

## تخمین رسوب روزانه با استفاده از مدلسازی دینامیک در حوزه آبخیز کسلیان<sup>۱</sup>

سید حمیدرضا صادقی<sup>۲</sup>      علی نیکپور<sup>۳</sup>      سید علی ایوب زاده<sup>۴</sup>

### چکیده

از جمله روش‌هایی که برای تخمین مقدار تولید رسوب یک حوزه به کار مقدار مدل‌های دینامیک (Dynamic Models) هستند که برای اولین بار در ایران در این تحقیق استفاده شده است. متغیرهای این گونه مدل‌ها وابسته به زمان بوده و تأثیر هر یک از عوامل موثر در تولید رسوب را براساس زمان وقوع نشان می‌دهد. در فرآیند مدلسازی دینامیک، حوزه آبخیز معرف کسلیان با مساحت ۶۸۷۸ هکتار، واقع در مناطق کوهستانی و جنگلی شمال ایران و دارای اطلاعات و آمار بارندگی، دبی و رسوب، مورد استفاده قرار گرفت. در این خصوص کلیه آمار و اطلاعات مربوط به بارش، دبی و رسوب روزانه طی سال‌های ۱۳۴۹ تا ۱۳۷۷ جمع آوری، پالایش و آنالیز گردید. سپس با استفاده از مفهوم مدلسازی دینامیک و با کمک نرم افزارهای آماری Excel و SPSS مبادرت به تهیه و استخراج مدل‌های مناسب گردید. فرآیند مدلسازی برای کلیه داده‌ها به صورت یکجا و دسته بندی فصلی و ماهانه آنها و در اشکال معادلات خطی و غیر خطی صورت گرفت. در مجموع، تجزیه و تحلیل‌های آماری نتایج به دست آمده نشان داد که تقسیم بندی ماهانه و فصلی وقایع، منجر به دستیابی به روابط برتر در بین معادلات به دست آمده شده است. رسوب روزانه حوزه کسلیان از حداکثر تا رسوب روزانه نه، بارش ده و دبی ده روز متمادی پیشین تأثیر پذیرفته و وقایع روزهای پیش از آنها تأثیر معنی داری بر تولید رسوب روز مورد نظر نداشته‌اند. همچنین تأثیر دبی روز واقعه بر مقادیر دبی رسوب بیشتر از سایر متغیرها بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در ماه‌های فروردین، شهریور، مهر، دی و بهمن مدل‌های غیرخطی و در سایر ماه‌ها مدل‌های خطی برازش بهتری با داده‌ها داشته‌اند. ضریب تبیین اغلب معادلات به دست آمده در مدل‌های پیشنهادی بیش از ۰/۸۰ و خطای تخمین آنها در حد دامنه مورد قبول وقایع تصادفی و زیر ۴۰ درصد بوده و لذا کاربرد مدلسازی دینامیک در برآورد رسوب روزانه را تأیید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: برآورد رسوب، مدل دینامیک، حوزه کسلیان، ایران.

<sup>۱</sup>- تاریخ دریافت: ۸۱/۵/۱، تاریخ پذیرش: ۸۲/۹/۲۴

<sup>۲</sup>- استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس (E-mail: sadeghi@modares.ac.ir)

<sup>۳</sup>- دانش آموخته آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

<sup>۴</sup>- استادیار دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

## مقدمه

سالیان درازی است که به دلیل رشد جمعیت انسانی و استفاده‌های مفرط از منابع طبیعی، سطح کره زمین دچار تحولات غیر مطلوبی شده به طوری که منابع آب و خاک در جهت تامین غذا بیش از سایر منابع، مورد تهاجم واقع گردیده است. از میان رفتن پوشش‌های گیاهی سطح زمین و تخریب خاک از آثار منفی این فرآیندها محسوب می‌شوند. امروزه بشر دریافته است که برای استفاده بهینه از هر پدیده‌ای باید ابتدا آن را خوب شناخت و بعد اقدام مناسب در راستای دستیابی به اهداف مورد نظر را اعمال نمود. مسئله مهار فرسایش نیز از این قاعده مستثنی نبوده و به همین دلیل، بررسی و تحقیق در امر نحوه فرسایش و رسوب مستلزم شناخت مراحل و قوانین این پدیده خواهد بود. طی دهه‌های اخیر پیشرفت‌های چشمگیری در امر تحقیقات مربوط به فرسایش و رسوب در جهان به عمل آمده، ولی هنوز راه حل قطعی و سهل الوصولی در این زمینه ارایه نگردیده است.

مدل‌های تخمین رسوب شامل مدل‌های رگرسیونی<sup>۱</sup>، پارامتریک<sup>۲</sup>، دینامیک<sup>۳</sup>، احتمالی<sup>۴</sup> و رسوب نگارها<sup>۵</sup> می‌باشد. مدل‌های رگرسیونی از برقراری ارتباط بین برخی از متغیرهای مستقل با متغیر وابسته (رسوب) به دست آمده‌اند. مدل‌های پارامتریک وابسته به زمان نبوده و به صورت کلی تخمینی از برآورد رسوب و بر اساس پارامترهای حوزه که در شرایط خاص ثابت هستند، ارایه می‌دهند و به مدل‌های سنج رسوب<sup>۶</sup> نیز معروف هستند. مدل‌های پارامتریک ارتباط دهنده تولید رسوب با پارامترهای حوزه از قبیل متغیرهای توپوگرافی و اقلیمی

می‌باشند. این مدل‌ها به عنوان پیش بینی کننده مقدار رسوب برای رودخانه‌های فاقد آمار به کار می‌روند (۳) در حالی که مدل‌های دینامیک که به آنها مدل‌های وابسته به زمان<sup>۷</sup> و یا حافظه‌دار<sup>۸</sup> نیز می‌گویند مدل‌های هستند که پارامتر زمان را در خروجی مدل دخیل کرده و تاثیر هر یک از عوامل موثر در تولید رسوب براساس زمان وقوع را نشان می‌دهد. آماده سازی مدل‌های دینامیک را می‌توان براساس داده‌های بارندگی روزانه و دبی روزانه برداشت شده در طول دوره آماری که فراوانی آنها به دلیل سهولت در جمع آوری و همچنین دستیابی به آنها به مراتب ساده‌تر است، انجام داد. این سری مدل‌ها در حوزه‌های فاقد اطلاعات رسوب و دارای داده‌های هیدرومتری و اقلیمی مناسب، کاربرد دارند (داس، ۲۰۰۰). مقوله احتمال در مدل‌های احتمالی به دقت مد نظر قرار گرفته و علیرغم مشکلات خاص در فرآیند تهیه آنها از ارزش خاصی برخوردار هستند. مدل رسوب نگارها نیز به دلیل امکان برآورد دقیق مقدار رسوب تولیدی و همچنین بیان چگونگی توزیع آن طی واقعه مورد بررسی در پروژه‌های حفاظت آب و خاک بسیار کارآ و سودمند هستند (۹).

شرما و دیسکینسون<sup>۹</sup> (۱۹۸۰) مدل تولید رسوب روزانه در رودخانه تایمز واقع در جنوبی ترین قسمت کانادا را تهیه کرده است. او اظهار می‌دارد که مدل دینامیک خطی را می‌توان بر اساس داده‌های تولید رسوب و رواناب روزانه تهیه نمود. رابطه رگرسیونی برقرار شده بین آمار روزانه دبی و رسوب با ضریب تبیین حدود یک کارایی مدل را نشان می‌دهد (۱۲). مور<sup>۱۰</sup> (۱۹۸۴) مدل دینامیک تخمین بار معلق ساعت به ساعت در حوزه رودخانه کریدی واقع در انگلستان را ارایه نموده است. در این مدل‌سازی از توابع

<sup>۱</sup>- Regression Models<sup>۲</sup>-Parametric Models<sup>۳</sup>-Dynamic Models<sup>۴</sup>-Stochastic Models<sup>۵</sup>-Sedimentographs<sup>۶</sup>-Sediment Rating Models<sup>۷</sup>-Time Variant Models<sup>۸</sup>- Memory Models<sup>۹</sup>-Shama and Dickinson<sup>۱۰</sup>-Moore

بارندگی و رسوب ارایه نموده است. ایشان مدل دینامیک غیر خطی رواناب- رسوب و بارش- رواناب- رسوب را کاربردی تر از سایر مدل‌های دینامیک معرفی کرده است (۷). همچنین کومار و داس<sup>۴</sup> (۲۰۰۰) مدل دینامیک بارندگی- رواناب و تولید رسوب روزانه را برای حوزه آبخیز هیمالیا تهیه کرده است. این مدل بر اساس فرآیند بارندگی روزانه، رواناب و تولید رسوب در رودخانه رامگانگا با مساحتی در حدود ۱۰۱۰ کیلومتر مربع در حوزه آبخیز هیمالیا، تهیه شده است (۵). مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر واقعی نشانگر دقت بالای مدل دینامیک غیر خطی بوده است.

### مواد و روش‌ها

حوزه آبخیز کسلیان دومین حوزه معرفی است که توسط وزارت نیرو در ایران تجهیز گشته و در جاده فیروزکوه واقع گردیده و فاصله مرکز حوزه (ده سنگده) تا تهران ۲۳۰ کیلومتر می باشد. یکی از شاخه های فرعی رودخانه تالار، سرشاخه کسلیان بوده که از دامنه شمالی سلسله جبال البرز در جهت جنوب به شمال جریان دارد و از قسمت‌های جنوبی حوزه سرچشمه می‌گیرد. حدود حوزه کسلیان از مشرق به یال رودخانه چهاردره و ده میان، از شمال به ده ولیک بن، از غرب به جاده فیروزکوه و از جنوب به رشته کوه‌های سنگی محدود می‌شود. رودخانه کسلیان در منطقه شیرگاه به رودخانه تالار متصل شده و در نهایت به دریای خزر می‌ریزد. شکل (۱) نقشه و محل ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه آبخیز کسلیان را نشان می‌دهد.

کلیه داده‌های مورد نیاز برای تهیه مدل شامل آمار روزانه بارش، دبی و رسوب از شرکت تماب تهیه و پس از ویرایش، به محیط (Excel) وارد و پالایش‌های اولیه در

حاکم بر کانال‌های روباز، جریان‌های آب زیرزمینی و روندیابی موج استفاده کرده است. در این مدل مشخص شده است که فرآیند تولید رسوب در حوزه آبخیز بستگی به چندین عامل داشته که در این میان دسترسی به داده‌های دبی و بارندگی بیشترین تأثیر را دارد (۶). آشمو و دی<sup>۱</sup> (۱۹۸۸) آثار دبی روی بار معلق در حوزه آبخیز رودخانه ساسکاچوان را مطالعه کردند. آنان آثار دبی روی بار رسوب را در ۲۱ محل حوزه مربوطه واقع در کوهستان راکی را بررسی نمودند. در این حوزه تغییرات رسوب در طول ۵ تا ۲۹ سال ثبت شده است. بین دبی و رسوب رابطه‌ای برقرار و پس از رسم هیستوگرام آن مشخص شد که آثار دبی بر روی تولید رسوب بیش از سایر متغیرها می‌باشد (۱). تبریزی و همکاران (۱۹۹۰) مدل دینامیک تخمین سطح آب زیرزمینی با استفاده از بارندگی، تبخیر و تعرق پتانسیل و دبی را ارایه کردند. آنها دریافتند که این روش را می‌توان برای مدل سازی فرآیند تولید رواناب و رسوب نیز استفاده نمود (۱۳). وانگ و سینگ<sup>۲</sup> (۱۹۹۱) مدل خطی بین رواناب و دبی رسوب در فلات لسی چین ارایه نمودند. این مدل برای مطالعه بارش مازاد و در پنج حوزه کوچک مورد استفاده قرار گرفت. نتایج به دست آمده با مقادیر مشاهده‌ای مطابقت خوبی را نشان داده است (۱۴). شارما و همکاران (۱۹۹۳) مدل دینامیک خطی برای پیش بینی رسوب معلق در حوزه های خشک واقع در رودخانه لونی هندوستان را ارایه نمودند. این مدل مقدار رسوب معلق رواناب را تابعی از مقدار فعلی و گذشته رواناب می‌داند (۱۱). پیاسی<sup>۳</sup> (۱۹۹۷) در رودخانه رامگانگا واقع در حوزه نئولا هندوستان، اثر سه واقعه گذشته را روی واقعه فعلی تولید رسوب بررسی کرده است. او یک مدل خطی دینامیک تولید رسوب را بر اساس فرآیند رواناب،

<sup>۱</sup>-Ashmore and Day

<sup>۲</sup>-Wang and singk

<sup>۳</sup>-Pyasi

<sup>۴</sup>-Kumar and Das

مورد مطالعه میانگین گرفته (برای هر روز از ماه یک میانگین) و سپس آنالیزهای آماری اعمال گردید. در خصوص مدل فصلی در ابتدا میانگین کلیه روزهای بخصوص فصل (روز اول، روز دوم، روز سوم و ... هر فصل) مورد نظر محاسبه و به دنبال هم قرار گرفته و برای فصول پاییز، زمستان، بهار و تابستان با توجه به تعداد روزهای هر فصل به ترتیب ۹۰، ۸۹، ۹۳ و ۹۳ عدد میانگین به دست آمد و سپس مدل دینامیک رسوب مربوطه تهیه شد. داده‌ها به نحوی در ستون‌های برنامه (Excel) ردیف گردیدند که امکان بررسی ارتباط بین متغیر وابسته رسوب روز مورد مطالعه با کلیه آمار رسوب روزهای قبل، بارش و دبی روز مورد نظر و روزهای قبل تا حداقل چهارده روز، پس از انتقال به نرم افزار (SPSS) ممکن باشد. مدل دینامیک در ابتدا به صورت خطی تهیه و در صورت پائین بودن ضریب تبیین و یا بالا بودن خطای تخمین اشکال غیر خطی آن شامل توانی، لگاریتمی، نپرین و ... آنها نیز مورد بررسی قرار گرفت. برای تعیین قابلیت مدل‌ها در برآورد رسوب از معیار خطای تخمین داده‌ها (رابطه ۱) و حد قابل قبول خطای برآورد کمتر از ۳۰ درصد و در صورت نبود آمار کافی حتی تا ۴۵ درصد استفاده شد (۴).

$$E = \left| \frac{So - Se}{So} \right| \times 100 \quad (1)$$

که در آن E مقدار مطلق خطای برآورد به درصد و So و Se به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی رسوب می‌باشند.

### نتایج

کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری بر اساس روش کار ارائه شده در بخش قبل انجام و نتایج زیر به دست آمد. کلیه اشکال خطی و غیر خطی و متغیرهای مستقل بارش، دبی و رسوب به طور جداگانه برای هر یک از مقاطع زمانی روزانه، ماهانه و فصلی بررسی و در مجموع شصت و نه

رابطه با اصلاح، تکمیل و بازسازی آمار انجام پذیرفت. طول دوره آماری برای دبی و بارش حدود ۲۸ سال (۱۳۴۹ - ۱۳۷۷) حال آنکه نمونه برداری از رسوب تنها در دوره آماری ۱۳۵۰ تا ۱۳۵۴ صورت گرفته است و بعد از آن نیز آماری به صورت مکتوب و ذخیره شده از رسوب وجود ندارد. به این دلیل دوره آمار چهار ساله اشاره شده به واسطه ضرورت همزمانی داده‌های مورد نظر برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. سپس پردازش آماری لازم بر روی داده‌ها در برنامه (Excel) و مراحل ویرایشی با کمک نرم افزار (SPSS) صورت پذیرفت. در این نرم افزار، برای تهیه مدل دینامیک از رگرسیون‌های چند متغیره و با کمک روش‌های پیشرو و پسرو<sup>۱</sup> استفاده شده است. پس از ورود کلیه آمار رسوب، دبی و بارش هر کدام به طور جداگانه مورد تجزیه و تحلیل گرفتند. برای شروع تجزیه و تحلیل آماری لازم بود اطلاعات رسوب روزانه، رسوب دیرروز، رسوب دو روز پیش و ... به صورت ستونی از داده‌ها آورده شود، برای این کار از روش تأخیری استفاده شد، که در آن رسوب روزانه با رسوب روزهای قبل، رسوب روزانه با بارش روزانه و بارش روزهای قبل، و نیز رسوب روزانه با دبی روزانه و دبی روزهای قبل در ستون‌های جداگانه وارد گردیده و آنالیزهای رگرسیونی بین این ستون داده‌ها صورت پذیرفت. در هر مرحله نیز مدل‌های موثق آماری با استفاده از معیارهای کیفی (شرایط کلی سازگاری داده‌های مشاهده‌ای و تخمینی) و نمایه‌های کمی (ضریب همبستگی و خطای نسبی) از بین کلیه مدل‌های تهیه شده مشخص گردیدند (۱۰).

در نهایت به منظور دستیابی به بهترین مدل یا مدل‌های دینامیک روزانه رسوب، کلیه فرآیندهای تجزیه و تحلیل برای ماه‌ها و فصول مختلف سال انجام گردید. در مدل‌های ماهانه از کلیه داده‌های روزهای به خصوص ماه (روز اول، روز دوم، روز سوم و ... هر ماه) مورد نظر در دوره

<sup>۱</sup>-Forward and Backward

گردیده است. به منظور آرایه عملکرد متفاوت مدل‌های دینامیک خطی و غیر خطی و همچنین توانایی بازسازی مقادیر مشاهده ای توسط مدل‌های تهیه شده، برای نمونه بازسازی داده‌های رسوب مربوط به ماه‌های فروردین و اردیبهشت با استفاده از هر دو نوع مدل در اشکال (۲) و (۳) و همچنین وضعیت بازسازی مقادیر رسوب توسط مدل خطی ماه‌های 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.

معادله با ضرایب تبیین و خطای تخمین مختلف به دست آمد. به منظور اختصار تنها روابط با بالاترین ضریب تبیین در هر مورد در جدول (۱) خلاصه شده است. در روابط زیر  $Y$  رسوب روزانه به گرم در لیتر،  $Q$  دبی به متر مکعب بر ثانیه،  $P$  بارش به میلیمتر، زیر نویس  $t-n$  (۲ و ۱) و  $n=0$  نمایانگر روز واقعه و  $n$  تعداد روز پیش از واقعه می‌باشد. مدل‌های آرایه شده در جدول (۱) بر اساس کلیه متغیرهای دخیل در فرآیند تولید رسوب یعنی بارش، دبی و رسوب روزانه تهیه و بهترین رابطه در هر یک از اشکال خطی و غیر خطی برای دوره زمانی مورد بررسی آرایه

جدول ۱- مدل‌های دینامیک روزانه حوزه آبخیز کسلیان

ردیف	مدل دینامیک	خطای برآورد (درصد)	سطح معنی‌دار (درصد)	ضریب تبیین	معادله
۱	روزانه (خطی)	۳۸۰/۰۰	۱	۰/۴۹	$Y_t = ۰/۸۶۶Y_{t-1} - ۰/۴۸۵Y_{t-2} + ۷۹/۷۵$
۲	روزانه (خطی)	۳۵۹/۰۰	۵	۰/۵۸	$Y_t = -۱۷/۲Q_{t-1} + ۲۱Q_{t-2} + ۱۷۷/۵۱Q_{t-3} + ۳۷/۶۱$
۳	فروردین (خطی)	۴۷/۹۴	۱	۰/۸۹	$Y_t = ۸۷/۷۲P_{t-1} + ۲۵۲Q_{t-1} + ۱۸۳/۸۲$
۴	فروردین (غیر خطی)	۳۰/۱۷	۱	۰/۸۶	$Y_t = ۴۵۱ \log Y_{t-1} - ۳۴۵ \log Y_{t-2} + ۱۰۱ Q'_{t-2} - ۲۰۵$
۵	اردیبهشت (خطی)	۱۷/۶۳	۱	۰/۹۷	$Y_t = ۳/۰۵ P_{t-1} + ۶/۲P_{t-2} + ۶۹/۲۷Q_{t-1} - ۳۲/۵۷Q_{t-2} + ۱۵/۲$
۶	اردیبهشت (غیر خطی)	۴۸/۸۲	۱	۰/۹۸	$Y_t = ۱۷/۹ \log Q_{t-1} + ۷۴ \log Y_{t-1} + ۲۷/۸Q'_{t-1} - ۶۲/۶$
۷	خرداد (خطی)	۲۸/۶۰	۱	۰/۸۱	$Y_t = ۲/۷P_{t-1} + ۱۴۸Q_{t-1} - ۰/۴۸۷P_{t-2} + ۲۵/۸۸$
۸	خرداد (غیر خطی)	۱۰۰/۰۰	۱	۰/۹۹	$Y_t = ۲/۶۴P_{t-1} + ۴/۶ \log P_{t-1} - ۱/۲۵ \log Y_{t-1} - ۴۹/۶۲$
۹	تیر (خطی)	۳۷/۷۵	۱	۰/۷۶	$Y_t = ۲۲/۲۱ P_{t-1} + ۳۸۶/۵۹Q_{t-1} + ۰/۲۸Y_{t-2} + ۰/۲۲Y_{t-1} - ۱۴۹/۶۲Y_{t-2}$
۱۰	تیر (غیر خطی)	۴۳/۳۶	۱	۰/۷۹	$Y_t = ۶/۲Q_{t-1} + ۰/۰۰۱Y_{t-1} - ۲۳/۵۱Q_{t-1} - ۲۷۷۸_{t-1} \log + ۲/۸P_{t-1} - ۱۴۴۵$
۱۱	مرداد (خطی)	۵۴/۴۵	۱	۰/۹۲	$Y_t = ۵/۵۹P_{t-1} + ۶۷/۸Q_{t-1} - ۳۵/۲۹Q_{t-2} + ۲۷/۹۱$
۱۲	مرداد (غیر خطی)	۹۸/۲۳	۱	۰/۹۶	$Y_t = -۶۳/۶P_{t-1} - ۱/۱۵Y_{t-1} + ۱۷۷/۲Q_{t-1} - ۸۷/۷۵ \log P_{t-1} - ۱۶/۲P_{t-1}$
۱۳	شهریور (خطی)	۱۰۳/۲۶	۱	۰/۷۸	$Y_t = -۲۵/۷ \log P_{t-1} + ۵۰۰Q_{t-1} - ۱/۴۲Y_{t-1} + ۹۸$

ادامه جدول ۱

$Y_t = 8/19P_t' + 26/1Q_t' - 1/12Y_{t-1} + 29/0.8$	۰/۸۹	۱	۸۹/۷۹	شهریور (غیر خطی)	۱۴
$Y_t = 6/12P_t + 23/27$	۰/۸۲	۱	۲۲/۸۵	مهر (خطی)	۱۵
$Y_t = 1/25P_t' + 26/34$	۰/۵۶	۱	۲۱/۸۶	مهر (غیر خطی)	۱۶
$Y_t = 612/65Q_t - 26/93$	۰/۸۵	۱	۴۹/۴۹	آبان (خطی)	۱۷
$Y_t = 27/9 \log Q_{t-1} - 212/9 \log Q_t + 209Q_t' - 112/23$	۰/۹۶	۵	۹۴/۲۵	آبان (غیر خطی)	۱۸
$Y_t = 9/6Q_t - 46/93$	۰/۴۸	۵	۸۲/۵۷	آذر (خطی)	۱۹
$Y_t = 66/1 \log P_{t-1} - 225/5 \log Y_{t-1} - 1/285 P_{t-1} - 258.8 Q_{t-1} + 2775$	۱/۰۰	۱	۲۲۹/۸۰	آذر (غیر خطی)	۲۰
$Y_t = 277/25Q_{t-1} - 46/5Q_{t-2} + 1/0.8 Y_{t-1} - 27/0.8$	۰/۷۰	۱	۴۱/۹۳	دی (خطی)	۲۱
$Y_t = -222 \log Q_{t-1} - 0/0.27 Y_{t-1} + 1298Q_{t-1} - 129/78$	۰/۸۴	۱	۴۸/۳۸	دی (غیر خطی)	۲۲
$Y_t = 277/92Q_{t-1} - 229/35Q_{t-2} + 117/63$	۰/۵۵	۵	۸۸/۴۴	بهمن (خطی)	۲۳
$Y_t = 50.1 \log Q_{t-1} - 228Q_{t-1} + 560$	۰/۶۹	۵	۴۹/۰۲	بهمن (غیر خطی)	۲۴
$Y_t = 70.7/71Q_{t-1} + 695/9Q_t - 0/22Y_{t-1} - 0/72Y_{t-2} - 60.121$	۰/۹۷	۱	۳۳/۲۹	اسفند (خطی)	۲۵
$Y_t = 40.1 \log Q_{t-1} + 20.2/1$	۱/۰۰	۱	۴۹/۴۴	اسفند (غیر خطی)	۲۶
$Y_t = 22P_{t-1} + 20/97P_{t-2} - 16P_t + 152/2Q_t + 0/27Y_t - 73/27$	۰/۷۱	۱	۷۱/۲۶	بهار (خطی)	۲۷
$Y_t = 20.2/2P_t + 17/46P_{t-2} - 725 \log P_{t-1} + 292/21 \log Y_t - 817/56$	۰/۹۹	۱	۲۰۲/۲۹	بهار (غیر خطی)	۲۸
$Y_t = 23/7P_t + 222/49Q_t - 168 Q_{t-1} - 15/63$	۰/۷۶	۱	۷۷/۸۸	تابستان (خطی)	۲۹
$Y_t = -62P_t + 152/2 \log Q_{t-1} - 67/77 + 228 Q_t' + 0/1272 \log Y_{t-1} + 17/17P_t$	۰/۹۱	۱	۱۵۸/۳۳	تابستان (غیر خطی)	۳۰
$Y_t = 5/1P_t - 222/9Q_{t-1} - 26/5Q_{t-2} + 552/69Q_t + 0/26Y_{t-1} - 1/251$	۰/۷۶	۱	۳۷/۰۵	پاییز (خطی)	۳۱
$Y_t = -0/752P_{t-1} + 67/2 \log P_{t-1} - 222 \log Y_{t-1} - 1/17P_{t-1} + 281/25$	۰/۸۹	۱	۲۰۴/۶۵	پاییز (غیر خطی)	۳۲
$Y_t = -152P_{t-1} + 27/27P_{t-2} - 298/25Q_{t-1} - 20/96Q_{t-2} + 60.2 Q_t + 77/76$	۰/۸۲	۱	۶۷/۷۹	زمستان (خطی)	۳۳
$Y_t = -11/28 \log P_{t-1} - 27/25 \log Y_{t-1} + 20/29$	۱/۰۰	۱	۶۹/۵۳	زمستان (غیر خطی)	۳۴

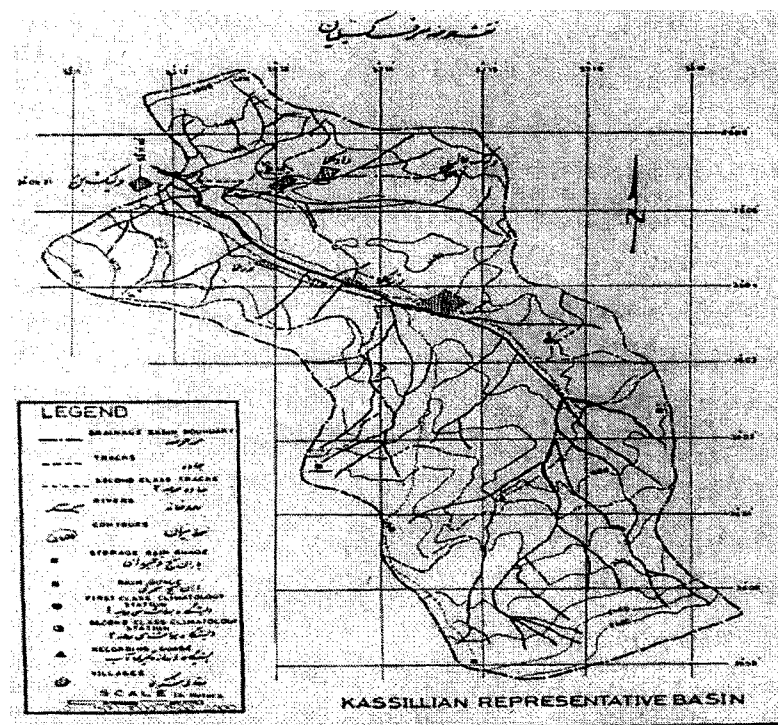
## بحث و نتیجه گیری

از بررسی نتایج به دست آمده مشخص می شود که مدل های روزانه بدون تقسیم بندی دوره ای، مدل های خطی و یا غیر خطی مناسبی (مدل های شماره ۱ و ۲) را ارائه نکرده است. این موضوع نمایانگر اختلاف در روند تولید رسوب طی فصول و ماه های مختلف ناشی از تاثیر سایر عوامل دخیل در چرخه

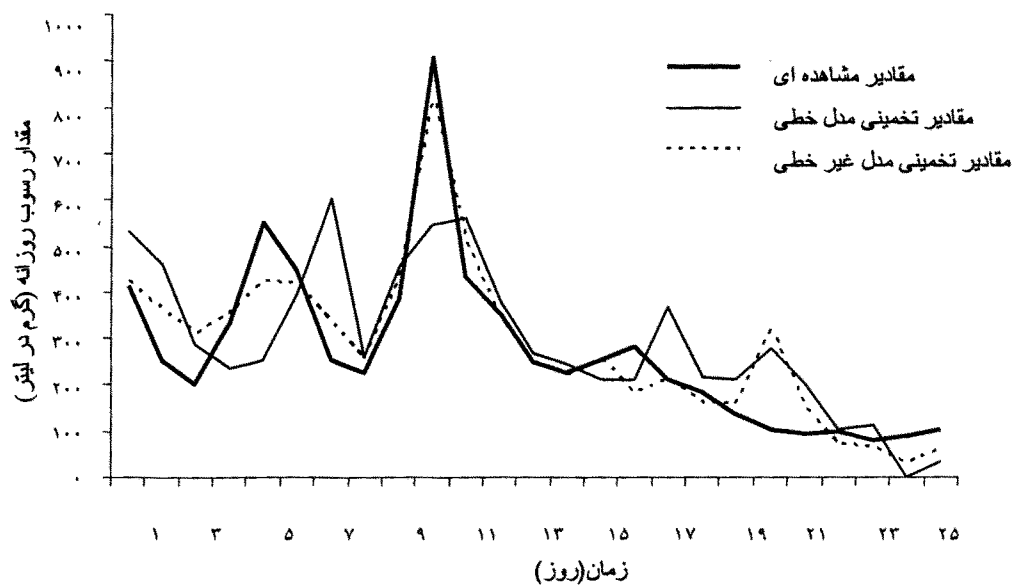
هیدرولوژیک از قبیل تغییر در وضعیت پوشش گیاهی و نوع نزولات می باشد. نتایج به دست آمده بر اساس مقادیر خطای تخمین نشان می دهد که در ماه های فروردین، شهریور، مهر، دی و بهمن مدل های غیر خطی مناسبتر بوده در صورتی که در سایر ماه ها مدل های خطی برازش بهتری به داده ها را ارائه کرده اند. نتیجه گیری به عمل آمده در رابطه با

موردنظر و یا روزهای پیشین از عملکرد بهتر و تاثیر بیشتر در تخمین رسوب روزانه برخوردار بوده‌اند. نتایج همچنین نشان می‌دهند که رسوب روزانه حوزه مورد مطالعه از حداکثر تا رسوب روزانه نه، بارش ده و دبی ده روز متمادی پیشین تاثیر پذیرفته و وقایع روزهای پیش از آنها تاثیر معنی‌داری بر تولید رسوب روز مورد نظر نداشته‌اند. همچنین تاثیر دبی روز واقعه بر مقادیر دبی 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 (۱۹۸۴)، وانگ و سینگ (۱۹۹۱) و کومار و داس (۲۰۰۰) مبنی بر توانایی مدل‌های دینامیک در مدل‌سازی‌های بارش- رواناب-رسوب، آشمور و دی (۱۹۸۸) و شارما و همکاران (۱۹۹۳) در خصوص تاثیرپذیری مقدار تولید رسوب از مقادیر فعلی و گذشته دبی داشته است. حال آنکه به دلیل دستیابی به تاثیرپذیری رسوب روزانه حوزه از حداکثر تا رسوب روزانه نه، بارش ده و دبی ده روز متمادی پیشین با نتایج پیاسی (۱۹۹۷) مبنی بر تاثیر وقایع تا سه روز پیش بر دبی 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 کسلیان با داده‌های بیشتر توصیه می‌شود.

ماه مهر به دلیل نزدیکی مقادیر خطای تخمین در دو نوع مدل خطی و غیر خطی (مدل‌های شماره ۱۵ و ۱۶) و از طرفی بالا بودن ضریب تبیین در مدل خطی (مدل شماره ۱۵) قطعیت نداشته و ضرورت انجام تحقیقات با آمار گسترده‌تر در ماه مذکور را ایجاب می‌نماید. از مجموعه مدل‌های به‌دست آمده، روابط مربوط به ماه‌های فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مهر و اسفند به ترتیب دارای خطای برآورد ۳۰/۱۷، ۱۷/۶۳، ۲۸/۶۰، ۲۷/۷۵، ۲۱/۸۶ و ۳۳/۲۹ درصد بوده و کیفیت مناسب آنها در برآورد روزانه رسوب را تایید و استفاده از آنها با ضریب اطمینان قابل قبول را محرز می‌سازد. استفاده از مدل‌های سایر ماه‌ها شامل مرداد، شهریور، آبان، آذر، دی و بهمن به ترتیب با خطای برآورد ۵۴/۴۵، ۸۹/۷۹، ۴۹/۴۹، ۸۲/۵۷، ۴۳/۳۸ و ۴۹/۰۲ درصد به دلیل توانایی ضعیف در بازسازی داده‌های رسوب روزانه، بر اساس آمار مورد استفاده توصیه نمی‌شود و توسعه مطالعات به منظور دستیابی به نتایج دقیقتر تاکید می‌شود. طبقه بندی داده‌ها بر حسب فصول به دلیل زیاد شدن تعداد داده‌ها و اختلاف زیاد مقادیر آنها طی ماه‌های مورد بررسی در هر فصل از عملکرد متفاوت ۷۱/۲۶، ۷۷/۸۸، ۳۷/۰۵ و ۶۷/۷۹ درصد به ترتیب مربوط به ماه‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان برخوردار بوده و لذا استفاده از مدل‌های فصلی (مدل‌های شماره ۲۷ تا ۳۴) به واسطه دلیل ذکر شده توصیه نمی‌شود. از دقت در مدل‌های به‌دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که متغیرهای مستقل رسوب روزهای قبل و دبی روز واقعه و روزهای قبل در مقایسه با متغیر بارش روز

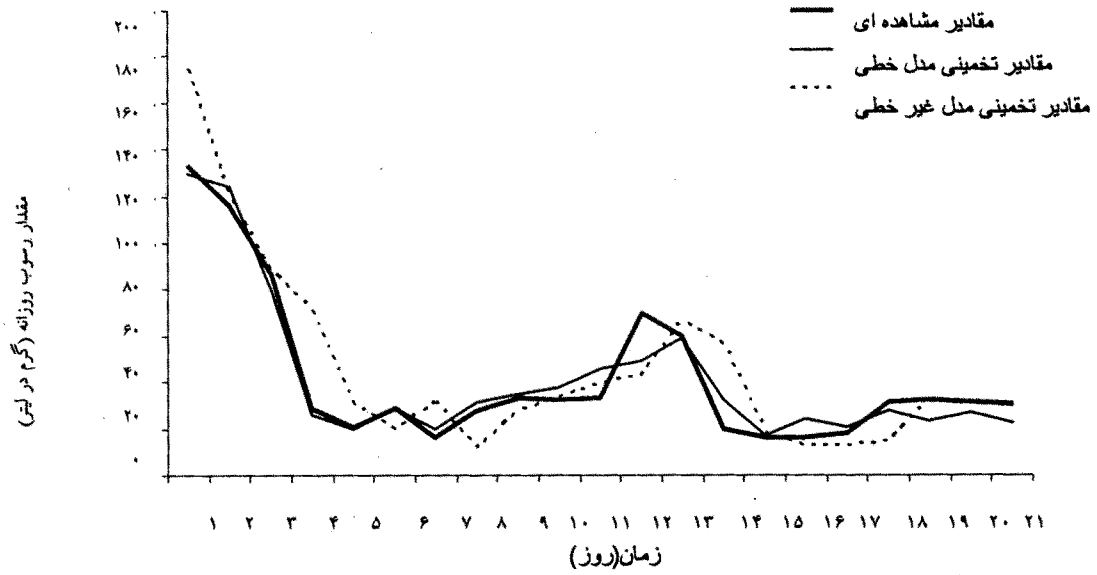


شکل ۱- نقشه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوزه آبخیز کسلیان

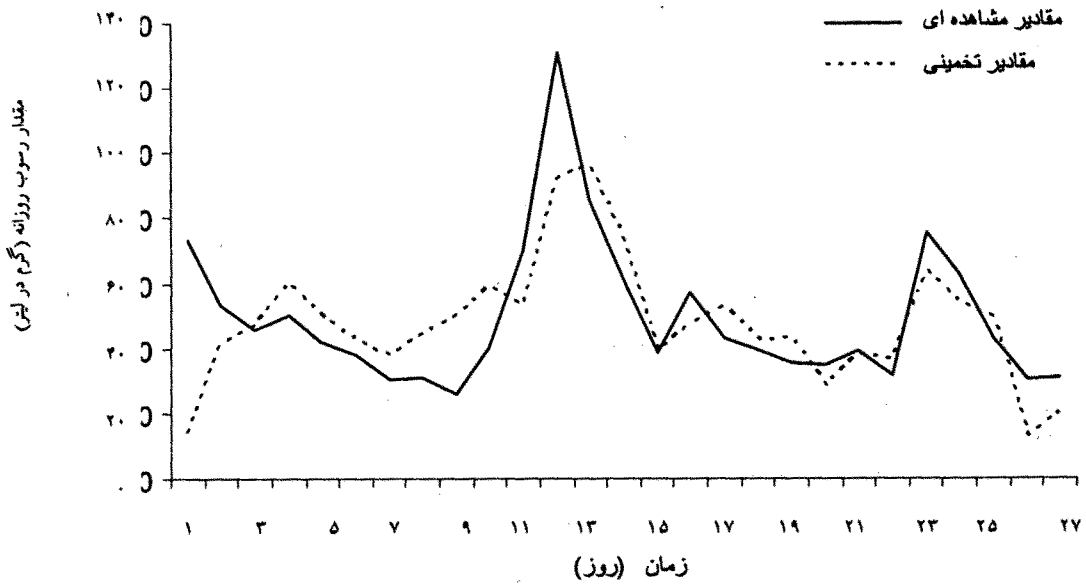


شکل ۲- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه فروردین

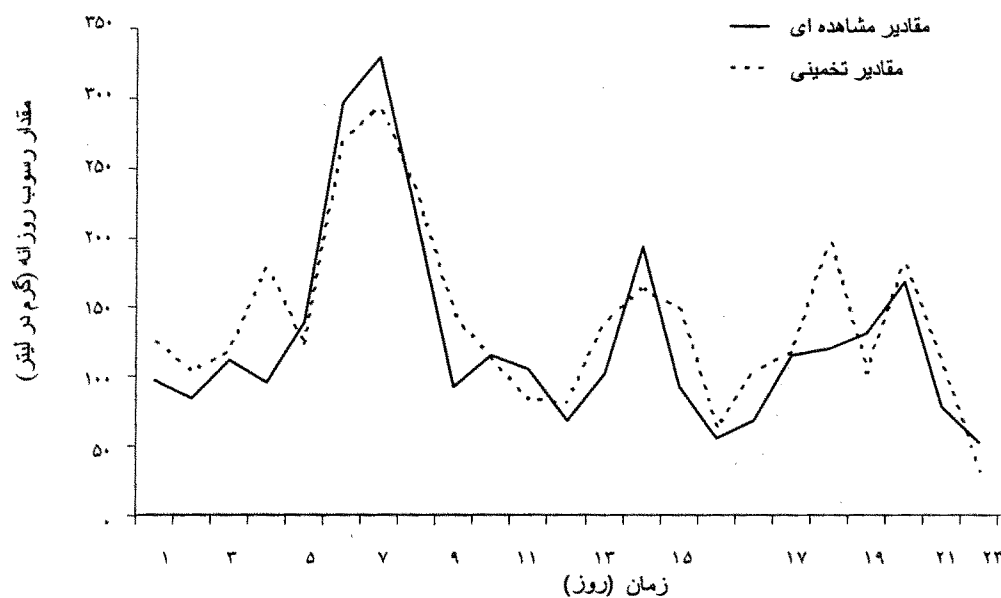




شکل ۳- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه اردیبهشت



شکل ۴- نمودار مقادیر مشاهده ای و تخمینی مدل دینامیک تولید رسوب در ماه خرداد



شکل ۵- 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 Publications, 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, 8<sup>th</sup> 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 Technique to Develop 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<sup>1</sup>

A. Nikpour<sup>2</sup>

S.A. Ayoobzadeh<sup>3</sup>

### 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