بررسي روند استخراج نقشه‌هاي پايه براي جريان‌هاي كم با بهره‌گيري از انتقال مدل‌هاي رگرسيوني به محيط سيستم‌هاي اطلاعات جغرافيايي (GIS)

بهرام ثقفيان[1]* و سامان محمدي[2]

[1] همكار دانشگاه آزاد اسلامي‌واحد علوم و بررسيات، ايران

[2] كارشناس ارشد تأسيسات آبياري، ايران

(تاريخ دريافت: ۸۲/٦/۲٦، تاريخ تصويب: ٨٤/۲/۲٤)

چكيده

محاسبه ويژگي‌هاي عمومي‌حوزه آبخيز از جمله تغييرهاي مكاني جريان كم در طراحي سازه‌هاي انحراف آب، تأمين آب نيروگاه‌هاي برق‌آبي، تعيين آستانه كيفيت آب در رودخانه‌ها، برآورد بار مجاز براي دفع فاضلاب‌ها، حفظ شرايط مناسب براي زندگي موجودات آبزي و تعيين اولويت‌هاي تأمين آب براي نيازهاي متفاوت بسيار مهم است. تحليل جريان‌هاي كم در رودخانه‌ها با تداوم‌ها و دوره بازگشت‌هاي مختلف و تعميم روابط منطقه‌اي بدست آمده در سامانه سيستم‌هاي اطلاعات جغرافيايي هدف اصلي اين مقاله مي‌باشد. اين بررسي در محدوده حوزه‌هاي آبخيز بالادست استان گيلان از استانهاي شمالي ايران با آب و هواي مرطوب و پرباران به اجرا در آمده است. در اين بررسي پس از استخراج ۱۳ مشخصه فيزيوگرافي حوزه‌هاي آبخيز با سامانه اطلاعات جغرافيايي(GIS)[3]، با بهره‌گيري از رگرسيون گام به گام، مساحت حوزه، بارش ميانگين ساليانه و شيب حوزه به عنوان مؤثرترين مشخصه‌ها دربرآورد جريان‌هاي كم گزينش شدند. با درنظر گرفتن ميزان جريان كم با تداوم و دوره بازگشتهاي مختلف، مدل‌هاي رياضي منطقه‌اي چند متغيره برآورد جريان‌هاي كم استخراج شد.آنگاه با تهيه نقشه رستري پيوسته، مشخصه مساحت زهكشي يا جريان تجمعي، مدل‌هاي منطقه‌اي جريان كم در طول شبكه رودخانه‌ها به صورت پيوسته تعميم داده شد. همچنين پروفيل تغييرهاي طولي جريان كم به ازاي مسافت در امتداد رودخانه ترسيم شد. در اين بررسي روش تعميم رابطه‌هاي منطقه‌اي باتوجه به قابليت‌هاي GIS معرفي و تشريح شد و پياده‌سازي روابط منطقه‌اي در حوزه‌هاي استان گيلان با موفقيت انجام گرفت. از جمله كاربردهاي نقشه‌هاي پيوسته جريان كم مي‌توان به فراهم آوردن مقدمات مكان يابي پروژه‌هاي آبي و نيز تهيه نقشه‌هاي پايه خشكسالي هيدرولوژيك اشاره نمود.

واژه‌هاي كليدي: جريان كم، مدل رگرسيوني، حوزه آبخيز، تجزيه منطقه‌اي، سامانه اطلاعات جغرافيايي

---

* نويسنده مسئول: تلفن: ۰۲۱-۴۴۹۰۱۷۲۳ فاكس: ۰۲۱-٤٤۹۰۵۷۰۹ Email: b.saghafian@gmailcom

[3] Geographical Information System

مقدمه

كاهش جريان آب در رودخانه‌ها از جنبه‌هاي مختلفي باعث وارد شدن زيان و خسارت مي‌شود. به عنوان مثال در زمان وجود جريان كم[1] در رودخانه‌ها، افزايش نسبي غلظت آلاينده‌ها و در نتيجه كاهش اكسيژن محلول روي مي‌دهدكه پيامد آن مرگ و مير ماهي‌ها و ديگر آبزيان است. همچنين در تأمين آب شهري، صنعتي و مصارف كشاورزي، كم‌آبي باعث مسائل بيشماري از جمله رقابت در مصرف مي‌شود. از طرفي در مديريت بهره برداري از سدهاي مخزني و نيروگاه‌هاي برق‌آبي در طول دوره كم آبي تحليل جريان كم بسيار اهميت دارد.

امروزه يكي از مفيدترين كاربردهاي سامانه اطلاعات جغرافيايي (GIS) تهيه‌نقشه‌هاي‌رقومي‌در‌تحليل‌ويژگي‌هاي مورفولوژيك حوزه‌هاي آبخيز مي‌باشد. استخراج و تركيب لايه‌هاي مختلف بر پايه يك مدل رياضي مكاني در محيط GIS مي‌تواند در تشريح تغييرهاي مكاني، انتقال اطلاعات از نقطه‌هاي معلوم به نقطه‌هاي مجهول و مكانيابي پروژه‌ها با سرعت و دقت مطلوب مؤثر واقع شود. از طرف ديگر، تحليل‌هاي فراواني جريان رودخانه‌ها تنها در محل ايستگاه‌هاي اندازه‌گيري دبي انجام مي‌گيرد و از اينرو لازم است رابطه‌هاي منطقه‌اي به منظور انتقال نتايج به ساير جاها گسترش داده شود. در بسياري از موارد، تهيه نقشه پيوسته تغييرهاي جريان كم در امتداد شبكه رودخانه‌ها به منظور ايجاد يك ديد كلي از چگونگي تغييرهاي مكاني و نيز مكان‌يابي پروژه‌هاي منابع آب اهميت ويژه‌اي دارد.

بررسي منابع موجود نشان مي‌دهد كه روشهاي تعميم مشخصه‌هاي جريان در سطح بسيار محدودي گزارش شده است. قريب به اتفاق منابعداراي گزارش‌هاي مربوط به استخراج عامل ها ومشخصه‌هاي مدل‌هاي منطقه‌اي با بهره‌گيري از GIS مي‌باشد و در ارتباط مستقيم با هدف و عنوان اصلي اين بررسي نيست. لذا در اينجا فقط شمار محدودي منابع كه با هدف‌هاي اين بررسي نزديک مي‌باشد، مورد اشاره قرار مي‌گيرد. به طور مثال، اسلامي(۱۳۸۱) در بررسي خود بر روي دبي بيشينه سيلابي حوزه‌هاي آبخيز خزر غربي و ارائه رابطه‌هاي منطقه‌اي براي برآورد جريان‌هاي سيلابي بيشينه ، با بهره‌گيري از توانايي‌هاي GIS اقدام به ترسيم تغييرهاي ميزان دبي سيل به صورت پيوسته در مسير آبراهه اصلي نمود.

ريگس (۱۹۹۰) دو روش را براي برآورد جريان‌هاي كم با تداوم و دوره بازگشت‌هاي مختلف در جاهاي بدون ايستگاه بكار برد. در روش اول ميزان جريان بين جاهاي داراي ايستگاه به روش خطي ميان‌يابي شد و منحني‌هاي هم دبي در حوزه‌ها ترسيم شد. در روش دوم از مدل رگرسيوني چند متغيره بهره‌گيري شد كه مشخصه‌هاي آن شامل مساحت و شيب ميانگين وزني حوزه بودند. ليكن بايد توجه داشت كه درپژوهش ريگس در واقع نمي‌توان منحني‌هاي هم دبي را در سطح حوزه ترسيم نمود زيرا آمار دبي در محل ايستگاه‌هاي نصب شده بر رودخانه‌ها معتبر است و نمي‌تواند به سطح حوزه تعميم داده شود.

مك ماهان و ناتان (۱۹۹۱)، تحليل منطقه‌اي جريان‌هاي كم را در استراليا انجام دادند. نتايج نشان دهنده كارآيي مدل‌هاي لگاريتمي‌براي جريان‌هاي كم در تداوم‌هاي مختلف با مشخصه‌هاي شاخص جريان، سازندهاي زمين شناسي و بارش بود.

اوليورا (۲۰۰۱) روش‌هاي استخراج اطلاعات توپوگرافي، توپولوژي و هيدرولوژي از داده‌هاي رقومي‌منطقه‌اي را براي نرم‌افزار HEC-HMS و مدل‌هاي منطقه‌اي ارائه نمود. اين پژوهشگر بابهره‌گيري از نقشه DEM و يك الگوريتم پيشنهادي، مشخصه‌هاي هيدرولوژيك و توپولوژيك حوزه آبخيز را به صورت لايه‌هاي جداگانه تهيه نمود و جهت بهره‌گيري در مدل منطقه‌اي بكار برد.

وارنر و همكاران (۲۰۰۳) اقدام به برآوردجريان‌هاي كم با بهره‌گيري از مدل رگرسيوني چند متغيره در۱۹ ايستگاه هيدرومتري حوزه‌هاي آبخيز پورتوريكو نمودند. آنان شمارزيادي از ۵۳ ويژگي فيزيوگرافيك و اقليمي‌حوزه‌ها را با GIS تعيين كردند و همبستگي و تأثير آنها را بر جريان كم بررسي نمودند. در نهايت دو مدل رگرسيوني دبي ۷ روزه-۱۰ ساله و ۳۰ روزه- ۱۰ ساله با چهار عامل مساحت

---

[1] ۱- Low Flow

حوزه، شيب ميانگين حوزه، نسبت طول انشعاب‌ها به طول آبراهه اصلي و مساحت حوزه ارائه شد، به طوري كه ضريب تعيين در هر دو مدل به ترتيب R^2 =۰/۹۷ و R^2 =۰/۹۶ برآورد شد.

از بررسي منابع معتبر بر مي‌آيد كه هنوز يك روش مبتني بر GIS براي تعميم پيوسته مدل‌هاي منطقه‌اي جريان كم در رودخانه‌ها ارائه نشده است و كارهاي انجام شده بيشتر براي تهيه لايه‌هاي اطلاعاتي مورد نياز درتجزيه منطقه‌اي با GIS بوده است. فرضيه‌اين بررسي مبتني بر امكان ارائه الگوريتم رياضي پياده سازي روابط منطقه‌اي جريان كم در محيط GIS استوار است.

با توجه به اهميت موضوع تحليل كم آبي در ايران و تهيه نقشه‌هاي پايه آن، هدف اصلي اين بررسي ارائه روشي مبتني بر GIS است كه بتواند ميزان جريان‌هاي كم درطول شبكه رودخانه‌ها را به صورت پيوسته و در قالب يک نقشه استخراج نمايد. لذا در ادامه تأكيد عمده برچگونگي انتقال پيوسته ميزان جريان كم در امتداد شبكه رودخانه‌هاي يك منطقه خواهد بود. ليكن در حين دستيابي به‌اين هدف، به طور فشرده استخراج رابطه‌هاي منطقه‌اي جريان‌هاي كم با بهره‌گيري از مشخصه‌هاي مورفولوژيك حوزه‌هاي آبخيز نيز تشريح مي‌گردد.

روش پژوهش

در اين قسمت، به روشهاي آماري تحليل فراواني و تجزيه منطقه‌اي باختصار اشاره مي‌شود. سپس روش پيشنهادي اين پژوهش براي تعميم پيوسته جريان‌هاي كم با تفضيل بيشتري ارائه مي‌شود.

روش تجزيه منطقه‌اي

تجزيه منطقه‌اي جريان كم با تحليل فراواني جريان در محل ايستگاه‌ها آغاز مي‌شود. با گزينش داده‌هاي روزانه دبي در محل ايستگاه‌هاي هيدرومتري منطقه و بررسي كفايت طول دوره آماري و دقت داده‌ها، دبي جريان كم براي دوره‌هاي چند روزه (۷،۱۰،۱۵،۳۰،۶۰ و ۱۸۰ روزه) با بهره‌گيري از ميانگين متحرك محاسبه مي‌شود. آنگاه براي تعيين احتمال رخداد جريان كم با تداوم‌هاي مورد نظر، مناسب‌ترين تابع توزيع آماري جريان‌هاي كم گزينش شده و فراواني رخداد كم آبي با دوره بازگشت‌هاي مختلف محاسبه شود. جزئيات محاسبه احتمال رخداد كم آبي را اسلاميان و همكاران (۱۳۷۹) ارائه نموده‌اند.

يكي از قابليت‌هاي بسيار مهم GIS استخراج ويژگي فيزيوگرافيكي حوزه به منظور بكارگيري در مدل‌هاي برآورد رواناب و رسوب مي‌باشد. استخراج ويژگي مهمي‌مانند مدل ارتفاعي رقومي(DEM)، شيب وجهت شيب، شبكه زهكشي، رتبه بندي آبراهه‌ها، جريان تجمعي يا مساحت زهكشي و جهت جريان از قابليت‌هاي مهم GIS در بررسي هيدرولوژي و منابع آب مي‌باشد. در اين بررسي،همه عامل هاي فيزيوگرافيكي حوزه‌هاي منتهي به محل ايستگاه‌هاي هيدرومتري منطقه شامل مساحت، شيب ميانگين، طول آبراهه، تراكم زهكشي و مانند آنها با GIS استخراج مي‌شود.

در مرحله گسترش مدل‌هاي منطقه‌اي، ميزان جريان‌هاي كم با دوره برگشتهاي معين به ويژگي‌هاي حوزه ارتباط داده مي‌شود. براي اين منظور، با داشتن ميزان جريان كم با دوره برگشت مورد نظر و نيز ويژگي هاي فيزيوگرافي و اقليمي‌براي حوزه‌هاي آبخيز منتهي به‌ايستگاه‌ها، درآغاز ويژگي هاي مستقل و مهم با بهره‌گيري از روش تجزيه و تحليل عاملي شناسايي مي‌شود. سپس با بهره‌گيري از روش تجزيه و تحليل خوشه‌اي، كل منطقه به ناحيه‌هاي همگن تقسيم مي‌شود و از روش رگرسيون چند متغيره جريان كم با احتمال معين به‌اين ويژگي هاي مستقل و مهم ارتباط مي‌يابند. در صورتي كه همبستگي از نظر آماري معني‌دار باشد، از رابطه منطقه‌اي بدست آمده مي‌توان براي برآورد جريان‌هاي كم در منطقه بهره‌گيري كرد (هايرش و همكاران ۱۹۹۳).

تجزيه و تحليل‌هاي مكاني و تعميم پيوسته نتايج تجزيه منطقه‌اي

مدل سازي هيدرولوژيكي در محيط GIS نياز به مجموعه‌اي از اطلاعات پايه دارد كه به طور معمول به

صورت رستري يا سلولي ذخيره مي‌شود. تقاطع خط هاي شبكه سلولي، شماري سلول‌هاي مربعي ايجاد مي‌كند كه هر ويژگي در سطح هر سلول يكنواخت فرض مي‌شود ولي مي‌تواند از سلولي به سلول ديگر تغيير نمايد. حال اگر توپوگرافي يك منطقه به صورت شبكه سلولي معرفي شود، نقشه (ماتريس) حاصل يك نقشه رستري خواهد بود كه دراصطلاحاً به آن مدل ارتفاعي رقومي(DEM) گفته مي‌شود. مشخصه‌هاي فيزيوگرافي مانند شيب حوزه، جهت شيب، گراديان افقي، گراديان قائم، ارتفاع ميانگين حوزه و تراكم زهكشي را مي‌توان با بهره‌گيري از مدل ارتفاعي رقومي‌براي بكارگيري در مدل تغييرهاي روند جريان در راستاي شبكه‌هاي زهكشي استخراج نمود. در اين بررسي از نرم‌افزارهاي ILWIS و Arcview جهت استخراج مشخصه‌هاي مورد نياز در تعميم مكاني نتايج مدل‌هاي منطقه‌اي جريان كم بهره‌گيري مي‌شود. نرم‌افزار Arcview شامل چهار برنامه ويژه به شرح زير مي‌باشد:

Fla: تجزيه و تحليل جريان با قابليت تعيين جهت جريان از هر واحد سلول در حوزه

dpa: تجزيه و تحليل شبكه زهكشي با قابليت محاسبه مساحت زهكشي در هر نقطه از حوزه. لايه مساحت زهكشي يا جريان تجمعي در هر سلول معرف مساحت سلول‌هاي بالادست است كه جريان آنها به سلول مورد نظر مي‌ريزد.

drb: استخراج حوزه‌هاي زهكش با قابليت بستن حوزه بالادست در هر نقطه از مسير آبراهه اصلي

mst: تعيين آبراهه اصلي حوزه براي استخراج خودكار نقشه آبراهه‌هاي حوزه

با بهره‌گيري از شبكه جريان استخراج شده در Arcview و ساير لايه‌هاي رستري مشخصه‌هاي فيزيوگرافي حوزه‌هاي آبخيز، مي‌توان ميزان جريان كم در طول رودخانه را به صورت پيوسته بنابه الگوريتم پيشنهادي زيرتعميم داد. با توجه به آنكه بيشتر رابطه‌هاي منطقه‌اي داراي مشخصه مساحت زهكشي مي‌باشند، از اين رو با استخراج نقشه سلولي جريان تجمعي يا مساحت زهكشي براي پياده سازي رابطه منطقه‌اي به هر سلول شبكه آبراهه اهميت دارد. اگر فرض شود رابطه منطقه‌اي از نوع ساده تواني تك متغييره باشد، در آن صورت در محل خروجي حوزه داريم:

$$Q_{d,T}(r_0,c_0)=\alpha\left[A_{tot}(r_0,c_0)\right]^{\beta} \qquad (۱)$$

كه در آن:

$Q_{d,T}$: دبي جريان كم با تداوم d روزه و دوره بازگشت T ساله

r_0 و c_0: به ترتيب شماره رديف و ستون سلول خروجي حوزه

A_{tot}: مساحت زهكشي كل حوزه

α و β: ضريب و توان مدل منطقه‌اي

بنابراين با تعميم روابط منطقه‌اي در هر سلول آبراهه مي‌توان رابطه (۱) را به صورت رابطه زير ارائه نمود:

$$Q_{d,T}(r,c)=\alpha\left[A_d(r,c)\right]^{\beta} \qquad (۲)$$

كه در آن:

$Q_{d,T}(r,c)$: جريان كم d روزه و T ساله در سلول آبراهه رديف r ام و ستون c ام

$A_d(r,c)$: سطح كل زهكشي سلول رديف r ام و ستون c ام است.

لازم به توضيح است كه A_d همان مشخصه مساحت زهكشي است. بنابراين با در دست داشتن ميزان جريان تجمعي در راستاي شبكه آبراهه‌ها مي‌توان رابطه‌هاي بالا $Q_{d,T}$ را براي كليه سلول‌هاي آبراهه محاسبه نمود و در قالب يك نقشه مكاني نمايش داد. از طرفي، اگر رابطه‌هاي منطقه‌اي از نوع چند متغييره خطي باشد، در اين صورت خواهيم داشت:

(۳)

$$\begin{aligned}Q_{d,T}(r_0,c_0)&=a_1\left[x_1(r_0,c_0)\right]+a_2\left[x_2(r_0,c_0)\right]\\&+a_3\left[x_3(r_0,c_0)\right]+\ldots+a_n\left[x_n(r_0,c_0)\right]\end{aligned}$$

كه در آن:

$x_1, x_2, \ldots, x_n$: ميانگين متغيرهاي کل حوزه تا محل خروجي اصلي (به طورمعمول يکي از متغيرها همان مساحت زهکشي است) و همچنين a_1، a_2 تا a_n ضريب‌هاي مدل منطقه‌اي مي‌باشند. با تعميم پيوسته‌اين مدل منطقه‌اي در مسير آبراهه‌هاي اصلي حوزه، شکل تعميم يافته آن به صورت زير خواهد بود:

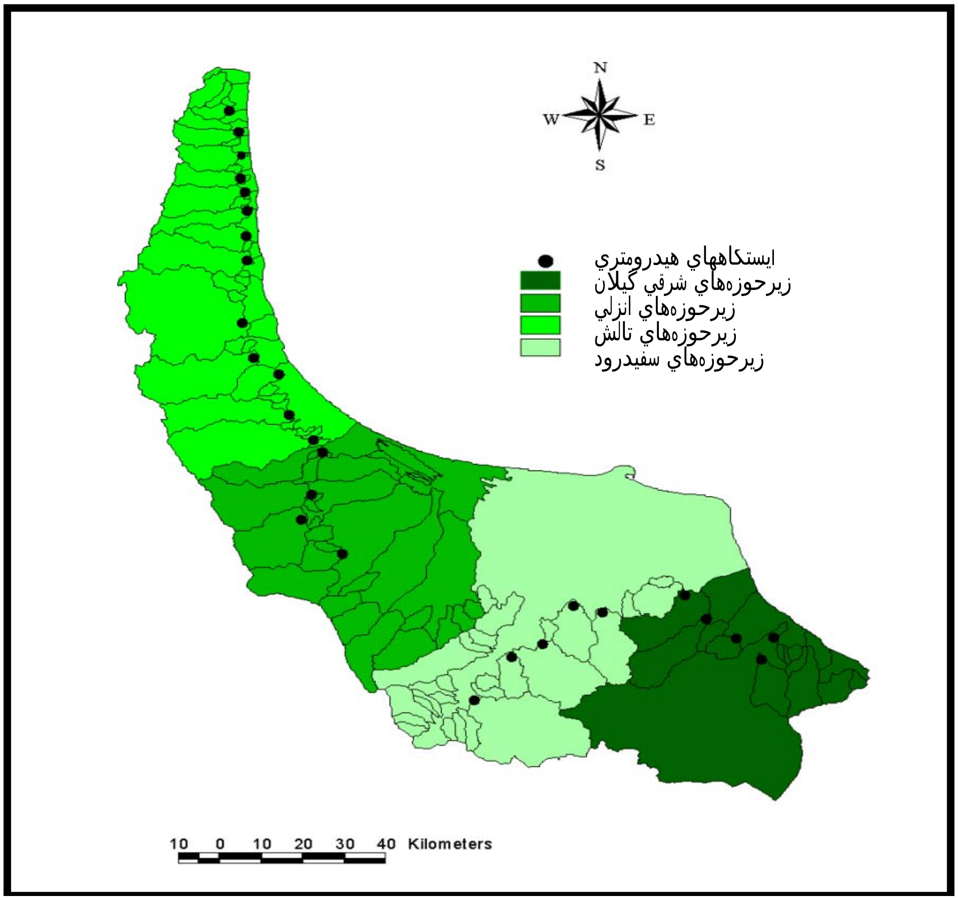
(٤)

$$Q_{d,T}(r,c) = a_1[x_1(r,c)] + a_2[x_2(r,c)] + a_3[x_3(r,c)] + \ldots + a_n[x_n(r,c)]$$

که در آن r وc به ترتيب شماره رديف و ستون هر سلول آبراهه مي‌باشد. شايان يادآوري است که ميانگين مکاني متغييرهاي x_i بايد در محدوده مساحت زهکشي سلول (r,c) محاسبه شود.

شرح عمومي‌منطقه و داده‌ها

استان گيلان با مساحتي معادل ١٣٧٩١ کيلومتر مربع در محدوده مختصات جغرافيايي ´٣٢ °٤٨، تا ´٣٣ ، °٥٠ طول شرقي و ´٣٣ °٣٦، تا ´٢٩ °٣٨، عرض شمالي واقع شده است. قسمت کم عرض استان در شمال غرب و بخش عريض آن که به دشت گيلان معروف است در شرق آن قرار دارد. سراسر شمال بخش شرقي و محدوده شمال غربي استان مشرف به درياي خزر است. استان گيلان با آذربايجان شرقي در غرب، مازندران در جنوب شرق و استان تهران و زنجان در جنوب همسايه مي‌باشد (شکل١).


N
W
E
S
ايستکاههاي هيدرومتري
زيرحوزه‌هاي شرقي گيلان
زيرحوزه‌هاي انزلي
زيرحوزه‌هاي تالش
زيرحوزه‌هاي سفيدرود
10 0 10 20 30 40 Kilometers

شکل ١- تقسيم بندي چهار حوزه آبخيز اصلي و زير حوزه‌ها در استان گيلان

نتیجه‌گیري

در حوزه‌هاي آبخیز خزر غربي در محدوده استان گیلان و پیرامون آن، درکل ٥٦ ایستگاه هیدرومتري وجود دارد که با توجه به شمار سال‌هاي آماري موجود وکیفیت داده‌هاي جریان، ۳۵ ایستگاه هیدرومتري گزینش شد (شکل ۱). شمار ۷ ایستگاه از ۳۵ ایستگاه در محدوده استان مازندران در شرق استان گیلان قرار دارد که در تجزیه منطقه‌اي مورد بهره‌گیري قرار مي‌گیرد ولي در شکل (۱) نشان داده نشده اند. پس از بررسي سال‌هاي آماري ایستگاه‌هاي هیدرومتري برگزیده، فاصله زماني سال‌هاي ۱۳٤۸ تا ۱۳۷٥ با طول دورۀ آماري ۲۸ سال به عنوان پایه زماني مشترگزینش شد.

عامل‌هاي مؤثر بر جریان کم

همان طور که در بخش روش‌ها بیان شد، عامل هاي فیزیوگرافي بیشماري مي‌توانند در میزان جریان کم رودخانه‌ها دخالت نمایند. در این بررسي، با تهیه لایه‌هاي مختلف فیزیوگرافي، میزان۱۳ مشخصه فیزیوگرافي و هیدرواقلیم حوزه‌هاي آبخیز منتهي به‌ایستگاه‌هاي هیدرومتري منتخب خزر غربي با بهره‌گیري از نرم‌افزار Arcview GIS تعیین شد. جدول (۱) خلاصه ویژگي‌هاي ۳۵ حوزه را نشان مي‌دهد. لازم به یادآوري است که منحني‌هاي هم باران سالیانه از روش میان‌یابي TPSS ترسیم شد و میانگین آن در ۳۵ ایستگاه محاسبه شد.

جدول ۱- میزان مشخصه‌هاي حوزه‌هاي آبخیز

ردیف	ویژگي	علامت (واحد)	کمینه	بیشینه	میانگین
۱	ارتفاع میانگین	Have(m)	۱۲٥	۲۷۷۷	۱۱٤۲
۲	مساحت زهکشي	$A_d(Km^2)$	۳۳	۱٦٥٤	۳۰۱
۳	بارش میانگین سالیانه	P(mm)	٤٤٦	۱٤۹۲	۹۹۳
۴	شیب میانگین وزني حوزه	(%) SB	۲/۱۲	۷/٤۸	۳/۳۱
۵	ضریب فشردگي	Rc	۰/۱۰	۰/٦٤	۰/٤٥
۶	ضریب کشیدگي	Re	۰/٤۲	۰/۹۳	۰/٦۱
۷	شیب رودخانه اصلي	SR(%)	۳/۱۳	۱٦/۹۷	۸/۰۱
۸	تراکم زهکشي	$Dd(m/km^2)$	۰/۱۸	۳/۸۲	۱/۰
۹	طول حوزه	LB(km)	٥/۹٥	٦۸/۷٥	۲۷/٥
۱۰	طول رودخانه اصلي	LR(km)	۱۰/۲٥	۸۱/۳٥	۳۲/٤۷
۱۱	محیط حوزه	Pir(km)	۱٥/۱٤	۳۰۹/۱	۸٦/۹۳
۱۲	ضریب گراویلیوس	cc	۰/۳۰	۰/۱۸	۰/٤۲
۱۳	ضریب شکل	ff	۰/۱٤	۰/٦۸	۰/۳۱

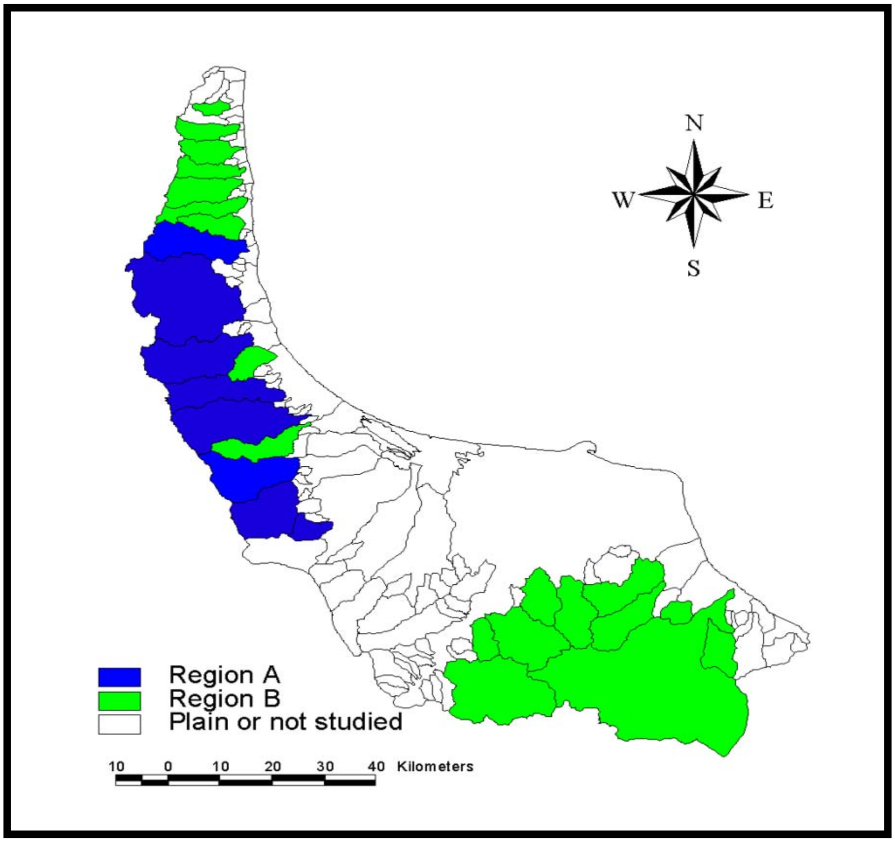
تعیین مناطق همگن

در تعیین زیرحوزه‌هاي همگن، ۳۵ زیرحوزه آبخیز با بهره‌گیري از مشخصه دبي ویژه جریان‌هاي کم ۱۰روزه-۱۰ساله مورد بررسي قرار گرفتند تجزیه خوشه اي در نرم‌افزار SPSS در دو تکرار انجام گرفت. در تکرار اول از مشخصه مساحت و در تکرار دوم از شش مشخصه (مساحت، بارش میانگین سالیانه، تراکم زهکشي، ضریب کشیدگي، شیب میانگین حوزه و مجموع طول رودخانه اصلي) به عنوان عامل‌هاي مستقل بهره‌گیري شد. در نتایج هر دو تکرار تفاوت قابل ملاحظه‌اي مشاهده نشد و لذا از نتایج تکرار دوم با توجه به بیشتر بودن شمار مشخصه‌ها براي تعیین منطقه‌هاي همگن بهره‌گیري شد. در شکل(۲)

موقعيت حوزه‌هاي همگن در استان گيلان نمايش داده شده است. محدوده همگن A شامل ١٤ زير حوزه و محدوده B شامل ١٨ زير حوزه مي‌باشد و شمار ٣ زير حوزه نيز در منطقه‌هاي A وB قرار نگرفتند. شماري از زير حوزه‌هاي آبخيز كه در استان مازندران قراردارند در شكل (٢) نمايش داده نشده‌اند.

گسترش مدل چند متغيره منطقه‌اي

با گزينش ١٣ مشخصه مستقل و با بهره‌گيري از روش رگرسيون گام به گام در نرم‌افزار SPSS، مشخصه‌هاي مساحت، بارش ميانگين ساليانه و شيب ميانگين وزني حوزه آبخيز به عنوان موثرترين مشخصه‌ها شناسايي شد. همچنين مدل‌هاي منطقه‌اي چند متغيره از نوع خطي، نيمه لگاريتمي‌و لگاريتمي‌براي برآورد جريان‌هاي كم با تداوم‌ها و دورة بازگشت‌هاي مختلف با نرم‌افزار SPSS استخراج شد. پس از استخراج مدل‌هاي منطقه‌اي با توجه به ميزان خطاي استاندارد و ضريب همبستگي، در كل مدل چند متغييره خطي به عنوان مناسب‌ترين مدل براي برآورد جريان كم گزينش شد. همچنين مدل‌هاي منطقه‌هاي همگن در دو ايستگاه شاهد كه در مرحله‌هاي گسترش مدل دخالت داده نشدند نيز آزمون شد. چگونگي كار بدين ترتيب بود كه نتايج مدل رگرسيون با برآوردهاي دبي‌هاي دوره بازگشت در محل ايستگاه‌هاي شاهد مقايسه شد. نتيجه حاكي از اين بود كه ميزان خطا در حد قابل قبول و كمتر از ٥ درصد مي‌باشد.



شكل ٢ - نقشه ناحيه‌هاي همگن استان گيلان

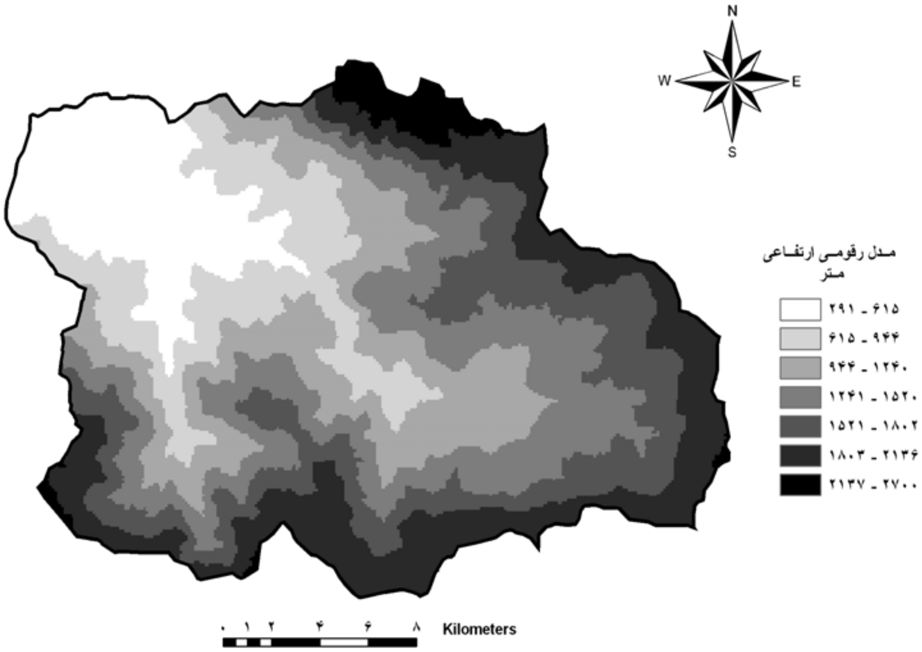
تعميم مدل منطقه‌اي در شبكه رودخانه‌ها

با توجه به شمار زياد زير حوزه‌هاي منطقه، روند انجام كار براي يك حوزه آبخيز (سياه‌رود) به عنوان نمونه ارائه مي‌شود. براي ديگر حوزه‌هاي آبخيز منطقه نيز همين مرحله‌ها براي استخراج نقشه‌هاي پايه جريان كم به كمك GIS انجام مي‌گيرد.

با بهره‌گيري از نقشه‌هاي توپوگرافي رقومي‌شده ۱:۲۵۰۰۰۰ در محيط نرم‌افزار ILWIS، نقشه DEM منطقه در ابعاد سلول ۱۰۰ متري ساخته شد و به جداسازي حوزه‌ها براي استخراج ساير ويژگي هاي فيزيوگرافيك به محيط نرم‌افزار Arcview منتقل شد. به دليل امكان وجود نقطه‌هاي گود يا مسطح نقشه DEM اوليه بايد اصلاح شود. براي اين منظور با بهره‌گيري از نرم‌افزار Arcview نقشه DEM هر يك از حوزه‌هاي آبخيز اصلاح شد. شكل (۳) DEM اصلاح شده حوزه سياه‌رود را نشان مي‌دهد. پس از تهيه نقشه DEM اصلاح شده، نقشه جهت جريان در نرم‌افزار Arcview بر پايه هشت جهت اصلي و شيب غالب تعيين شد.

در مرحله بعد، با بهره‌گيري از ماتريس جهت جريان، جمع شمار كل سلول‌هاي بالادست كه به يك سلول پايين‌دست زهكشي تخليه مي‌شوند در قالب نقشه جريان تجمعي توسط Arcview استخراج شد. در اين نقشه مقدار هر سلول بيانگر مساحت زهكشي بالادست آن سلول مي‌باشد. شكل (٤) نقشه جريان تجمعي در حوزه آبخيز سياه‌رود را نشان مي‌دهد كه در محل عبور آبراهه‌ها نيز براي نمايش بهتر عرض آنها زيادتر در نظر گرفته شده است.

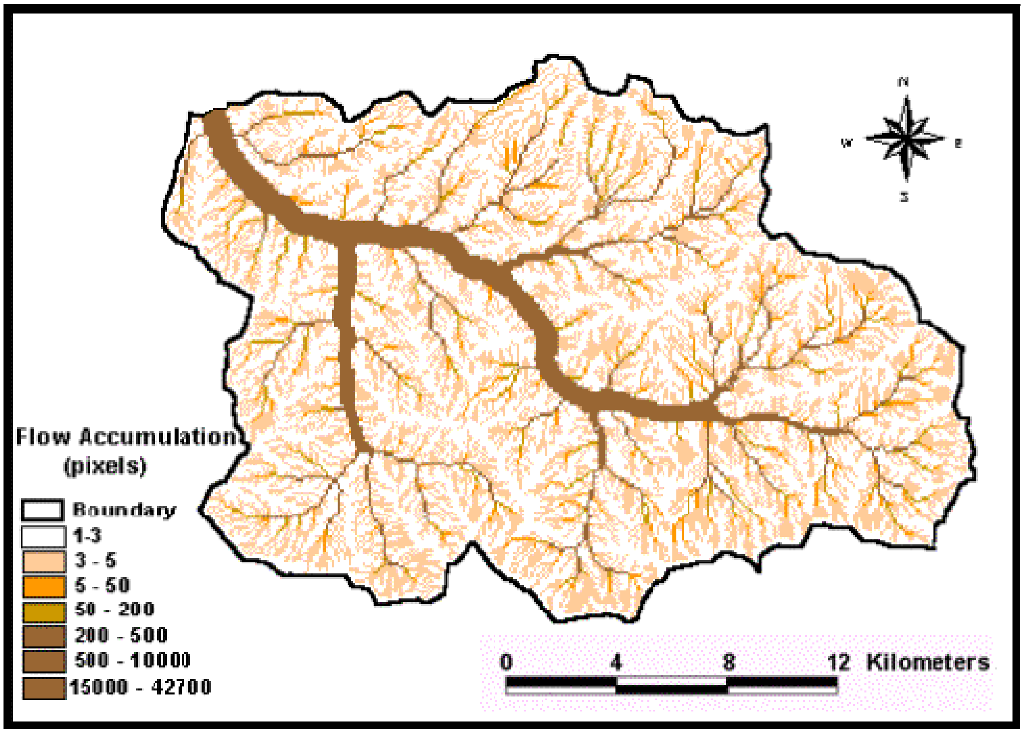
با بهره‌گيري از DEM يك حوزه آبخيز، نرم‌افزار Arcview اين توانايي را دارد كه نقشه شبكه زهكشي آن حوزه را به صورت خودكار استخراج نمايد. به‌اين ترتيب مي‌توان شبكه استخراج شده خودكار را با شبكه آبراهه‌ها كه از نقشه‌هاي كاغذي منطقه رقومي‌شده است، مقايسه نمود. همخواني شبكه آبراهه‌هاي استخراج شده از DEM حوزه با شبكه آبراهه رقومي‌شده نشان دهنده تأييد دقت مرحله‌هاي تهيه نقشه جريان تجمعي از DEM تلقي مي‌شود. شكل (5) شبكه زهكشي استخراج شده خودكار حوزه آبخيز سياهرود را نشان مي‌دهد.



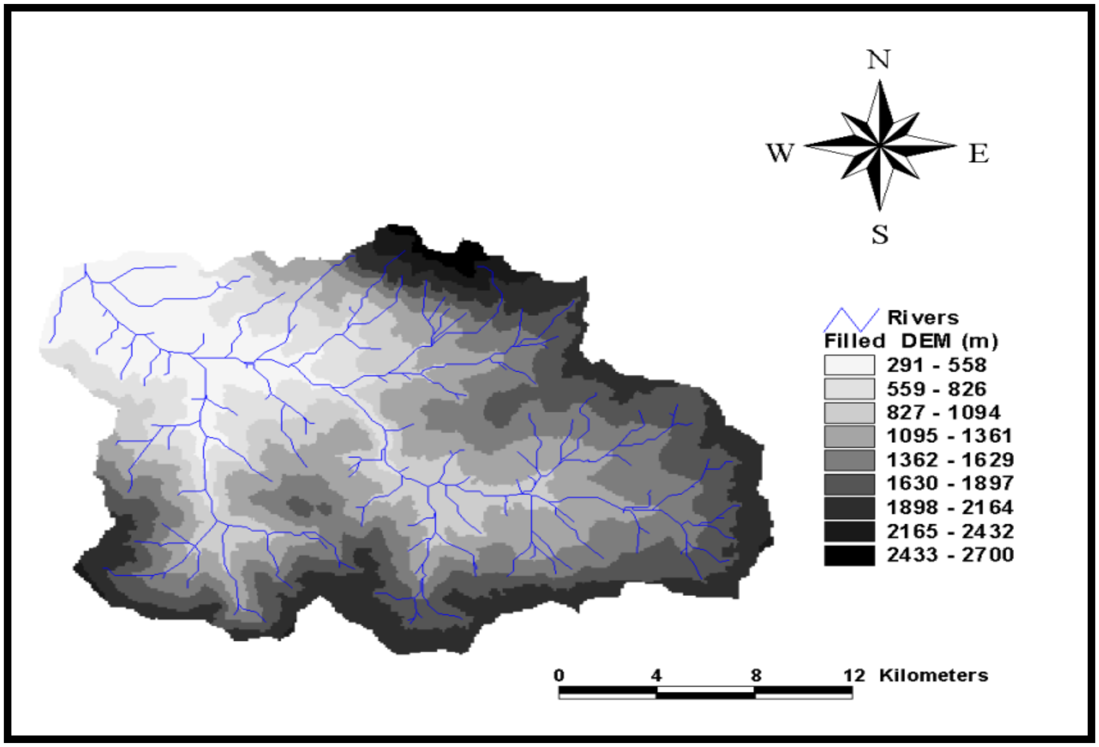
شكل ۳- مدل رقومي‌ارتفاعي اصلاح شده حوزه آبخيز سياه رود

اكنون در مرحله استخراج نقشه پايه ميزان جريان كم، با بهره‌گيري از نقشه جريان تجمعي كه ماهيت مساحت زهكشي حوزه را دارد و لايه‌هاي بارش وشيب، مدل‌هاي منطقه‌اي چند متغيره در نرم‌افزار Arcview پياده مي‌شود به گونه اي كه ميزان دبي جريان كم در طول آبراهه‌هاي اصلي به صورت پيوسته محاسبه مي‌شود. شكل (٦) روند محاسبه ميزان جريان كم را در طول آبراهه‌هاي اصلي حوزه سياهرود با بهره‌گيري از مدل منطقه‌اي چند متغيره جريان كم ١٠ روزه –١٠ساله را در سه نقطه نمونه در راستاي آبراهه اصلي نشان مي‌دهد. به عنوان مثال در زيرحوزه آبخيز بالادست، مقدار A_d معادل ١٠٧ كيلومتر مربع مي‌باشد. براي زير حوزه منتهي به همين نقطه، شيب ميانگين و بارش ميانگين حوزه به ترتيب برابر ١٨ درصد و ١٠٥٠ ميليمتر محاسبه شده است. لذا بر پايه مدل منطقه‌اي، دبي معادل ١/٣٦ متر مكعب بر ثانيه بدست مي‌آيد. همين عمليات براي كليه نقطه‌هاي انجام مي‌شود.

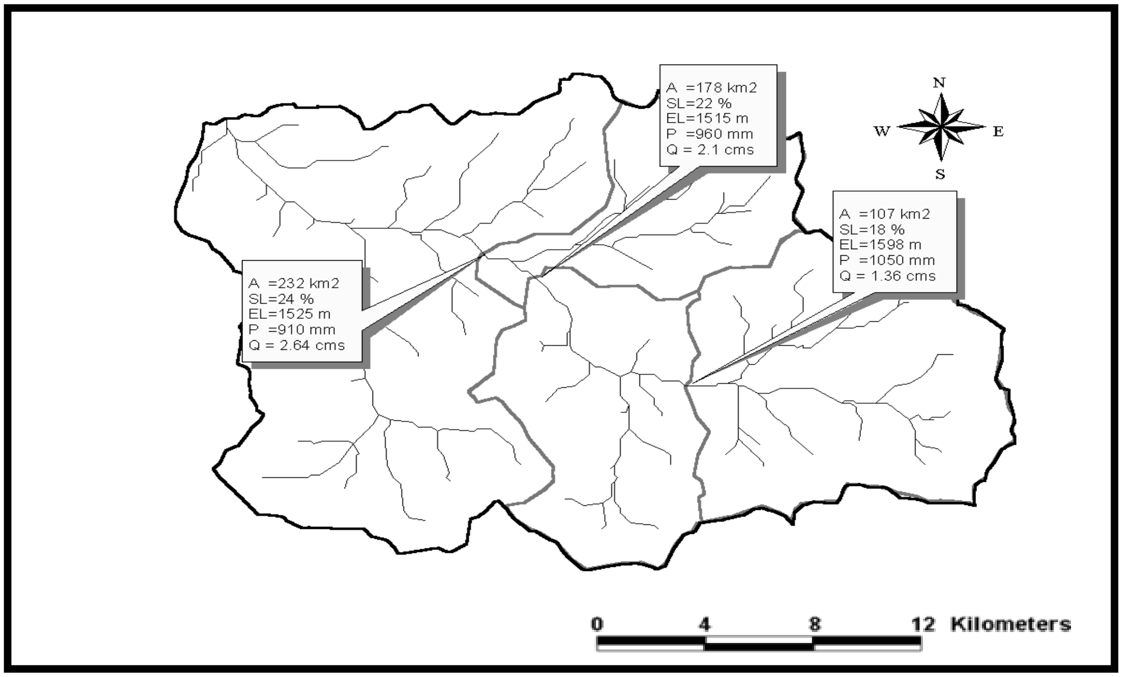
مدل‌هاي منطقه‌اي از نقطه‌هاي ايستگاه‌هاي هيدرومتري در خروجي حوزه‌ها به نقطه‌هاي بالادست حوزه‌ها تعميم داده شد. حد آستانه اعتبار مدل‌هاي منطقه‌اي با توجه به مساحت كوچكترين حوزه آبخيز معادل ٣٠ كيلومتر مربع است. لذا تعميم مدل‌هاي منطقه‌اي نيز تا حد آستانه ٣٠ كيلومتر مربع انجام گرفت. به‌اين ترتيب نقشه دبي‌هاي كم با تداوم‌هاي ١٠،٣٠،٦٠،٩٠و١٨٠ روزه و دوره بازگشت‌هاي ٢،١٠،٥٠ و ١٠٠ سال به صورت پيوسته در شبكه رودخانه‌ايجاد شد. شكل (٧) نقشه دبي‌هاي كم ١٠ روزه-١٠ ساله را نشان مي‌دهد. ضخامت و تيره‌تر شدن رنگ مسير آبراهه بيانگر افزايش مقدار دبي مي‌باشد. در شكل(٨) نيز نقشه جريان كم ١٠روزه-٢ ساله را براي بخشي از حوزه‌هاي استان گيلان نشان مي‌دهد.



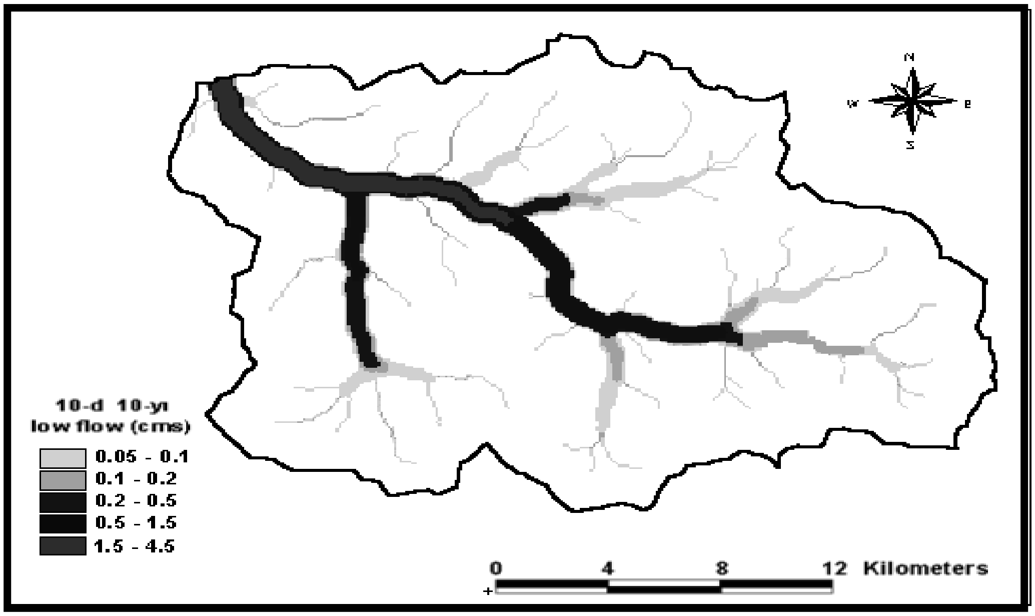
شكل ٤ – نقشه جريان تجمعي حوزه آبريز سياه‌رود


N
W
E
S
Rivers
Filled DEM (m)
291 - 558
559 - 826
827 - 1094
1095 - 1361
1362 - 1629
1630 - 1897
1898 - 2164
2165 - 2432
2433 - 2700
0
4
8
12 Kilometers

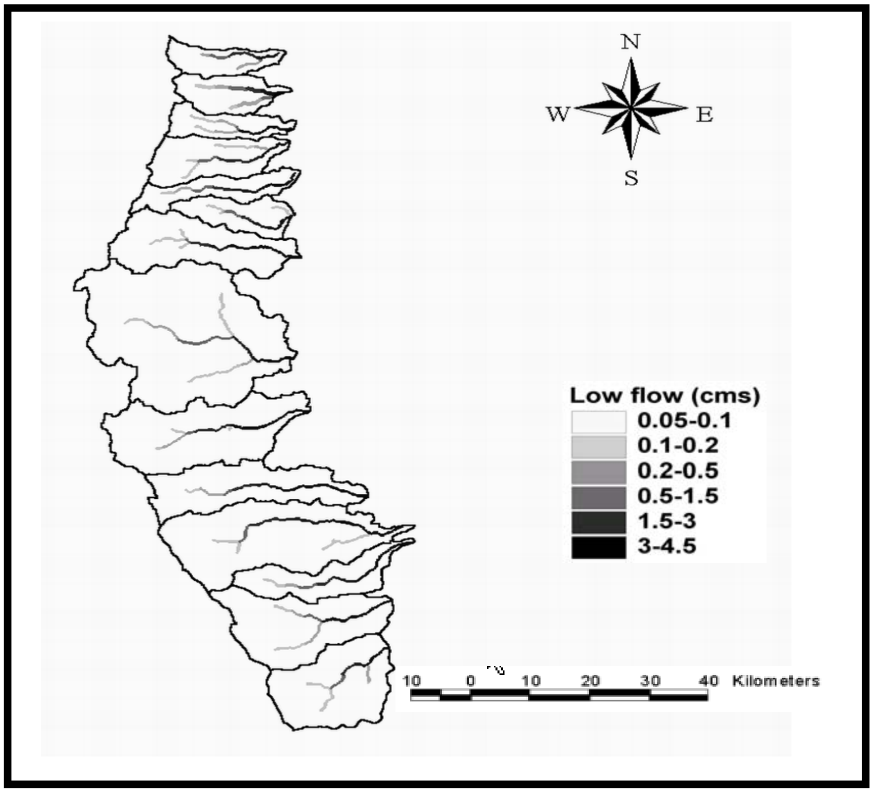
شکل۵ – شبکه زهکشي استخراج شده با **GIS**


A =178 km2
SL=22 %
EL=1515 m
P =960 mm
Q = 2.1 cms
A =107 km2
SL=18 %
EL=1598 m
P =1050 mm
Q = 1.36 cms
A =232 km2
SL=24 %
EL=1525 m
P =910 mm
Q = 2.64 cms
N
W
E
S
0
4
8
12 Kilometers

شکل ٦ – روند محاسبه ميزان دبي کم ۱۰ روزه – ۱۰ ساله در سه نقطه نمونه آبراهه اصلي


N
W
E
S
10-d 10-yr
low flow (cms)
0.05 - 0.1
0.1 - 0.2
0.2 - 0.5
0.5 - 1.5
1.5 - 4.5
0
4
8
12 Kilometers

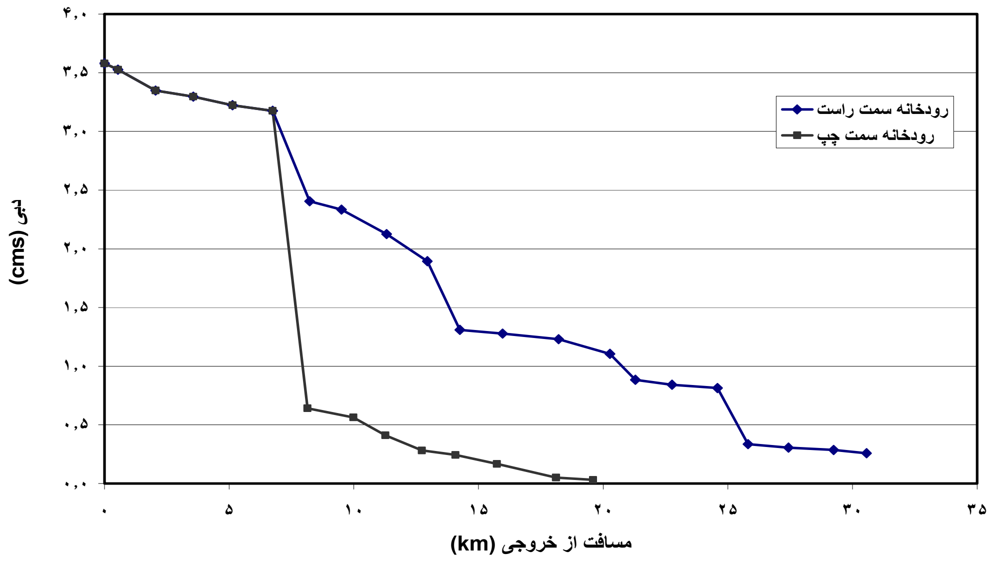
شکل۷ – نقشه جریان کم ۱۰ روزه ـ ۱۰ ساله حوزه آبخیز سیاه رود


N
W
E
S
Low flow (cms)
0.05-0.1
0.1-0.2
0.2-0.5
0.5-1.5
1.5-3
3-4.5
10
0
10
20
30
40
Kilometers

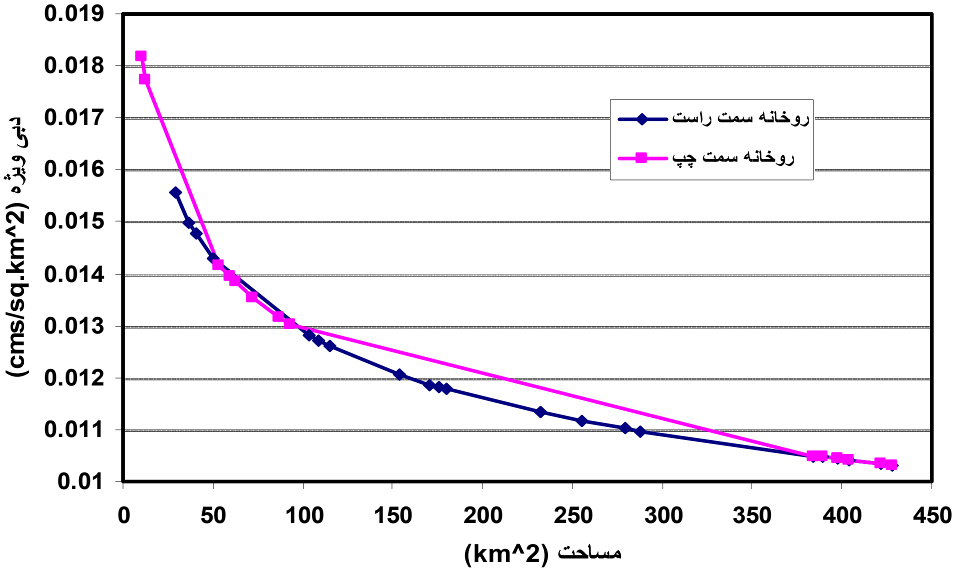
شکل ۸ – نقشه جریان کم ۱۰ روزه ـ ۲ ساله حوزه‌هاي آبخیز غرب استان گیلان

نیمرخ تغییرهاي جریان کم در طول آبراهه اصلي

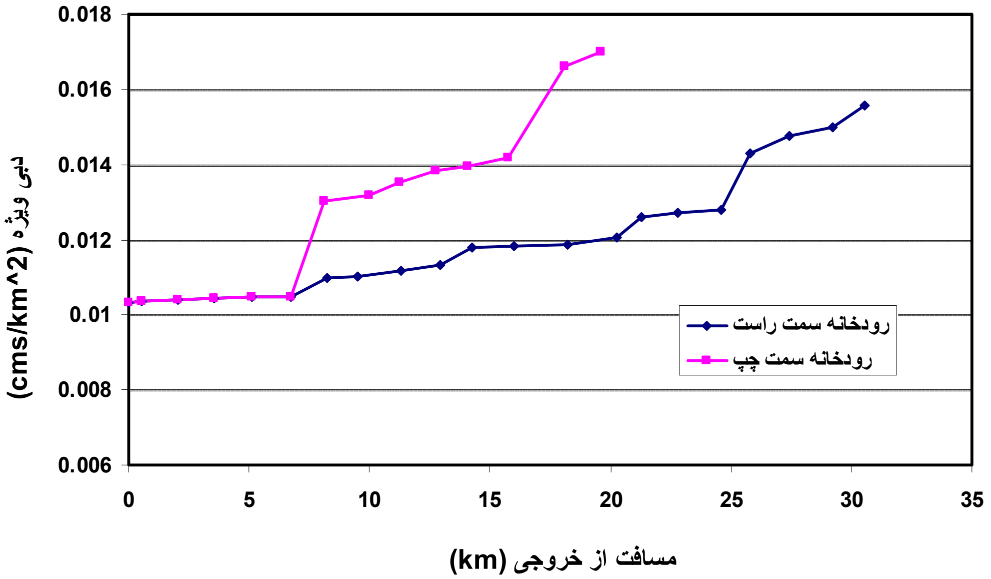
پس از استخراج نقشه‌هاي پايه جريان كم حوزه آبخيز سياه‌رود، مي‌توان نيمرخ طولي جريان كم وتغييرهاي دبي‌هاي كم نسبت به سطح زهكشي حوزه در طول آبراهه‌هاي اصلي را ترسيم نمود. همان طور كه در شكل (۹) ملاحظه مي‌شود، با افزايش مسافت از خروجي حوزه آبخيز سياه رود مقدار جريان كم كاهش مي‌يابد. با بهره‌گيري از اين نمودار، مي‌توان اقدام به برآورد ميزان جريان كم در طول رودخانه نمود. در شكل‌هاي (۱۰) و(۱۱) نيز روند كاهش دبي ويژه جريان كم (نسبت دبي جريان به مساحت زهكشي) نسبت به سطح زهكشي حوزه نشان داده شده است. شايان يادآوري است كه اعداد در محور فاصله (به كيلومتر) براي هر آبراهه از محل خروجي حوزه در راستاي همان آبراهه به سمت بالادست اندازه‌گيري مي‌شود.



شکل ۹ - نيمرخ دبي جريان کم ۱۰ روزه-۱۰ ساله درطول آبراهه اصلي(حوزه سياه‌رود)



شکل۱۰ - تغييرهاي دبي ويژه ۱۰ روزه-۱۰ ساله نسبت به مساحت (حوزه سياه‌رود)



شكل ۱۱- تغييرهاي دبي ويژه ۱۰ روزه-۱۰ ساله درطول آبراهه اصلي (حوزه سياه‌رود)

بحث

به طور كلي، با بهره‌گيري از مدل رگرسيوني چند متغيره در منطقه مي‌توان مقدار جريان كم را در ايستگاه‌هاي هيدرومتري منطقه و حوزه‌هاي بدون ايستگاه برآورد نمود. براي تعميم مدل‌هاي منطقه‌اي در طول شبكه رودخانه‌ها، بهره‌گيري از GIS نسبت به روش‌هاي ديگر مانند درون‌يابي ساده مي‌تواند علاوه بر كاهش زمان محاسبه‌ها، دقت محاسبه‌ها را نيز تا حد قابل توجهي افزايش دهد. با برآورد ميزان جريان كم در طول رودخانه‌ها و استخراج نيمرخ هاي طولي آن، رفتار مكاني جريان كم در مسير رودخانه‌ها شناخته مي‌شود. اين بررسي از نظر روش تعميم مدل‌هاي منطقه‌اي، نوآوري دارد كه در بررسي‌هاي همانند گزارش نشده است. ساير نتايج عمده‌اين بررسي شامل:

۱- در منطقه گيلان سه مشخصه مساحت، بارش ميانگين ساليانه و شيب ميانگين حوزه بيشترين تأثير را در ميزان دبي‌هاي كم دارا مي‌باشند. در ساير بررسي‌ها مشابه نيز عامل مساحت در روابط منطقه‌اي به عنوان عامل اصلي شناسايي شده است.

۲- در تعميم پيوسته مدل‌هاي منطقه‌اي، GIS با تهيه لايه‌هاي رستري مشخصه‌هاي مدل منطقه‌اي بويژه لايه جريان تجمعي، استخراج نقشه‌هاي پايه جريان كم را امكانپذير مي‌نمايد. نقشه‌هاي پايه جريان كم مي‌تواند در تحليل تغييرهاي دبي كم و مكان‌يابي پروژه‌هاي آبي نقش مهمي‌ايفا كنند.

۳- روابط منطقه‌اي و روند تغييرهاي جريان‌هاي كم و مساحت زهكشي در امتداد نيمرخ طولي آبراهه‌هاي اصلي نشان مي‌دهد كه مساحت زهكشي حوزه بيشترين تأثير را در بده جريان كم دارا مي‌باشد و مشخصه‌هاي ديگر از مانند بارش و شيب به مراتب داراي تأثير كمتري مي‌باشند.

۴- مدل‌هاي منطقه‌اي تهيه شده در اين بررسي ويژه منطقه گيلان مي‌باشد و بايد اعتبار آنها در مناطق با اقليم‌هاي متفاوت مورد آزمون قرار گيرد. ليكن روش تعميم پيوسته دبي‌هاي كم به آساني مي‌تواند در كليه منطقه‌هاي به كار گرفته شود.

۵- در اين بررسي عامل هاي همگني حوزه‌هاي آبخيز منطقه خزر غربي براي دستيابي به رابطه‌هاي منطقه‌اي كم آبي مورد بررسي قرار گرفت . در نتيجه حوزه‌هاي آبخيز به دوگروه اصلي تقسيم بندي شدند كه نتايج بررسي تلوري و اسلامي(۱۳۸۲) را با اختلاف جزئي تآييد نمود.

منابع

۱- اسلاميان، سعيد، عليرضا زارعي و احمد ابريشم چي. ۱۳۷۹. پيش بيني خشكسالي هيدرولوژيك. مجموعه مقالات كنفرانس بين المللي بررسي راهكارهاي مقابله با كم آبي و خشكسالي. جهاد دانشگاهي استان كرمان، ۳۸۲-۳۹۰.

۲- اسلامي، عليرضا. ۱۳۸۱. تعميم پيوسته مكاني مدل منطقه‌اي جريان به شبكه آبراهه‌ها در بستر GIS. دانشگاه آزاد اسلامي‌واحد علوم و بررسيات، پايان نامه كارشناسي ارشد، ۱۶۷ صفحه.

۳- ثقفيان، بهرام، محمد خسروشاهي و محمدعلي حسنوند. (۱۳۷۸). بررسي خطاهاي مدل ارتفاعي رقومي‌حوزه‌هاي آبخيز. دومين همايش ملي فرسايش و رسوب، خرم‌آباد.

٤- تلوري ، عبدالرسول و علي رضا اسلامي, ۱۳۸۲ ، روشهاي برآورد جريان حداكثر لحظه‌اي سيل در حوزه‌هاي شمال كشور، پژوهش و سازندگي شماره ۵۸ ، ۲-۱۳.

5- Hirsch, R.M., Helsel, D.R., Cohn, T.A. & Gilory, E.J., 1993. Statistical analysis of hydrologic data. Chap.17, *Handbook of Hydrology*, D.R. Maidment (Ed.), McGraw- Hill Inc.

6- McMahon, T.A. & Nathan, R.J., 1991. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. Center for Environmental Applied Hydrology. University of Melbourne, 60 p.

7- Olivera, F., 2001. Effect of the watershed size on the shape of its hydrologic response, American Geophysical Union 2001 Fall Meeting, San Francisco, CA, Abstract No. H31E-0279.

8- Riggs, H.C., 1990. Estimation of flow characteristics at ungauged sites, In: M. A. Beran, M. Brilly, A. Becker and O. Bonaca (Eds), *Regionalization in Hydrology*, April 1990, IAHS Pub. No. 190, 159-170.

9- Warner, G.S., Garcia-Martion, R.A. & Scatena, N.F., 2003. Watershed characterization by GIS for low flow prediction. Chap.9 in "*GIS for Water Resources and Watershed Management*", J.G. Lyon (Ed.).,101-107.

Derivation of low flow maps by transferring regression models to GIS

B. Saghafian[*1] **and S. Mohammadi**[2]

[1] Islamic Azad University, Science & Research Branch, I. R. Iran
[2] M.Sc. in Hydraulic structures, Islamic Azad University, Science & Research Branch, I. R. Iran

(Received: 17 September 2003, Accepted: 14 May 2005)

Abstract

General characteristics of low flow and its spatial variation are used in design of water diversion projects, hydropower، water resources studies, threshold discharge for environmental purposes, allowable sewer discharge into rivers, river ecological requirements, and water resources priority studies. Analysis of low flow with different durations and return periods and transposition of regional models are the main objectives of this paper. This research has been carried out in watersheds of Gilan province located in northern Iran with an average annual precipitation of 1100 mm.

After extracting 13 physiographic indices of the watersheds using geographic information systems (GIS), watershed area, average annual rainfall, and watershed slope were determined as the most effective parameters in step by step regression. Regional multivariable models for various low flow duration and return period were then derived. Flow accumulation map was generated using GIS and the regional models were continuously mapped in the stream networks. Moreover, the variation of low flow against distance (so called profile) was plotted for close inspection of low flow change along the streams. In this research, the technique of mapping low flow in GIS was introduced and its application to Gilan watersheds was demonstrated. The low flow maps could be effectively used in site selection of water resources projects and preparation of base hydrological drought maps.

Keywords: Low flow, Regression model, Regional analysis, GIS

---

* Corresponding author: Tel: +98 21 44901723 , Fax: +98 21 44905709 E-mail: b.saghafian@gmail.com