دوره‌ی ۳۲، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۲۵، زمستان ۱۳۹۸، صفحات ۷۸-۶۶
شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/wmej.2019.126052.1212

پژوهش‌های آبخیزداری

تحلیل منطقه‌یی برآورد بار معلق سالانه با به‌کارگرفتن ویژگی‌های آبخیز در استان هرمزگان

مصطفی جعفری‌عاشورآبادی
(نویسنده‌ی مسئول)* گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

عبدالرحیم جمال
دکترای مهندسی عمران- آب

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Sha۲w@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۱۲ شهریور ۱۳۹۸

چکیده

این پژوهش با هدف دست‌یابی به مدل‌های منطقه‌یی برآورد بار معلق سالانه در استان هرمزگان انجام شد. متغیر وابسته میانگین بار معلق سالانه‌ی زیرحوزه‌ها، و متغیرهای مستقل ۲۱ سنجه‌ی ریخت‌شناختی و اقلیمی زیرحوزه‌ها با دوره‌ی مشترک داده‌برداری ۲۱ سال (۱۳۹۰-۱۳۷۰) انتخاب شد، و در دو مرحله‌ی تعیین عرصه‌های همگن و استنتاج مدل منطقه‌یی برای منطقه‌های همگن تحلیل شد. پس از شناختن تاثیرگذارترین سنجه‌ها به‌روش تحلیل عاملی، بهترین روش خوشه‌بندی منطقه‌یی بر اساس سه حالت سنجه‌های موثر، میزان بار معلق سالانه، و مشترک (اجتماع دو حالت) با تعداد خوشه‌های متفاوت دانسته شد. معادله‌های وایازی (رگرسیونی) بین اندازه‌های بار معلق سالانه با متغیرها به روش گام‌به‌گام به‌دست آمد. داده‌های وایازی برای ارزیابی‌کردن مدل وایازی به‌دست‌آمده به‌کاررفت و مقدار معیار نش-ساتکلیف این معادله‌ها محاسبه شد. با توجه به نتیجه‌های خوشه‌بندی می‌توان گفت که داده‌های بار معلق از دو مدل منطقه‌یی تبعیت می‌کند. برای برآوردکردن بار معلق این دو منطقه معادله‌هایی با ضریب تبیین ۰/۷۸ و ۰/۸۴ داده شد. پیشنهاد می‌شود این تحقیق در حوزه‌های بیش‌تر و در شرایط مختلف جغرافیایی انجام شود تا بتوان این رابطه‌ها را برای حوزه‌های بی‌آمار بیش‌تری به کاربرد.

واژگان کلیدی: تخمین برآورد بار معلق رودخانه‌یی، آبخیز، خوشه‌بندی، مجموعه‌ی زمانی، وایازی چندمتغیره

مقدمه

هرساله هزاران تن ماده‌ی جامد از سطح آبخیزها شسته و از محلی به محل دیگر برده می‌شود، به‌طوری که رودخانه‌های جهان در سال بیش از ۲۰ میلیارد تن بار معلق را انتقال می‌دهند و در آب‌های ساکن ته‌نشین می‌کنند، و در سال بیش‌از ۱۰۰ میلیون متر مکعب از گنجایش سدهای مخزنی در ایران به خاطر رسوب‌گذاری کاسته می‌شود (خیرفام و مکرم ۲۰۱۹). به‌دلیل اهمیت رسوب‌گذاری در کشور، وزارت نیرو غلظت یا آلودگی جریان را در ایستگاه‌های آب‌سنجی اندازه میگیرد. داده‌های به‌دست‌آمده در پژوهش‌های منابع آب، فرسایش، رسوب و محیط‌زیست به‌کار می‌رود. در سال‌های اخیر بار معلق در کشورهای توسعه‌یابنده مخصوصاً ایران، سبب ایجاد مشکل‌های بزرگی شده است. این مشکل‌ها شامل هدرروی مواد مغذی خاک و آب نیز می‌شود. از جمله‌ی موادی که با رسوب و فرسایش از حوزه خارج می‌شود فسفر و افزودنی‌های به خاک برای رشد بهتر گیاهان است. این ماده‌ها با جریان‌های رودخانه‌یی و آب‌راه‌ها خارج می‌شود (معدنچی و همکاران ۲۰۱۸). آگاه‌شدن از میزان بار معلقی که در رودخانه‌ها برده می‌شود سبب آشنایی با نحوه‌ی حرکت بار معلق در جریان رودخانه‌ها می‌شود (عشوری ۲۰۱۵).

تاکنون چندین سنجه‌ی موثر بر انتقال بار معلق معرفی شده است (جدول ۱). با درنظرگرفتن نتیجه‌ی بررسی‌های مختلف که عامل‌های بسیار زیادی را در رسوب‌دهی حوزه‌ها موثر دانسته اند، در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را شامل عامل‌هایی مرتبط با ریخت‌شناختی، آب‌شناسی، اقلیم و پستی‌وبلندی حوزه‌ها دانست. در رودخانه‌هایی که ایستگاه‌های اندازه‌گیری بار معلق هست می‌توان ارتباط وضعیت رسوب‌دهی را با عامل‌های گفته‌شده بررسی کرد. از طرفی، تجهیز حوزه‌ها به ابزار اندازه‌گیری و برداشت نمونه‌های مکرر مستلزم صرف هزینه و زمان بسیار است. بنابراین برای حوزه‌های بی‌آمار باید روش‌های نامستقیم را جست‌وجو کرد. بدین منظور یافتن روش‌ها و مدل‌های مناسب برای برآوردکردن دقیق‌تر و واقعی‌تر رسوب‌دهی آبخیزها ضروری است.

جدول ۱- سنجه‌های بررسی‌شده در پژوهش‌های گذشته.

پژوهشگر	سنجه‌ی وابسته	سنجه‌ی مستقل
(قربانی و همکاران ۲۰۰۹)	تولید بار معلق روزانه	اختلاف ارتفاع بیشینه و کمینه، میانگین بارش سالانه، ارتفاع بیشینه، ضریب گراولیوس و شیب متوسط حوزه
(فراهی و همکاران ۲۰۱۱)	بار معلق کل	درصد زمین‌های زراعی، شیب رودخانه‌ی اصلی، ارتفاع متوسط، شیب رودخانه‌ها، بیشینه‌ی آب‌دهی روزانه با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، بارندگی متوسط، متوسط آب‌دهی جریان در سال، نسبت اختلاف ارتفاع، شیب متوسط حوزه، طول حوزه، طول همه‌ی رودخانه‌ها، اختلاف ارتفاع مطلق، نسبت پستی‌وبلندی، متوسط آب‌دهی جریان در ماه‌های پرباران، متوسط روان‌آب سالانه
(وانگ و همکاران ۲۰۱۲)	حجم کل بار معلق	حجم روان‌آب، آب‌دهی متوسط، آب‌دهی اوج، ضریب روان‌آب و آب‌دهی پایه
(ادهمی و همکاران ۲۰۱۲)	بار معلق	طول آب‌راه اصلی دبی، دبی با دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال، مساحت زمین‌های جنگلی، درصد زمین‌های مرتعی، ضریب زه‌کشی، درصد سازندهای نفوذپذیر و درصد زمین‌های کشاورزی
(رمضانی‌پور ۲۰۱۵)	گذر بار معلق	مساحت حوزه، شیب ناخالص آب‌راه اصلی، میانگین آب‌دهی سالانه، ضریب پیچان‌رودی آب‌راه اصلی، تراکم زه‌کشی آب‌راه اصلی، ضریب گراولیوس
(فغفوری و همکاران ۲۰۱۷)	حجم کل بار معلق و میزان فرسایش	ضریب روان‌آب، درصد حساسیت سنگ به فرسایش، بارش متوسط سالانه، طول کل آب‌راه‌ها، درصد متوسط شیب حوزه، نوع کاربری و درصد لای
(نصرتی و همکاران ۲۰۱۸)	گذر بار معلق ۲۵ ساله	اندازه‌ی حوزه، نفوذپذیری، شیب، پستی‌وبلندی و آب‌شناسی
(گروسو و همکاران، ۲۰۱۸)	بار معلق	میانگین بارش سالانه، محیط و مساحت حوزه، طول حوزه، بیشینه، متوسط و کمینه‌ی ارتفاع حوزه، طول رودخانه، میانگین شیب رودخانه، میانگین شیب حوزه، تراکم زه‌کشی آب‌راه اصلی،
(خیرفام و مکرم، ۲۰۱۹)	بار معلق	محیط و مساحت حوزه، بیشینه‌ی آب‌دهی روزانه با دوره‌ی بازگشت ۲ سال، بارش سالانه، ضریب شکل، زمان تمرکز، میانگین ارتفاع حوزه، تراکم زه‌کشی، شیب متوسط، طول رودخانه‌ی اصلی، طول حوزه، عامل شکل

تحلیل‌های منطقه‌یی از جمله روش‌های مناسب برای انتقال داده و اطلاعـات، از حوزه‌های دارنده‌ی داده‌هـای کافی به حوزه‌های بی‌آمار، به شـرط همگن بودن آن‌ها اسـت (ادهمـی و همکاران ۲۰۱۲). سـابقه‌ی بررسی علمی انتقال بار معلق رودخانه‌ها بیش از ۱۰۰ سال اسـت (والینگ ۱۹۸۸). نخستین نمونه‌برداری از بار معلـق رودخانه‌ها در ۱۸۴۵ میلادی در رودخانه‌ی میسی‌سـیپی انجام شـد. نتیجه‌های خیرفام و وفاخواه (۲۰۱۵) که برای تحلیل منطقه‌یی بار معلق، در آبخیزهای همگن در جنوب و جنوب شرق دریـای خزر به روش‌های مختلف آزمون گاما، تحلیل خوشـه‌یی، تحلیل تابع تشـخیص و منحنی‌هـای آندرو انجام شـد، برتری روش تحلیل خوشـه‌یی و تحلیل تابع تشخیص را در همگن‌سازی آبخیز براسـاس تولید بار معلق نشـان داد. فغفـوزی و همکاران (۲۰۱۷) عامل‌هـای موثر بر میزان فرسـایش و تولید بار معلق را با روش‌های تحلیل عاملی، مدل وایازی چندمتغیره، پشـتیبان و مدل اسکالوگرام درحوزه‌ی سیدآباد اسـتان کهگیلویه‌وبویراحمد شناسایی کردند. نتیجه‌ها نشان داد که از ۱۵ سنجه، شش سنجه موثرترین بود، و عامل‌های نحوه‌ی به‌کاربردن زمین و درصد شیب مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عامل‌ها بر وضعیت فرسایش خاک حوزه و تولید بار معلق دانسته شد.

نتیجه‌هـای دلیر و همکاران (۲۰۱۵) در تعیین عامل‌های موثر در تولید بار معلق جاده‌های جنگلی شمال کشور با نقشه‌ی واحدهای همگن (شیب دامنه، بارش، جهت دامنه، سطح دامنه‌ی بالادست و زمین‌شناسی) همبستگی زیادی میان ارتفاع دیواره‌ی خاک‌برداری با تولید بار معلق نشـان داد. آزمون تجزیه‌ی پراش نشـان داد که تولید رسوب با افزایش شیب جاده‌ی جنگلی به‌صورت معنی‌داری افزایش، و با افزایش سـن جنگل و پوشش گیاهی کاهش می‌یابد. رومـان و همـکاران (۲۰۱۲) برای سـاخت مدل‌هـای وایازی چندمتغیره‌ی رسـوب معلق سـالانه با خصوصیت‌های آبخیز در شرق آمریکا نشان دادند که متوسط بار معلق سالانه با متغیرهای مساحت آبخیز، الگوی کاربری زمین، بارش فصلی، خصوصیت‌های خاک و اصلاح آب‌شناختی ارتباط دارد.

در این تحقیق سـعی بر آن اسـت که روابط پذیرفتنی و منطقی بیـن خصوصیت‌های مختلـف آبخیزهای اسـتان هرمزگان برای تخمین‌زدن و برآوردکردن میزان بار معلق ساخته شود. شناختن عامل‌هـای موثر بر بار معلق در منطقـه نیاز اصلی در تهیه‌ی این مدل‌های منطقه‌یی اسـت. با تعیین‌کردن این سـنجه‌ها و ضریب بهینـه‌ی آن‌ها می‌توان مدلی بومی منطقه‌یـی برای برآوردکردن رسـوب‌دهی آبخیز سـاخت، و با تعیین‌کردن منطقه‌های همگن (حوزه‌های همگن)، مـدل مخصوص این حوزه‌ها را تعمیم داد. از این‌رو، سـنجه‌ها را با پژوهش‌های پیشین و نظر خبرگان انتخاب می‌کننـد. با این مدل‌ها برنامه‌ریزی و سیاسـت‌گذاری لازم برای تعیین‌کردن اولویت اقدام‌ها برای مهارکردن میزان بار معلق ممکن می‌شـود. این تحقیق با هدف شـناختن و تعیین‌کردن عامل‌های موثر بر بار معلق در حوزه‌های استان هرمزگان و ساختن مدل‌های منطقه‌یـی برای برآوردکردن بار معلق این اسـتان انجام شـد. با تعمیم‌دادن ایـن مدل‌ها در منطقه‌های بی‌آمار امکان تخمین‌زدن اندازه‌های بار معلق فراهم می‌شود.

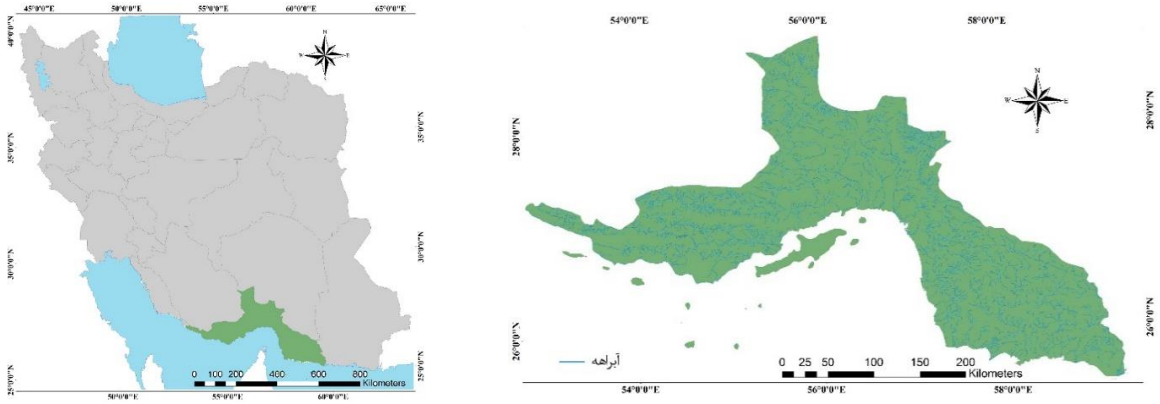
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه‌ی بررسی‌شده

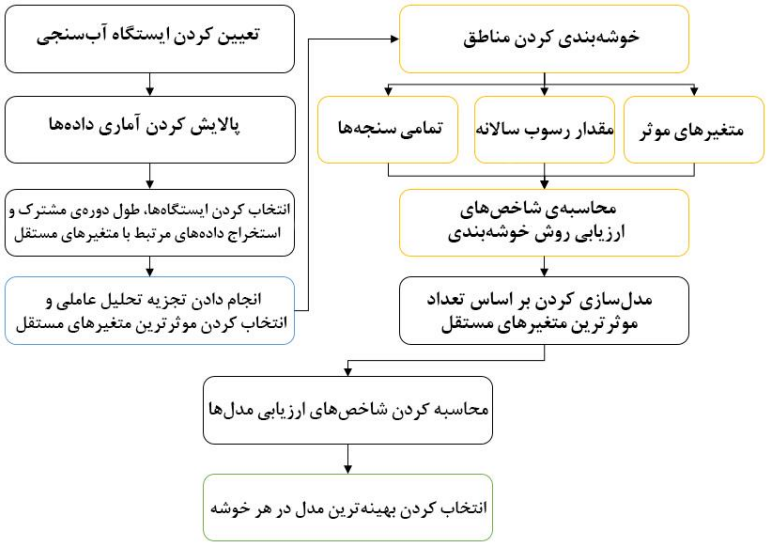
اسـتان هرمزگان (شـکل ۱) در جنـوب ایران بیـن مختصات ´۲۴ °۲۵ تـا ´۵۷ °۲۸ عرض شـمالی و ´۴۱ °۵۳ تا ´۱۵ °۵۹ طول شـرقی اسـت، و حدود ۶۹۷۰۰ کیلومتر مربع وسعت دارد. از شـمال و شمال شـرقی با اسـتان کرمان، غرب و شمال غربی با اسـتان‌های فارس و بوشـهر، و از شرق با سیستان و بلوچستان همسـایه است، و از جنوب با خلیج فارس و دریای عمان مرزی به طول ۹۰۰ کیلومتر دارد. به‌طور کلی آب و هوای این اسـتان گرم و خشـک، و رطوبت نسبی در همه‌ی سال در ناحیهی ساحلی آن زیاد است، و با فاصله‌گرفتن از ساحل به طرف کوهستان از رطوبت هوا کاسته می‌شود.

بررسی آمار، انتخاب ایستگاه‌ها و آماده‌سازی داده‌ها

نمودار جریانی روش این پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شد. آمار بار معلق روزانه‌ی ۲۹ ایسـتگاه آب‌سنجی در رودخانه‌های استان هرمزگان بررسـی و ایسـتگاه‌های با پراکنش مناسب جغرافیایی، طول دوره‌ی داده‌برداری مناسـب، تنوع مسـاحت و تنوع شرایط فیزیکی انتخاب شـد. بنابراین ۲۲ ایستگاه آب‌سنجی (جدول ۲)، که طول دوره‌ی مشـترک آماری آنها ۲۱ سـال (۱۳۹۰-۱۳۷۰) بود انتخاب شـد. برای تعیین زیرحوزه‌ها برنامه‌ی پیوسـت Arc hydro، برای بررسـی داده‌ها و حذف‌کـردن داده‌های ناهمگن آزمون داده‌های پـرت و روش Grubbs (گرابز ۱۹۶۹)، و برای بازسـازی‌کردن نقص داده‌ها روش همبسـتگی بین ایسـتگاه‌ها به‌کاربرده شد.



شکل ۱- محدوده‌ی بررسی‌شده و رودخانه‌های استان هرمزگان.



شکل ۲- نمودار جریانی روش پژوهش.

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های آب‌سنجی انتخابی در استان.

ردیف	ایستگاه	شماره‌ی تماب	مساحت (m^2)	ردیف	ایستگاه	شماره‌ی تماب	مساحت (m^2)
۱	دژگان	۲۵-۰۰۱	۷۴۷۸/۰۰	۱۲	برنطین میناب	۲۷-۰۱۷	۱۰۱۱۷/۰۱
۲	دراشکفت	۲۶-۰۱۳	۹۹۷۱/۰۰	۱۳	دزک	۲۷-۱۳۰	۱۸۷/۲۰
۳	قلات پایین	۲۶-۰۱۵	۳۴۸۸/۳۵	۱۴	شمیل	۲۷-۰۲۳	۱۷۴۳/۰۰
۴	کهورستان	۲۶-۰۳۷	۴۲۲۲/۳۲	۱۵	تنگه زندان	۲۷-۰۲۴	۱۴۶۵/۴۱
۵	تنگه ده شیخ	۲۶-۱۰۹	۷۲۴۹/۶۷	۱۶	سلوبلم	۲۷-۳۰۴	۲۰۳/۳۲
۶	حاجی آباد	۲۶-۲۰۱	۷۳۳۰۱/۰۰	۱۷	سیخوران	۲۷-۹۰۴	۱۳۵/۵۶
۷	درآگاه	۲۶-۹۳۵	۲۷۹۱/۰۰	۱۸	لیره‌یی	۲۸-۰۰۵	۴۴۱۰/۳۱
۸	سرمقسم	۲۷-۰۰۳	۱۰۶۲/۸۵	۱۹	مازابی	۲۸-۰۱۱	۶۶۷/۴۷
۹	سرکم	۲۷-۰۰۵	۳۲۴۸/۵۵	۲۰	جیفری	۲۸-۰۱۲	۱۲۸۲/۷۰
۱۰	آبنما	۲۷-۰۱۱	۶۱۰۶/۰۰	۲۱	گرو	۲۸-۰۱۳	۱۲۹۵/۰۰
۱۱	برنطین جغین	۲۷-۰۱۵	۳۲۲۱/۶۸	۲۲	قلات رستم	۲۸-۲۸۱	۶۳۲/۹۳

تحلیل عاملی و انتخاب تاثیرگذارترین متغیر مستقل

تحلیل عاملی به دو دسته‌ی اکتشافی و تأییدی تقسیم می‌شود. هدف از انجام‌دادن تحلیل عاملی اکتشافی کشف و بررسی ارتباط و هم‌بستگی متغیرهای مشاهده‌شده، بی‌وضع‌کردن ساختار و فرضیه برای مدل (در مورد ارتباط متغیرها با عامل‌ها) است (بی-فرضیه‌ی اولیه). در حالی که در تحلیل عاملی تأییدی، به محقق اجازه‌ی به‌کاربردن دانش نظری و پژوهش‌های قبلی داده می‌شود، و می‌تواند الگویی مشخص را برای ارتباط بین متغیرهای مدل در نظر بگیرد (مانند تعیین‌کردن تعداد عامل‌های مدل یا تخصیص دادن مقداری ثابت به برخی سنجه‌ها)، و این فرضیه را آزمایش کند. روش‌های مختلفی برای استخراج‌کردن عامل‌ها، برحسب مقدار و نوع پراش متغیرهای هر عامل در مدل هست. یکی از آن‌ها روش بیشینه‌ی درست‌نمایی[1] است. در این روش با انجام‌دادن آزمون آماری، میزان اعتبار مدل از نظر تعداد عامل‌های استخراج‌شده آزموده می‌شود (توکر و مک‌کالم ۱۹۹۷). به‌این‌ترتیب پیش از تحلیل‌کردن، تعداد عامل‌های مدل تعیین، و سپس کفایت تعداد عامل‌ها بررسی می‌شود. اگر مقدار آماره‌ی مجذور کای[2] از مقدار بحرانی بیش‌تر شود، فرضیه‌ی مناسب‌بودن تعداد عامل‌ها رد می‌شود.

برای بهبوددادن رابطه‌ی بین متغیرها و عامل‌های اولیه و تفسیر بهتر آن‌ها، عامل‌ها چرخانده می‌شود. چرخاندن عامل‌ها به‌طور کلی به دو روش متعامد[3] و غیرمتعامد[4] (هم‌بسته) تقسیم می‌شود. اگر هدف کاهش‌دادن تعداد متغیرها به مجموعه‌یی کوچک‌تر و مستقل باشد روش متعامد به‌کاربرده می‌شود، اما اگر هدف به‌دست‌آوردن چند عامل ازدیدگاه‌نظری معنی‌دار باشد، روش غیرمتعامد صحیح‌تر است. واریماکس[5] از متداول‌ترین روش‌های چرخاندن متعامد است که استقلال میان عامل‌های استخراج‌شده را حفظ می‌کند و تصویر روشنی از عامل‌ها به‌دست می‌دهد. در این روش متغیرهای با بار عاملی بزرگ‌تر به کم‌ترین تعداد تقلیل داده، و جمع پراش بارها در چارچوب عاملی بیشینه کرده می‌شود. این روش زمانی به‌کار می‌رود که هدف به‌دست آوردن عامل‌هایی است که روی برخی از متغیرها بار زیاد، و روی متغیرهای دیگر بار کم داشته باشند (وانگ ۲۰۰۵).

برای اطمینان‌یافتن از مناسب‌بودن داده‌ها برای تحلیل عاملی ضریب KMO[6] (رابطه‌ی ۱) به‌کاربرده شد (این ضریب همواره در مقداری بین صفر و یک در نوسان است). اگر مقدار این ضریب بیش‌تر از ۰/۵ باشد، داده‌ها برای تحلیل عاملی مناسب است. برای بررسی تناسب ساختار اطلاعات در انجام‌دادن تحلیل عاملی آزمون کرویت بارتلت (رابطه‌ی ۲) به‌کاربرده می‌شود. برای نشان‌دادن اهمیت نسبی هر عامل، نسبت پراش درنظرگرفته شده برای هر عامل چرخانده‌شده (چرخش واریماکس) به‌کاربرده شد. هر متغیر که بیش‌ترین مقدار مطلق بار عاملی را داشت، و این از نظر آماری معنی‌دار بود، متغیر تاثیرگذار گرفته شد. تحلیل عاملی و شناسایی‌کردن تاثیرگذارترین متغیرهای مستقل در نرم‌افزار SPSS انجام شد.

$$KMO = \sum\sum r_{ij}^2 \Big/ \sum\sum r_{ij}^2 + \sum\sum a_{ij}^2 \qquad (۱)$$

$$x^2 = -\left(n - 1 - \frac{2p+5}{6}\right) ln|R| \qquad (۲)$$

در رابطه‌ی ۱، r۲ ضریب همبستگی بین متغیرهای i و j، و a^2 ضریب همبستگی جزئی متغیرهای i و j است. در رابطه‌ی ۲، n تعداد مشاهده‌ها، p تعداد متغیرها، و قدرمطلق R تعیین‌کننده‌ی چارچوب همبستگی است.

شاخص‌های آماری برای انتخاب مدل بهینه

براساس آزمایش‌ها و تجربه‌های مختلف، معادله‌های متعددی برای برآوردکردن بار معلق در رودخانه تهیه شده است، اما اختلاف چشم‌گیری بین نتیجه‌های آن‌ها هست. این واقعیت ضرورت تجزیه‌وتحلیل اندازه‌های برآورده‌شده با رابطه‌های مختلف و ارزیابی آن‌ها در رودخانه را آشکار می‌کند. دو معیاری که برای ارزیابی‌کردن مدل‌های آب‌شناختی کاربرد دارد خطای میانگین مربع‌ها (MSE) (رابطه‌ی ۳) برای بهنجارکردن، و معیار کارآیی نش- ساتکیلف (NSE) (رابطه‌ی ۴) است.

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n}(x_{s.t} - x_{o.t})^2 \qquad (۳)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{n}(x_{s.t} - x_{o.t})^2}{\sum_{t=1}^{n}(x_{s.t} - \mu_0)^2} = 1 - \frac{MSE}{\sigma_0^2} \qquad (۴)$$

در این رابطه‌ها Xs و t اندازه‌های برآورده‌شده‌ی متغیر، Xo و t اندازه‌های مشاهده‌یی، n تعداد نمونه‌ها، μ_0 میانگین داده‌های مشاهده‌ی‌شده و σ_0^2 پراش داده‌های مشاهده‌ی‌شده است. NSE بی‌بعد و از منفی بی‌نهایت تا ۱ است (بهترین مدل در اندازه‌ی ۱)

1- Max likelihood
2- Chi-square statistic
3- Orthogonal
4- Oblique
5- Varimax
6- Kaiser Meyer Olkin

درحالی‌که خطای متوسط MSE به واحد متغیرهای پیش‌بینی وابسته است و از صفر شروع می‌شود.

تعیین مناطق همگن

یکی از کاربردهای مناطق همگن تحلیل‌کردن منطقه‌یی بار معلق است. با افزایش تعداد ایستگاه‌ها و صحت و کفایت داده‌های آن‌ها، دقت مدل‌های برآورد بار معلق افزایش می‌یابد. روش‌های متعددی برای آزمون همگنی حوزه‌های آبخیز و مناطق مختلف هست. در این پژوهش روش سلسله‌مراتبی Ward و معکوس فاصله‌ی اقلیدسی به‌کاربرده شد. تجزیه‌ی خوشه‌یی از روش‌های آماری چندمتغیره است که برای یافتن شباهت بین اعضای یک مجموعه به‌کار می‌رود و بر اساس تحقیقات انجام یافته عمدتاً در مباحث مرتبط با مسائل مهندسی و آب‌شناختی کاربرد دارد. در روش سلسله‌مراتبی گروه‌ها با دو روش تجمعی و تقسیم تشکیل می‌شود. در روش تجمعی ابتدا هر فرد گروهی مجزا تشکیل می‌دهد و سپس گروه‌های نزدیک به یکدیگر به‌تدریج ترکیب می‌شوند. در پایان همه‌ی افراد در یک گروه جا می‌گیرند. گروه‌بندی در روش تقسیم عکس روش تجمعی است. خروجی روش سلسله‌مراتبی به صورت نمودار سلسله‌مراتبی است و رابطه‌های طبقاتی چند فرد بر اساس شباهت آن‌ها نمایش داده می‌شود (تریون ۱۹۳۹). در این روش خوشه‌بندی (Ward)، برای کاهش‌دادن تلفات ناشی از داده‌های پرت و دورافتاده (Outlier) در محاسبه‌کردن بی‌شباهتی بین خوشه‌ها، معیار جدیدی به‌کار برده می‌شود. در این روش مجموع مربع‌های تفاضل هر داده از یک خوشه با بردار میانگین آن خوشه معیاری برای سنجش خوشه می‌شود. الگوریتم زیر را می‌توان برای روش Ward در نظر گرفت (هی ۱۹۹۹).

الف) ابتدا هر داده یک خوشه گرفته می‌شود.

ب) به ازای همه‌ی جفت‌خوشه‌های ممکن از مجموعه‌ی خوشه‌ها، آن دو خوشه‌یی که مجموع مربع‌های تفاضل داده‌های خوشه‌ی به‌دست‌آمده از اجتماع آن‌ها با بردار میانگین خوشه‌ی به‌دست‌آمده کمینه باشد، انتخاب می‌شود.

ج) دو خوشه‌ی انتخاب‌شده با هم ترکیب می‌شود.

د) تا زمانی که تعداد خوشه‌ها به تعداد دل‌خواه نرسیده است، مرحله‌های الف، ب و ج، تکرار می‌شود.

خوشه‌بندی منطقه‌ی بررسی‌شده در این پژوهش بر اساس سه حالتِ متغیرهای موثر، اندازه‌های بار معلق و همه‌ی سنجه‌ها، با روشِ سلسله‌مراتبی Ward انجام شد.

شاخص‌های اندازه‌گیری اعتبار روش‌های خوشه‌بندی

شاخص‌های اعتبارسنجی خوشه‌بندی بر اساس نتیجه‌های الگوریتم منطقه‌بندی عمل می‌کند و برای تعیین‌کردن بهترین تعداد خوشه‌ها به‌کار می‌رود. در این پژوهش دو شاخص سیلهوته[7] و دان[8] به‌کاربرده شد، و مناسب‌ترین تعداد خوشه‌ها باتوجه به ضریب (رابطه‌ی ۵ و ۶) تعیین شد.

سیلهوته

$$S(i) = \frac{(b(i) - a(i))}{\min[b(i).a(i)]} \qquad (۵)$$

در این رابطه a(i) نمایانگر تشابه‌نداشتن هر نمونه با نمونه‌های دیگر در خوشه، و b(i) نمایانگر تشابه‌نداشتن هر نمونه با همه‌ی نمونه‌های خوشه‌یی دیگر (نزدیک‌ترین خوشه‌ها) است. مقدار شاخص‌های اعتبارسنجی سیلهوته بین ۱ و ۱- متغیر است؛ اگر این شاخص ۱ باشد نمایانگر این است که به‌درستی خوشه‌بندی شده است.

دان

$$D(U) = \min\{\min[\delta(X_iX_j)/\max(\Delta(Xk))]\} \qquad (۶)$$

δ(XiXj) بیانگر فاصله‌ی بیرونی بین خوشه‌ی Xi و Xj، (Xi) D نماینده‌ی فاصله‌ی درونی بین خوشه، و K تعداد خوشه‌ها در محدوده‌ی U است. هدف این روش، بیشینه‌کردن فاصله های بیرونی و کمینه‌کردن فاصله های درونی است (راجو ۲۰۱۰). خوشه‌بندی و اعتبارسنجی خوشه‌ها در نرم‌افزار Ginkgo انجام شد.

نتایج و بحث

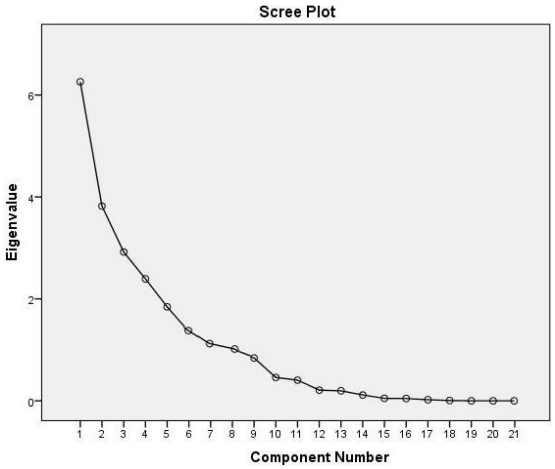
همه‌ی داده‌های به‌کاررفته شامل ۲۱ متغیر مستقل ریخت‌شناختی و اقلیمی (جدول ۴) و متغیر وابسته‌ی اندازه‌های بار معلق سالانه برای ۲۲ ایستگاه انتخاب‌شده با طول دوره‌ی داده‌برداری مشترک ۲۱ سال بود. بر اساس پژوهش‌های پیشین و نظر خبرگان ۲۳ معیار برای تحلیل منطقه‌یی برآورد بار معلق انتخاب و شناسایی شد. سنجه‌ها با بهره‌گیری از نقشه‌ی رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر، و استخراج محدوده‌ی همه‌ی آبخیزها با سامانه‌ی اطلاعات مکانی محاسبه شد. سنجه‌های آماری نیز با داده‌های آماری و آب‌شناختی محاسبه شد (سازمان آب منطقه‌یی استان هرمزگان ۱۳۹۶) (جدول ۴). بهنجاربودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنف بررسی، و تاثیرگذارترین متغیر مستقل

7- Silhouette
8- Dunn

انتخاب، و خوشه‌یی تحلیل شد.
نتیجه‌های شاخص KMO و آزمون بارتلت برای بررسی کفایت و تناسب ساختار اطلاعات برای تحلیل عاملی در جدول ۳ آورده شد. نتیجه‌ها نشان داد که مقدار KMOبیش‌تر از ۰/۵ است، بنابراین تعداد داده‌ها برای تحلیل عاملی کافی است. با توجه به نتیجه‌های آزمون بارتلت (تراز معنی‌داری کم‌تر از ۵٪)، فرضیه‌ی شناخته‌شده (همانی بودن) چهارچوب همبستگی رد شد، و نشان داده شد که تحلیل عاملی برای شناسایی ساختار مناسب است و تحلیل عاملی و استخراج عامل‌ها را می‌توان به‌کار برد. تجزیه-تحلیل به عامل‌ها با تجزیه به مولفه‌های اصلی و چرخش واریماکس و بهنجارکردن کایزر بر عامل موقت انجام شد. از آن‌جا که مقدار ویژه در هفت مولفه بزرگ‌تر از ۱ بود، و ۸۵٪ از تغییر بار معلق بهعلت آن بود؛ هفت مولفه برای تعیین سنجه‌های مستقل موثر بر میزان بار معلق منطقه بررسی شد (جدول ۶).
از ۲۱ سنجه‌ی شناخته‌شده بر اساس پژوهش‌های گذشته و جغرافیای منطقه، طول آب‌راه اصلی، دما، آب‌دهی جریان، متوسط بارندگی سالانه، شیب متوسط حوزه، مساحت حوزه و درصد زمین‌های مرتعی، موثرترین سنجه‌های تاثیرگذار بر بار معلق استان هرمزگان شناخته شد. در شکل ۳ تغییر اندازه‌های ویژه در ارتباط با عامل‌ها نشان داده شد. این نمودار برای تعیین‌کردن تعداد بهینه‌ی مولفه‌ها به‌کار می‌رود. بیش‌ترین تغییر در هفت عامل اولیه بود، و خط بعد از آن تمایل به مستقیم‌شدن داشت. هفت عامل اولیه به همراه مقدار پراش در جدول ۶ مرتب شده اند.
منطقه بر اساس سه حالتِ متغیرهای موثر، اندازه‌های بار معلق و همه‌ی سنجه‌ها، با روشِ سلسله‌مراتبی Ward خوشه‌بندی، و اعتبار خوشه‌بندی با شاخص‌های سیلهوته و دان سنجیده شد. با توجه به نتیجه‌های روش سلسله‌مراتبی، منطقه‌ها بر اساس مقدار بار معلق (شکل ۴) به ۲ خوشه تقسیم شد (جدول ۵). نقشه‌ی مناطق همگن در شکل ۵ آورده شد.

جدول ۳- آزمون KMO و نتیجه‌های آزمون کرویت بارتلت.

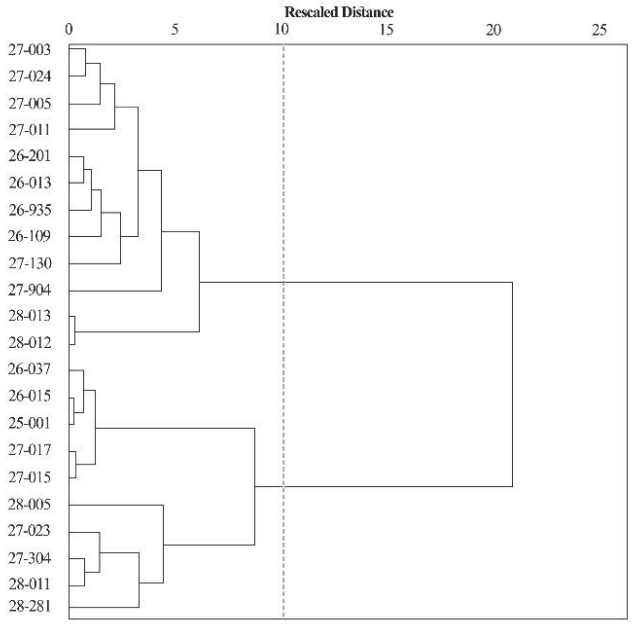
۰/۵۳۶	سنجش کفایت داده‌ها با KMO	
۶۴۰/۳۱۰	مجذور کای تقریبی	کرویت بارتلت
۲۱۰	درجه‌ی آزادی	
۰/۰۰۰	معناداری	



شکل۳- نمودار سنگریزه‌یی برای تعیین تعداد عامل‌ها.

جدول ۴- متغیرهای مستقل در تهیه‌ی مدل‌های منطقه‌یی تخمین بار معلق.

شماره		متغیر		کمینه	بیشینه	میانگین
۱		محیط حوزه (m)		۶۸/۹۵	۵۸۸/۷۵	۲۵۶/۱۲
۲		مساحت حوزه (m^2)		۱۰۸/۴۱	۴۴۱۰/۳۱	۱۳۶۲/۲۲
۳		شیب عمومی حوزه		۰/۰۱۹	۰/۳۵	۰/۱۴
۴		شیب آب‌راه اصلی		۰/۰۰۵	۰/۰۹۴	۰/۰۲
۵		طول آب‌راه اصلی (m)		۱۸/۸۲	۲۱۲/۸۶۱	۸۴/۰۴۱
۶		عمق جریان (m)		۳۲	۳۳۰	۹۹/۸۶
۷	ریخت‌شناسی	درصد کاربری‌های مختلف	جنگلی	۰	۳۷/۶۸	۱۲/۱۰
۸			مرتعی	۰	۷۵/۶۹	۴۴/۸۷
۹			زراعی	۰	۷۲/۴۷	۲۴/۶۶
۱۰			سایر	۱/۴۳	۴۴/۰۷	۱۵/۰۳
۱۱		CN		۷۱/۵	۸۴/۵	۷۷/۵۱
۱۲		عامل شکل		۱/۱۴	۴/۴	۲/۵۷
۱۳		نسبت انشعاب‌ها		۱	۵/۵۰	۳/۲۳
۱۴		ضریب گراولیوس (km/km^2)		۱/۶۴	۲/۶۶	۲/۱۱
۱۵		تراکم زه‌کشی (km/km^2)		۰/۰۱	۱۴/۲۲	۱/۱۲
۱۶		زمان تمرکز (h)		۰/۰۲۹	۰/۵۵	۰/۱۹
۱۷		سرعت جریان (m/s^2)		۰/۴۴	۲/۲۶	۱/۱۲
۱۸		شاخص خشکی (دومارتن)		۵/۵۵	۹/۶۸	۷/۹۶
۱۹	اقلیمی	متوسط بارندگی سالانه (mm)		۷۱/۵۴	۲۸۲/۴۵	۱۶۲/۵۲
۲۰		دما		۲۲/۸	۲۸/۶	۲۶/۸۶
۲۱		آب‌دهی (m^3/s)		۰	۹۷/۱۵	۲/۳۴



شکل ۴- نمودار خوشه‌بندی بر اساس مقدار بار معلق.

جدول ۵- نتیجه‌های خوشه‌بندی با روش Ward بر اساس سه حالت خوشه‌بندی.

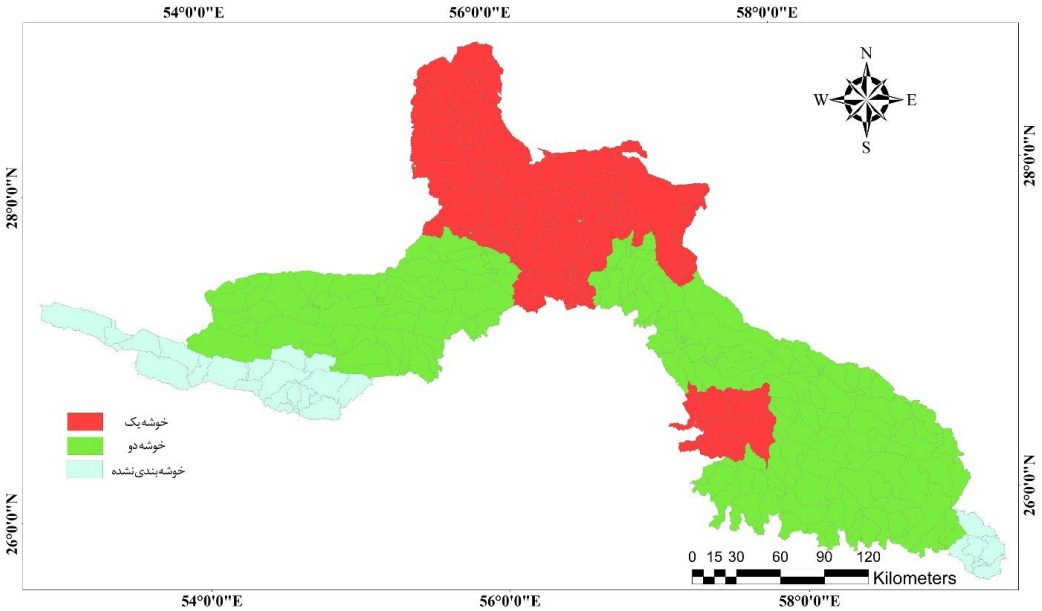
حالت	متغیرهای موثر			مقدار بار معلق			همه‌ی سنجه‌ها		
	۲	۳	۴	۲	۳	۴	۲	۳	۴
تعداد خوشه‌ها	۰/۶۵۲	۰/۴۶۳	۰/۵۲۸	۰/۶۷۴	۰/۵۹۱	۰/۶۳۴	۰/۵۸۷	۰/۴۶۷	۰/۴۳۹
شاخص دان	۰/۷۲۰	۰/۶۰۴	۰/۶۶۷	۰/۷۷۸	۰/۶۰۴	۰/۶۸۳	۰/۷۱۹	۰/۶۰۱	۰/۶۶۴
شاخص سیلهوته									

جدول ۶- موثرترین متغیرهای مستقل از تجزیه‌ی عاملی.

مولفه	مقدار ویژه	پراش (٪)	پراش تجمعی (٪)	متغیر منتخب	پراش
۱	۶/۲۶۰	۲۷/۲۱۶	۲۷/۲۱۶	طول آب‌راه	۰/۹۷۱
۲	۳/۸۲۱	۱۶/۶۱۲	۴۳/۸۲۸	دما	۰/۹۶۰
۳	۲/۹۲۱	۱۲/۷۰۰	۵۶/۵۲۷	آب‌دهی جریان	۰/۹۴۶
۴	۲/۳۹۳	۱۰/۴۰۵	۶۶/۹۳۲	متوسط بارندگی سالانه	۰/۹۶۸
۵	۱/۸۴۳	۸/۰۱۵	۷۴/۹۴۷	شیب متوسط حوزه	۰/۸۹۲
۶	۱/۳۵۶	۵/۸۹۴	۸۰/۸۴۱	مساحت حوزه	-۰/۷۹۶
۷	۱/۱۲۸	۴/۹۰۵	۸۵/۷۴۶	درصد زمین‌های مرتعی	۰/۸۳۰

مدل‌های منطقه‌یی

برآورد بار معلق متوسط سالانه از اندازه‌های روزانه به روش منحنی سنجه‌ی بار معلق و از اندازه‌های آب‌دهی مربوط به هر ایستگاه به‌دست آمد. معادله‌های به‌دست‌آمده در همه‌ی ایستگاه‌ها محاسبه شد. بیش‌ترین ضریب تبیین ۰/۸۹۸ در ایستگاه کهورستان (شماره‌ی تماب ۰۳۷-۲۶) و کم‌ترین ضریب تبیین ۰/۵۷۶ در ایستگاه لیره‌یی (کد تماب ۰۰۵-۲۸) بود. در این معادله‌ها متغیر وابسته‌ی بار معلق و متغیر مستقل آب‌دهی جریان است. بار معلق سالانه با توجه به اندازه‌های آب‌دهی روزانه در هریک از ایستگاه‌ها و برای کل دوره‌ی آماری آب‌سنجی برآورد شد. قبل از مدل‌سازی‌کردن داده‌های بار معلق از روش ترسیم نمودار جعبه‌یی، بهنجاربودن آن بررسی شد. نتیجه‌ها نشان داد که توزیع داده‌ها بهنجار نیست، بنابراین برای بهنجارکردن داده‌ها لگاریتم طبیعی آن‌ها بررسی شد. آزمودن مجدد بهنجاری نشان داد که توزیع داده‌ها بهنجار است، بنابراین برای مدل‌سازی نهایی به کاربرده شد.



شکل ۵- نقشه‌ی منطقه‌های همگن.

داده‌های ۲۲ ایستگاه آب‌سنجی در منطقه به‌کاربرده شد؛ در خوشه‌ی یک ۱۲ ایستگاه و در خوشه‌ی دو ۱۰ ایستگاه است. پس از تعیین سنجه‌های اصلی به روش تجزیه‌ی عاملی، مناسب‌ترین مدل برآورد بار معلق سالانه بر اساس تعداد متغیرهای موثر در هر خوشه تهیه شد. مدل‌های منطقه‌یی با تحلیل وایازی چندمتغیره‌ی گام‌به‌گام در دو حالت خطی و ناخطی آزمون شد. با این روش اثرهای موثرترین متغیرهای مستقل نیز بر متغیر وابسته سنجیده شد. سنجه‌ی طول آب‌راه بیش‌ترین همبستگی را با بار معلق سالانه داشت، اما با حضور در مدل‌های وایازی باعث کاهش ضریب تبیین و مقدار نش- ساتکیلف شد. معیار درصد زمین‌های مرتعی نیز کم‌ترین حضور را بین ترکیب‌های بهینه داشت. بهینه‌ترین مدل در هر خوشه بر اساس تعداد سنجه‌های مستقل و برترین مدل بر اساس شاخص‌های ارزیابی انتخاب شد (جدول ۷). با توجه به تعداد سنجه‌های مستقل به‌کارگرفته شده، تعداد داده‌های به‌کاررفته برای دست‌یابی به مدل‌های منطقه‌یی به‌ترتیب ۴۸ و ۴۰ است. در این معادله‌ها، بار معلق سالانه Qs (مترمکعب در سال)، آب‌دهی جریان Q (مترمکعب بر ثانیه)، دما T (درجه‌ی سانتی‌گراد)، متوسط بارندگی سالانه P (میلی‌متر)، شیب متوسط حوزه S (درصد) و مساحت A (کیلومتر مربع) است.

جدول ۷- مدل‌های منطقه‌یی برآورد بار معلق در استان هرمزگان.

خوشه	معادله	R^2	NSE	تعداد داده
یک	$Log\ Qs=-0.93+0.15Q+0.71T+0.007P$	۰/۷۸	۰/۸۴	۴۸
دو	$Log\ Qs= 0.128+Q^{0.012}S^{-0.011}A^{0.169}$	۰/۸۴	۰/۹۴	۴۰

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بار معلقی که آب رودخانه‌ها می‌برند به دو گروه بار معلق و بار بستر تقسیم می‌شود. عامل‌هایی همچون کم‌بود تعداد نمونه‌برداری در سیلاب‌ها، تعداد کم ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و محدودیت در تعداد سال‌های داده‌برداری، تجزیه‌وتحلیل بار معلق در رودخانه‌ها را مشکل کرده است. از این‌رو تحلیل منطقه‌یی توزیع بار معلق و دست‌یابی به مدل‌های مناسب امکان برآوردکردن بار معلق را در آبخیزهای بی‌داده فراهم می‌سازد. متغیرهای مستقل این تحقیق برای برآوردکردن بار معلق روزانه چهار سنجه‌ی اقلیمی و ۱۷ سنجه‌ی ریخت‌شناختی بود. کثرت و تنوع چونین سنجه‌هایی در پژوهش‌های کمی مشاهده شده است. متغیرهای مستقل در تحقیقات عرب‌خدری و زرگر (۱۹۹۶) ۱۱ ویژگی، حکیم‌خانی (۱۹۹۸) ۱۹ ویژگی، رستمی و همکاران (۲۰۰۲) ۲۰ ویژگی، قربانی و همکاران (۲۰۰۹) ۱۴ ویژگی، نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) ۱۸ ویژگی، گروسو و همکاران (۲۰۱۸) ۱۶ ویژگی و خیرفام و مکرم (۲۰۱۹) ۱۴ ویژگی بود. در برخی از پژوهش‌ها نیز صرفا ارتباط تغییر تولید بار معلق با تنها یک یا دو متغیر بررسی شد (والینگ ۲۰۰۸). بر اساس نتیجه‌های تجزیه‌ی مولفه‌های اصلی سنجه‌های موثر در تولید بار معلق در استان هرمزگان، به‌ترتیب طول آب‌راه اصلی، دما، آب‌دهی جریان، متوسط بارندگی سالانه، شیب متوسط حوزه، مساحت حوزه و درصد زمین‌های مرتعی انتخاب شد، که با نتیجه‌های بینا و همکاران (۲۰۱۰)، ادهمی و همکاران (۲۰۱۲)، رمضانی‌پور و همکاران (۲۰۱۵) و نصرتی و همکاران (۲۰۱۸) مشترک است. با این نتیجه‌ها، پیشنهاد می‌شود که در منطقه‌ی بررسی‌شده، پژوهش‌هایی با هدف شناخت علمی و دقیق عامل‌های زمین‌شناسی و اقلیمی موثر بر تولید بار معلق انجام شود. افزایش دقت تهیه‌ی مدل‌ها به‌دلیل همگن‌کردن و خوشه‌بندی‌کردن منطقه‌ها بر اساس سه حالت گوناگون انتخاب برترین الگوی خوشه‌بندی، و دست‌یابی به سنجه‌های مهم‌تر و موثرتر، از دیگر یافته‌های این پژوهش است. بنابراین می‌توان از این روی‌کرد، با محوریت مقایسه‌یی در قالب چند روش خوشه‌بندی، مناطق همگن را شناسایی، و با مقایسه‌ی نتیجه‌های خروجی با حالت‌های عاملی متفاوت، منطقه را با شرایطی دلخواه همگن‌سازی کرد.

مدل‌های منطقه‌یی انتخاب‌شده از میان چندین مدل ترکیبی با ضریب تبیین و معیار نش-ساتکیلف متفاوت انتخاب شد، و در تهیه‌ی آن‌ها از روش‌های وایازی چندمتغیره‌ی گام‌به‌گام در دو حالت خطی و ناخطی بهره برده شد. این کار موجب افزایش در تعداد مدل‌های منطقه‌یی می‌شود که در این پژوهش به کمک دو تابع هدف کمینه‌کردن تعداد متغیرهای مستقل، و بیشینه‌کردن کارآیی مدل (ضریب تبیین و معیار نش- ساتکیلف)، بهینه‌ترین مدل‌های منطقه‌یی مختص به هر خوشه شناسایی و معرفی شد. در پایان، پیشنهاد می‌شود با افزایش تعداد عامل‌ها و بررسی سنجه‌هایی همچون سنجه‌های زمین‌شناختی و عامل‌های انسانی، میزان تاثیر سایر سنجه‌ها بر فرسایش خاک و بار معلق منطقه سنجیده شود. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های مشابه، بی درنظرگرفتن مرزهای جغرافیایی، سنجه‌های تاثیرگذار بر حوزه‌های بزرگ آبخیز ایران شناسایی و ارزیابی، و مدل‌های منطقه‌یی خاص هر منطقه تهیه شود. این بررسی می‌تواند دیدگاه اولیه‌ی مناسبی از میزان آورد بار معلق در مناطق بی‌داده در مرحله‌های ابتدایی پژوهش‌ها به‌دست دهد.

فهرست منابع

Adhami M, Najafinejad A, Sadoddin A, Abghari H. 2012. Regional suspended load analysis using watershed characteristics in the Gorgan-Rud and Ghare-Su river basins, Iran. M.Sc. Thesis. College of Range and Watershed Management. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 152 p. (In Persian).

Arabkhedri M, Zargar A. 1996. Regression model to estimate sediment of Northern Alborz Basin. 1th Erosion and Sediment National Conference. Tarbiat Modares University, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences. 403– 418. (In Persian).

Ashoori M, Yasi M. 2015. Investigation of different evaluation methods of sediment ratting curve using STM software. The 9th National Conference on World Environment, Tehran, Iran.

Bina M, Ranjbaran L, Musavi-Jahromi H. 2010. Modeling of the suspended sediment in the upstream of the Karkheh River in ungauged stations. 8th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University. 8 p. (In Persian).

Dalir P, Cash R, Gholami V. 2015. The most important factors related Nvlyd forest roads in the forests of Northern Iran deposition. Journal of Environmental Degradation. 2: 13–23.

Faqfouri Z, Arman N, Faraji M, Khorsandi Z. 2017. Determination of characteristic affecting in sediment using spatial methods (case study: Seyed Abad Basin). Journal of Watershed Engineering and Management. 9(2): 190– 204. (In Persian).

Farahi G, Khodashenas SR, Alizadeh A. 2011. Sediment estimation of northern watersheds of khorasan province using fuzzy regression model. Iran-Watershed Management Science and Engineering. 5: 11–24.

Ghorbani MA, Fakheri Fard A, Nemati S, Tolouei S. 2009. Determining homogeneous regions of spatial distribution of suspended load in Aji-Chai river basin. Water and Soil Science Journal. 2(9): 15– 24. (In Persian).

Grauso S, Pasanisi F, Tebano C, Grillini M, Peloso A. 2018. Investigating the sediment yield predictability in some Italian Rivers by means of hydro-geomorphometric variables. Geosciences. 8: 248– 267

Grubbs F. 1969. Procedures for detecting outlying observations in samples. Technimetrics. 11 (1): 1– 21.

Hakimkhani Sh. 1998. Provide multivariate regression model based on effective characteristic on suspended sediment of lake Urmia watersheds. M.Sc. Thesis. College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran. 212 p (In Persian).

He Q. 1999. A review of clustering algorithms as applied in IR. Graduate School of Library and Information Science University of Illinois at Urbana-Champaign.

Regional Water Company of Hormozgan. 2018. Available from: http://www.hrrw.ir/.

Kheyrfam H, Vafakhah M. 2015. Evaluation of gamma test and Andrew curves to estimate suspended sediment load in southern and southeastern watersheds of the Caspian Sea. Journal of Watershed Management Research. 6 (11): 47– 58. (In Persian).

Kheyrfam H, Mokarram-Kashtiban S. 2019. A regional suspended load yield estimation model for ungauged watersheds. Journal Water Science and Engineering. 11 (4): 328– 337.

Nosrati K, Imeni S, Talari A. 2018. Regional analysis of suspended sediment load using principal components regression method in Sefidrood Drainage Basin. Journal Management System.

71 (3): 809– 827. (In Persian).

Raju KS, Nagesh Kumar D. 2010. Multicriterion analysis in engineering and management. Prentice Hall of India, New Delhi.

Ramezanipour E, Mosaedi A, Mesdaghi M. 2015. Determination of regional relationships of suspended sediment discharge based on watershed characteristic in Mashhad and Nyshabour regions. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources and Environment, Ferdowsi University of Mashhad. 139 p. (In Persian).

Roman DC, Vogel RM, Schwarz GE. 2012. Regional regression models of watershed suspended sediment discharge for the eastern United States. Journal of Hydrology. 472: 53–62.

Rostami M, Ardeshi A, Moradi M, Arabkhedri M. 2002. Predict basin suspended sediments by comparing cluster and fuzzy methods. 6th International River Engineering Conference, Ahwaz. (In Persian).

Tryon RC. 1939. Cluster analysis. New York, McGraw-Hill.

Tucker R, McCollum RC. 1997. Exploratory factor analysis. University of Illinois.

Walling DE, Collins AL, Stroud R. 2008. Tracing suspended sediment and particular phosphorus in catchments. Journal of Hydrology. 350: 274–289.

Waling, DE. 1988. Erosion and sediment yield flood frequency analysis. Hydrological Science Journal, 30: 113–141.

Wang H, Liu Q, Tu Y. 2005. Interpretation of partial least-squares regression models with varimax rotation. Computational Statistics & Data Analysis. 48: 207– 219.

Wang S, Yan Y, Li Y. 2012. Spatial and temporal variations of suspended sediment deposition in the alluvial reach of the upper Yellow River from 1952 to 2007. Catena. 92: 30– 37.

Watershed Management Research

VOL. 32, No. 4, Ser. No: 125, Winter 2020, pp. 66 -78
DOI: 10.22092/wmej.2019.126052.1212

Regional Suspended Load Analysis Using the Watershed Characteristics in the Province of Hormozgan

Mostafa Jafari Ashourabadi
(Corresponding Author)* Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
Abdolrahim Jamal
Ph.D, of Water Engineering

*Corresponding Author Email: Sha2w@yahoo.com
Received: 15 May 2019 Accepted: 03 September 2019

Abstract
The present study is aimed at estimating the suspended load discharged from watersheds in the Province of Hormozgan. The mean annual suspended loads were considered as the dependent variable and 21 parameters of morphological and climatic factors were selected as independent parameters. The data were collected from 19 hydrometry stations for a 21-years period (1991–2011). This analysis is presented in two steps; a principal component analysis (PCA) was further applied to extract the underlying factors (principal component) and use the hierarchical clustering analysis in order to identify homogeneous groups. Multi regression was performed to identify the contribution of each variable. Different clustering scenarios were considered for selecting the optimal number of homogeneity groups, and their overall impacts on cluster validation indices were assessed. These three scenarios include dependent variable, independent parameters and the combined variables. The performance of the models was evaluated using the coefficient of determination (R2) and the Nash-Sutcliffe model efficiency. The watersheds were divided into two clusters and multiple regression models were derived for each homogenous region. Eventually, the models with coefficients of determination of 0.78 and 0.84 were used to estimate the mean annual suspended load. It is recommended to study more watersheds with different condition to reach the plurality and improve the quality of these models for estimation of the suspended load in the ungauged watersheds.

Keywords: **Estimation of suspended load, time series, drainage basin, custering, multiple regression**