



شماره ۱۰۳، تابستان ۱۳۹۳

پژوهش‌های آبخیزداری
(پژوهش و سازندگی)

بررسی کارایی فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برآورد توان سیل خیزی (مطالعه موردی: حوزه زوجی کاخک شهرستان گناباد)

• مسعود عشقی‌زاده

دانشجوی دکتری آبخیزداری دانشگاه یزد (نویسنده مسئول)

• علی طالبی

دانشیار گروه آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی دانشگاه یزد

تاریخ دریافت: بهمن ماه ۱۳۹۱ تاریخ پذیرش: بهمن ماه ۱۳۹۲

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۵۵۳۳۰۴۹۶

Email: m.eshghizadeh@stu.yazd.ac.ir

چکیده

امروزه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره کاربرد وسیعی در علوم مختلف پیدا کرده‌اند. بطوریکه تلفیق سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره منجر به ارائه روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی شده است. در این تحقیق، توان مکانی شدت سیل‌خیزی حوزه زوجی کاخک شهرستان گناباد با استفاده از روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور ابتدا عوامل توپوگرافی، اقلیمی، زمین‌شناسی، خاکشناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی بعنوان مهمترین عوامل موثر بر سیل‌خیزی تعیین و لایه‌های طبقات مرتبط با آنها تهیه گردید. سپس معیارها و طبقات آنها با فرآیند تحلیل شبکه‌ای وزن‌دهی و لایه‌های وزنی توسط نرم افزار الویس ۳ تلفیق و نقشه توان مکانی سیل‌خیزی تهیه گردید. نتایج بکارگیری فرآیند تحلیل شبکه‌ای توان سیل‌خیزی حوره شاهد را بیشتر محاسبه نمود بطوریکه متوسط وزن توان سیل‌خیزی در حوزه شاهد ۰/۲۵ و در حوزه نمونه ۰/۲۱ محاسبه شد. همچنین عامل شماره منحنی بیشترین وزن و جهت شیب شمالی کمترین وزن را در محاسبه توان سیل‌خیزی حوزه زوجی کاخک داشته است. این تحقیق نشان داد فرآیند تحلیل شبکه‌ای می‌تواند بعنوان روشی برای برآورد توان سیل‌خیزی و نمایش تغییرات مکانی آن در سطح حوزه مورد توجه قرار گیرد.

کلمات کلیدی: تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل شبکه‌ای، سیل‌خیزی، گناباد.

Watershed Management Research (Pajouhesh & Sazandegi) No 103 pp: 61-73

The efficiency of Analytic Network Process to estimate the flooding potential watershed (Case study: Kakhk Paired Watershed of Gonabad)

By: M. Eshghizadeh, PhD student of Watershed management, Yazd University, Iran. (Corresponding Author; Tel: +0989155330496). A. Talebi, Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Iran.

Nowadays, multi-criteria decision-making methods have found wide application in various sciences. Integrating GIS and multi-criteria decision-making methods has been lead to provide spatial multi-criteria decision-making methods. In this study, using analytic network process (ANP) the flooding spatial potential was determined. At first for this purpose topography, climatic, geology, soil, hydrology, landuse and vegetation factors identified as important factors affecting on flooding and were prepared related classes layers with these factors. Then the criteria and their classes were weighted by using analytic network process and was flooding spatial potential map in Ilwis 3 software was calculated through the combination of weighting layers. Our results showed that the average of flooding potential in Control subbasin was calculated 0.25 and in Sample subbasin 0.21. So the curve number factor have the greatest impact on flooding and has a direct relationship with that. Also the north slope has the lowest impact on flooding. This results showed the analytic network process can be used as a way to estimate the flooding potential and displaying the spatial variations in watershed.

Keywords: Multi Criteria Decision Making, Analytic Network Process, Flooding, Gonabad.

مقدمه

یکی از مسائل مهم و اساسی که امروزه اکثر کشورها با آن مواجه هستند، خسارات ناشی از سیلابها است. برای پیشگیری، کنترل و مهار سیلاب از طریق شناسایی مناطق سیلخیز، از راهکارهای مختلفی استفاده می شود. یکی از جدیدترین راهکارها بکارگیری روش های تصمیم گیری چند معیاره مکانی^۱ (SMCDM) در برآورد توان مکانی سیلخیزی حوزه ها است. البته تلفیق سیستم های اطلاعات جغرافیایی^۲ (GIS) و روش های تصمیم گیری چند معیاره منجر به پیدایش این روش ها می شوند (Malczewski, ۱۹۹۹). در مورد بکارگیری روش های تصمیم گیری چند معیاره در مباحث مربوط به سیلاب، خلقی (۲۰۰۲) با روش تصمیم گیری چند معیاره به اولویت بندی زیرحوزه ها به منظور کنترل سازه ای سیلاب پرداخت و به این نتیجه رسید که روش تصمیم گیری چند معیاره با توجه به در نظر گرفتن معیارهای مختلف و چندین تابع هدف در برنامه ریزی خطی می تواند در مدیریت آبخیزها موثر باشد.

یکی از ویژگی های بسیار مهم حوزه آبخیز، شدت سیل خیزی آن می باشد. سیل خیزی حوزه به نوعی بیانگر قابلیت تولید رواناب در حوزه می باشد که هر چه تولید رواناب بیشتر باشد، نفوذپذیری و قدرت نگهداری آب در حوزه کمتر بوده و در نتیجه بارش به سرعت از حوزه خارج می گردد که همراه خسارت زیادی می باشد (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ۲۰۰۶).

فرآیند تحلیل شبکه های^۳ (ANP) در سال ۱۹۹۶ توسط پروفیسور ساعتی ارائه شد. این روش هر موضوع و مسئله ای را بصورت شبکه ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه های مرتبط با هم در نظر گرفته و عوامل هر گروه در یک خوشه جمع می شوند (Buyukyaz & Sucu, ۲۰۰۳).

تمامی عناصر در یک شبکه می توانند، به هر شکل دارای ارتباط با یکدیگر باشند (Chung, Lee & Pearn, ۲۰۰۵) و (Garcia-Melon, Ferris-Onate, Aznar-Bellver, Aragonés-Beltran & Poveda-Bautista, ۲۰۰۸). بنابراین ANP را می توان متشکل از دو قسمت دانست: سلسله مراتب کنترلی و ارتباط شبکه ای. سلسله مراتب کنترلی ارتباط بین هدف، معیارها و زیرمعیارها را شامل شده و بر ارتباط درونی سیستم تاثیرگذار است و ارتباط شبکه ای وابستگی بین عناصر و خوشه ها را شامل می شود (Saaty, ۱۹۹۹).

در مورد بکارگیری روش فرآیند تحلیل شبکه ای، حسینعلی، ملک و سیلاوی (۲۰۱۰) جهت مکانیابی احداث پل عابر پیاده، دو روش AHP و ANP را مورد واکاوی قرار دادند. نتایج آنان موفقیت و قابلیت این دو روش را به عنوان روش تصمیم گیری چند معیاره در مکانیابی نشان داد. زبردست (۲۰۱۰) کارآئی فرآیند تحلیل شبکه ای را در برنامه ریزی شهری و منطقه ای بررسی کرده و نشان داد که ANP علاوه بر فراهم نمودن یک چهارچوب مناسب جهت تجزیه و تحلیل و تصمیم گیری، امکان تحلیل مسایل شهری را نیز فراهم می آورد. ولف اسلحتر (۲۰۰۵) از فرآیند تحلیل شبکه ای جهت مدیریت جنگل های آسیب پذیر استفاده نمود و بیان نمود، روش ANP به دنیای واقعی بسیار نزدیک است و قابلیت بالایی را از طریق تجزیه و تحلیل چند معیاره روابط پیچیده و وابستگی های داخلی محیط های طبیعی دارا است.

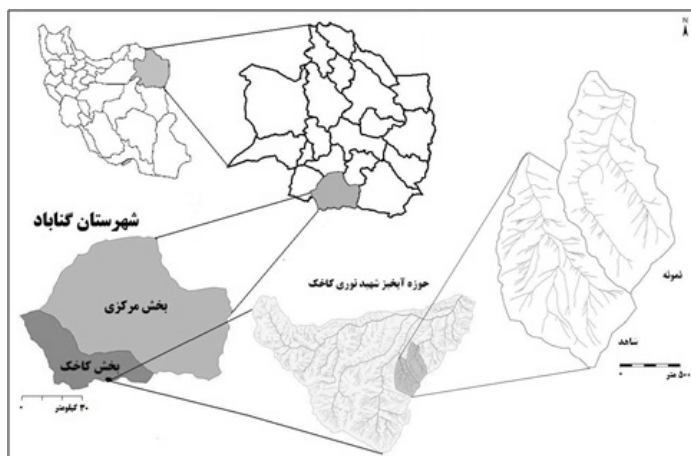
در این تحقیق، شدت سیلخیزی از طریق تعیین توان مکانی سیلخیزی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از این تحقیق ارزیابی کارآئی این روش به عنوان یک روش تصمیم گیری چند

زیرحوزه از نظر توپوگرافی، زمین شناسی، آب و هوایی، هیدرولوژی، خاک و ... شبیه هم بوده و تنها از نظر اجرای عملیات آبخیزداری متفاوت هستند. حوزه نمونه دارای مساحت ۱۰۶/۵ هکتار که انواع عملیات آبخیزداری (مکانیکی، بیومکانیکی، بیولوژیک و مدیریتی) در آن انجام گرفته است. حوزه شاهد دارای مساحت ۱۱۰/۶ هکتار می‌باشد که هیچ نوع عملیات آبخیزداری در آن صورت نگرفته است. شکل ۱ موقعیت حوزه زوجی کاخک را نشان می‌دهد. جدول ۱ انواع عملیات آبخیزداری صورت گرفته در حوزه نمونه را نشان می‌دهد.

معیاره مکانی در برآورد توان سیلخیزی حوزه های آبخیز است.

مواد و روش‌ها

برآورد توان مکانی سیلخیزی با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه ای در حوزه زوجی کاخک واقع در فاصله ۳۵ کیلومتری جنوب گناباد در خراسان رضوی انجام گرفت. این حوزه بین طول‌های $37^{\circ} 35' 58''$ الی $41^{\circ} 36' 58''$ شرقی و عرض‌های $01^{\circ} 41' 34''$ الی $07^{\circ} 05' 34''$ شمالی قرار دارد. حوزه زوجی از دو زیرحوزه نمونه و شاهد تشکیل شده است که این دو



شکل ۱- موقعیت حوزه مورد مطالعه

جدول ۱- عملیات آبخیزداری اجرا شده در حوزه نمونه حوزه زوجی کاخک

ردیف	نام عملیات	توضیح
۱	بانکت‌بندی همراه با نهالکاری	مجموع مساحت ۴/۲ هکتار
۲	کپه کاری و بذر پاشی	مجموع مساحت ۱۰۶/۵ هکتار
۳	فرق	مجموع مساحت ۱۰۶/۵ هکتار
۴	گابیون	۱۹ عدد با مجموع حجم مخزن ۱۹۴۰ مترمکعب
۵	خشکه چین	۷ عدد با مجموع حجم مخزن ۶۳ مترمکعب

توپوگرافی، اقلیم، هیدرولوژی و کاربری اراضی انتخاب و به شرح زیر طبقات آنها در نظر گرفته شد.

۱- کاربری اراضی: کاربری‌های موجود در حوزه شامل زراعت آبی و باغی، زراعت دیم، مرتع طبیعی، مرتع بذرپاشی و کپه کاری شده، جنگلکاری شده از عکس هوایی شناسایی و پس از کنترل زمینی، نقشه کاربری اراضی حوزه در محیط الویس ۳ ترسیم شد. عکس هوایی حوزه با قدرت تفکیک بالا (۱ متر)، با گرفتن عکس‌هایی با پوشش مشترک از حوزه به‌وسیله نرم افزار گوگل ارس^۴ در سال ۲۰۰۸ و موزائیک نمودن آنها در نرم افزار فتوشاپ^۷، تهیه و با استفاده از نقاط کنترلی با سیستم موقعیت یاب جهانی^۵ (GPS) زمین مرجع گردید.

۲- توپوگرافی: نقشه درصد شیب در چهار طبقه و جهت شیب در چهار

برای برآورد توان مکانی سیلخیزی ابتدا مهمترین عوامل موثر بر سیلخیزی و طبقات مرتبط با آنها شناسایی و مشخص گردید. برای این منظور با توجه به هدف کار که تعیین توان مکانی سیلخیزی است، عواملی در نظر گرفته شد که حالت توزیعی مکانی آنها در سطح حوزه قابل نمایش و دارای تغییرات قابل توجه در سطح حوزه باشند. بر این اساس عوامل توپوگرافی، اقلیم، زمین شناسی، خاکشناسی، هیدرولوژی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی انتخاب گردید. اما از آنجا که از نظر تشکیلات زمین شناسی تنها شیل در حوزه رخنمون دارد و همچنین از نظر خاکشناسی قسمت اعظم حوزه دارای بافت شنی لومی است (عشقی زاده، ۲۰۱۲). پوشش گیاهی نیز با توجه به زمان مطالعه (انتهای فصل سرد) دارای وضعیت یکنواختی در سطح منطقه مورد مطالعه است، بنابراین در نهایت چهار عامل

جهت اصلی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع حوزه بر اساس نقشه توپوگرافی پایه ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری کشور محاسبه و تهیه گردید (عشقی زاده، ۲۰۱۲).

۳- هیدرولوژی: جهت ارزیابی خاک حوزه نسبت به واکنش به بارندگی‌ها و تولید رواناب و تغییرات مکانی آن در حوزه، آزمایشات میدانی نفوذپذیری با استفاده از استوانه مضاعف انجام گرفت. این آزمایشات در تشکیلات زمین شناسی و کاربری‌های مختلف حوزه در ۱۸ دامنه جهت کنترل نتایج طرح بازنگاری حوزه زوجی (عشقی زاده، ۲۰۱۲) صورت گرفت. بدین ترتیب با استفاده از داده‌های حاصل از این آزمایشات و نقشه پوشش سطح زمین نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی خاک^۶ (HSG) حوزه تهیه گردید. نقشه شماره منحنی^۷ (CN) با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی و گروه‌های

هیدرولوژیکی خاک محاسبه گردید.
۴- اقلیم:

- برف انباشته شده در حوزه: برای نمایش تغییرات مکانی این فاکتور در سطح حوزه مجموع آب معادل برف در ماه‌های یخبندان محاسبه شد. برای این منظور با توجه به وجود ایستگاه سینوپتیک تکمیلی مستقر در حوزه معرف کاخک به فاصله ۳۰۰۰ متری حوزه مورد مطالعه، گرادبان دما و بارش منطقه مورد مطالعه با در نظر گرفتن ایستگاه‌های قرار داشته تا شعاع ۱۰۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه شامل ۱۵ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی، تبخیرسنجی و بررسی روابط همبستگی بین ایستگاه‌ها، تعیین گردید. جدول ۱ روابط همبستگی دما و بارش متوسط ماهانه با ارتفاع را نشان می‌دهد.

جدول ۱- روابط همبستگی دما و بارش متوسط ماهانه با ارتفاع

رابطه همبستگی				ماه
R	دما	r	بارش	
0.95	$y = -0.002x + 5.630$	0.95	$y = 0.022x - 0.744$	Jan
0.98	$y = -0.006x + 14.11$	0.95	$y = 0.036x - 15.90$	Feb
0.92	$y = -0.004x + 15.88$	0.95	$y = 0.020x + 9.383$	Mar
0.93	$y = -0.006x + 25.06$	0.98	$y = 0.015x + 9.486$	Apr
0.91	$y = -0.004x + 28.03$	0.97	$y = 0.014x - 9.958$	May
0.91	$y = -0.006x + 34.66$	0.95	$y = 0.002x - 2.060$	June
0.97	$y = -0.003x + 32.72$	0.95	$y = 0.000x - 0.298$	July
0.94	$y = -0.004x + 31.81$	0.97	$y = 0.001x - 1.101$	Agu
0.94	$y = -0.003x + 27.03$	0.94	$y = 0.000x - 0.139$	Sep
0.95	$y = -0.002x + 22.01$	0.93	$y = 0.005x - 3.266$	Oct
0.95	$y = -0.003x + 17.13$	0.93	$y = 0.008x - 3.353$	Nov
0.92	$y = -0.001x + 6.748$	0.95	$y = 0.025x - 8.704$	Dec

تهیه شد. بدین ترتیب با جمع مقدار بارش هر پیکسل قرار گرفته درون سطح برفگیر هر ماه، مجموع ارتفاع آب معادل برف در ماه‌های یخبندان محاسبه گردید.

- مقدار بارش در ماه بعد از یخبندان: با تعیین ماه‌های یخبندان در حوزه که در بالا بیان شد، مقدار تغییرات مکانی بارش در سطح حوزه برای ماه بعد از یخبندان با استفاده از گرادبان بارندگی محاسبه شد.

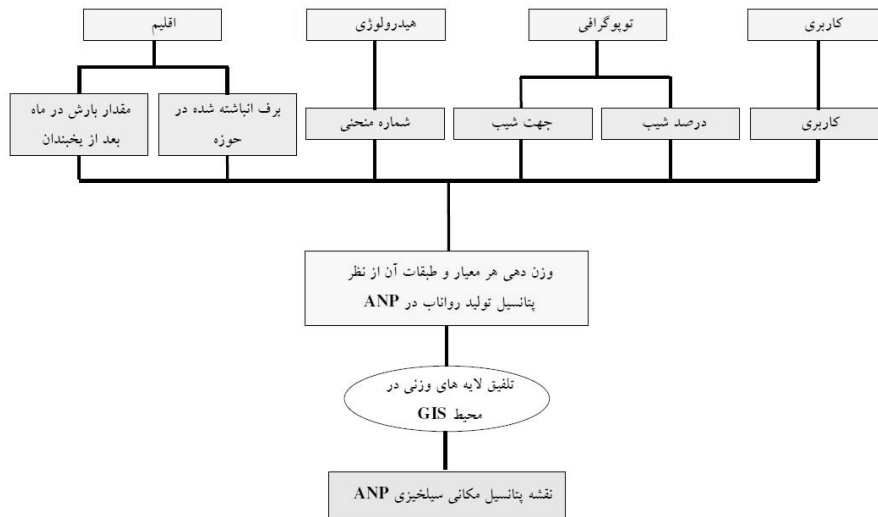
پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز، وزن دهی معیارها و طبقات آنها با فرایند تحلیل شبکه ای انجام گرفت. شکل ۲ نمودار جریان مراحل انجام کار جهت برآورد توان سیلیخیزی حوزه‌ها با فرایند تحلیل شبکه ای را نشان می‌دهد. روش انجام تحقیق به شرح ذیل می‌باشد:
مرحله اول: ساخت مدل و تبدیل موضوع به ساختار شبکه ای
پس از مشخص شدن معیارها و طبقات معیارها و ارتباط آنها با یکدیگر،

پس از محاسبه گرادبان دمایی منطقه، نقشه تغییرات مکانی متوسط دمایی هر ماه در سطح حوزه با تلفیق مدل رقومی ارتفاعی حوزه و گرادبان دمایی ماهانه تهیه و طبقه‌بندی و کمتر از صفر درجه سانتیگراد از نقشه استخراج گردید. بدین ترتیب نقشه حاصل، سطح برفگیر ماهانه را در حوزه نشان می‌دهد. این عملیات برای ماه‌های سرد سال اجرا گردید تا سطح برفگیر در ماه‌های سرد مشخص گردد. با تلفیق نقشه‌های سطح برفگیر حاصل از ماه‌های سرد، کل سطح برفگیر حوزه در ماه‌های سرد سال بدست آمد.

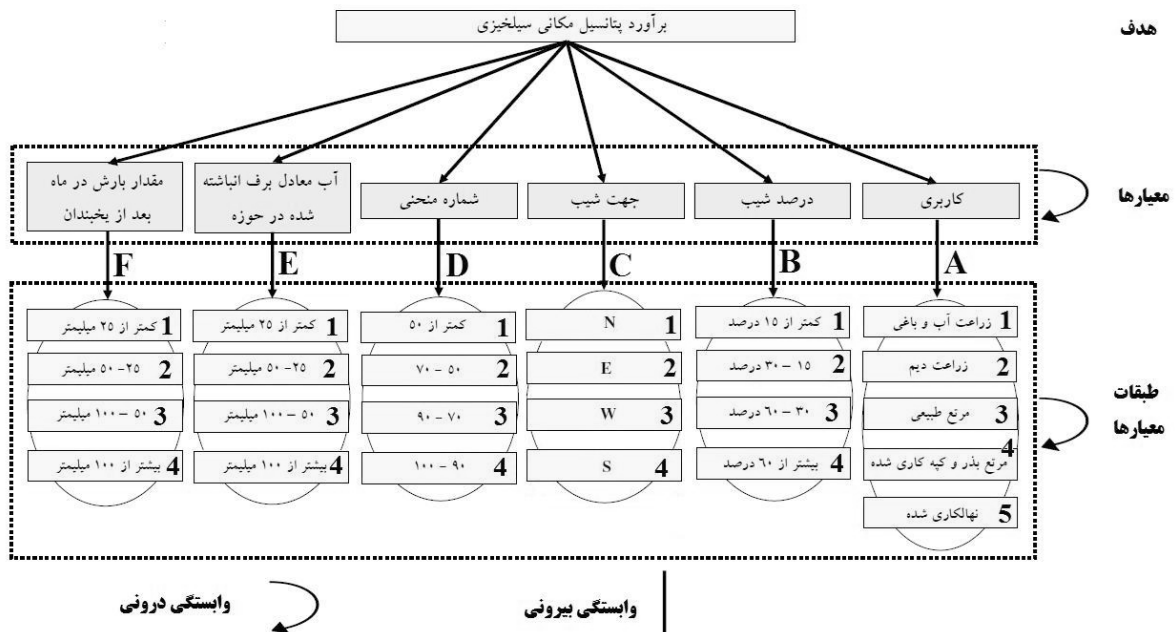
با مشخص شدن سطح برفگیر ماهانه، ارتفاع آب معادل برف آن ماه از طریق محاسبه مقدار بارش رخ داده در آن سطح قابل تعیین است. با محاسبه گرادبان بارندگی منطقه، نقشه تغییرات مکانی متوسط بارش هر ماه در سطح حوزه با تلفیق مدل رقومی ارتفاعی حوزه و گرادبان بارندگی

ها به عنوان وابستگی بیرونی در ساختار شبکه ای شناخته می شود و با پیکان (فلش) نشان داده می شوند. همچنین ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان دارای ارتباط متقابل باشند که به عنوان وابستگی درونی در ساختار شبکه ای شناخته می شوند و با یک کمان متصل به آن خوشه نشان داده می شود (Buyukyaz & Sucu, ۲۰۰۳). ساختار کلی سوپر ماتریس یا همان سوپر ماتریس اولیه با توجه به ارتباط و وابستگی بین معیارها و طبقات آنها ایجاد شده به شرح جدول ۲ می باشد.

ساختار شبکه ای از موضوع در برنامه *Superdicion* ایجاد گردید. برای شناسایی این روابط از نظرات گروهی از متخصصین و کارشناسانی که بطور کامل به منطقه مورد مطالعه آشنا بوده و سابقه کار درون این حوزه را داشته اند استفاده شد (زبردست، ۲۰۱۰). شکل ۳ مدل شبکه ای برای برآورد توان مکانی سیلخیزی حوزه ها را نشان می دهد. در ساختار شبکه ای هر خوشه را یک گره می نامند. عناصر درون یک خوشه ممکن است با یک یا تمامی عناصر خوشه های دیگر ارتباط داشته باشند. این ارتباط



شکل ۲- نمودار جریان‌ی مراحل انجام کار جهت برآورد توان سیلخیزی با فرایند تحلیل شبکه‌ای



شکل ۳- مدل شبکه‌ای برای برآورد توان مکانی سیلخیزی حوزه‌ها

مرحله دوم: تشکیل ماتریس های مقایسه زوجی و تعیین بردارهای اهمیت: در این مرحله ماتریس های مقایسه ای معیارهای اصلی و طبقات زیرمعیارها به شرح زیر تشکیل شد و سازگاری آنها کنترل گردید. نرخ ناسازگاری ماتریس های مقایسه ای باید کمتر از ۰/۱ باشد، در غیر این صورت باید در مقادیر ترجیحات داده شده تجدید نظر اعمال گردد (Saaty, ۱۹۸۰).

- مقایسه زوجی معیارها (ماتریس W_{۲۱}): مقایسه زوجی معیارهای اصلی بر اساس جدول ۳ در برنامه Superdicion انجام شد.

- مقایسه زوجی وابستگی درونی معیارها (ماتریس W_{۲۲}): وابستگی های متقابل ممکن بین معیارها شناسایی و در جدول ۴ نشان داده شده است. برای مقایسه زوجی وابستگی های معیارها، هر بار یک معیار در نظر گرفته شد و سایر معیارهایی که دارای وابستگی متقابل با آن بودند در

ماتریس مقایسه زوجی وارد گردید و بردار موزون حاصل از آن بر اساس جدول ۳ در برنامه Superdicion محاسبه شد و ماتریس مربوط به وابستگی متقابل معیارها (W_{۲۲}) محاسبه گردید.

- مقایسه زوجی طبقات معیارها (ماتریس W_{۳۲}): در این مرحله ضریب اهمیت هر یک از طبقات معیارها همانند معیارهای اصلی با استفاده از برنامه Superdicion انجام شد. این ضرایب اهمیت، عناصر ستونی ماتریس W_{۳۲} را تشکیل می دهد.

- مقایسه زوجی وابستگی درونی طبقات معیارها (ماتریس W_{۳۳}): وابستگی های درونی بین طبقات معیارها شناسایی و در جدول ۵ نشان داده شده است. مقایسه زوجی وابستگی های درونی طبقات معیارها نیز همانند معیارهای اصلی با استفاده از برنامه Superdicion محاسبه و ماتریس مربوط به وابستگی درونی طبقات معیارها (W_{۳۳}) محاسبه گردید.

جدول ۲- ساختار سوپر ماتریس اولیه (غیرموزون) در مدل شبکه ای برآورد توان مکانی سیلخیزی

طبقات معیارها	معیارهای اصلی	هدف
۰	۰	هدف
۰	W _{۲۲}	معیارهای اصلی
W _{۳۳}	W _{۳۲}	طبقات معیارها

جدول ۳- مقادیر ترجیحات برای مقایسه های زوجی (Saaty, ۱۹۸۰)

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهم تر و مطلوب تر
۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۳	کمی مرجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان
۲, ۴, ۶, ۸	ترجیحات بین فواصل فوق

جدول ۴- وابستگی درونی معیارهای اصلی با یکدیگر

معیارهای اصلی	کاربری (A)	درصد شیب (B)	جهت شیب (C)	شماره منحنی (D)	برف انباشته شده (E)	بارش در ماه بعد از یخبندان (F)
کاربری (A)	*			*	*	
درصد شیب (B)		*		*	*	
جهت شیب (C)			*	*	*	
شماره منحنی (D)				*	*	
برف انباشته شده در حوزه (E)					*	
مقدار بارش در ماه بعد از یخبندان (F)						*

جدول ۵- وابستگی درونی طبقات معیارها با یکدیگر

	F4	F3	F2	F1	E4	E3	E2	E1	D4	D3	D2	D1	C4	C3	C2	C1	B4	B3	B2	B1	A5	A4	A3	A2	A1
A1											*	*													
A2									*																
A3									*	*	*														
A4								*	*	*	*														
A5					*				*	*	*	*									*				
B1											*	*									*	*			
B2										*	*	*									*	*	*		
B3										*	*	*									*	*	*		
B4										*	*	*									*	*	*		
C1								*																	
C2								*																	
C3								*																	
C4								*																	
D1																									
D2																									
D3																									
D4																									
E1								*																	
E2								*																	
E3								*																	
E4								*																	
F1									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F2									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F3									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
F4									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

A: کاربری، B: درصد شیب، C: جهت شیب، D: شماره منحنی، E: برف انباشته شده در حوزه، F: مقدار بارش در ماه بعد از یخبندان
 ۱، ۲، ۳...: طبقات کاربری ها
 * وجود وابستگی

مرحله سوم: محاسبه اهمیت معیارها و طبقات معیارها در مرحله بعد سوپر ماتریس موزون^۸ از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای^۹ محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود (Saaty, ۱۹۹۶). اهمیت نسبی طبقات هر معیار با در نظر گرفتن وابستگی درونی و بیرونی آن از ماتریس نرمالیزه شده برنامه Superdicion قابل محاسبه است. بدین ترتیب اهمیت نسبی معیارها (Wfactors) و اهمیت نسبی طبقات آنها (Wfactor Classes) تعیین گردید.

تلفیق لایه‌های وزنی

برای بررسی روش فرایند تحلیل شبکه‌ای در برآورد توان مکانی سیلاب، لازم است وزن نهایی طبقات معیارها بر روی لایه‌ها در محیط GIS اعمال گردد. برای این منظور وزن نهایی طبقات معیارها (WANP) از طریق ضرب اهمیت نسبی هر معیار (Wfactors) در اهمیت نسبی طبقات آن

نتایج

یافته‌های پژوهش نشان داد در بین معیارهای اصلی، عامل شماره منحنی بیشترین تاثیر (Wfactors=۰,۳۴۲) و عامل جهت شیب کمترین تاثیر (Wfactors=۰,۰۱۸) را بر سیلخیزی دارد. جدول ۶ ماتریس وابستگی بیرونی (W۲۱) و درونی (W۲۲) معیارها و اهمیت نسبی معیارها (Wfactors) را نشان می‌دهد.

جدول ۶- ماتریس وابستگی بیرونی (W21) و درونی (W22) و اهمیت نسبی معیارها (Wfactors)

معیار های اصلی	W21	W22						Wfactors
		کاربری	درصد شیب	جهت شیب	شماره منحنی	برف انباشته	بارش در ماه بعد یخبندان	
		A	B	C	D	E	F	
A	0.062	0.000	0.308	0.000	0.000	0.000	0.250	0.102
B	0.210	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.153
C	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018
D	0.239	0.857	0.312	0.000	0.000	0.000	0.750	0.342
E	0.100	0.143	0.380	1.000	0.000	0.000	0.000	0.119
F	0.364	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.266

جدول ۷- ماتریس وابستگی درونی طبقات معیارها (W33) فرآیند تحلیل شبکه‌ای

	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	C1	C2	C3	C4	D1	D2	D3	D4	E1	E2	E3	E4	F1	F2	F3	F4
A1	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A2	0	0	0	0	0	0.25	0.29	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.15	0.15	0.21	0.21
A3	0	0	0	0	0	0	0.15	0.04	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0.1	0.09	0.09
A4	0	0	0	0	0	0	0.07	0.02	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0.04	0.04
A5	0	0	0	0	0	0	0.07	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.05	0.05	0.02	0.02
B1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D1	0.25	0	0	0	0	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.02	0.02	0.02
D2	0.07	0	0.1	0.07	0.04	0.42	0.1	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0.06	0.06
D3	0	0.1	0.25	0.15	0.1	0	0.21	0.1	0.07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.17	0.17	0.19	0.19
D4	0	0.5	0.65	0.42	0.2	0	0.21	0.21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.26	0.26	0.26	0.26
E1	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.05	0.05	0.05	0.05	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E2	0	0	0	0.22	0.11	0	0	0.05	0.07	0.11	0.11	0.11	0.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E3	0	0	0	0	0.15	0	0	0.15	0.15	0.26	0.26	0.26	0.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E4	0	0	0	0	0.27	0	0	0.26	0.29	0.29	0.29	0.29	0.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

جدول ۸- ماتریس وابستگی بیرونی (W_{32}) و اهمیت نسبی طبقات معیارها ($W_{factors\ class}$) در ANP

معیار های اصلی	W22						$W_{factor\ Classes}$	
	کاربری	درصد شیب	جهت شیب	شماره منحنی	برف انباشته	بارش در ماه بعد		
	A	B	C	D	E	F		
A1	زراعت آبی و باغی	0.064	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.031
A2	زراعت دیم	0.510	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.504
A3	مرتع طبیعی	0.243	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.258
A4	مرتع بذرپاشی و کپه کاری شده	0.079	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.110
A5	نهالکاری شده	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.097
B1	کمتر از 15 درصد	0.000	0.047	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047
B2	15 – 30 درصد	0.000	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105
B3	30 – 60 درصد	0.000	0.257	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257
B4	بیشتر از 60 درصد	0.000	0.591	0.000	0.000	0.000	0.000	0.591
C1	شیب شمالی	0.000	0.000	0.078	0.000	0.000	0.000	0.078
C2	شیب شرقی	0.000	0.000	0.125	0.000	0.000	0.000	0.125
C3	شیب غربی	0.000	0.000	0.492	0.000	0.000	0.000	0.492
C4	شیب جنوبی	0.000	0.000	0.305	0.000	0.000	0.000	0.305
D1	شماره منحنی کمتر از 50	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	0.000	0.037
D2	شماره منحنی 50-70	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000	0.000	0.096
D3	شماره منحنی 70-90	0.000	0.000	0.000	0.257	0.000	0.000	0.255
D4	شماره منحنی 90-100	0.000	0.000	0.000	0.591	0.000	0.000	0.612
E1	برف انباشته > 25 سانتیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.000	0.042
E2	برف انباشته 25 – 50 سانتیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.000	0.131
E3	برف انباشته 50 – 100 سانتیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257	0.000	0.261
E4	برف انباشته < 100 سانتیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.591	0.000	0.566
F1	بارش بعد از یخبندان > 25 میلیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.047	0.047
F2	بارش بعد 25 – 50 میلیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.105	0.105
F3	بارش بعد 50 – 100 میلیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257	0.257
F4	بارش بعد < 100 میلیمتر	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.591	0.591

از ماه یخبندان با سیلخیزی رابطه مستقیم وجود دارد بطوریکه با افزایش مقادیر طبقات آنها، تاثیر آنها بر سیلخیزی افزایش می یابد. جدول ۷ ماتریس وابستگی درونی طبقات معیارها (W_{33}) را نشان می دهد. جدول ۸ ماتریس وابستگی بیرونی (W_{32}) و اهمیت نسبی طبقات معیارها ($W_{factors\ class}$) را نشان می دهد. وزن نهایی طبقات معیارها (WANP) از طریق ضرب اهمیت نسبی

یافته های پژوهش نشان داد در بین طبقات کاربری، زراعت دیم بیشترین تاثیر ($W_{factors\ class}=0.504$) و زراعت آبی و باغی کمترین تاثیر ($W_{factors\ class}=0.031$) را در سیلخیزی حوضه ها دارند. در مورد طبقات جهت نیز جهت غربی بیشترین تاثیر ($W_{factors\ class}=0.492$) و جهت شمالی کمترین تاثیر ($W_{factors\ class}=0.078$) را در سیلخیزی داشته اند. همچنین بین درصد شیب، شماره منحنی، برف انباشته شده و بارش بعد

ها تهیه شد. جدول ۱۱ درصد مساحت توان سیلخیزی حوزه ها را نشان می دهد. شکل ۴ نقشه توان مکانی سیلخیزی حوزه زوجی را با ANP نشان می دهد.

بحث

یکی از اهداف استقرار حوزه های زوجی که متشکل از دو زیرحوزه نمونه و شاهد است، بررسی، شناخت و بیان تاثیر عملیات های مختلف آبخیزداری و حفاظت خاک بر منابع آب و خاک موجود در حوزه ها است. حوزه نمونه تحت انواع عملیات های مدیریتی و حفاظتی آبخیزداری قرار گرفته است و حوزه شاهد هیچ گونه عملیاتی در آن صورت نگرفته، رواناب و سیلاب های جاری شده از حوزه شاهد از لحاظ کمی و کیفی بیشتر است.

هر معیار ($W_{factors}$) در اهمیت نسبی طبقات آن ($W_{factor\ Classes}$) محاسبه گردید و بر روی نقشه های رستری طبقات معیارها در محیط الویس ۳ اعمال گردید. سپس این لایه های وزنی با هم تلفیق شد. نتایج نهایی پژوهش نشان داد که بیشترین تاثیر بر سیلخیزی مربوط به شماره منحنی های ۹۰-۱۰۰ ($WANP=0.209$) است. همچنین شیب های شمالی کمترین تاثیر ($WANP=0.001$) بر سیلخیزی را دارند. جدول ۹ نتایج نهایی محاسبه اهمیت نسبی معیارها و طبقات معیارها و وزن نهایی طبقات معیارها را در فرایند تحلیل شبکه ای نشان می دهد. جدول ۱۰ توان سیلخیزی را با استفاده از ANP در زیر حوزه های نمونه و شاهد حوزه زوجی کاخک نشان می دهد. با توجه به مقادیر بیشینه و کمینه که مدل می تواند به خود اختصاص دهد نقشه توان مکانی سیلخیزی برای زیرحوزه

جدول ۹- اهمیت نهایی طبقات معیارها در فرایند تحلیل شبکه ای (WANP)

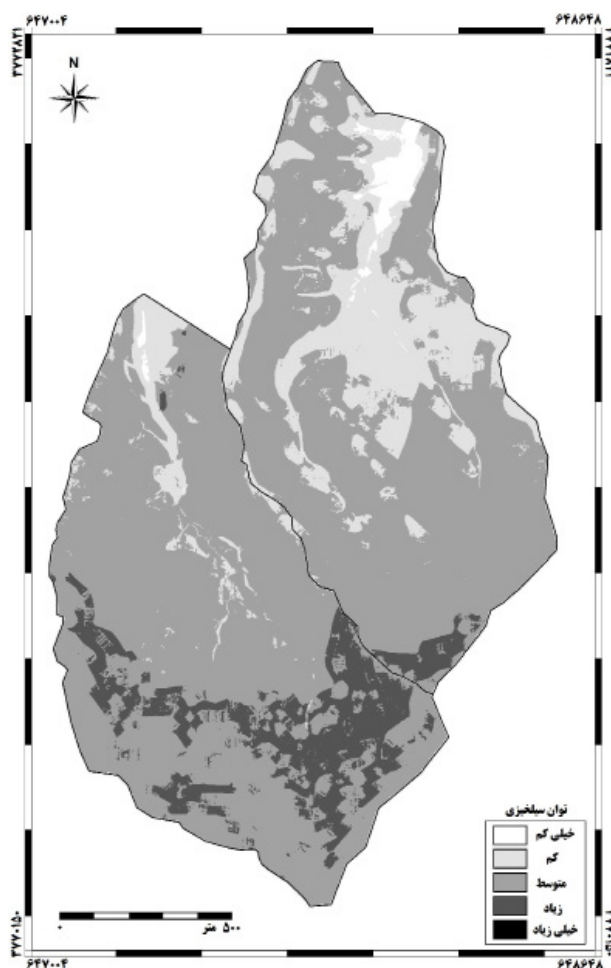
معیارها	طبقات معیارها	$W_{factors}$	$W_{factor\ Classes}$	WANP
A کاربری	زراعت آبی و باغی	0.102	0.031	0.003
	زراعت دیم		0.504	0.051
	مرتع طبیعی		0.258	0.026
	مرتع بذریاشی و کپه کاری شده		0.110	0.011
	نهالکاری شده		0.097	0.010
B درصد شیب	کمتر از 15 درصد	0.153	0.047	0.007
	15 - 30 درصد		0.105	0.016
	30 - 60 درصد		0.257	0.039
	بیشتر از 60 درصد		0.591	0.090
C جهت شیب	شیب شمالی	0.018	0.078	0.001
	شیب شرقی		0.125	0.002
	شیب غربی		0.492	0.009
	شیب جنوبی		0.305	0.005
D شماره منحنی	شماره منحنی کمتر از 50	0.342	0.037	0.013
	شماره منحنی 50-70		0.096	0.033
	شماره منحنی 70-90		0.255	0.087
	شماره منحنی 90-100		0.612	0.209
E برف انباشته شده	برف انباشته کمتر از 25 (cm)	0.119	0.042	0.005
	برف انباشته 25 - 50 (cm)		0.131	0.016
	برف انباشته 50 - 100 (cm)		0.261	0.031
	برف انباشته بیشتر از 100 (cm)		0.566	0.067
F مقدار بارش در ماه بعد	بارش بعد از یخبندان کمتر از 25 (mm)	0.266	0.047	0.012
	بارش بعد از یخبندان 25 - 50 (mm)		0.105	0.028
	بارش بعد از یخبندان 50 - 100 (mm)		0.257	0.068
	بارش بعد از یخبندان بیشتر از 100 (mm)		0.591	0.157

جدول ۱۰- توان سیل خیزی زیرحوزه‌های نمونه و شاهد با استفاده روش ANP

زیرحوزه شاهد	زیرحوزه نمونه	
۰/۲۵	۰/۲۱	متوسط وزنی توان سیل‌خیزی
۰/۳۴۷	۰/۳۳۲	حداکثر مقدار توان سیل‌خیزی
۰/۰۹۱	۰/۰۵۸	حداقل مقدار توان سیل‌خیزی

جدول ۱۱- درصد مساحت توان سیل‌خیزی با استفاده از روش ANP

توان مکانی سیل‌خیزی	درصد مساحت حوزه نمونه	درصد مساحت حوزه شاهد
خیلی کم	۲/۸۵	۰/۲۳
کم	۲۷/۱۹	۵/۵۹
متوسط	۶۸/۱۲	۷۷/۲۳
زیاد	۱/۸۴	۱۶/۹۵
خیلی زیاد	۰	۰



شکل ۷- نقشه توان مکانی سیل‌خیزی حوزه زوجی با استفاده از فرایند تحلیل شبکه‌ای

دادند. ولف اسلحتر (۲۰۰۵) نیز در محیط طبیعی کاربرد *ANP* را پیشنهاد نموده است زیرا در دنیای واقعی معمولاً روابط بسیار پیچیده هستند و وابستگی های داخلی فراوانی وجود دارد، بنابراین *ANP* به دنیای واقعی بسیار نزدیک است. تاسلیکالی و ارکان (۲۰۰۶) نیز بیان نمودند *ANP* در تصمیم گیری محیطی فعال و با عدم قطعیت حتی قوی تر از قابلیت بالایی برخوردار است.

بنابراین کاربرد *ANP* در حوزه های آبخیز که یک محیط طبیعی پویا و فعال است و به علت روابط پیچیده موجود در آن دارای عدم قطعیت است، می تواند قابلیت استفاده برای شناخت، ارزیابی، برآورد و تصمیم گیری های مختلف در سطح حوزه های آبخیز را فراهم نماید. یکی از این قابلیت ها استفاده در برآورد مکانی توان سیلخیزی حوزه ها است. تعیین مناطق مولد سیل و اولویت بندی زیرحوزه ها از نظر سیلخیزی در مدیریت بحران حوزه های آبخیز، نقش مهمی دارد. با توجه به اهمیت تعیین شدت سیل خیزی حوزه از دیدگاه آبخیزداری، و مطالعات کمی که در کشور در این زمینه صورت گرفته، مطالعه حاضر به عنوان راهنمایی برای تعیین وضعیت توان سیلاب در حوزه های آبخیز است و تعیین شدت سیل خیزی از اهداف این مطالعه می باشد. کاربرد فرایند تحلیل شبکه ای در دستیابی به این هدف می تواند الگوی روشن و مبنای محکمی برای مدیریت و ضرورت اجرا و اولویت بندی مکانی زمانی پروژه های آبخیزداری و کنترل سیل ارائه نمایند.

پاورقی ها

1. Spatial Multi Criteria Decision Making
2. Geographical Information Systems
3. Analytic Network Process
4. Google Earth
5. Global Positioning System
6. Hydrologic soil groups
7. Curve number
8. Weighted super matrix
9. Cluster matrix
10. Soil Conservation Service

منابع مورد استفاده

1. Buyukyaz, M. & Sucu. M. (2003). The Analytic Hierarchy Process and Analytic Network Process. Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics, Vol, 32. pp: 73-65.
2. Chung, S.H., Lee, A.H.L. & Pearn, W.L. (2005). Analytic network process (ANP) approach for product mix planning in semiconductor fabricator. International Journal of Production Economics, Vol, 96. pp:36-15.
3. Eshghizadeh M. 2012, Plan review of Kakhk paired catchment, Forests, Range & Watershed Management Organization of Iran. (in persian)

آمار سیلاب های ثبت شده در فلولم های دو حوزه نمونه و شاهد این مطلب را تایید می نماید بطوری که طی سال های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۲ در حوزه نمونه ۴ سیلاب و در حوزه شاهد ۷ سیلاب ثبت شده است که در همه موارد سیلاب های حوزه شاهد از نظر حجم نیز بیشتر از حوزه نمونه می باشد.

برای نشان دادن تاثیر عملیات آبخیزداری صورت گرفته در حوزه نمونه نسبت به حوزه شاهد معیارهایی در نظر گرفته شده که تحت تاثیر این عوامل قرار داشته باشند برای این منظور کاربری، شماره منحنی و برف انباشته شده در حوزه به عنوان معیارهای اصلی در نظر گرفته شد. زیرا همانطور که گفته شده این دو حوزه از نظر فیزیکی کاملاً شبیه هم هستند. بنابراین باید دید که اجرای این عملیات باعث چه تفاوت هایی در سطح دو حوزه شده است که پیامد آن سیلخیزی کمتر حوزه نمونه را به دنبال داشته است. مهمترین تاثیر این عملیات در کاربری اراضی دو حوزه بوده است. بطوریکه مرتع بذرکاری و کپه کاری شده و اراضی نهالکاری شده حاصل اجرای این عملیات در حوزه نمونه است. از طرف دیگر عملیات کشاورزی آبی و دیم تنها در حوزه شاهد وجود دارد.

علاوه بر این مرتع حوزه نمونه تحت قرق کامل می باشد در حالیکه مرتع حوزه شاهد تحت چرای دام است. این تغییر کاربری بر روی شماره منحنی حوزه و مقدار برف انباشته شده در حوزه تاثیر گذار است که بر اساس نتایج این تحقیق عامل شمام منحنی به عنوان موثرترین عامل در توان سیلخیزی تعیین گردید. عشقی زاده و همکاران (۲۰۱۲) نیز با استفاده از روش *SCS* حداکثر سیلاب لحظه ای حوزه شاهد را دو برابر حوزه نمونه برآورد کرده اند. مهمترین تفاوتی که آنها بین دو حوزه در نظر گرفتند، اختلاف شماره منحنی در اثر تفاوت کاربری های بین دو حوزه بوده است. متوسط شماره منحنی حوزه نمونه ۷۷ و حوزه شاهد ۸۵ است (عشقی زاده، ۲۰۱۲).

کاراندیش و همکاران (۲۰۱۲) نیز در بررسی عوامل فیزیکی موثر بر شدت سیل در زیرحوزه های کارون، مهمترین عامل موثر در سیل خروجی از زیرحوضه ها را شماره منحنی بیان نموده اند. همچنین کاتیمون و همکاران (۲۰۰۳) و شادمانی و همکاران (۲۰۰۹) با در نظر گرفتن عامل شماره منحنی به عنوان مهمترین عامل در سیلخیزی، برای برآورد سیلخیزی از روش *SCS* استفاده نمودند.

یافته های حاصل از این تحقیق نیز توان سیلخیزی حوزه شاهد را بیشتر از حوزه نمونه برآورد نموده است. فرایند تحلیل شبکه ای متوسط توان سیلخیزی حوزه شاهد را ۰/۲۵ و حوزه نمونه را ۰/۲۱ نشان داد. در حقیقت فرایند تحلیل شبکه ای توانایی کمی سازی این تفاوت ها را برای ما امکان پذیر ساخته و می توان به عنوان یک ابزار مقایسه ای در برآورد توان سیلخیزی حوزه ها مد نظر قرار گیرد.

حوزه آبخیز یک سامانه پیچیده است و اجزای آن دارای رابطه متقابل با یکدیگر هستند. با توجه به این که فرایند تحلیل شبکه ای ارتباطات درونی و متقابل معیارها و زیرمعیارها را در نظر می گیرد با ماهیت حوزه های آبخیز بیشتر هم خوانی داشته و نتایج حاصل از آن بیشتر می تواند قابل استناد باشد، اما وجود روابط پیچیده در حوزه های آبخیز ممکن است کاربرد این روش را مشکل سازد. حسینی و همکاران (۲۰۱۰) نیز قابلیت و موفقیت روش *ANP* را در مکانیابی احداث پل عابر پیاده نشان

