تخمین توان رسوبدهی سیستم های آبی با روش فورنیه و بالا بردن کارآیی آن در سیستم های «نقطه ای - ترسیمی»

م. ح رامشت[1]، ف، کیارسی[2]، ا، گندمکار[3]

چکیده

یکی از مشکلاتی که محققان رشته های ژئومورفولوژی، هیدرولوژی، کشاورزی، عمران و ... با آن مواجه هستند، برآورد میزان رسوب در سیستم های آبی است. زیرا بعضاً باید فاکتورهای پیچیده ای محاسبه شوند که ارزیابی آن ها بسیار مشکل، وقتگیر و مستلزم صرف هزینه های زیاد است. برای برآورد توان رسوبدهی یک سیستم آبی، بیش از ۹۰ مدل و روش وجود دارند که بر حسب نوع فرسایش عناصر به کار گرفته شده در این مدل ها با هم تفاوت دارند.

روش داگلاس[4]، روش ماس گریو[5] و روش فورنیه[6] از جمله روش های متداول در تخمین رسوب هستند که عوامل معدودی در آن ها به کار گرفته شده اند و دستیابی و ارزیابی این عوامل نیز نسبتاً ساده است. در بعضی از روش ها هم از عوامل متعددی استفاده می شود، از جمله: روش[7] «USLE» (ویشمایر، ۱۹۴۷)، روش[8] «EPM» (یاروسلاوسرنی، ۱۹۵۲)، روش فائو، روش استلیک (زاشار، ۱۹۸۲)، روش پسیاک[9] (PSIAC) و روش[10] «SLEMSA».

روش فورنیه که در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد شد، با تکیه بر ویژگی های اقلیمی و مورفولوژیک سیستم های آبی، میزان کل رسوب در یک سیستم آبی را تخمین می زند. در این مقاله سعی شده است، تفاوت تخمین رسوب در یک سیستم آبی با به کارگیری یک روش، اما با بهره گیری از دو شیوهٔ تحلیلی «آماری» و «نقطه ای- ترسیمی» نشان داده شود.

نتیجه های به دست آمده نشان می دهند، تفاوت فاحشی بین ارقام تخمین رسوب در دو روش آماری و نقطه ای- ترسیمی وجود دارد و مطالعات منطقه ای، نمی توان به ارقام روش آماری متکی بود. ضمن آن که بعضی اولویت های مکانی، از نظر فرسایش نیز با استفاده از روش های آماری و ریاضی صرف، امکانپذیر نیستند.

واژگان کلیدی

توان رسوبدهی[11]، سیستم آبی[12] و خطوط منحنی میزان[13]

مقدمه

روش فورنیه که در سال ۱۹۶۰ پیشنهاد شد، با تکیه بر ویژگی های اقلیمی و مورفولوژیک سیستم های آبی، مقدار رسوبدهی سالانهٔ یک سیستم را با معادلهٔ زیر بر آورد می کند:

معادلهٔ (۱)

$$LogQ_s = ۲/۶۵ Log \frac{\rho^۲}{\overline{P}} + (۰/۴۶ LogH \times \tan S) - ۱/۵۶$$

ارتفاع متوسط سیستم بر حسب متر =H

شیب متوسط سیستم بر حسب درجه =S

میانگین بارندگی سالانه بر حسب میلی متر $=\overline{P}$

رسوب بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال $=Q_s$

میانگین بارندگی پر باران ترین ماه سال بر حسب میلی متر =P

فورنیه، بار رسوبی معلق را برای ۷۸ سیستم آبریز مهم مناطق خشک و نیمه خشک کشورهای تونس و الجزایر که مساحتی از ۲۴۶۰ تا ۱۰۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع داشتند، مورد مطالعه قرار داد. او نشان داد، در مناطقی که ناهمواری های متفاوتی دارند، بین بار رسوبی و میزان بارندگی فصلی $(\rho^۲ / \overline{P})$ رابطه معنی داری وجود دارد. در این نسبت، $\overline{P}$ متوسط مقدار ریزش جوی سالیانه بر حسب میلی متر و ρ متوسط مقدار ریزش جوی بر حسب میلی متر در مرطوب ترین ماه است. بدین ترتیب مشخص می شود، در مناطق خشک و نیمه خشک که بیش تر بارندگی سالانه در یک یا دو ماه خاص اتفاق می افتد، نسبت $\rho^۲ / \overline{P}$ بیش تر می شود و میزان اثر این عامل در رسوب زایی افزایش می یابد. در نتیجه توان رسوبدهی سیستم، نسبت به مناطق مرطوب خیلی بیش تر می شود.

مطالعات مشابهی که **استراخوف** در سال ۱۹۶۷ انجام داد، مقدار بار مشابه فورنیه ولی با دامنه ای کم تر را نشان داد (استودارت، ۱۹۶۹).

در سال ۱۹۵۸، **لانگ بین و شوم** کار مفصلی دربارهٔ تأثیرات وضع اقلیمی بر بار رسوبی انجام دادند. آن ها در این کار، از داده های ایستگاه های نمونه گیری ۹۴ حوضهٔ آبریز (با متوسط مساحت ۳۸۸۵ کیلومتر مربع) و داده های ۱۶۳ حوضهٔ آبریز مربوط به مخازن رسوبگذاری (با مساحت متوسط ۷۸ کیلومتر مربع)، استفاده کردند.

در ایران هم هفت زیر سیستم آبی حوضهٔ آبریز رودخانهٔ سفید

رود بررسی شد که در سه زیر سیستم، جواب قابل قبولی به دست آمد. ولی در چهار زیر سیستم، نتیجه ها رضایتبخش نبودند.[۱۴]

در این مقاله سعی شده است، ضمن تشریح عملیات دو روش آماری و نقطه ای- ترسیمی، مقادیر برآورد شده با یکدیگر مقایسه و میزان دقت کار در هر یک از آن ها ارزیابی شود.

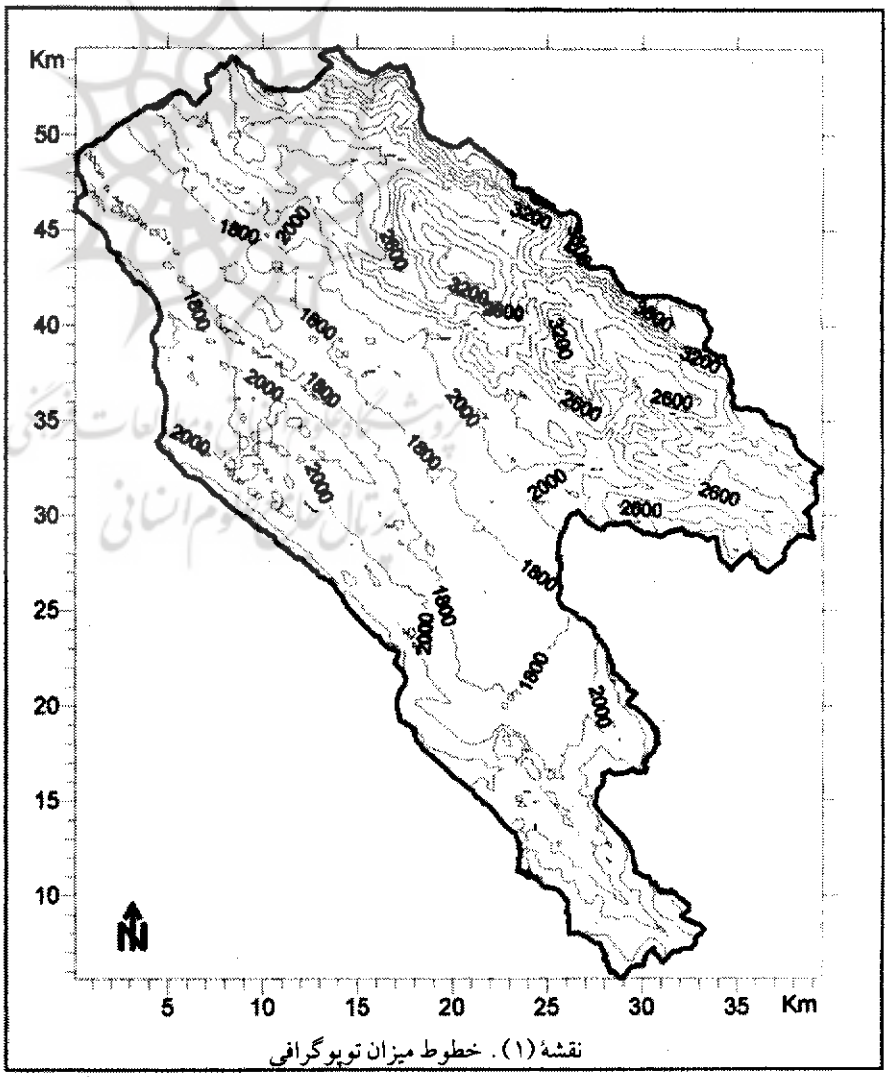
در معادلهٔ (۱) از متوسط فاکتورها استفاده شده است که با توجه به دامنهٔ بسیار وسیع این فاکتورها در سیستم های آبی بزرگ، نمی تواند چندان مورد اطمینان باشد. زیرا ارزش فاکتورها در فرمول با هم تفاوت دارد و با تغییری جزئی در بعضی از فاکتورها، میزان رسوبدهی به شدت تغییر می کند و محاسبات دچار اشکال می شوند. در ضمن، همان گونه که ملاحظه می شود، در روش آماری ما تنها با یک رقم سروکار خواهیم داشت و نمی توانیم به ارزیابی پتانسیل رسوب در نقاط گوناگون سیستم بپردازیم.

برای این که بتوان روش فورنیه را به سیستم های بزرگ تعمیم داد و مشکل آن را بر طرف کرد، در روش نقطه ای- ترسیمی باید به جای استفاده از متوسط ها در تخمین رسوب، مقدار رسوب را برای هر پیکسل از سیستم محاسبه کرد. سپس بر اساس روش میانگین وزنی، میزان متوسط رسوبدهی و کل رسوب را تخمین زد.

برای به کارگیری معادلهٔ فورنیه در مدل نقطه ای- ترسیمی، ابتدا یک سیستم آماری انتخاب می شود. این مدل، همان مدل مجاورتی است که در نرم افزار «SURFER» نیز پیش بینی شده است. در این مدل، عناصر معادلهٔ فورنیه به صورت نقطه ای محاسبه شده اند و یک نقشهٔ هم ارزش از هر عامل تهیه شده است.

بنابراین به جای استفاده از ارتفاع متوسط، یک نقشهٔ توپوگرافی بر اساس ۵۵ هزار داده از منطقه ترسیم می شود سپس واسطه یابی نقاط انجام می گیرد.

به جای استفاده از متوسط بارش سالانه، از نقشهٔ خطوط هم باران سیستم که بر اساس تأثیر ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی بر مجموعهٔ بارش ها ترسیم شده است، استفاده می شود. به جای استفاده از میانگین بارش پر باران ترین ماه سال نیز، از نقشهٔ خطوط میانگین پرباران ترین ماه سال که بر اساس میزان بارندگی در ارتباط با ارتفاع و طول و عرض جغرافیایی ترسیم شده است، استفاده می شود و به جای استفاده از شیب متوسط، از نقشهٔ شیب که بر اساس نقشهٔ توپوگرافی ترسیم شده است، استفاده می شود. با فراهم آمدن عوامل معادلهٔ (۱)، نقشه های هم ارزش با هم ترکیب می شوند. در نهایت یک نقشهٔ هم ارزش فرسایش به دست می آید. بر اساس این نقشه، می توان نقاط گوناگون سیستم را از نظر توان رسوبدهی با هم سنجید و ضریب دقت روش نقطه ای- ترسیمی را با روش ریاضی- آماری مقایسه کرد.



نقشهٔ (۱). خطوط میزان توپوگرافی

روش و متدولوژی تحقیق

برای نشان دادن نحوهٔ عملیات محاسباتی و مقایسهٔ نتیجه های آن به دو روش نقطه ای- ترسیمی و آماری، ابتدا زیر سیستم آبی میاناب رودخانهٔ بشار واقع در استان کهگیلویه و

بویر احمد که از زیر سیستم های حوضهٔ آبی رودخانهٔ کارون است، انتخاب شد بعد محاسبهٔ عوامل معادلهٔ فورنیه (معادلهٔ ۱) انجام گرفت. پس از آن، میزان متوسط پتانسیل رسوبدهی سیستم برابر با ۸۱۰ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد.

سپس نقشهٔ هر کدام از عوامل معادلهٔ فورنیه به طور مجزا ترسیم شد. این نقشه ها بر اساس معادلهٔ (۱) با هم ترکیب شدند و یک نقشه از نقاطی که دارای رسوبدهی یکسان هستند، به دست آمد. بر اساس روش وزنی، میانگین توان رسوبدهی سیستم برابر با ۳۱۶۲ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شد.

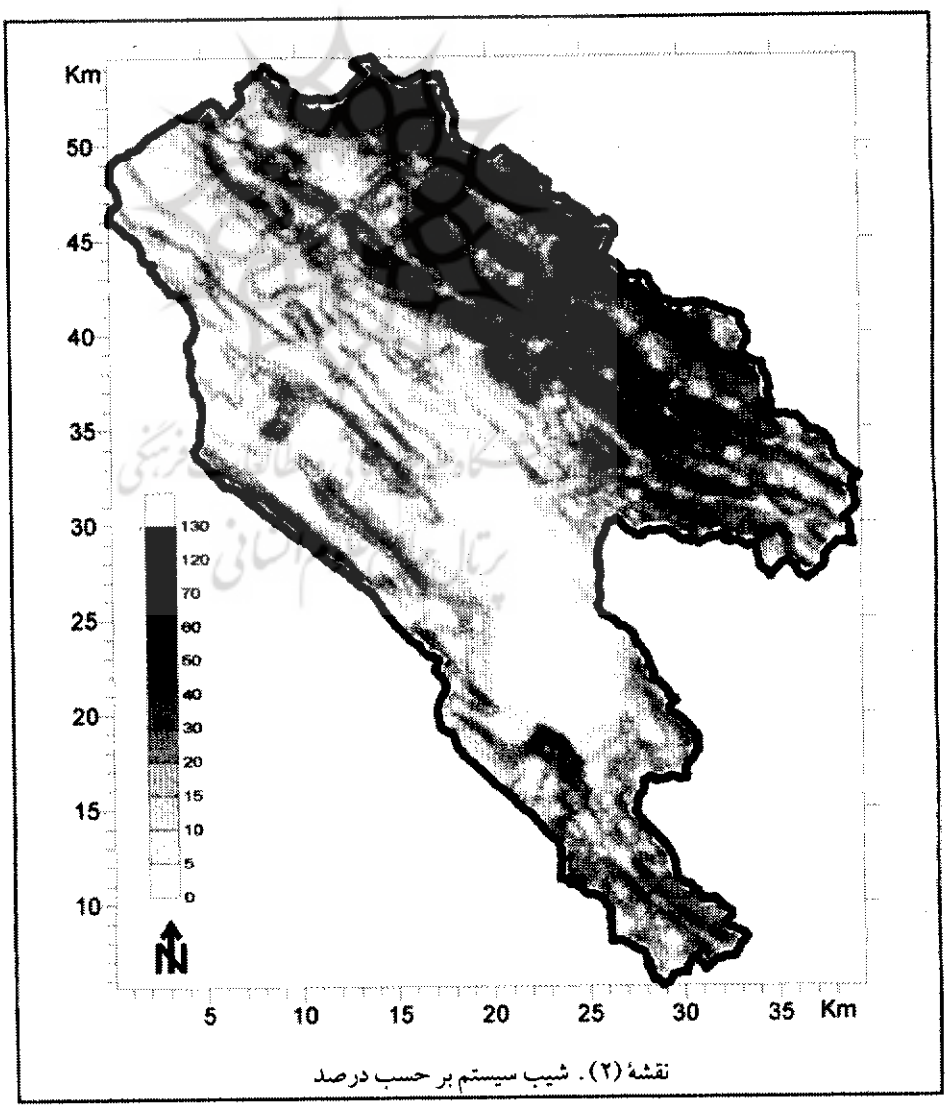
بحث

در روش آماری محاسبهٔ میزان رسوب روش فورنیه، متوسط تمام عوامل بالا را محاسبه می کنیم و در معادلهٔ (۱) قرار می دهیم و یک عدد متوسط برای کل سیستم به دست می آوریم. برای یافتن میزان ارتفاع متوسط سیستم، می توان از روش وزنی استفاده کرد که در این صورت، باید مساحت بین خطوط میزان منحنی های گوناگون را به دست آورد و بعد از آن مساحت متوسط را محاسبه کرد. در این روش، چون اندازه گیری مساحت با پلانیمتر انجام می گیرد، سطوح در یک نقشهٔ مسطحاتی تهیه می شود. حال، آن که در طبیعت وجود دارد، یک سطح مستوی است و میزان محاسبه شده، از مقدار حقیقی آن کم تر است. نرم افزار «SURFER» این کار را بسیار دقیق انجام می دهد. برای این منظور، تصویرهای مربوط به سیستم آبریز را اسکن می کنیم. سپس به وسیلهٔ نرم افزار «PIXEL CODE» تعداد زیادی از نقاط ارتفاعی سیستم را به عدد تبدیل و نقشهٔ خطوط منحنی میزان آن را ترسیم می کنیم (نقشهٔ ۱). پس از آن، مساحت بین خطوط میزان را به دست می آوریم و از روش وزنی، ارتفاع متوسط سیستم را محاسبه می کنیم.

برای محاسبهٔ میزان شیب در یک سیستم، روش های گوناگونی وجود دارند که بیش تر آن ها دقیق نیستند. در ضمن به کار بردن این روش ها وقت زیادی می گیرد. اما می توانیم با روش نقطه ای- ترسیمی یک نقشهٔ شیب ترسیم کنیم و سپس با استفاده از روش وزنی، شیب متوسط سیستم را محاسبه کنیم.

برای ترسیم نقشهٔ شیب سیستم به روش نقطه ای- ترسیمی، باید از نقشهٔ خطوط میزان منحنی استفاده کرد. نرم افزار «SURFER» با اندازه گیری فاصلهٔ بین خطوط و میزان اختلاف ارتفاع نقاط، شیب نقاط گوناگون سیستم را محاسبه و یک نقشهٔ شیب ترسیم می کند (شکل ۲) که با محاسبهٔ مساحت بین محدوده های متفاوت شیب، شیب متوسط سیستم از روش وزنی محاسبه می شود.

برای به دست آوردن بارش متوسط سالانهٔ سیستم و متوسط بارش پرباران ترین ماه آن، از اطلاعات جدول (۱) استفاده می شود. سپس یک رابطهٔ



نقشهٔ (۲). شیب سیستم بر حسب درصد

منطقی بین میزان بارش سالانه سیستم و متوسط پر باران ترین ماه آن با طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه ها به دست می آید. براساس این روابط، تعداد زیادی ایستگاه فرضی در نقاط گوناگون سیستم قرار داده می شوند. سپس با یافتن میزان بارش در هر کدام از این ایستگاه ها، نقشهٔ خطوط همبازان سالانه و نقشهٔ خطوط میانگین پر باران ترین ماه سال رسم و متوسط هر کدام محاسبه می شود.

واز اطلاعات جدول (۱) روابط زیر به دست می آید:

معادلهٔ ۲ $\rho = ۸۲/۳ - ۱/۰۶X - ۲/۴۸Y + ۰/۰۸۴۴H$

معادلهٔ ۳ $P = ۹۹۲ - ۷/۸۱X - ۱۹/۴Y + ۰/۲۷۵H$

ضریب همبستگی =R

ارتفاع ایستگاه به متر =H

طول ایستگاه به کیلومتر =X

عرض ایستگاه به کیلومتر =Y

متوسط بارش سالانه بر حسب میلی متر =P

میانگین بارندگی پر باران ترین ماه سال بر حسب میلی متر =ρ

بر اساس روابط بالا، یکصد ایستگاه فرضی در سیستم ساخته می شود که میزان بارش سالانهٔ آن ها و همچنین میزان بارش پرباران ترین ماه سال در آن ها محاسبه می شود. با استفاده از روش نقطه ای- ترسیمی، نقشه های خطوط هم بازان سالانه و نیز خطوط هم بازان پر باران ترین ماه سال ترسیم می شوند و میانگین آن ها در سیستم از روش وزنی به دست می آید.

میزان متوسط بارش سالانه ۸۱۱/۵ میلی متر و میانگین بارش پر باران ترین ماه سال ۱۷۲/۲۷ میلی متر و ارتفاع متوسط سیستم ۲۲۸۰ متر و شیب متوسط سیستم ۱۳/۶۸ درجه به دست می آید. با قرار دادن این متوسط ها در معادلهٔ فورنیه نتیجه زیر حاصل می شود:

$$LogQ_s = ۲/۶۵Log\frac{\rho^۲}{P} + (۰/۴۶LogH \times \tan S) - ۱/۵۶$$

$$LogQ_s = ۲/۶۵Log\frac{۱۷۲/۲۷^۲}{۸۱۱/۵} + (۰/۴۶Log۲۲۸۰ \times \tan ۱۳/۶۸) - ۱/۵۶$$

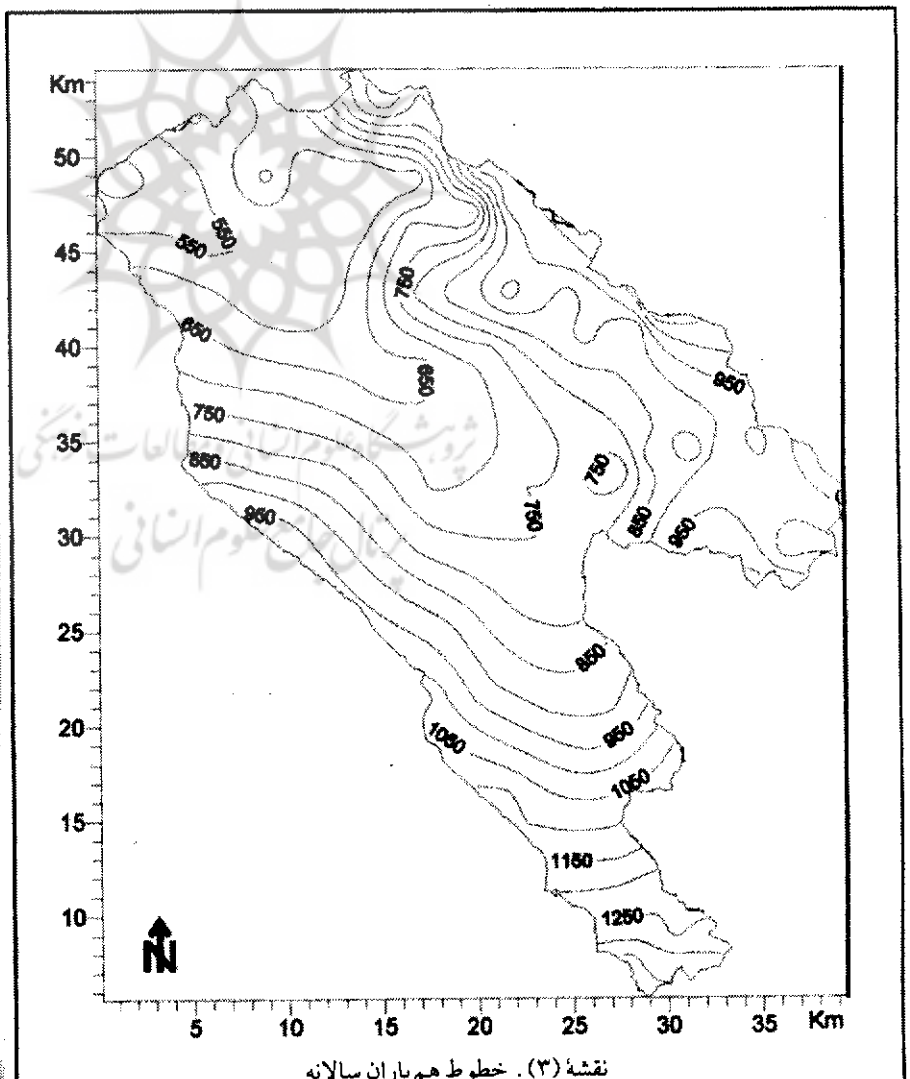
$$LogQ_s = ۲/۹۰۹ \Rightarrow Q_s = ۸۱۰ tonne/Km^۲ year$$

میزان رسوب تولید شده در سیستم، به طور متوسط ۸۱۰ تن در کیلومتر مربع در سال است و با توجه به این که مساحت سیستم ۸۹۵/۸ کیلومتر مربع است، میزان کل رسوب سالانه ۷۲۵۵۹۸ تن در سال است.

اما همان طور که مشاهده شد، در محاسبات بالا فقط متوسط ها مدنظر هستند. در واقع این معادله نمی تواند توان قسمت های گوناگون سیستم را در رسوب زایی نشان دهد.

برای اندازه گیری توان واقعی رسوب زایی قسمت های گوناگون سیستم به روش فورنیه، می توان از نرم افزار SURFER استفاده کرد و با ترکیب نقشه های شیب، ارتفاع، بارش سالانه و بارش ماهانه، نقشهٔ توان رسوب زدایی در نقاط گوناگون سیستم را به دست آورد و سپس با استفاده از روش وزنی، کل رسوب را محاسبه کرد.

با استفاده از روش وزنی،



نقشهٔ (۳). خطوط هم باران سالانه

میزان متوسط رسوب ۳۱۶۲ تن در کیلومتر مربع در سال برآورد شده و میزان کل رسوب در سیستم ۲۸۳۲۵۱۹ تن در سال است. این نتیجه در حدود ۴ برابر روش قبل و این اختلاف بسیار قابل توجه است.

البته باید یادآور شد که این میزان رسوب از سیستم خارج نمی شود، بلکه این رقم پتانسیل فرسایش منطقه را مشخص می کند.

برای ترکیب نقشه ها از نرم افزار SURFER استفاده شده است. به این ترتیب که در منوی «GRID» گزینهٔ «MATH» را انتخاب می کنم. سپس یکی از دو نقشهٔ مورد نظر را در قسمت A و نقشه دیگر را در قسمت B قرار می دهیم. ویک نام خروجی جدید برای آن می گذاریم. بعد در قسمت «FUNCTION» رابطهٔ مورد نظر بین دو نقشه را می نویسیم تا نرم افزار بتواند نقشه ها را با هم ترکیب کند.

نتیجه گیری

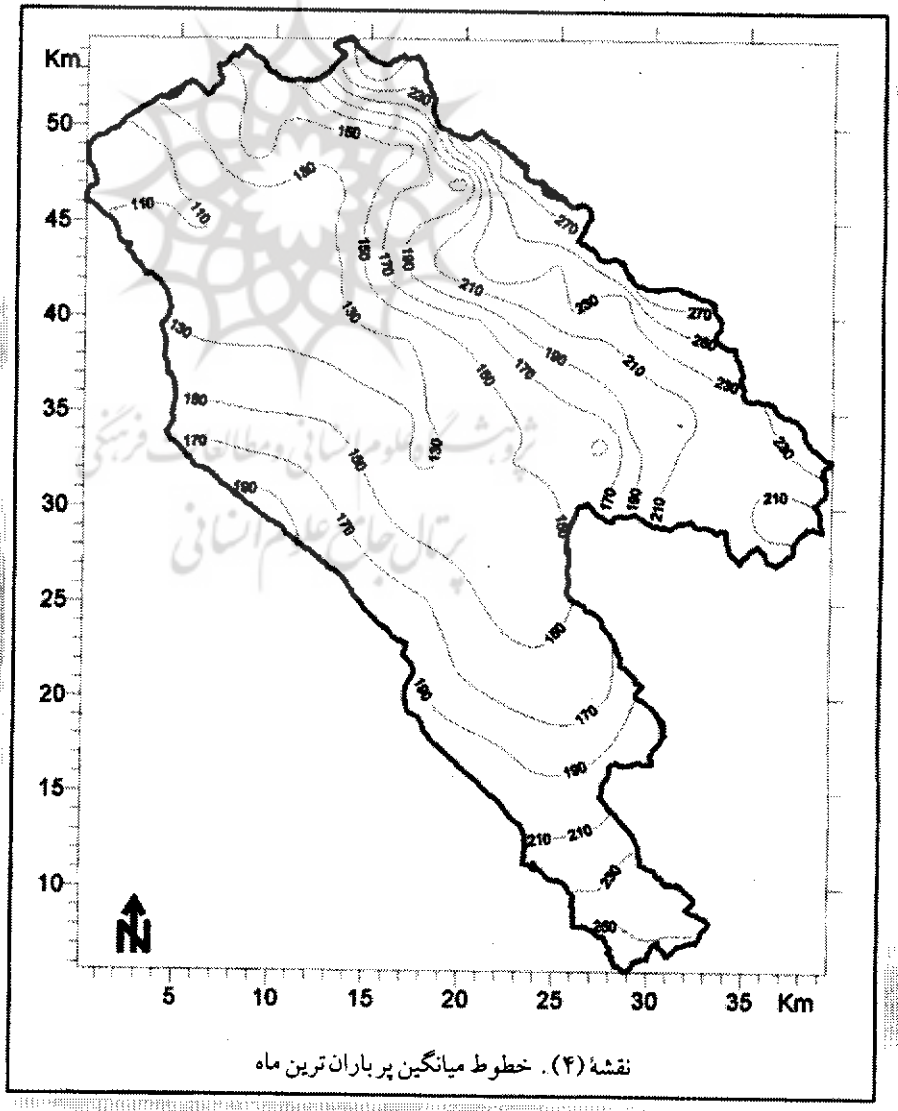
روش نقطه ای- ترسیمی امکانات زیادی را برای محققان و برنامه ریزان فراهم می آورد که شامل موارد زیر هستند:

۱. چون میزان فرسایش به صورت خطوط هم ارزش نمایش داده می شود، می توان میزان پتانسیل رسوبدهی مناطق گوناگون را با هم مقایسه کرد.

۲. نمایش خطوط هم ارزش در یک نقشه می تواند، مدیران را در کارهای آبخیزداری، کنترل و مدیریت محیطی راهنمایی کند.

۳. محدودیت های قبلی روش فورنیه که بیش تر برای حوضه های کوچک وهمگن استفاده می شد، از میان می رود. زیرا برآورد پتانسیل رسوبدهی، برای مامربعات بسیار کوچکی محاسبه می شود که وسعت آن توسط محقق مشخص می شود.

۴. می توان به ارزیابی تأثیر هر یک از عوامل به کار گرفته شده در معادلهٔ (۱) و رابطهٔ هر عامل با میزان فرسایش پی برد.



نقشهٔ (۴). خطوط میانگین پر باران ترین ماه

زیر نویس

۱. دکتر محمد حسین رامشت. دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه اصفهان.

۲. فرینوش کیارسی علیخانی. کارشناس ارشد رشتهٔ ژئومورفولوژی.

۳. اصغر گندمکار. کارشناس ارشد رشتهٔ ژئومورفولوژی.

4. Doglas

5. Musgrave (1947)

6. Fournier (1960)

7. Universal Soil Loss Equation

8. Erosion Potential Method

9. Pacific Southwest Inter _Agency Committee

10. Soil Loos Estimation Model For Southern Africa

11. Sediment Yield

12. Watershed, Catchment

13. Contour Line

۱۴. حسن احمدی. ژئومورفولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه تهران. سال ۱۳۷۸. ص ۵۱۶.

منابع

۱. آریو کوک و دور کمپ. ژئومورفولوژی و مدیریت محیط. جلد اول. ترجمهٔ شاپور

نام ایستگاه	طول به کیلومتر	عرض به کیلومتر	ارتفاع به متر	بارش به میلی متر	بارش پرباران ترین ماه سال به میلی متر
سپیدار	۵/۱۲	۷۶/۲۳	۲۱۳۰	۱۰۷۱/۸	۱۹۶/۸
یاسوج	۲۵/۶	۲۵/۶	۱۸۱۰	۸۵۷/۷	۱۵۱/۴
شاه مختار	۱۷/۷۲	۲۹/۲۹	۱۶۴۰	۶۹۰/۲	۱۲۳/۴
چوب خله	۵۰/۸	۲۰/۰۸	۲۱۵۰	۷۸۱/۸	۱۵۸/۲۵
دارشاهی	۳/۵۵	۴۵/۸۶	۱۵۷۰	۵۲۸/۴	۱۰۲/۷
بطاری	۴	۴۷/۷	۱۵۶۰	۴۷۴/۲	۸۶/۸

جدول (۱) فاکتورهای مؤثر در ترسیم نقشه های بارش سالانه و ماهانه

گودرزی نژاد. انتشارات سمت. ۱۳۷۷.

۲. احمدی، حسن. ژئومورفولوژی کاربردی. چاپ سوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۸.

۳. رامشت، محمدحسین. کاربرد ژئومورفولوژی در برنامه ریزی. چاپ اول. انتشارات دانشگاه اصفهان. ۱۳۷۵.

۴. رفاهی، حسینقلی. فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ اول. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۸.

۵. چورلی، ریچارد شوم، استانلی و سودن، دیوید. ژئومورفولوژی. جلد اول. ترجمهٔ احمد معتمد. انتشارات سمت. ۱۳۷۵.

۶. چورلی، ریچارد شوم، استانلی و سودن، دیوید. ژئومورفولوژی. جلد سوم. ترجمهٔ احمد معتمد. انتشارات سمت. ۱۳۷۹.

۷. شنگ، تی، سی. راهنمای آبخیزداری. ترجمهٔ علی نجفی نژاد. انتشارات دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۱۳۷۶.

۸. علیزاده، امین. اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ نهم. انتشارات آستان قدس رضوی. ۱۳۷۶.

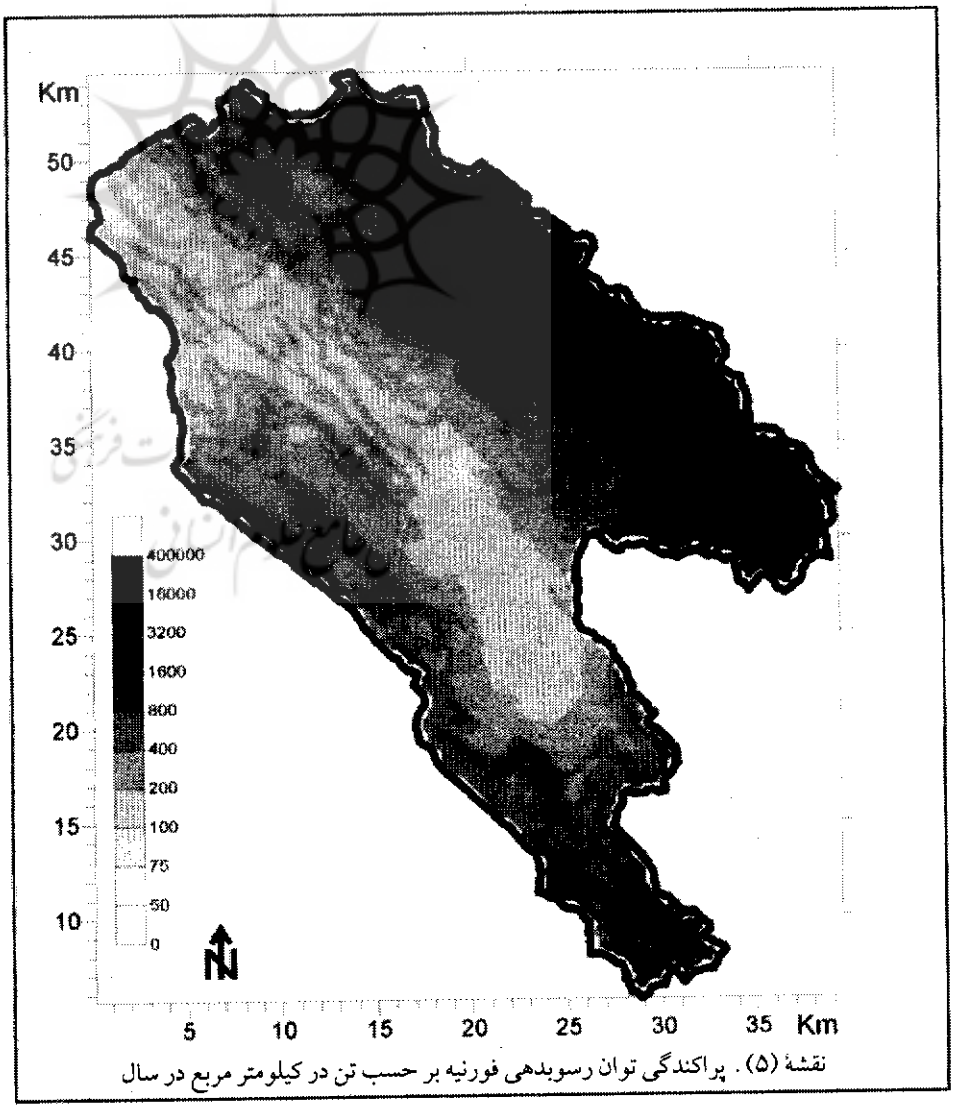
۹. کردوانی، پرویز. حفاظت خاک. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۶۹.

۱۰. گندمکار، اصغر. هیدروژئومورفولوژی سیستم آبی سراب رودخانهٔ بشار. پایان نامهٔ کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی. دانشگاه آزاد نجف آباد. ۱۳۷۹.

۱۱. مسعودیان، سید ابوالفضل. بررسی نظام تغییرات زمانی ـ مکانی بارش در ایران زمین. پایان نامهٔ دورهٔ دکترا. دانشگاه اصفهان. ۱۳۷۷.

۱۲. مهدوی، محمد. هیدرولوژی کاربردی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه تهران. ۱۳۷۷.

۱۳. نجمایی، محمد. هیدرولوژی مهندسی. جلد دوم. انتشارات دانشگاه علم و صنعت. ۱۳۶۹.



نقشهٔ (۵). پراکندگی توان رسوبدهی فورنیه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال