تخمين رسوب روزانه با استفاده از مدلسازي ديناميك در حوزه آبخيز کسيليان[۱]

سيد حميدرضا صادقي[۲] علي نيکپور[۳] سيد علي ايوب زاده[٤]

چکيده

از جمله روش‌هايي که براي تخمين مقدار توليد رسوب يك حوزه به کار مقدار مدل‌هاي ديناميك(**Dynamic Models**) هستند که براي اولين بار در ايران در اين تحقيق استفاده شده است. متغيرهاي اين گونه مدل‌ها وابسته به زمان بوده و تـأثير هـر يـك از عوامل موثر در توليد رسوب را براساس زمان وقوع نشان مي‌دهد. در فرآيند مدلسازي ديناميك، حوزه آبخيز معرف کسـيليان بـا مساحت ٦٨٧٨ هکتار، واقع در مناطق کوهستاني و جنگلي شمال ايران و داراي اطلاعات و آمار بارندگي، دبي و رسـوب، مـورد استفاده قرار گرفت. در اين خصوص کلية آمار و اطلاعات مربوط به بارش، دبي و رسوب روزانه طي سال‌هـاي ١٣٤٩ تـا ١٣٧٧ جمع آوري، پالايش و آناليز گرديد. سپس با استفاده از مفهوم مدلسازي ديناميك و بـا کمـك نـرم افزارهـاي آمـاري **Excel** و **SPSS** مبادرت به تهيه و استخراج مدل‌هاي مناسب گرديد. فرآيند مدلسازی برای کليه داده‌ها به صـورت يکجـا و دسـته بنـدی فصلی و ماهانه آنها و در اشکال معادلات خطی و غير خطی صورت گرفت. در مجموع، تجزيه و تحليل‌های آماري نتايج به‌دست آمده نشان داد که تقسيم بندي ماهانه و فصلي وقايع، منجر به دستيابي به روابط برتر در بين معادلات به‌دست آمـده شـده اسـت. رسوب روزانة حوزه کسيليان از حداکثر تا رسوب روزانه نه ، بارش ده و دبي ده روز متمـادي پيشـين تـاثير پذيرفتـه و وقـايع روزهاي پيش از آنها تاثير معني‌داري بر توليد رسوب روز مورد نظر نداشته‌اند. همچنين تاثير دبي روز واقعه بر مقادير دبي رسوب بيشتر از ساير متغيرها بوده است. نتايج نشان مي‌دهد که در ماه‌هاي فروردين، شهريور، مهر، دي و بهمن مدل‌هاي غيرخطـي و در ساير ماه‌ها مدل‌هاي خطي برازش بهتري با داده‌ها داشته اند. ضريب تبيين اغلب معادلات به‌دست آمده در مـدل‌هـاي پيشـنهادي بيش از ۰/۸۰ و خطاي تخمين آنها در حد دامنة مورد قبول وقايع تصادفي و زير ٤٠ درصد بوده و لذا کاربرد مدلسازي ديناميك در برآورد رسوب روزانه را تاييد مي نمايد.

واژه‌های کليدی: *برآورد رسوب، مدل ديناميک، حوزۀ کسيليان، ايران.*

---

[۱]- تاريخ دريافت:۸۱/۵/۱، تاريخ پذيرش: ۸۲/۹/۲۴

[۲]- استاديار دانشکده منابع طبيعي و علوم دريايي، دانشگاه تربيت مدرس**(E-mail: sadeghi@modares.ac.ir)**

[۳]- دانش آموختة آبخيزداري، دانشکده منابع طبيعي و علوم دريايي، دانشگاه تربيت مدرس.

[۴]- استاديار دانشکده کشاورزي، دانشگاه تربيت مدرس.

مقدمه

سالیان درازي است که به دليـل رشـد جمعيـت انسـاني و استفاده‌هاي مفرط از منابع طبيعي، سطح کره زمين دچار تحولات غير مطلوبي شده به طوري‌که منـابع آب و خـاك در جهت تامين غذا بيش از ساير منابع، مورد تهاجم واقـع گرديده است. از ميان رفـتن پوشـش‌هـاي گيـاهي سـطح زمين و تخريب خاك از آثار منفي اين فرآيندها محسـوب مي شوند. امروزه بشر دريافته است که براي استفاده بهينه از هر پديده‌اي بايد ابتدا آن را خوب شناخت و بعـد اقـدام مناسب در راستاي دستيابي به اهداف مورد نظر را اعمـال نمود. مسئله مهار فرسايش نيز از اين قاعده مستثني نبوده و به همين دليل، بررسي و تحقيق در امر نحوه فرسايش و رسوب مستلزم شناخت مراحل و قوانين اين پديده خواهد بود. طي دهه‌های اخير پيشرفت‌هـاي چشـمگيري در امـر تحقيقات مربوط به فرسايش و رسوب در جهـان بـه عمـل آمده، ولي هنوز راه حل قطعـی و سـهل الوصـولي در ايـن زمينه ارايه نگرديده است.

مدل‌هاي تخمين رسوب شامل مدل‌هـاي رگرسـيوني[۱]، پارامتريـك[۲]، ديناميـك[۳]، احتمـالي[٤] و رسـوب نگارهـا[5] مي‌باشد. مدل‌هاي رگرسيوني از برقراري ارتباط بين برخي از متغيرهاي مستقل با متغير وابسـته (رسـوب) بـه‌دسـت آمده‌اند. مدل‌هاي پارامتريك وابسته به زمـان نبـوده و بـه صـورت کلـي تخمينـي از بـرآورد رسـوب و بـر اسـاس پارامترهای حوزه که در شرايط خاص ثابت هسـتند، ارايـه مي‌دهند و به مدل‌هاي سنجه رسوب[٦] نيز معروف هستند. مـدل‌هـاي پارامتريـك ارتبـاط دهنـده توليـد رسـوب بـا پارامترهای حوزه از قبيل متغيرهاي توپـوگرافي و اقليمـي مي‌باشند. اين مدل‌ها به عنوان پيش بينـي کننـده مقـدار رسوب براي رودخانه‌هاي فاقد آمار به کار مي روند (۳) در حالي‌که مدل‌هاي ديناميك که به آنها مدل‌هاي وابسته بـه زمان[۷] و يا حافظه‌دار[۸] نيز مي‌گويند مدل‌هاي هسـتند کـه پارامتر زمان را در خروجي مدل دخيل کـرده و تـاثير هـر يك از عوامل موثر در توليد رسوب براساس زمان وقـوع را نشان مي‌دهد. آماده سازی مدل‌هاي ديناميك را مـي‌تـوان براساس داده‌های بارندگي روزانـه و دبـي روزانـه برداشـت شده در طول دوره آماري که فراوانی آنها به دليل سـهولت در جمع آوری و همچنـين دسـتيابی بـه آنهـا بـه مراتـب ساده‌تر است، انجام داد. اين سري مدل‌هـا در حـوزه هـاي فاقـد اطلاعـات رسـوب و داراي داده‌هـاي هيـدرومتري و اقليمي مناسب، کاربرد دارند (داس، ۲۰۰۰). مقولة احتمال در مدل‌هاي احتمالي به دقت مد نظر قرار گرفته و عليرغم مشـکلات خـاص در فرآينـد تهيـة آنهـا از ارزش خاصـي برخوردار هستند. مدل رسوب نگارها نيز بـه دليـل امکـان بـرآورد دقيـق مقـدار رسـوب توليـدي و همچنـين بيـان چگونگي توزيع آن طي واقعة مورد بررسي در پـروژه هـاي حفاظت آب و خاك بسيار کارآ و سودمند هستند (۹).

شرما و ديسکينسون[۹] (۱۹۸۰) مدل توليد رسوب روزانه در رودخانه تايمز واقع در جنـوبي تـرين قسـمت کانـادا را تهيه کرده است. او اظهار مي‌دارد که مدل ديناميك خطي را مي‌توان بر اساس داده‌های توليد رسوب و رواناب روزانـه تهيه نمود. رابطه رگرسيونی برقرار شده بـين آمـار روزانـه دبي و رسوب با ضريب تبيين حدود يـک کـارايي مـدل را نشان مي‌دهد(۱۲). مور[۱۰](۱۹۸٤) مدل ديناميك تخمـين بار معلق ساعت به ساعت در حوزه رودخانه کريـدي واقـع در انگلستان را ارايه نموده است. در اين مدلسازي از توابـع

[۱]- Regression Models
[۲]-Parametric Models
[۳]-Dynamic Models
[۴]-Stochastic Models
[۵]-Sedimengraphs
[۶]-Sediment Rating Models
[۷]-Time Variant Models
[۸]- Memory Models
[۹]-Shama and Dickinson
[۱۰]-Moore

حاکم بر کانال‌هاي روباز، جريان‌هاي آب زيرزميني و روندیابي موج استفاده کرده است. در اين مدل مشخص شده است که فرآيند توليد رسوب در حوزه آبخيز بستگي به چندين عامل داشته که در اين ميان دسترسي به داده‌هاي دبي و بارندگي بيشترين تأثير را دارد(۶). آشمور و دي[1] (۱۹۸۸) آثار دبي روي بار معلق در حوزه آبخيز رودخانه ساسکاچوان را مطالعه کردند. آنان آثار دبي روي بار رسوب را در ۲۱ محل حوزه مربوطه واقع در کوهستان راکي را بررسي نمودند. در اين حوزه تغييرات رسوب در طول ۵ تا ۲۹ سال ثبت شده است. بين دبي و رسوب رابطه‌اي بر قرار وپس از رسم هيستوگرام آن مشخص شد که آثار دبي بر روي توليد رسوب بيش از ساير متغيرها مي‌باشد (۱). تبريزي و همکاران(۱۹۹۰) مدل ديناميک تخمين سطح آب زيرزميني با استفاده از بارندگي، تبخير و تعرق پتانسيل و دبي را ارايه کردند. آنها دريافتند که اين روش را مي‌توان براي مدل سازي فرآيند توليد رواناب و رسوب نيز استفاده نمود (۱۳). وانگ و سينگ[2] (۱۹۹۱) مدل خطي بين رواناب و دبي رسوب در فلات لسي چين ارايه نمودند. اين مدل براي مطالعه بارش مازاد و در پنج حوزه کوچك مورد استفاده قرار گرفت. نتايج به‌دست آمده با مقادير مشاهده‌اي مطابقت خوبي را نشان داده است(۱۴). شارما و همکاران (۱۹۹۳) مدل ديناميك خطي براي پيش بيني رسوب معلق در حوزه هاي خشك واقع در رودخانه لوني هندوستان را ارايه نمودند. اين مدل مقدار رسوب معلق رواناب را تابعي از مقدار فعلي و گذشته رواناب مي‌داند (۱۱). پياسي[3] (۱۹۹۷) در رودخانه رامگانگا واقع درحوزه نئولا هندوستان، اثر سه واقعه گذشته را روي واقعه فعلي توليدرسوب بررسي کرده است. او يك مدل خطي ديناميك توليد رسوب را بر اساس فرآيند رواناب، بارندگي و رسوب ارايه نموده است. ايشان مدل ديناميك غير خطي رواناب- رسوب و بارش- رواناب-رسوب را کاربردي تر از ساير مدل‌هاي ديناميك معرفي کرده است(۷). همچنين کومار و داس[4] (۲۰۰۰) مدل ديناميك بارندگي-رواناب و توليد رسوب روزانه را براي حوزه آبخيز هيماليا تهيه کرده است. اين مدل بر اساس فرآيند بارندگي روزانه، رواناب و توليد رسوب در رودخانه رامگانگا با مساحتي در حدود ۱۰۱۰ کيلومتر مربع در حوزه آبخيز هيماليا، تهيه شده است(۵). مقايسه نتايج به‌دست آمده با مقادير واقعي نشانگر دقت بالاي مدل ديناميك غير خطي بوده است.

مواد و روش‌ها

حوزه آبخيز کسيليان دومين حوزة معرفي است که توسط وزارت نيرو در ايران تجهيز گشته و در جاده فيروزکوه واقع گرديده و فاصله مرکز حوزه (ده سنگده) تا تهران ۲۳۰ کيلومتر مي باشد. يکي از شاخه هاي فرعي رودخانه تالار، سرشاخه کسيليان بوده که ازدامنه شمالي سلسله جبال البرز در جهت جنوب به شمال جريان دارد و از قسمت‌هاي جنوبي حوزه سرچشمه مي‌گيرد. حدود حوزه کسيليان از مشرق به يال رودخانه چهاردره و ده ميان، از شمال به ده وليك بن، از غرب به جادة فيروزکوه و از جنوب به رشته کوه‌هاي سنگي محدود مي‌شود. رودخانه کسيليان در منطقه شيرگاه به رودخانه تالار متصل شده و در نهايت به درياي خزر مي‌ريزد. شکل (۱) نقشه و محل ايستگاه‌هاي هواشناسي و هيدرومتری حوزه آبخيز کسيليان را نشان می‌دهد.

کلية داده‌هاي مورد نياز براي تهيه مدل شامل آمار روزانة بارش، دبي و رسوب از شرکت تماب تهيه و پس از ويرايش، به محيط (Excel) وارد و پالايش‌های اوليه در

[1]-Ashmore and Day

[2]-Wang and singk

[3]-Pyasi

[4] -Kumar and Das

رابطه با اصلاح، تكميـل و بازسـازی آمـار انجـام پـذيرفت. طول دوره آماري براي دبي و بارش حدود ۲۸ سال(۱۳٤۹ - ۱۳۷۷) حال آنكه نمونه برداري از رسـوب تنهـا در دورة آماري ۱۳۵۰ تا ۱۳۵٤ صورت گرفته است و بعد از آن نيز آماري به صورت مكتوب و ذخيـره شـده از رسـوب وجـود ندارد. به اين دليل دورة آمار چهـار سـالة اشـاره شـده بـه واسـطة ضـرورت همزمـاني دادههـاي مـورد نظـر بـراي مدلسازي مورد استفاده قرار گرفت. سپس پردازش آمـاري لازم بر روي دادهها در برنامه (Excel) و مراحل ويرايشي با كمك نرم افزار(SPSS) صـورت پـذيرفت. در ايـن نـرم افزار، براي تهيه مدل ديناميـك از رگرسـيونهـای چنـد متغيره و با كمك روشهای پيشرو و پسرو[1] استفاده شده است. پس از ورود كليه آماررسوب، دبي و بارش هر كـدام به طور جداگانه مورد تجزيه و تحليل گرفتند. براي شـروع تجزيه و تحليل آماري لازم بـود اطلاعـات رسـوب روزانـه، رسوب ديروز، رسوب دو روز پيش و... به صورت سـتوني از دادهها آورده شود، براي اين كار از روش تأخيري اسـتفاده شد، كه در آن رسوب روزانه با رسوب روزهاي قبل، رسوب روزانه با بارش روزانه و بارش روزهاي قبـل، و نيـز رسـوب روزانه با دبي روزانه و دبي روزهـاي قبـل در سـتون هـاي جداگانه وارد گرديـده و آناليزهـاي رگرسـيوني بـين ايـن ستون دادهها صورت پذيرفت. در هر مرحله نيز مـدلهـاي موثق آماري با استفاده از معيارهاي كيفـي (شـرايط كلـي سازگاري دادههاي مشـاهده اي و تخمينـي) و نمايـههـاي كمي (ضريب همبسـتگي و خطـاي نسـبي) از بـين كليـه مدلهای تهيه شده مشخص گرديدند(۱۰).

در نهايـت بـه منظـور دسـتيابي بـه بهتـرين مـدل يـا مدلهاي ديناميك روزانة رسوب، كلية فرآيندهای تجزيه و تحليل براي ماهها و فصول مختلف سال انجـام گرديـد. در مدلهاي ماهانه از كلية دادههای روزهاي بهخصـوص مـاه (روز اول، روز دوم، روز سوم و ... هر ماه) مورد نظر در دوره مورد مطالعه ميـانگين گرفتـه (بـرای هـر روز از مـاه يـک ميـانگين) و سـپس آناليزهـاي آمـاري اعمـال گرديـد. در خصوص مـدل فصـلي در ابتـدا ميـانگين كليـة روزهـاي بخصوص فصل(روز اول، روز دوم، روز سوم و ... هر فصـل) مورد نظر محاسبه و به دنبال هم قرار گرفته و براي فصول پاييز، زمستان، بهار و تابستان با توجه به تعداد روزهای هر فصل به ترتيب ۹۰، ۸۹، ۹۳ و ۹۳ عدد ميانگين بـهدسـت آمد و سپس مدل ديناميـك رسـوب مربوطـه تهيـه شـد. دادهها به نحـوی در سـتونهـای برنامـه (Excel) رديـف گرديدند كه امكان بررسی ارتباط بين متغير وابسته رسوب روز مورد مطالعه با كليه آمار رسوب روزهای قبل، بـارش و دبی روز مورد نظر و روزهای قبل تا حـداقل چهـارده روز، پس از انتقال به نرم افـزار (SPSS) ممكـن باشـد. مـدل ديناميک در ابتدا به صورت خطی تهيه و در صورت پـائين بودن ضريب تبيين و يا بالا بودن خطـای تخمـين اشـكال غير خطی آن شامل توانی، لگاريتمی، نپرين و ... آنهـا نيـز مورد بررسی قرار گرفت. برای تعيـين قابليـت مـدلهـا در برآورد رسوب از معيار خطای تخمين دادههـا (رابطـه ۱) و حد قابل قبـول خطـای بـرآورد كمتـر از ۳۰ درصـد و در صورت نبود آمار كافی حتی تا ۴۵ درصد استفاده شد (۴).

$$E=\left|\frac{So-Se}{So}\right|\times 100 \qquad (۱)$$

كـه در آن E مقـدار مطلـق خطـای برآورد به درصد و So و Se به ترتيب مقادير مشاهدهای و تخمينی رسوب میباشند.

نتايج

كلية تجزيه و تحليلهاي آماري بر اساس روش كـار ارايـه شده در بخش قبل انجام و نتايج زير بهدسـت آمـد. كليـة اشكال خطي و غير خطي و متغيرهاي مستقل بارش، دبي و رسوب به طور جداگانه براي هر يـك از مقـاطع زمـانی روزانه، ماهانه و فصلي بررسـي و در مجمـوع شصـت و نـه

[1]-Forward and Backward

معادله با ضرایب تبیین و خطای تخمین مختلف به‌دست آمد. به منظور اختصار تنها روابط با بالاترین ضریب تبیین در هر مورد در جدول (۱) خلاصه شده است. در روابط زیر Yرسوب روزانه به گرم در لیتر، Q دبي به متر مکعب بر ثانیه، P بارش به میلیمتر، زیر نویس t-n (۲و۱و۰=n) نمایانگر روز واقعه و n تعداد روز پیش از واقعه مي‌باشد، مدل‌هاي ارایه شده در جدول (۱) بر اساس کلیة متغیرهاي دخیل در فرآیند تولید رسوب یعني بارش، دبي و رسوب روزانه تهیه و بهترین رابطه در هر یك از اشکال خطي و غیر خطي براي دورة زماني مورد بررسي ارایه گردیده است. به منظور ارایه عملکرد متفاوت مدل‌های دینامیک خطی و غیر خطی و همچنین توانایي بازسازي مقادیر مشاهده ای توسط مدل‌هاي تهیه شده، برای نمونه بازسازی داده‌های رسوب مربوط به ماه‌هاي فروردین و اردیبهشت با استفاده از هر دو نوع مدل در اشکال (۲) و (۳) و همچنین وضعیت بازسازی مقادیر رسوب توسط مدل خطي ماه‌هاي خرداد و تیر به دلیل خطای تخمین پایینتر در اشکال (۴) و (۵) نشان داده شده و خطای مربوط به تخمین مدل‌های مزبور در اشکال (۲ تا ۵) در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مدل‌هاي دینامیك روزانة حوزة آبخیز کسیلیان

شماره	مدل دینامیک	خطای برآورد (درصد)	سطح معنی‌دار (درصد)	ضریب تبیین	معادله
۱	روزانه (خطی)	۳۸۰/۰۰	۱	۰/۴۹	$Y_t = ۰/۸۶۶Y_{t-۱} - ۰/۴۸۵Y_{t-۲} + ۷۹/۷۵$
۲	روزانه(خطی)	۳۵۹/۰۰	۵	۰/۵۸	$Y_t = -۱۷/۲Q_{t-۱۰} + ۲۱Q_{t-۲} + ۱۷۳/۵۲Q_t + ۳۷/۶۱$
۳	فروردین(خطی)	۴۷/۹۴	۱	۰/۸۹	$Y_t = ۸۷/۷۲P_{t-۶} + ۲۵۳Q_t + ۱۸۳/۸۲$
۴	فروردین(غیر خطی)	۳۰/۱۷	۱	۰/۸۶	$Y_t = ۴۵۱ \log Y_{t-۱} - ۳۴۵ \log Y_{t-۲} + ۱۰۱Q_{t-۴}^{۲} - ۲۰۵$
۵	اردیبهشت(خطی)	۱۷/۶۳	۱	۰/۹۷	$Y_t = ۳/۰۵ P_{t-۲} + ۶/۲P_{t-۲} + ۶۹/۴۷Q_{t-۱} - ۳۴/۵۷Q_{t-۲} + ۱۵/۲$
۶	اردیبهشت(غیرخطی)	۴۸/۸۲	۱	۰/۹۸	$Y_t = ۱۷/۹ \log Q_t + ۷۴ \log Y_t + ۲۱/۸Q_{t-۱}^{۲} - ۶۲/۶$
۷	خرداد(خطی)	۲۸/۶۰	۱	۰/۸۱	$Y_t = ۲/۷P_{t-۲} + ۱۴۸Q_t - ۰/۴۸۷P_{t-۲} + ۲۵/۸۸$
۸	خرداد(غیرخطی)	۱۰۰/۰۰	۱	۰/۹۹	$Y_t = ۲/۶۴P_t + ۴/۶ \log P_{t-۸} - ۱۰/۲۵\log Y_{t-۸} - ۴۹/۶۲$
۹	تیر(خطی)	۲۷/۷۵	۱	۰/۷۶	$Y_t = ۲۴/۲۱ P_t + ۳۸۶/۵۹Q_{t-۸} + ۰/۲۸Y_{t-۷} + ۰/۴۳Y_{t-۱} - ۱۴۹/۶۴Y_{t-۲}$
۱۰	تیر(غیرخطی)	۴۳/۳۶	۱	۰/۷۹	$Y_{tv} = ۶/۴Q_{t-۲}^{۲} + ۰/۰۰۱Y_{t-۱}^{۲} - ۴۳۵/۵۲Q_{t-۱}^{۲} - ۲۷۲/۸_{t-۱} \log + ۴/۸P_t - ۱۴۴۶۵$
۱۱	مرداد(خطی)	۵۴/۴۵	۱	/۹۲	$Y_t = ۵/۵۹P_{t-۲} + ۶۷/۸۱Q_{t-۱} - ۳۵/۲۹Q_{t-۲} + ۲۲/۹۱$
۱۲	مرداد(غیرخطی)	۹۸/۲۳	۱	۰/۹۶	$Y_t = -۶۳/۶P_t - ۱/۱۵Y_{t-۱} + ۲۷۴/۴Q_t^{۲} - ۸۷/۷۵\log P_{t-۲} - ۱۶/۳P_t$
۱۳	شهریور(خطی)	۱۰۳/۲۶	۱	۰/۷۸	$Y_t = -۳۵/۷ \log P_{t-۲} + ۵۰۰Q_t - ۱/۴۳Y_{t-۹} + ۹۸$

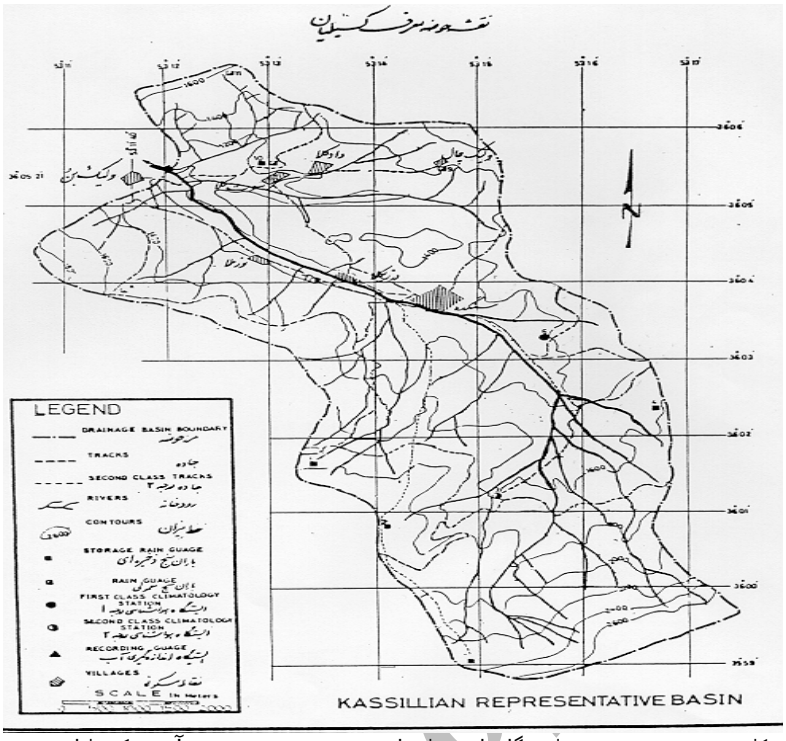
ادامه جدول۱

۱۴	شهریور(غیرخطی)	۸۹/۷۹	۱	۰/۸۹	$Y_t = ۸/۹P_t^۲ + ۲۶۱Q_t^۲ - ۱/۱۴Y_{t-۱} + ۳۹/۰۸$
۱۵	مهر(خطی)	۲۲/۸۵	۱	۰/۸۲	$Y_t = ۶/۸۲P_t + ۲۳/۲۷$
۱۶	مهر(غیرخطی)	۲۱/۸۶	۱	۰/۵۶	$Y_t = ۱/۲۵P_t^۲ + ۲۶/۳۴$
۱۷	آبان(خطی)	۴۹/۴۹	۱	۰/۸۵	$Y_t = ۶۱۴/۶۵Q_t - ۴۶/۹۳$
۱۸	آبان(غیرخطی)	۹۴/۲۵	۵	۰/۹۶	$Y_t = ۲۷/۹ \log Q_{t-۲} - ۲۱۳/۹ \log Q_t + ۳۰۹Q_t^۲ - ۱۹۴/۲۳$
۱۹	آذر(خطی)	۸۲/۵۷	۵	۰/۴۸	$Y_t = ۹/۶۲Q_t - ۴۶/۹۳$
۲۰	آذر(غیرخطی)	۲۲۹/۸۰	۱	۱/۰۰	$Y_t = ۶۶/۹ \log P_{t-۱} - ۲۲۵/۵ \log Y_{t-۶} - ۱/۲۸۵ P_{t-۶}^۲ - ۲۵۶/۰۸ Q_{t-۲}^۲ + ۴۷۷/۵$
۲۱	دی(خطی)	۴۱/۹۳	۱	۰/۷۰	$Y_t = ۳۷۷/۴۵Q_{t-۱۰} - ۴۶۸/۵۰Q_{t-۶} + ۱/۰۸Y_{t-۶} - ۳۱/۰۸$
۲۲	دی(غیرخطی)	۴۸/۳۸	۱	۰/۸۴	$Y_t = -۲۲۲ LogQ_{t-۸} - ۰/۰۰۴Y_{t-۶}^۲ - ۱۳۹۸Q_{t-۶} ۱۴۹/۷۸$
۲۳	بهمن(خطی)	۸۸/۴۴	۵	۰/۵۵	$Y_t = ۴۷۱/۹۴Q_{t-۱۰} - ۲۲۹/۳۵Q_{t-۲} + ۱۱۷/۶۳$
۲۴	بهمن(غیرخطی)	۴۹/۰۲	۵	۰/۶۹	$Y_t = ۵۰۱ \log Q_{t-۱۰} - ۳۴۸Q_{t-۱۰} + ۵۶۰$
۲۵	اسفند(خطی)	۳۳/۲۹	۱	۰/۹۷	$Y_t = ۷۰۷/۷۹Q_{t-۶} + ۶۹۵/۹Q_t - ۰/۳۳Y_{t-۱} - ۰/۷۴Y_{t-۱} - ۰/۷۴Y_{t-۲} - ۶۰۱.۷۶$
۲۶	اسفند(غیرخطی)	۴۹/۴۴	۱	۱/۰۰	$Y_t = ۴۰۱\log Q_{t-۱} + ۲۰۲/۱$
۲۷	بهار(خطی)	۷۱/۲۶	۱	۰/۷۱	$Y_t = ۳۲P_{t-۱} + ۲۰/۹۷P_{t-۶} - ۱۶P_t + ۱۵۲/۴Q_t + ۰/۲۲Y_t - ۷۳/۴۷$
۲۸	بهار(غیرخطی)	۲۰۳/۲۹	۱	۰/۹۹	$Y_t = ۲۰۲/۲P_t + ۱۹/۴۶P_{t-۵} - ۷۲۵\log P_{t-۱} + ۳۹۴/۳۱\log Y_t - ۸۱۸/۵۶$
۲۹	تابستان(خطی)	۷۷/۸۸	۱	۰/۷۶	$Y_t = ۲۳/۷P_t + ۲۲۲/۴۹Q_t - ۱۶۸Q_{t-۱} + ۰/۴۵y_t - ۱۵/۶۳$
۳۰	تابستان(غیرخطی)	۱۵۸/۳۳	۱	۰/۹۱	$Y_t = -۶۲P_t + ۱۵۸/۳ \log Q_{t-۱}^۲ - ۶۷/۷۷ + ۲۴۸ Q_t^۲ + ۰/۱۳۲/۲ \log Y_{t-۷} + ۱۷/۱۴P_t$
۳۱	پاییز(خطی)	۳۷/۰۵	۱	۰/۷۶	$Y_t = ۵/۱P_t - ۳۴۲/۹Q_{t-۱} - ۴۶/۵Q_{t-۲} + ۵۵۴/۶۹Q_t + ۰/۳۶Y_{t-۱} - ۱/۲۵۱$
۳۲	پاییز(غیرخطی)	۲۰۴/۶۵	۱	۰/۸۹	$Y_t = -۰/۷۵۲P_{t-۲} + ۶۷/۴ \log P_{t-۱} - ۲۳۳\log Y_{t-۶} - ۱/۱۷P_{t-۶}^۲ + ۴۸۱/۳۵$
۳۳	زمستان(خطی)	۶۷/۷۹	۱	۰/۸۲	$Y_t = -۱۵/۳P_{t-۲} + ۲۷/۴۷P_{t-۲} - ۲۹۸/۴۵Q_{t-۱} - ۲۰۰/۹۶Q_{t-۸} + ۶۰۴ Q_t + ۷۷/۷۶$
۳۴	زمستان(غیرخطی)	۶۹/۵۳	۱	۱/۰۰	$Y_t = -۱۱/۲۸ \log P_{t-۱} - ۳۷/۳۵ \log Y_{t-۱} + ۲۰۰/۲۹$

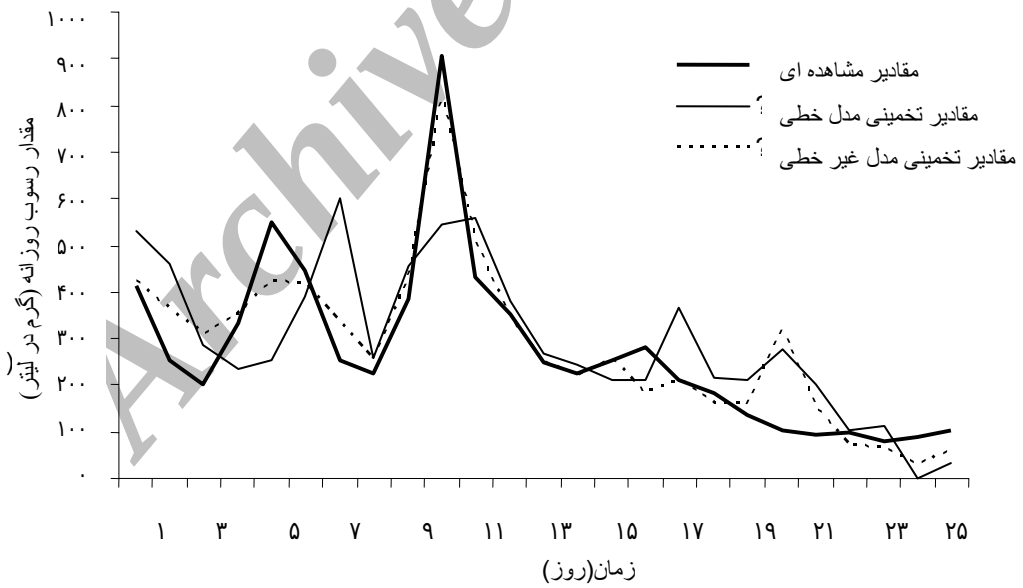
بحث و نتيجه گيري

از بررسي نتايج به‌دست آمده مشخص مي‌شود كه مدل‌هاي روزانه بدون تقسيم‌بندي دوره اي، مدل‌هاي خطي و يا غير خطي مناسبي (مدل‌های شماره ۱ و ۲) را ارايه نكرده است. اين موضوع نمايانگر اختلاف در روند توليد رسوب طي فصول و ماه‌هاي مختلف ناشی از تاثير ساير عوامل دخيل در چرخه هيدرولوژيک از قبيل تغيير در وضعيت پوشش گياهی و نوع نزولات مي باشد. نتايج به‌دست آمده بر اساس مقادير خطای تخمين نشان مي‌دهد كه در ماه‌هاي فروردين، شهريور، مهر، دي و بهمن مدل‌هاي غير خطي مناسبتر بوده در صورتي‌كه در ساير ماه‌ها مدل‌هاي خطي برازش بهتري به داده‌ها را ارايه كرده‌اند. نتيجه‌گيري به‌عمل آمده در رابطه با

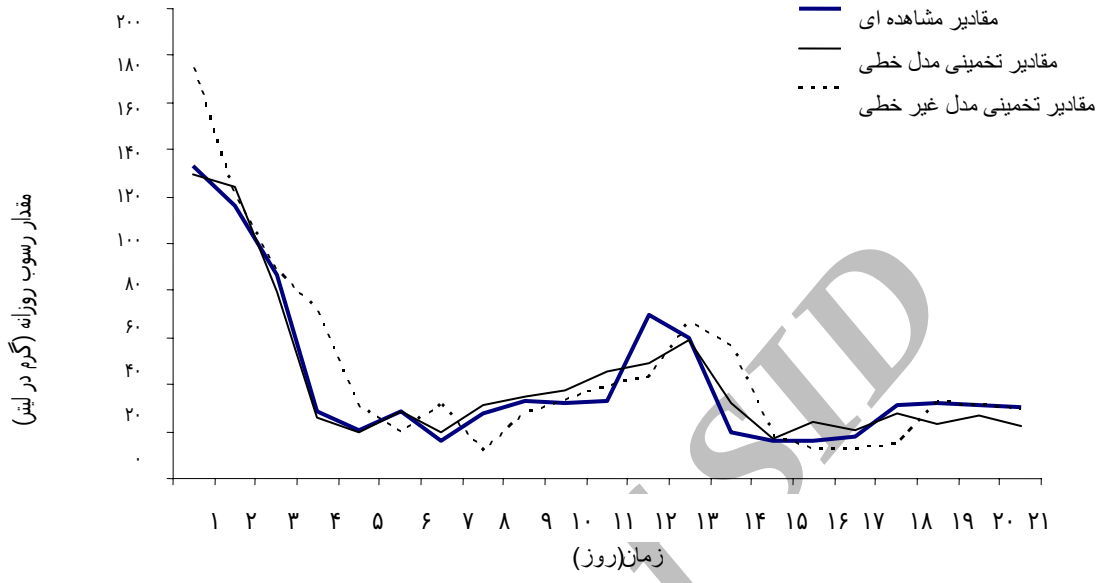
ماه مهر به دلیل نزدیکی مقادیر خطای تخمین در دو نوع مدل خطي و غیر خطي(مدل‌هاي شماره ۱۵ و ۱٦) و از طرفی بالا بودن ضریب تبیین در مدل خطی(مدل شماره ۱۵) قطعیت نداشته و ضرورت انجام تحقیقات با آمار گسترده‌تر در ماه مذبور را ایجاب می‌نماید. از مجموعة مدل‌هاي به‌دست آمده، روابط مربوط به ماه‌هاي فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مهر و اسفند به ترتیب داراي خطاي برآورد ۳۰/۱۷، ۱۷/٦۳، ۲۸/٦۰، ۲۷/۷۵، ۲۱/۸٦ و ۳۳/۲۹ درصد بوده و کیفیت مناسب آنها در برآورد روزانة رسوب را تایید و استفاده از آنها با ضریب اطمینان قابل قبول را محرز می‌سازد. استفاده از مدل‌هاي سایر ماه‌ها شامل مرداد، شهریور، آبان، آذر، دي و بهمن به ترتیب با خطاي برآورد ۵٤/٤۵، ۸۹/۷۹، ٤۹/٤۹، ۸۲/۵۷، ٤۳/۳۸ و ٤۹/۰۲ درصد به دلیل توانایي ضعیف در بازسازي داده‌هاي رسوب روزانه، بر اساس آمار مورد استفاده توصیه نمي‌شود و توسعه مطالعات به منظور دستیابی به نتایج دقیقتر تاکید مي شود. طبقه بندي داده‌ها بر حسب فصول به دلیل زیاد شدن تعداد داده‌ها و اختلاف زیاد مقادیر آنها طي ماه‌هاي مورد بررسي در هر فصل از عملکرد متفاوت ۷۱/۲٦، ۷۷/۸۸، ۳۷/۰۵ و ٦۷/۷۹ درصد به ترتیب مربوط به ماه‌هاي بهار، تابستان، پاییز و زمستان برخوردار بوده و لذا استفاده از مدل‌هاي فصلي (مدل‌هاي شماره ۲۷ تا ۳٤) به واسطة دلیل ذکر شده توصیه نمي‌شود. از دقت در مدل‌هاي به‌دست آمده، مي‌توان نتیجه گرفت که متغیرهاي مستقل رسوب روزهای قبل و دبي روز واقعه و روزهای قبل در مقایسه با متغیر بارش روز موردنظر و یا روزهای پیشین از عملکرد بهتر و تاثیر بیشتر در تخمین رسوب روزانه برخوردار بوده‌اند. نتایج همچنین نشان مي‌دهند که رسوب روزانة حوزه مورد مطالعه از حداکثر تا رسوب روزانه نه، بارش ده و دبي ده روز متمادي پیشین تاثیر پذیرفته و وقایع روزهاي پیش از آنها تاثیر معني‌داري بر تولید رسوب روز مورد نظر نداشته‌اند. همچنین تاثیر دبي روز واقعه بر مقادیر دبي رسوب بیشتر از سایر متغیرها بوده است. مقایسه نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با تحقیقات قبلی دلالت بر مطابقت نسبی آن با یافته‌های شرما و دیسکینسون(۱۹۸۰)، مور(۱۹۸٤)، وانگ و سینگ(۱۹۹۱) و کومار و داس(۲۰۰۰) مبني بر توانایي مدل‌های دینامیک در مدلسازي‌هاي بارش- روانآب-رسوب، آشمور و دی(۱۹۸۸) و شارما و همکاران(۱۹۹۳) در خصوص تاثیرپذیری مقدار تولید رسوب از مقادیر فعلي و گذشته دبي داشته است. حال آنکه به دلیل دستیابی به تاثیرپذیری رسوب روزانة حوزه از حداکثر تا رسوب روزانه نه، بارش ده و دبي ده روز متمادي پیشین با نتایج پیاسی(۱۹۹۷) مبنی بر تاثیر وقایع تا سه روز پیش بر دبي رسوب روز مورد مطالعه همخوانی ندارد. در مجموع با توصیه امکان استفاده مدل‌های دینامیک انتخاب شده تخمین رسوب در مقاطع زمانی ماهانه، نظر به جدید بودن این تحقیق در ایران تداوم آن در سایر نقاط کشور با طول آماری بهتر و اطلاعات دقیقتر و همچنین تکرار آن در حوزه آبخیز کسیلیان با داده‌های بیشتر توصیه می‌شود.



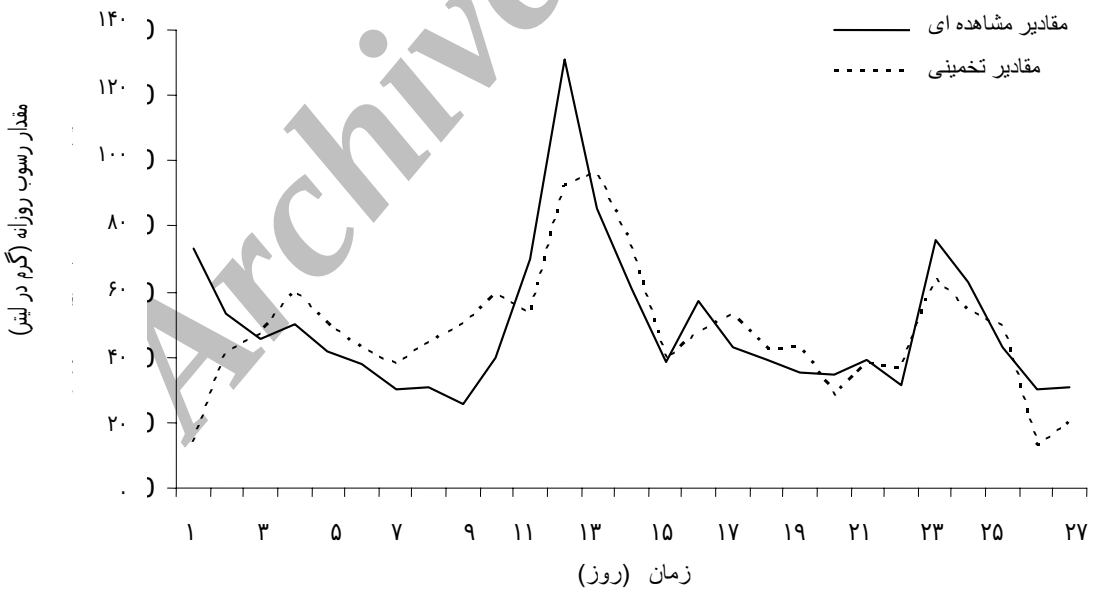
شکل ۱- نقشه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه آبخیز کسیلیان



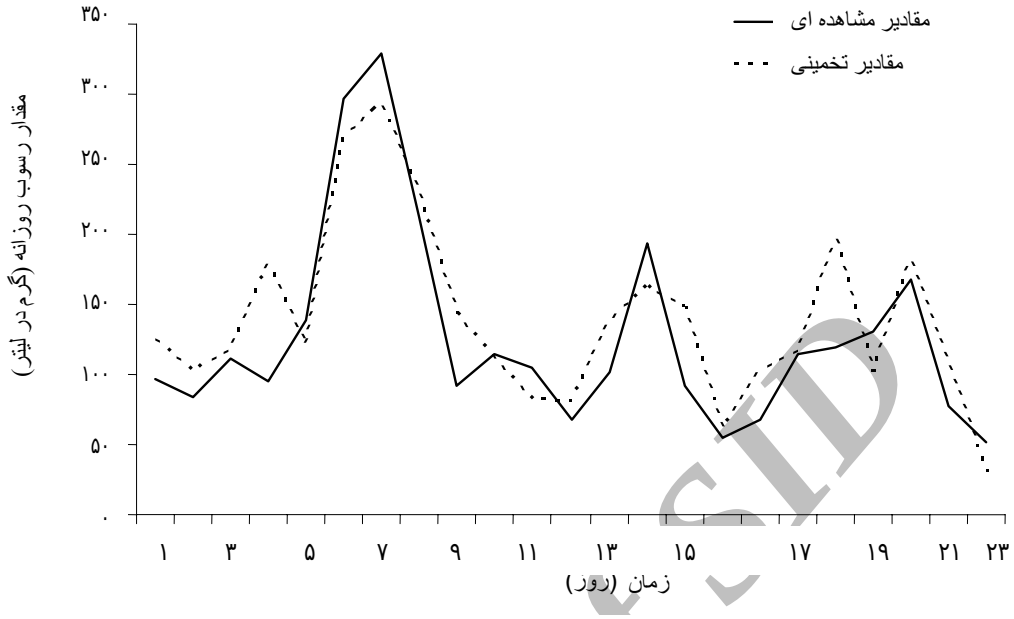
شکل۲- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه فروردین



شکل۳- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه اردیبهشت



شکل۴- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه خرداد



شکل۵- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه تیر

منابع

1-Ashmore, P.E and Day, T.J. 1988. Effective Discharge for Suspended Sediment Transport in Streams of the Saskatchewan River Basin, Water Resources Research, 24(6):864-870.
2-Das, G. 2000. Hydrology and Soil Conservation Engineering, Prentice-Hall Publucations, India, 489pp.
3-Jansen, J.M.L. and Painter, R.B. 1974. Predicting Sediment Yield from Climate and Topography, Journal of Hydrology, 21:371-380.
4-Kothyari, U.C., Tiwari, A.K. and Singh, R. 1994. Prediction of Sediment Yield, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 120(6):11-20.
5-Kumar, A and Das, G. 2000. Dynamic Model of Daily Rainfall, Runoff and Sediment Yield for a Himalayan Watershed, Journal of Agricultural Research 75:189-19.
6-Moore, R.J. 1984. A Dynamic Model of Basin Sediment Yield, Water Resources Research, 20(1):89-103.
7-Pyasi, S.K. 1997. Memory Based Input-Output Runoff and Sediment Yield Models for the Upper Ramganga Himalayan Catchment, Ph.D. Dissertation, G.B. Pant University of Agriculture and Technology, India, 189pp.
8-Renard K.G. 1969. Sediment Rating Curves in Ephemeral Streams, American Society of Agricultural Engineers; 68(228):80-85
9-Sadeghi, S.H.R. 2000. Some Aspects of Spatial and Temporal Distribution and Development of Prediction Model of Watershed Sediment Yield. Ph.D. Dissertation, G.B.Pant University of Agriculture and Technology, India, 362pp.

10-Snedecor, G.W., and Cochran, W.G. 1989. Statistical Methods. The Iowa State University Press, 8th Edition, USA.
11-Sharma, K.D., Vangani, N.S. and Kalla, A.K. 1993. A Linear Time Invariant Dynamic Model of sediment Transport in Arid Region, Indian Journal of Agricultural Engineering, 3(1):29-30.
12-Sherma, T.C. and Dickinson, W.T. 1980. System Model of Daily Sediment Yield, Water Resources Research, 16(3):501-506.
13-Tabrizi, M.H.N., Jameluddin, H., Billin, S.A. and Skaggs, R.W. 1990. Use of Identification Techniquse to Develope a Water Table Prediction Model, Journal of the ASAE, 33 (6): 487-497
14-Wang, G. T. and Singh. V.P. 1991. Discrete Linear Models for Runoff and Sediment Discharge from the Loess Plateau of China, Journal of Hydrology, (127):153-1.

Daily Sediment Estimation Using Dynamic Modeling in Kasilian Watershed

S.H.R. Sadeghi[1] A. Nikpour[2] S.A. Ayoobzadeh[3]

Abstract

Soil erosion, transportation of eroded material and sedimentation cause many problems in the hydrologic cycle of watersheds. Study of different stages of erosion and the recognition of control methods is very important in planning and managerial activities. Extended studies have been conducted in qualitative and quantitative evaluation of soil erosion, transportation and sedimentation. Dynamic models known as time variant or memory models are those related to time and therefore, time parameter plays an important role in system output. Dynamic models can be developed using daily precipitation, water and sediment discharge collected during a specific period.

In the present study, the Kasillian watershed with an area of 6878ha located in forest region of northern Iran, having considerable precipitation, discharge and sediment data, was selected. Initially, the available precipitation, water and sediment discharge data for the period from 1970 to 1998 were collected, refined and analyzed. Then, appropriate models were extracted using the concept of dynamic modeling and subsequently the pertinent models were recognized based on the coefficient of determination and estimation error criteria. The results indicated that the monthly classification of the data led to achievement of better outputs as compared with those obtained from either no classification or seasonally made groups. It was also found out that the daily sediment was not affected by the precipitation, sediment and water discharge occurred respectively before ten, nine and ten days. In other words the data belong to events previous to days before the mentioned time could not affect the output of the models. It was also implied that the daily discharge highly affects sediment concentration during the same day. The coefficient of determination and error percentage of estimation in all the suggested models were respectively higher and less than 0.80 and 40% which may verify the application of such models in daily sediment estimation in the study area.

Key words: Sediment estimation, Dynamic model, Kasillian watershed, Iran

1- Assistant Professor, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University (E-mail:sadeghi@modares.ac.ir)
2 -Former Graduate Student College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modarres University
3 -Assistant Professor, College of Agriculture, Tarbiat Modarres University