

چکیده

در این تحقیق با استفاده از روش معکوس مکان و شدت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی در حوضه آبریز LRW که در کشور آمریکا قرار گرفته مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، از قابلیتهای هوش مصنوعی و محاسبات نرم از جمله موجک و آنتروپی بهره گرفته شد؛ بطوریکه در ابتدای کار با استفاده از GIS زیرحوضه بندی و استخراج اطلاعات حوضه آبریز صورت گرفته، سپس با استفاده از دبی های خروجی مشاهداتی از زیرحوضه¬ها به واسنجی مدل بارش-رواناب حوضه آبریز در نرم افزار HEC-HMS پرداخته شد. با اعمال تغییرات در مقدار پارامتر ضریب مخزن واسنجی شده برای زیر حوضه¬ها در مدل مفهومی کلارک، روانابهای خروجی متفاوتی از هر زیر حوضه حاصل گشت تا بتوان ارتباط بین مقادیر پارامتر ضریب مخزن زیرحوضه¬ها با رواناب خروجی از حوضه را توسط مدلهای هوش مصنوعی شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان برقرار کرد. برای جلوگیری از ورود اطلاعات نوفه به مدلها و حداقل رساندن ابعاد اطلاعات و ساده سازی مدل، قبل از مدل سازی پیش پردازش ورودیها توسط موجک-آنتروپی صورت گرفت. در نهایت مدل به دست آمده برای تعمیم به سالهای آتی با رویداشت دینامیکی پوشش گیاهی و کاربری حوضه آبریز و تخمین آن مورد استفاده قرار گرفت. برای نمونه در حوضه آبریز LRW افزایش وسعت مزارع و کاهش میزان جنگل با کاهش ضریب مخزن از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ هم بستگی بالایی نشان داد بطوریکه کاهش ۲۶ درصدی ضریب مخزن در یکی از زیرحوضه¬های پایین دست با کاهش ۵۳ درصدی مساحت جنگل و افزایش مساحت ۲۱ درصدی مزارع همراه بود.

کلمات کلیدی

تغییرات کاربری حوضه آبریز، مدل مفهومی بارش-رواناب، ضریب مخزن، هوش مصنوعی، موجک-آنتروپی.

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

Watershed Change Detection Using Hybrid Conceptual Model-Artificial Intelligence

Gholamreza Andalib [1], Vahid Nourani [2], Elnaz Sharghi [3]*

[1] Ph.D. of Water and Hydraulic Structures, Water Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran. (gholamreza.andalib@gmail.com)*

[2] Professor, Water Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

[3] Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

(Date of received: 04/05/2018, Date of accepted: 14/02/2019)

ABSTRACT

This research investigated LULC changes and its effect on outlet runoff by detecting LULC changes location and severity via an inverse method for the Little River Watershed, USA. In this research, the artificial intelligence and soft computing capabilities such as wavelet-entropy were employed for this aim, as extraction of sub-watershed delineation and watershed information was done in geographic information system. Thereafter, a conceptual rainfall-runoff model (Clark method) was simulated via HEC-HMS. Different watershed outflow hydrographs were generated by variation of storage coefficient parameters of sub-watersheds in the conceptual Clark model. Then the relationship between storage coefficients (as the representative of land use/cover)-watershed outflow was also modeled by artificial intelligence models (artificial neural network and support vector machine). Whereas wavelet-entropy was utilized to avoid importing noise-full information and reducing huge volume of information to the model. Finally, the obtained model detected watershed land use/cover changes in the future years with dynamic watershed assumption. For the validation, the results were compared with recorded changes via normalized difference vegetation index extracted from landsat images. For instance, the comparison approved the ability of the proposed method for LULC change detection of the LRW in a way that deforestation and cropland increasing of the sub-watersheds from 1990 to 2013 were aligned with the SC reduction e.g., 26% decrease of SC for downstream sub-watershed versus 53% decrease and 21% increase of forest and crop lands, respectively.

Keywords

Watershed Land Use Change, Conceptual Rainfall-Runoff Model, Storage Coefficients, Artificial Intelligence, Wavelet-Entropy.

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

۱- مقدمه

بررسی اثر تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز یکی از چالش‌های مهم در مطالعات مهندسی آب و محیط زیست است که تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل متعددی در داخل و خارج از حوضه آبریز قرار دارد. تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز مانند جنگل‌زدایی، تردد مداوم دام و چرای مفرط به صورت کنترل نشده و غیر ضروری و بهره‌برداری غلط از مراتع، توسعه کشاورزی و توسعه شهرها، باعث وخامت شرایط حوضه آبریز در مقیاس‌های زمانی و مکانی می‌شود [۱]. تشخیص و شناسایی تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز در مقیاس‌های زمانی و مکانی کار پیچیده‌ای است که تحت تأثیر عوامل مختلف انسان شناختی و طبیعی قرار می‌گیرد. مطالعات مختلفی در رابطه با تحلیل تغییرات حوضه آبریز با استفاده از روش‌های مختلف انجام شده است که عمدتاً با استفاده از تکنیک‌های تصویربرداری ماهواره‌ای، سنجش از دور (RS[۱]) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[۲]) انجام شده است [۲-۸]. اگرچه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به عنوان یک مساله مستقیم، یک روش معمول برای تشخیص تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز می‌باشد اما این روش به عنوان یک روش مستقیم بررسی پدیده‌های فیزیکی ممکن است شامل برخی از نقص‌ها مانند تارشدگی تصاویر به دلیل آب و هوای ابری، هزینه بالا و زمان بر بودن استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و گاهی اوقات عدم توانایی ارائه رابطه کمی برای شدت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز باشد. در این شرایط، حل معکوس این مسئله می‌تواند به عنوان یک جایگزین در نظر گرفته شود. برای توضیح بیشتر، سیستم‌های هیدرولوژیکی را می‌توان به سه دسته مسایل مستقیم، مسایل شبیه سازی و مسایل معکوس تقسیم‌بندی کرد [۹]. در این مطالعه، روش جدیدی برای تعیین محل و شدت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز معرفی می‌شود. در این راستا، روش‌های مبتنی بر مدل‌های هوش مصنوعی (AI[۳]) من جمله شبکه عصبی مصنوعی (ANN[۴]) و ماشین بردار پشتیبان (SVM[۵]) برای استخراج رابطه بین تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز و دبی خروجی حوضه آبریز استفاده می‌شود. ابتدا مدلسازی بارش-رواناب با استفاده از مدل مفهومی کلارک از طریق نرم افزار HEC-HMS[۶] و با استفاده از اطلاعات ژئومورفولوژیکی استخراج شده انجام می‌شود. سپس با تغییر ضریب مخزن زیرحوضه‌ها (SC[۷]) در مدل کلارک (SC به عنوان پارامتر نشان دهنده تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز)، سری‌های زمانی رواناب مختلف خروجی حوضه آبریز تولید می‌شود. در مرحله بعد، رابطه بین سری‌های زمانی رواناب خروجی حوضه آبریز و ضرایب مخازن بوسیله مدل‌های AI برای ارزیابی شدت و موقعیت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز (توسط SC) تعیین می‌شود. برای جلوگیری از ورود تعداد زیادی از اطلاعات (کل سری‌های زمانی رواناب خروجی)، مقادیر موجک آنتروپی (WE[۸]) هر سری زمانی محاسبه شده و به جای سری زمانی رواناب‌های خروجی حوضه آبریز، به مدل‌های AI اعمال می‌شود. در نهایت، مدل آموزش دیده می‌تواند برای تشخیص تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز برای سال‌های آینده استفاده شود. برای اعتبار سنجی، نتایج به دست آمده نیز با تغییرات ثبت شده از طریق طبقه بندی تصاویر گرفته شده از تصاویر لندست مقایسه می‌شود.

[1] Remote Sensing
[2] Geographic Information System
[3] Artificial Intelligence
[4] Artificial Neural Network
[5] Support Vector Machine
[6] Hydrologic Engineering Center- Hydrologic Modeling System
[7] Storage Coefficient
[8] Wavelet Entropy

www.SID.ir

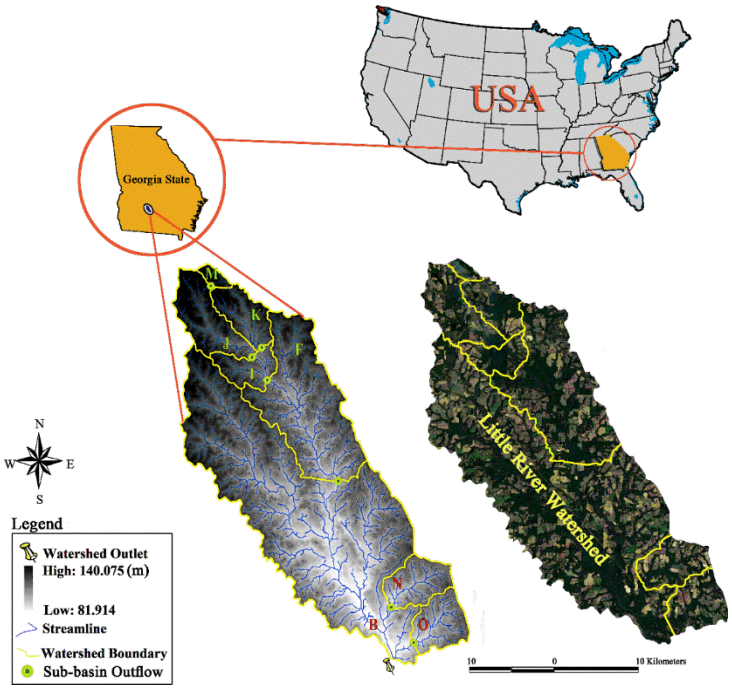
Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز LRW در ایالت جورجیا با وسعتی معادل ۳۳۴ کیلومتر مربع در جنوب ایالات متحده واقع شده است (شکل ۱). این منطقه یکی از مناطق مهم اقتصادی، کشاورزی در منطقه بوده و از نظر اجتماعی نیز دارای اهمیت است. البته روند رو به رشد جمعیت این منطقه میزان درخواست آب و استرس طبیعی را در اکوسیستم آن افزایش داده است [۱۰]. جدول (۱) مشخصات ژئومورفولوژیکی حوضه آبریز LRW را نشان می‌دهد. سری‌های زمانی بارش و رواناب مورد استفاده در این پژوهش برای سالهای ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ از سایت ftp://www.tiftonars.org/databases/LREW استخراج شده‌اند. سری‌های زمانی بارش و رواناب در سال ۱۹۹۰ (سال پایه) برای مدل‌سازی بارش-رواناب در نرم افزار HEC-HMS و همچنین واسنجی کردن پارامترها مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۲)، و برای سال‌های (۱۹۹۵، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳) داده‌های رواناب برای به دست آوردن ضریب مخزن زیر حوضه‌های آبریز در این سال‌ها مورد استفاده قرار گرفت. نقشه (DEM)[9] از سرور سایت http://earthexplorer.usgs.gov تهیه شده است برای رسیدن به اهداف مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای TM5 و ماهواره لندست ۸ مربوط به سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ اقتباس شده از سایت (https: //earthexplorer.usgs.gov) استفاده شد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز LRW.

[9] Digital Elevation Model

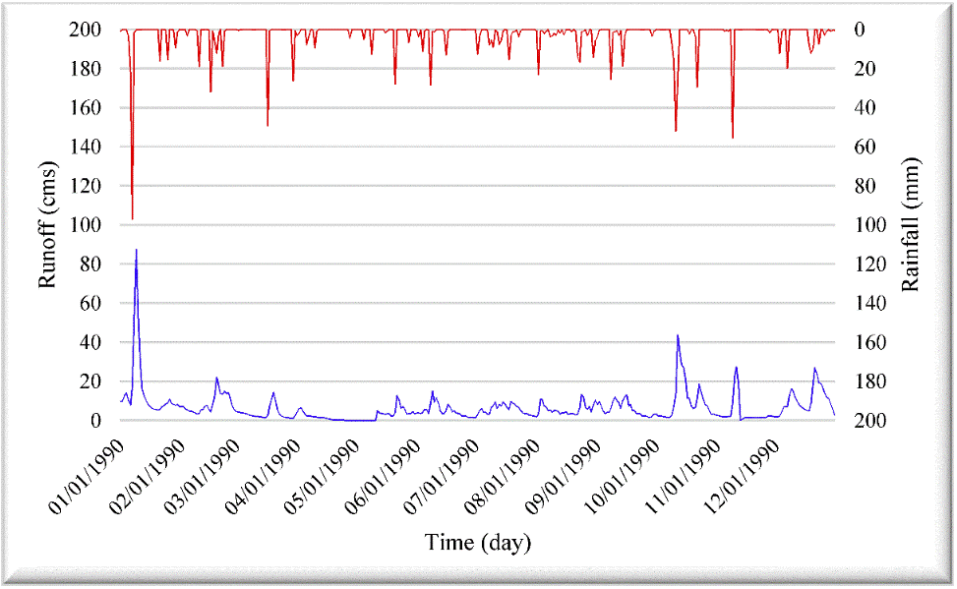
www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

جدول ۱: مشخصات حوضه LRW

زیرحوضه ها (ایستگاه)	مساحت (km^2)	شیب کانال (درصد)	طول کانال اصلی (km)	مقادیر واسنجی شده برای سال ۱۹۹۰		
				شماره منحنی	زمان تمرکز	ضریب مخزن
B	۱۸۷	۰/۱	۳۹/۱	۶۱	۴۵/۹۲	۷۱/۵۵
F	۶۵	۰/۱۴	۲۴/۰۲	۶۳	۱۸/۰۱	۲۴/۵۹
I	۱۱	۰/۲۲	۱۲/۷۱	۶۰	۳/۶۱	۴/۸۸
J	۲۲	۰/۲۵	۱۰/۳	۶۲	۶/۸۷	۱۰/۱۳
K	۱۴	۰/۲۹	۸/۷۳	۶۰	۴/۵	۵/۲۴
M	۲/۶۲	۰/۳۳	۲/۴۵	۶۲	۱/۲۵	۱/۱
N	۱۶	۰/۳۲	۱۰/۴۴	۶۴	۴/۹۸	۶/۵۹
O	۱۶	۰/۳۷	۶/۱۱	۶۱	۵/۰۳	۶/۵۸



شکل ۲: سری‌های زمانی بارش و رواناب در سال ۱۹۹۰ (سال پایه)

۲-۲- روش تحقیق

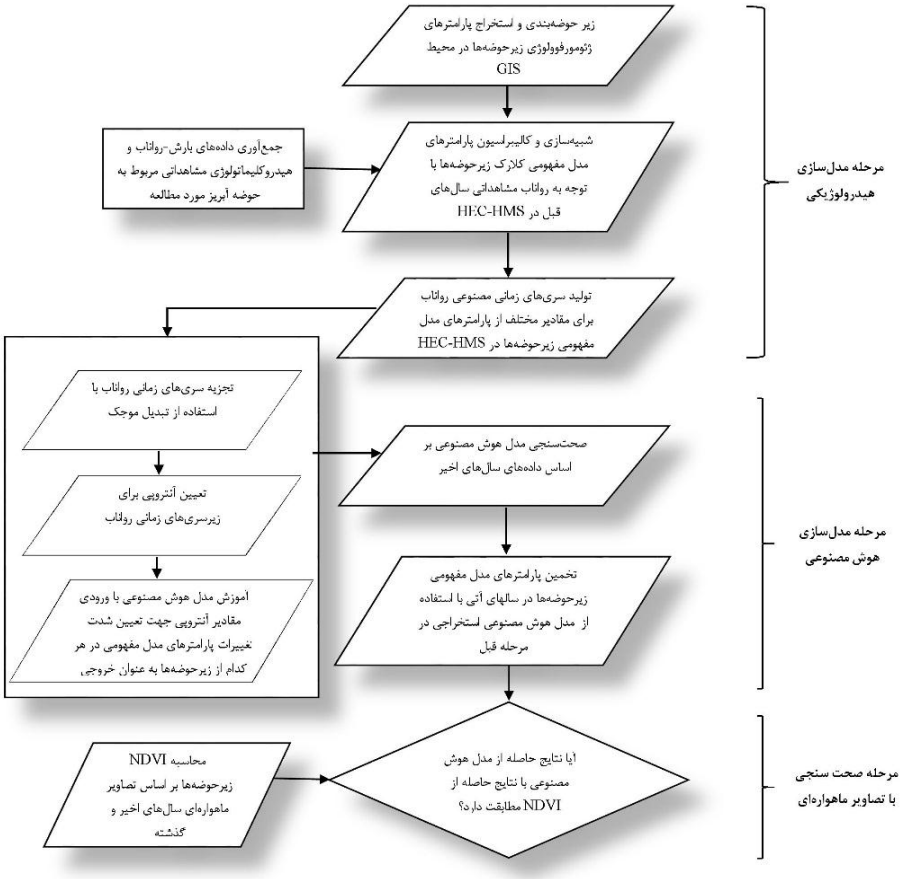
در این تحقیق از ابزار GIS، نرم افزار HEC-HMS، ابزار هوش مصنوعی و محاسباتی نرم مانند ANN، SVM، موجک-آنتروپی و بالاخره سنجش از دور برای تعیین و بررسی تغییرات کاربری حوضه استفاده می‌گردد. بطوریکه در ابتدای کار، پارامترهای ژئومورفولوژی حوضه در محیط GIS استخراج گشته و سپس مدل‌سازی بارش-رواناب حوضه با استفاده از مدل مفهومی کلارک در نرم افزار HEC-HMS صورت می‌گیرد. سپس با استفاده از رواناب مشاهداتی مربوط به سال‌های قبل بهینه‌سازی پارامتر ضرایب مخازن زیرحوضه‌ها در نرم‌افزار HEC-HMS انجام می‌گیرد. در مرحله بعد با تغییر مقادیر ضرایب مخازن، سری‌های مصنوعی رواناب تولید می‌گردد. سری‌های زمانی تولید شده توسط تبدیل موجک به زیر سری‌های رواناب تجزیه شده و مقدار آنتروپی هر کدام تعیین می‌گردد. آنتروپی زیر سری‌های زمانی وارد مدل ANN و SVM گشته و ارتباط آن‌ها با ضرایب مخازن زیرحوضه‌ها استخراج

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

می‌گردد. سپس مدل ANN و SVM حاصله جهت تخمین پارامتر مفهومی زیرحوضه‌ها یعنی ضریب مخزن مدل مفهومی کلارک برای سال‌های آتی بکار برده می‌شود. بعد از تخمین پارامتر ضرایب مخازن مدل مفهومی کلارک، میزان تغییرات این ضرایب در زیرحوضه‌ها سنجیده می‌شود. در مرحله آخر نتایج حاصله از مدل ANN و SVM با نتایج حاصله از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت صحت‌سنجی مقایسه می‌گردد. مراحل گام به گام انجام تحقیق در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳: فلوچارت انجام مراحل مختلف تحقیق جهت تعیین تغییرات پوشش گیاهی و کاربری حوضه آبریز

۲-۳- نرم‌افزار HEC-HMS

در این تحقیق جهت ایجاد ارتباط و مدل‌سازی بارش-رواناب از نرم افزار HEC-HMS و مدل مفهومی کلارک بهره گرفته شد و شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب حوضه آبریز در این نرم افزار انجام گرفت. نرم افزار HEC-HMS یک نرم افزار مدل‌سازی هیدرولوژیکی از نوع شبیه‌سازی (با قابلیت بهینه‌سازی پارامترها) است که توسط مرکز مهندسی هیدرولوژیکی ارتش آمریکا تولید شده است [۱۱]. برای بکارگیری HEC-HMS چهار المان مدل هواشناسی، مدل حوضه آبریز، داده‌های سری زمانی و مشخصات کنترل بایستی مد نظر قرار گیرد. هیدروگراف واحد کلارک به عنوان مناسب‌ترین روش برای این مطالعه انتخاب گردید به این دلیل که می‌توان SC را به عنوان نماینده تغییرات کاربری و پوشش گیاهی در زیر حوضه‌ها در نظر گرفت. TC و SC پارامترهای اصلی مدل کلارک هستند که با استفاده از واسنجی HEC-HMS به دست می‌آیند و دارای رابطه (۱) می‌باشند [۱۲].

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

$$Cs = \frac{SC}{SC + TC} \quad (۱)$$

از آنجا که Cs یعنی حاصل تقسیم ضریب ذخیره مخزن بر مجموع زمان تمرکز و ضریب مخزن در یک محل مشخص عدد ثابتی است پس بدین ترتیب بعد از واسنجی SC و TC در HEC-HMS برای سال پایه، پس از پیش بینی پارامترهای SC توسط مدل‌های هوش مصنوعی در سال‌های آتی مقدار پارامتر TC نیز از طریق رابطه (۱) در دسترس خواهد بود.

۲-۴- موجک-آنتروپی

به منظور ایجاد رابطه بین رواناب خروجی حوضه آبریز و میزان تغییرات در پارامترهای مدل مفهومی کلارک و به تبع آن به دست آوردن شدت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز، مقادیر موجک-آنتروپی سری‌های زمانی رواناب خروجی حوضه آبریز محاسبه شده و به عنوان ورودی به مدل‌های هوش مصنوعی معرفی می‌گردد تا از وارد کردن تمام سری‌های زمانی رواناب خروجی که آموزش شبکه را مختل می‌کند جلوگیری شود، رابطه (۲) [۱۳]:

$$WE_m = -\sum_{u=1}^{U} \rho_u \ln[\rho_u] \quad (۲)$$

ρ تابع چگالی احتمال انرژی موجک نرمال شده از زیر سری‌ها در سطح تجزیه m می‌باشد و U تعداد کل زیر دسته‌های تابع چگالی احتمال است. در این تحقیق از موجک-آنتروپی برای پیش پردازش سری‌های زمانی رواناب تولیدی در مدل HEC-HMS، استفاده شد. بطوریکه بجای وارد کردن سری‌های زمانی خام رواناب، ابتدا این سری‌ها توسط تبدیل موجک تجزیه گشته و آنتروپی هر زیر سری به جای آن زیر سری وارد مدل هوش مصنوعی شد تا بدین ترتیب علاوه بر لحاظ کردن فرکانس‌های غالب از ورود حجم انبوهی از داده‌ها به داخل مدل اجتناب گردد.

۲-۵- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی توانایی شناخت یک سیستم غیرخطی دینامیکی بدون داشتن هیچگونه پیش فرض در فرآیند مدل‌سازی را دارا می‌باشند. معماری شبکه‌های عصبی در اکثر مسائل مهندسی پیش‌بینی کننده از یک سیستم و ساختار سه لایه‌ای تشکیل یافته که شامل لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی می‌باشد. در این ساختار لایه ورودی نخست به پردازش داده‌های ورودی برای انتقال به لایه مخفی می‌پردازد، سپس لایه مخفی قبل از ارسال اطلاعات به لایه خروجی با استفاده از توابع انتقال همانند تانژانت هایپربولولیک یا تابع منطقی به محاسبه ضرایب وزن مناسب می‌پردازد. ساختار سه لایه FFNNs[10] بر پایه ترکیب خطی از متغیرهای ورودی است که با یک تابع محرک غیرخطی تبدیل می‌یابد. این ساختار از شبکه به این دلیل شبکه پیشرو نامیده می شود که چگونگی ارتباط میان نرون‌ها به گونه‌ای است که از لایه ورودی به لایه مخفی و از این لایه به لایه خروجی اتصال می‌یابند و درون یک لایه نیز نرون‌ها به یکدیگر ارتباط پیدا نمی‌کنند [۱۴].

[10] Feed forward neural network

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

۲-۶- ماشین بردار پشتیبان

ماشین‌های بردار پشتیبان SVM در سال ۱۹۹۵ توسط واپنیک و کرتز معرفی شدند. شبکه‌های عصبی SVM برخلاف سایر انواع شبکه‌های عصبی (MLP,[۱۳]RBF,[۱۲]ANFIS[۱۱]) به‌جای اینکه خطای مدل‌سازی یا طبقه‌بندی را کمینه کنند، ریسک عملیاتی را به‌عنوان تابع هدف در نظر می‌گیرند و مقدار بهینه آن را محاسبه می‌کنند. اگر فرض بر طبقه‌بندی یک مجموعه داده به دو گروه باشد، در واقع کاری که شبکه عصبی SVM انجام می‌دهد، ریسک عدم طبقه‌بندی صحیح را بصورت سری کمیت‌های عددی بیان کرده، سپس مقدار کمینه آن را محاسبه می‌کند؛ اما یک شبکه عصبی MLP هر موقع تفکیک درست باشد یا مقدار خطای تفکیک کمینه باشد آن را به‌عنوان راه حل ارائه می‌کند. ماشین بردار پشتیبان الگوریتمی است که نوع خاصی از مدل‌های خطی را می‌یابد که حداکثر حاشیه ابر صفحه را حاصل می کنند. حداکثر کردن حاشیه ابر صفحه منجر به حداکثر شدن تفکیک بین دسته ها می‌شود. به نزدیک‌ترین نقاط آموزشی به حداکثر حاشیه ابر صفحه، بردارهای پشتیبان اطلاق می‌گردد و تنها از این بردارها برای مشخص کردن مرز بین دسته‌ها استفاده می‌شود. قواعد تصمیم‌گیری که تعریف می‌شود و توسط یک صفحه بهینه که طبقات تصمیم‌گیری باینری را تفکیک می‌کند، به صورت رابطه ۳ است [۱۵]:

$$y = sign(\sum_{i=1}^{N} y_i a_i (X.X_i) + b) \quad (۳)$$

که در آن y خروجی معادله، yi ارزش طبقه نمونه آموزشی X_i و . نشان دهنده ضرب داخلی است. بردارهای $x=(x_1,x_2,...,x_n)$ نشان دهنده یک داده ورودی و بردارهای X_i بردارهای پشتیبان هستند. در این تحقیق، از SVM نوع حاشیه نرم با الگوریتم حداقل مربعات LSSVM[۱۴] استفاده شده است.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج واسنجی HEC-HMS

فرآیند بارش-رواناب حوضه‌ی آبریز LRW با استفاده از مدل مفهومی کلارک در نرم افزار HEC-HMS با توجه به زیر حوضه بندی مشخص شده حوضه‌ی آبریز برای سال پایه مدلسازی شد. شکل (۴) ، نحوه مدلسازی حوضه‌ی آبریز LRW را در نرم افزار HEC-HMS نشان می‌دهد. شیب و مساحت زیر حوضه‌ها توسط ابزار GIS بدست آمد و مقادیر CN نیز بر اساس روش سازمان حفاظت خاک آمریکا، محاسبه گردید (جدول ۱). علاوه بر این، پارامترهای زمان تمرکز و ضریب مخزن زیر حوضه‌ها با بهینه سازی مدل HEC-HMS با استفاده از داده‌های بارش-رواناب روزانه سال پایه (جدول ۱) بدست آمد که در آن ۲۱ رویداد (۱۵ رویداد برای آموزش و ۶ رویداد برای صحت سنجی) برای حوضه‌ی آبریز LRW مورد استفاده قرار گرفت. پس از بهینه‌سازی پارامترهای مدل، با توجه به پارامترهای ژئومورفولوژیکی و پوشش اراضی، ضریب مخزن زیرحوضه‌ها می‌تواند مورد بحث قرار گیرد. همانطورکه شکل‌های (۶ الف و ۶ ب) و جدول (۱) نشان می‌دهد در حوضه آبریز LRW، زیر حوضه آبریز B بیشترین مقدار ضریب مخزن را در مقایسه با سایر زیر حوضه‌ها به دلیل مساحت بزرگ این زیر حوضه، به خود اختصاص داده است. زیر حوضه O دارای اراضی

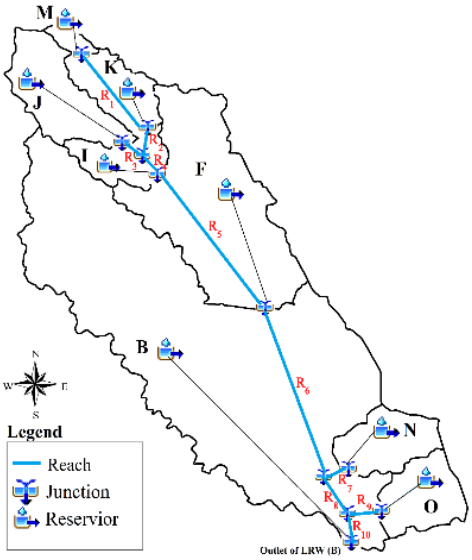
[11] Adaptive neuro fuzzy inference system
[12] Radial basis function
[13] Multi layer perceptron
[14] Least square SVM

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

جنگلی بیشتر، مزارع و مراتع کمتر در مقایسه با زیرحوضه آبریز N است، بنابراین باید مقدار ضریب مخزن بالایی را به خود اختصاص دهد، اما به دلیل شیب بیشتر در زیر حوضه O، هر دو این حوضه‌های پایین دست تقریبا ضرایب مخزن مشابهی دارند (جدول ۱). همچنین، حوضه آبریز K، با وجود شیب بیشتر نسبت به زیر حوضه آبریز I، با توجه به مساحت بیشتر و اراضی جنگلی بیشتر، ضریب مخزن بیشتری دارد.



شکل ۴: مدلسازی حوضه آبریز LRW در نرم افزار HEC-HMS.

۳-۲- محاسبه مقادیر موجک آنتروپی سری های ایجاد شده رواناب

پس از مدلسازی بارش-رواناب حوضه‌های آبریز با استفاده از نرم‌افزار HEC-HMS برای سال‌های پایه، تأثیر تغییرات کاربری و پوشش گیاهی بر روی پاسخ حوضه‌های آبریز می‌تواند با روش معکوس پیشنهاد شده مورد بررسی قرار گیرد. اما برای پیش برد مسائل معکوس بایستی پیش فرض‌های خاص مدنظر قرار گرفته و تعداد پارامترهای مجهول کاهش یابد [۱۶]. بنابراین، فرض اصلی این تحقیق، این موضوع می‌باشد که مقدار تغییرات کاربری و پوشش گیاهی فقط به پارامتر ضریب مخزن در هر زیر حوضه بستگی دارد و پارامترهای دیگر مانند پارامترهای ماسکینگهام، ثابت نگه داشته شد که چنین فرض‌های مشابهی در دیگر تحقیقات نیز مورد استفاده قرار گرفته است [۱۷-۱۹]. با تغییر در مقادیر ضریب مخزن برای زیر حوضه‌های مختلف با ترکیب‌های مختلف، رواناب خروجی مختلف برای حوضه‌های آبریز در نرم افزار HEC-HMS تهیه شد. به طوری که مقادیر و ترکیبات مختلف ضریب مخزن بر مبنای تولید اعداد تصادفی به روش مونت کارلو به دست آمد. پس از مدل سازی بارش-رواناب حوضه‌های آبریز با استفاده از نرم افزار HEC-HMS و تولید سری‌های زمانی مختلف رواناب با طول مدت ۳۶۵ روز با تغییر مقادیر ضریب مخزن زیر حوضه‌ها، امکان ایجاد ارتباط بین مقادیر ضریب مخزن و سری‌های زمانی مختلف خروجی حوضه‌های آبریز فراهم گردید بطوریکه رابطه ضریب مخزن -رواناب باید قادر به ایجاد ارتباط معنی‌دار بین تغییرات کاربری و پوشش گیاهی و رواناب خروجی باشد. این رابطه نیاز به ویژگی‌های خاصی مانند دقت، سادگی، کاربرد و توانایی تعمیم دادن در آینده دارد. شبیه‌سازی رابطه بین مقادیر ضریب مخزن-رواناب با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی (شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان) انجام گردید. برای افزایش دقت و کارایی مدل و قبل از محاسبه آنتروپی رواناب‌های خروجی، الگوی فصلی آنها با استفاده از تبدیل موجک استخراج گردید. بنابراین برای بدست آوردن الگوی فصلی سری‌های زمانی رواناب، از تبدیل موجک برای برای بهبود شبیه‌سازی ضریب مخزن-رواناب استفاده گردید. در این میان،

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

انتخاب مادر موجک مناسب، یک چالش در مدلسازی ترکیبی موجک-هوش مصنوعی به شمار می‌رود. وظیفه مادر موجک کشف شباهت مابین تابع موجک مورد استفاده و سری زمانی مورد تحلیل می‌باشد که بدلیل نتایج بهتر مدلسازی مادر موجک *coif2* نسبت به مادر موجک‌های دیگر نظیر *db*2 و *db*5 (سعی و خطا)، این مادر موجک در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت [۲۰]. علاوه بر این، انتخاب سطح تفکیک مناسب نیز در کاربرد تبدیل موجک دارای اهمیت خاصی است که در این مطالعه از طریق آنالیز حساسیت بدست آمد. در حالیکه رواناب با ۳۶۵ روز در نظر گرفته شده است، سطح تجزیه ۵ شامل ۵ زیرسری جز به عنوان حالت ۲^۱ روزه (d_1 - اولین زیر سری با فرکانس بالا)، حالت ۲^۲ روزه (d_2 - دومین زیر سری)، ۲^۳ حالت روزانه (d_3 - سومین زیر سری تقریبا هفتگی)، حالت ۲^۴ روزه (d_4 - چهارمین زیر سری)، حالت ۲^۵ روزه (d_5 - زیر سری پنجم و تقریبا ماهانه) و یک سری تقریب به عنوان سطح مناسب برای تجزیه سری رواناب در نظر گرفته شد. برای هر زیر حوضه، مقادیر ضریب مخزن مختلف با توزیع نرمال تولید گردید (جدول ۲). پس از این مرحله، ترکیبات مختلفی از مقادیر تولید شده ضریب مخزن در نرم افزار HEC-HMS برای تولید ۵۰۰ سری زمانی رواناب تعیین گردید.

جدول ۲: SCهای تولید شده با استفاده از روش مونت کارلو با توزیع نرمال برای حوضه LRW

زیرحوضه	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	انحراف معیار	تعداد نمونه‌ها
M	۱/۱۰	۰/۵۵	۱/۶۵	۰/۳۷	۱۲
K	۵/۲۴	۲/۶۲	۷/۸۷	۱/۵۳	۱۲
J	۱۰/۱۳	۵/۰۷	۱۵/۲۰	۳/۶۸	۱۳
I	۴/۸۸	۲/۴۴	۷/۳۲	۱/۸۴	۱۲
F	۲۴/۵۹	۱۲/۲۹	۳۶/۸۸	۹/۸۲	۱۵
N	۶/۵۹	۳/۲۹	۹/۸۸	۲/۲۷	۱۳
O	۶/۵۸	۳/۲۹	۹/۸۷	۲/۰۵	۱۳
B	۷۱/۵۵	۳۵/۷۸	۱۰۷/۳۳	۲۵/۷۵	۲۰

۳-۳- نتایج مدلسازی هوش مصنوعی

توزیع الگوهای آموزشی همچنین نقش مهمی در یادگیری شبکه دارد. از این رو ۵۰۰ نمونه الگوی ضریب مخزن تصادفی برای زیر حوضه‌های مختلف به عنوان خروجی مدل‌های هوش مصنوعی در نظر گرفته شد و موجک-آنتروپی مربوط به سری‌های زمانی خروجی از نرم افزار HEC-HMS (جهت حذف اطلاعات زائد و کاهش حجم ورودی) به عنوان ورودی (آنتروپی‌های زیر سری تخمین و زیرسری‌های جزئی اول تا پنجم) مدل‌های هوش مصنوعی در نظر گرفته شد. سپس رابطه بین موجک-آنتروپی و ضریب مخزن زیر حوضه‌ها با دو مدل مختلف هوش مصنوعی مدلسازی گردید. قابل ذکر می‌باشد که ۳۷۵ نمونه (۷۵٪ از ۵۰۰ نمونه) برای آموزش مدل‌های هوش مصنوعی و بقیه (۲۵٪ از ۵۰۰ نمونه) برای صحت سنجی استفاده گردید (جدول ۳). نتایج مدلسازی موجک-آنتروپی و ضریب مخزن، وجود ارتباط قوی بین ورودی‌ها و خروجی‌ها را تایید کرد (جدول ۳). پس از ایجاد ارتباط موجک-آنتروپی و ضریب مخزن، مدل‌ها می‌توانند برای تعیین مقادیر ضریب مخزن و به تبع آن تغییرات کاربری زیر حوضه‌ها در سال‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد. جهت ارزیابی کارایی مدل‌های هوش مصنوعی از دو نوع مدل متفاوت به نام‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان استفاده گردید.

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

جدول ۳: نتایج مدلسازی WE-SC با استفاده از MANN و MLSSVM برای حوضه LRW

مدل	ورودی	خروجی	DC		RMSE (hr)	
			آموزش	صحت سنجی	آموزش	صحت سنجی
MANN		SC_M	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۴۵	۳/۴۹
MLSSVM	WE_a WE_{d5} WE_{d4} WE_{d3} WE_{d2} WE_{d1}	SC_K SC_I SC_J SC_F SC_B SC_O SC_N	۰/۹۹	۰/۹۷	۰/۵	۳/۴۳

۳-۴- تخمین پارامترهای خوضه آبریز LRW

جدول (۴) نشان دهنده تعمیم رابطه موجک-آنتروپی و ضریب مخزن برای سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ با استفاده از مدل‌های MLSSVM و MANN است. با توجه به معیار ارزیابی DC در جدول (۴) برای حوضه آبریز LRW در سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ پیش بینی ضریب مخزن در سال‌های آتی توسط هر دو مدل هوش مصنوعی نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد.

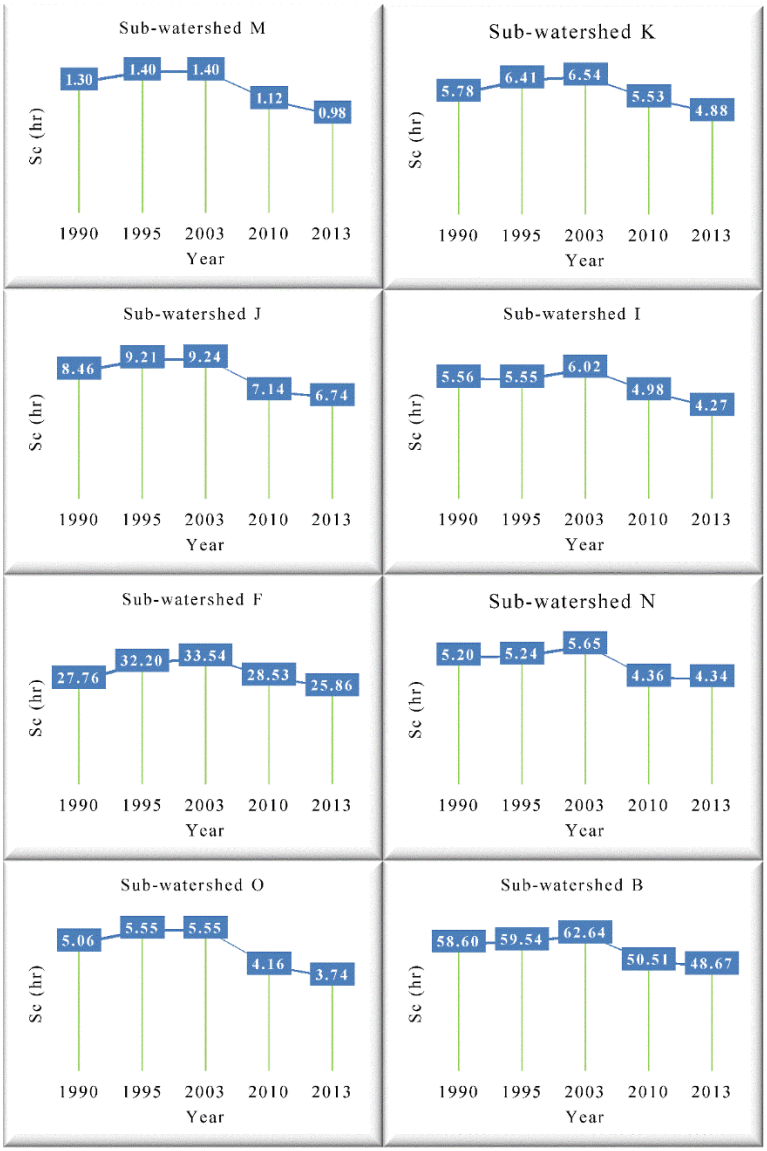
جدول ۱ جدول ۴: تعمیم رابطه موجک-آنتروپی برای حوضه LRW

سال	مدل	ورودی	SC زیر حوضه‌ها (ساعت)								معیار ارزیابی	
			M	K	J	I	F	N	O	B	DC	RMSE (hr)
۱۹۹۰	HEC-HMS		۱/۱۰	۵/۲۴	۱۰/۱۳	۴/۸۸	۲۴/۵۹	۶/۵۹	۶/۵۸	۷۱/۵۵	-	-
	MANN	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۲۵	۵/۷۵	۸/۳۰	۵/۵۴	۲۷/۸۹	۵/۰۹	۵/۰۸	۵۷/۴۷	۰/۹۴	۵/۲۲
	MLSSVM	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۳۰	۵/۷۸	۸/۴۶	۵/۵۶	۲۷/۷۶	۵/۲۰	۵/۰۶	۵۸/۶۰	۰/۹۵	۴/۸۲
۱۹۹۵	HEC-HMS		۱/۱۶	۵/۲۴	۱۰/۷۸	۴/۸۸	۲۶/۱۸	۶/۶۱	۶/۵۹	۷۱/۰۶	-	-
	MANN	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۳۸	۶/۲۴	۸/۴۹	۵/۴۰	۳۲/۲۰	۵/۱۰	۵/۰۹	۵۸/۳,۱	۰/۹۴	۵/۱۲
	MLSSVM	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۴۰	۶/۴۱	۹/۲۱	۵/۵۵	۳۲/۲۰	۵/۲۴	۵/۵۵	۵۹/۵۴	۰/۹۵	۴/۶۹
۲۰۰۳	HEC-HMS		۱/۱۹	۵/۳۲	۱۱/۰۲	۴/۹۷	۲۶/۹۵	۶/۶۲	۶/۶۱	۷۳/۵۰	-	-
	MANN	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۳۶	۶/۵۴	۸/۷۷	۵/۸۰	۳۴/۱۴	۵/۵۵	۵/۴۴	۶۱/۹۴	۰/۹۵	۴/۹۴
	MLSSVM	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۴۰	۶/۵۴	۹/۲۴	۶/۰۲	۳۳/۵۴	۵/۶۵	۵/۵۵	۶۲/۶۴	۰/۹۶	۴/۶۰
۲۰۱۰	HEC-HMS		۰/۹۲	۴/۵۰	۹/۰۴	۴/۲۱	۲۳/۰۳	۵/۷۴	۵/۳۷	۶۱/۸۲	-	-
	MANN	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۱۲	۵/۵۳	۶/۹۶	۴/۹۸	۲۸/۹۲	۴/۳۰	۴/۱۴	۴۹/۵۲	۰/۹۳	۴/۹۴
	MLSSVM	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۱/۱۲	۵/۵۳	۷/۱۴	۴/۹۸	۲۸/۵۳	۴/۳۶	۴/۱۶	۵۰/۵۱	۰/۹۴	۴/۵۷
۲۰۱۳	HEC-HMS		۰/۸۵	۴/۲۹	۸/۵۲	۳/۹۹	۲۱/۹۱	۵/۵۳	۵/۰۷	۵۸/۵۰	-	-
	MANN	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۰/۹۴	۴/۷۸	۶/۵۷	۴/۱۲	۲۶/۹۴	۴/۲۶	۳/۶۰	۴۷/۷۶	۰/۹۴	۴/۳۱
	MLSSVM	$WE_{\text{رواناب خروجی}}$	۰/۹۸	۴/۸۸	۶/۷۴	۴/۲۷	۲۵/۸۶	۴/۳۴	۳/۷۴	۴۸/۶۷	۰/۹۵	۳/۸۶

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹



شکل ۵: تغییرات مقادیر SC زیرحوضه‌های LRW از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ با توجه به نتایج بدست آمده توسط MLSSVM.

همانطور که در شکل (۵) دیده می‌شود، بر اساس نتایج مدل ماشین بردار پشتیبان چند خروجی مقدار ضریب مخزن از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳ به طور خطی تغییر نمی‌کند. مقادیر ضریب مخزن از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ افزایش یافته و از سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ کاهش می‌یابد. اما به طور کلی روند کاهش مقادیر ضریب مخزن از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳ مشاهده می‌گردد. علاوه بر این، هر زیر حوضه رفتار منحصر به فرد خود را (تغییرات کاربری و پوشش گیاهی) دارد. به عنوان مثال، ضریب مخزن زیر حوضه آبریز F از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۰۳ به میزان ۲۱ درصد افزایش یافته و از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۳ به میزان ۲۳ درصد کاهش یافته اما در زیر حوضه B، ضریب مخزن از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳ به میزان ۷ درصد افزایش و پس از آن از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۳ به میزان ۲۲ درصد کاهش یافته است. در نهایت، مقادیر ضریب مخزن زیرحوضه‌های F و B به ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ به میزان ۷ درصد و ۱۷ درصد کاهش نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

۳-۵- صحت سنجی نتایج روش معکوس با استفاده از تصاویر لندست

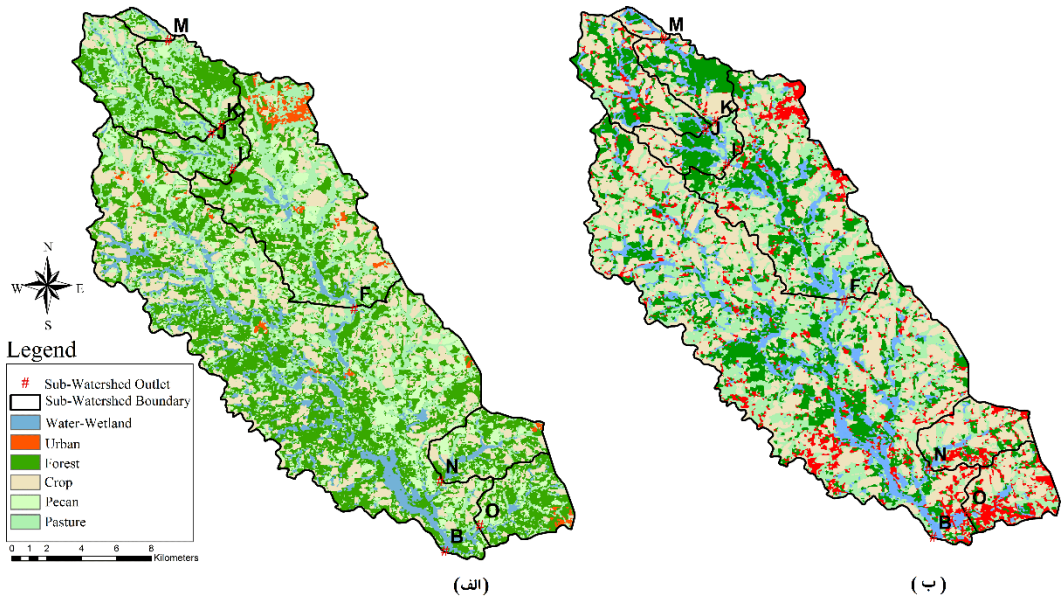
جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده از روش معکوس، در این قسمت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقادیر تغییرات پوشش و کاربری حوضه‌های آبریز استخراج گردیده است تا میزان این تغییرات با تغییرات ضرایب مخازن زیرحوضه‌ها مقایسه و تطبیق داده شود. جهت صحت سنجی نتایج بدست آمده از روش معکوس، در این قسمت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مقادیر تغییرات پوشش و کاربری حوضه‌های آبریز استخراج گردیده است تا میزان این تغییرات با تغییرات ضرایب مخازن زیرحوضه‌ها مقایسه و تطبیق داده شود. طبقه‌بندی اراضی پوشش گیاهی حوضه‌های آبریز با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای استخراج گردید. همانطور که در نقشه طبقه بندی اراضی دیده می‌شود (شکل ۶ الف و ب)، قسمت‌های شمالی حوضه آبریز LRW دارای ارتفاع بالاتر از سطح دریا در مقایسه با خروجی حوضه آبریز LRW می‌باشد، پوشش جنگل دارای تراکم بیشتری است و مزارع و مراتع دارای پوشش ضعیف هستند اما در قسمت‌های جنوبی حوضه آبریز، نسبت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی تغییر می‌کند و تراکم زمین‌های زراعی و مراتع بیشتر افزایش می‌یابد. اما در سال ۲۰۱۳، کاربری و پوشش حوضه آبریز به وضوح تغییر می‌کند که این تغییرات اراضی از گردوی آمریکایی و جنگل به مزارع و مراتع با مساحت‌های مختلف در تمام زیرحوضه‌ها، ناشی از افزایش جمعیت می‌باشد. در مجموع، با توجه به تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز LRW از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳، وجود برخی از تغییرات در پاسخ حوضه آبریز LRW به عنوان مثال رواناب خروجی انتظار می‌رود. به طور کلی، میزان نفوذ و جذب بارندگی خاک از بالاترین به پایین ترین، جنگل، مراتع، مزارع و شهری است، بنابراین، با توجه به جنگل زدایی حوضه آبریز LRW از سال ۱۹۹۰ تا سال ۲۰۱۳، و تغییر توانایی نگهداری آب در خاک، انتظار کاهش مقادیر ضریب مخزن در زیر حوضه‌ها می‌رود. شکل (۷) تغییرات مقادیر ضریب مخزن را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ (تغییرات بین مقادیر ضریب مخزن در زیر حوضه‌ها برای HEC-HMS ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ تعیین شده توسط ماشین بردار پشتیبان چند خروجی) در مقابل تغییرات متفاوت کاربری و پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، کاهش مقادیر ضریب مخزن ضریب همبستگی بالایی با افزایش میزان جنگل‌زدایی و افزایش مراتع و مزارع نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که مدل‌های هوش مصنوعی قادر به شناسایی روند تغییرات کاربری و پوشش گیاهی با تحلیل رواناب خروجی در سال‌های آینده می‌باشند. روش معکوس کاهش ۱۶ درصدی ضریب مخزن برای حوضه آبریز K را در مقابل کاهش جنگل به میزان ۳۵ درصد و افزایش زمین زراعی به میزان ۲۵ درصد (که توسط نقشه طبقه بندی اراضی نشان داده می‌شود) نشان می‌دهد، همچنین این روش ۲۶ درصد کاهش ضریب مخزن برای زیر حوضه O را در مقابل ۵۳ درصد کاهش زمین‌های جنگلی و افزایش ۲۱ درصدی مزارع را نشان می‌دهد. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که فرضیه مربوط به نمایندگی تغییرات کاربری و پوشش گیاهی با تغییرات ضریب مخزن دور از حقیقت نیست، چرا که تغییرات کاربری و پوشش گیاهی و تغییرات ضرایب مخزن، هر دو روند مشابهی را برای زیر حوضه‌ها نشان می‌دهد. با توجه به این موضوع، به دلیل افزایش ضریب مخزن در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۳، مشخص است که میزان پوشش جنگل حوضه آبریز LRW افزایش یافته است، اما پس از سال ۲۰۰۳، پوشش جنگل تا سال ۲۰۱۳ با جنگل‌زدایی جایگزین شده است (به عنوان مثال، مزارع و مراتع). علاوه بر تفسیر رابطه بین ضریب مخزن و جنگل زدایی، لازم است که تغییر موضعی جنگل به دیگر پوشش‌ها و اثر آن بر SC بر اساس نتایج جدول (۵) تحلیل گردد. همانطور که در جدول (۵) دیده می‌شود، زیر حوضه‌های N و B دارای درصد مشابهی از کاهش ضریب مخزن اما با درصد مختلف جنگل زدایی می‌باشند، در حالی که در زیر حوضه N، شهرسازی و مراتع به ترتیب ۱۴ درصد و ۳ درصد تغییرات را نشان می‌دهد. اما برای زیر حوضه B، تغییرات شهرسازی و مراتع به ترتیب ۷ و ۱۴ درصد می‌باشد. با وجود جنگل‌زدایی بیشتر در زیر حوضه B نسبت به زیر حوضه N، دارای کاهش ضریب مخزن یکسانی هستند، این امر به دلیل ظرفیت نفوذ کم اراضی شهری نسبت به مراتع می‌باشد. علاوه بر این، زیر حوضه‌های F و I درصد مشابهی از جنگل زدایی دارند و انتظار می‌رود که درصد مشابهی کاهش ضریب مخزن داشته باشند، اما با این وجود، ضریب

www.SID.ir

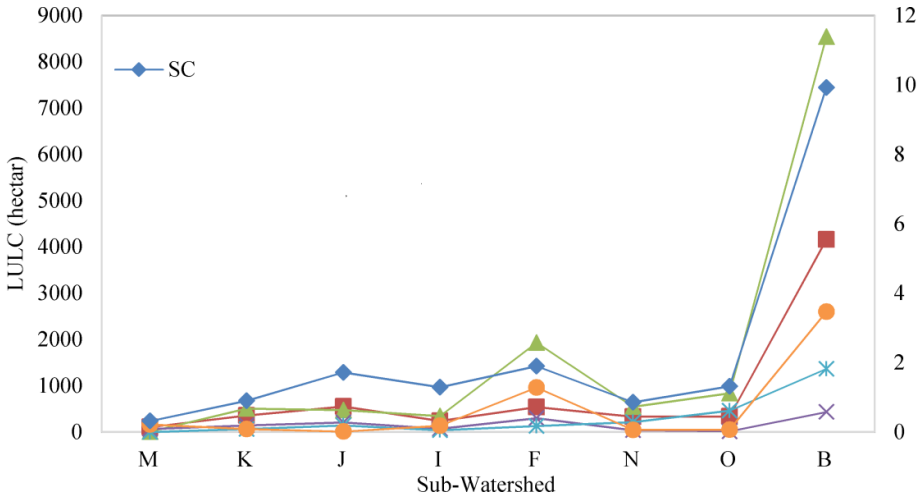
Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

مخزن حوضه آبریز I درصد بیشتری نسبت به زیر حوضه F کاهش می‌یابد، چرا که بیشتر جنگل‌زدایی حوضه آبریز I تبدیل به مزارع گشته است. زمین‌های زراعی میزان نفوذ پایین و جذب بارندگی کمتری نسبت به مراتع را دارا می‌باشند. علاوه بر این، جنگل زدایی و شهرسازی بیشتر در زیر حوضه O باعث ایجاد درصد تغییرات ضریب مخزن بیشتری نسبت به سایر زیر حوضه‌ها گردیده است.



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی حوضه آبریز LRW برای سال ۱۹۹۰ (الف) و سال ۲۰۱۳ (ب)



LULC	Crop	Forest	Water	Urban	Pasture
Correlation coefficient with SC changes	0.99	0.99	0.82	0.95	0.95

شکل ۷: تغییرات SC در برابر تغییرات پوشش و کاربری زیرحوضه‌های LRW از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳.

www.SID.ir

Arshive of SID

فصلنامه علمی- تخصصی/ رویکردهای نوین در مهندسی عمران
ISSN ONLINE: 2588-7122- ISSN PRINT: 2588-6886 ، دوره دوم، شماره ۴، ۱۳۹۷، صفحه: ۵۳-۶۹

جدول ۵: تغییرات SC در مقابل تغییرات کاربری و پوشش زیرحوضه ها مابین سالهای ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ برای حوضه LRW

افزایش از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳	زیرحوضه							
	B	M	K	J	I	F	N	O
آب	۲ ٪	۲۴٪	۱۰٪	-۱۰٪	-۷٪	۵٪	-۳٪	-۱٪
شهری	۷٪	۰٪	۵٪	۷٪	۴٪	۲٪	۱۴٪	۲۹٪
مرتع	۱۴٪	-۶۳٪	-۴٪	۰٪	۱۳٪	۱۵٪	۳٪	۳٪
کشاورزی	۲۲٪	۴۲٪	۲۵٪	۲۵٪	۲۲٪	۸٪	۲۱٪	۲۱٪
جنگل	-۴۶٪	-۴٪	-۳۵٪	-۲۲٪	-۳۱٪	-۳۰٪	-۳۵٪	-۵۳٪
SC	-۱۷٪	-۲۵٪	-۱۶٪	-۲۰٪	-۲۳٪	-۷٪	-۱۷٪	-۲۶٪

۴- جمع بندی و نتیجه گیری

در این تحقیق، یک روش معکوس برای تعیین تغییرات کاربری و پوشش گیاهی حوضه آبریز LRW واقع در ایالت جورجیای آمریکا ارائه گردید. با استفاده از روش معکوس پیشنهادی و تنها با توجه به سری زمانی رواناب خروجی حوضه آبریز، شدت و موقعیت تغییرات کاربری و پوشش گیاهی با هزینه کمتر نسبت به روشهای مستقیم بدست آمد. در مرحله اول مدلسازی، به منظور تعیین شدت و محل تغییرات کاربری و پوشش گیاهی، حوضه‌های آبریز به تعدادی زیر حوضه‌های تقسیم بندی شد. پس از آن، بارش-رواناب حوضه‌های آبریز در نرم‌افزار HEC-HMS برای سال‌های پایه (۱۹۹۰ حوضه آبریز LRW) با استفاده از مدل مفهومی کلارک مدلسازی گردید. تغییر پارامتر ضریب مخزن مدل کلارک برای هر زیر حوضه به عنوان تغییرات کاربری و پوشش گیاهی زیر حوضه‌ها مورد نظر قرار گرفت. بنابراین، با تولید مقادیر تصادفی ضریب مخزن برای زیر حوضه‌ها از طریق روش مونت کارلو، رواناب‌های خروجی مختلف برای حوضه‌های آبریز با استفاده از HEC-HMS به دست آمد. سپس موجک-آنتروپی رواناب‌های تولید شده محاسبه گردید و به مدل‌ها اعمال شد تا از ورود اطلاعات زائد به مدل‌های هوش مصنوعی جلوگیری گردد. سپس رابطه ریاضی موجک-آنتروپی سری‌های زمانی رواناب و مقادیر ضریب مخزن زیر حوضه‌ها با استفاده از مدل‌های هوش مصنوعی ماشین بردار پشتیبان چند خروجی و شبکه عصبی چند خروجی مدلسازی گردید. با استفاده از رابطه استخراج شده بین موجک-آنتروپی و ضریب مخزن در سال‌های پایه، مقادیر ضریب مخزن زیر حوضه‌ها برای سال‌های آتی (۱۹۹۵، ۲۰۰۳، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۳ حوضه آبریز LRW) پیش بینی گردید. بر اساس معیار ارزیابی، مدل پیش‌بینی ضریب مخزن در سال‌های آینده نتایج قابل قبول را نسبت به HEC-HMS واسنجی شده در این سال‌ها با روش پیشنهادی ارائه داد. برای صحت سنجی تشخیص ضریب مخزن توسط مدل‌های هوش مصنوعی، طبقه بندی اراضی حوضه آبریز LRW برای هر دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ استخراج گردید. نتایج مدلسازی توسط هر دو مدل هوش مصنوعی نشان داد که تفاوت نوع مدل هوش مصنوعی تاثیر چندانی در نتایج روش معکوس ندارد و این بدلیل حذف اطلاعات زاید در قسمت ورودی مدل‌های هوش مصنوعی توسط موجک و آنتروپی می‌باشد. در حوضه LRW ، افزایش مزارع و روند جنگل‌زدایی از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ با شدت‌های متفاوت و در مکان‌های مختلف حوضه آبریز LRW تعیین تغییرات ضریب مخزن با روش معکوس پیشنهادی را تایید کرد. علاوه بر این، مقادیر ضریب مخزن زیر حوضه‌ها در سه سال میانی بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۳ (یعنی ۱۹۹۵، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۰) شناسایی گردید، که پس از بررسی پارامترهای ضریب مخزن آنها، مشخص گردید که تا سال ۲۰۰۳ زمین‌های جنگلی بیشترین مساحت حوضه آبریز LRW را پوشش داده‌اند، اما پس از سال ۲۰۰۳، جنگل زدایی شروع گردیده است، در حالی که در زیر حوضه‌های جنوبی میزان جنگل زدایی در مقایسه با زیر حوضه‌های شمالی بیشتر می‌باشد.لازم به ذکر است

www.SID.ir

Arshive of SID

که استفاده از روش کلارک برای تبدیل بارش به رواناب در این تحقیق قابلیت روش پیشنهادی معکوس را محدود نمی‌کند و دیگر مدل‌های مفهومی تبدیل بارش به رواناب مشابه (مانند مدل‌های مبتنی بر مفهوم مخزن خطی) را می‌توان در مطالعات آینده مورد استفاده قرار داد. همینطور به جای استفاده از ضریب مخزن به عنوان تنها نماینده تغییرات کاربری و پوشش گیاهی از دو یا چند پارامتر برای این منظور استفاده گردد و تغییرات دما، تبخیر و بارش نیز در مطالعات آینده مد نظر قرار گیرد. علاوه بر این، روش پیشنهادی را می‌توان به طور مشابه برای تشخیص تغییرات آینده در دیگر موضوعات آب و محیط زیستی مورد استفاده قرار داد.

۵- مراجع

1- Agaton, M., Setiawanb, Y. and Effendib, H., 2016, **Land use/land cover change detection in an urban watershed: a case study of upper Citarum Watershed, West Java Province, Indonesia**, Procedia Environmental Sciences, 33, 654-660.

2- Hu, H. B., Liu, H. Y., Hao, J. F. and An, J., 2012, **Analysis of land use change characteristics based on remote sensing and GIS in the Jiuxiang river watershed**, International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 5, 811-823.

3- Tran, L. T. and O'Neill, R. V., 2013, **Detecting the effects of land use/land cover on mean annual streamflow in the Upper Mississippi River Basin, USA**, Journal of Hydrology, 499, 82-90.

4- Zegre, N. P., Miller, A. J. Maxwell, A. and Lamont, S. J., **Multiscale analysis of hydrology in a mountaintop mine-impacted watershed**, Journal of the American Water Resources Association, 50, 1257-1272.

5- Butt, A. Shabbir, R., Ahmad, S. S. and Aziz, N., **Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18, 251-259.

6- Persendt, F. C. and Gomez, C., **Assessment of drainage network extractions in a low-relief area of the Cuvelai Basin (Namibia) from multiple sources: LiDAR, topographic maps, and digital aerial orthophotographs**, Geomorphology, 260, 32-50.

7- Welde, K. and Gebremariam, B., 2017, **Effect of land use land cover dynamics on hydrological response of watershed: Case study of Tekeze Dam watershed, northern Ethiopia**, International Soil and Water Conservation Research, 5, 1-16.

8- Diamantini, E., Lutz, S. R., Mallucci, S., Majone, B., Merz, R. and Bellin, A., 2018, **Driver detection of water quality trends in three large European river basins**, Science of the Total Environment, 612, 49-62.

9- Tarantola, A., 2005, **Inverse problem theory and methods for model parameter estimation**, SIAM, the U.S. (342 pp).

www.SID.ir

Arshive of SID

10- Bosch, D. D., Sullivan, D. G. and Sheridan, J. M., 2006, **Hydrologic impacts of land-use changes in coastal plain watersheds**, Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers, 49, 423-432.

11- USACE, 2013. **HEC-HMS User's Manual. US Army Corps of Engineers**, Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 442 pp.

12- Straub, T. D., Melching, C. S. and Kocher, K. E., 2000, **Equations for estimating Clark unit hydrograph parameters for small rural watersheds in Illinois**, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigations Report 00-4184, 36pp.

13- Nourani, V., Khanghah, T. R. and Baghanam, A. H., **Application of entropy concept for input selection of Wavelet-ANN based rainfall-runoff modeling**, Journal of Environmental Management, 26, 52-70.

14- Kim, T. and Valdes, J. B., 2003, **Nonlinear model for drought forecasting based on a conjunction of wavelet transforms and neural networks**, Journal of Hydrologic Engineering, 8, 319-328.

15- Vapnik, V. and Cortes, C., 1995, **Support Vector Networks**, Machine Learning, 20, 1-25.

16- Zhou, H., Gómez-Hernández, J. J. and Li, L., 2014, **Inverse methods in hydrogeology: Evolution and recent trends**, Advances in Water Resources, 63, 22-37.

17- Bronstert, A., 2005, **Rainfall–runoff modeling for assessing impacts of climate and land use change**, In: Anderson, M.G., McDonnell, J.J., (Eds.), Encyclopedia of Hydrological Sciences. John Willey & Sons Lds., Chichester, 2033-2059.

18- Dwarakish, G. S., Ganasri, B. P., 2015, **Impact of land use change on hydrological systems: A review of current modeling approaches**, Cogent Geoscience, 1, 1-18.

19- Si, W., Bao, W., Qu, S., Zhou, M., Shi, P. and Yang, X., 2017, **Modelling the effect of land use change on hydrological model parameters via linearized calibration method in the upstream of Huaihe River Basin, China**, Water SA, 43, 275-284.

20- Nourani, V., Andalib, G., Sadikoglu, F. and Sharghi, E., 2017, **Cascade-based multi-scale AI approach for modeling rainfall-runoff process**, Hydrology Research, 49, 1191-1207.

www.SID.ir