

ارزیابی همبستگی بین دبی رودخانه کارون و شاخص پوشش برفی (NDSI) حوضه آبریز کارون با رویکرد آماری

نظام تنی^۱، کمال امیدوار^{۲*}، غلامعلی مظفری^۳، احمد مزیدی^۴

۱- دانشجوی دکتری، گروه آب و هواشناسی، مخاطرات طبیعی، دانشگاه یزد، ایران.

۲ و ۳- استاد، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

۴- دانشیار، گروه آب و هواشناسی، دانشگاه یزد، ایران.

چکیده

پوشش برف به‌عنوان یک منبع پایدار آب، جریان پایه رودخانه‌ها و روان آب‌ها را تأمین و از خشک شدن آن‌ها جلوگیری می‌کند. حوضه آبریز کارون از ارزشمندترین منابع تأمین آب رودخانه کارون نقش به‌سزایی در دبی رودخانه در طول سال دارد. در تحقیق حاضر به‌منظور پایش تأثیرپذیری رودخانه از پوشش برفی حوضه آبریز خود در زاگرس طی سری زمانی ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) تصاویر ماهواره‌ای روزانه حاصل از سنجنده ترا (Terra) دریافت و تجزیه و تحلیل شد. سپس با استفاده از داده‌های دریافتی دبی کارون ارزیابی ارتباط آن با نوسانات پوشش برفی با روش پیرسن انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده بین پوشش برف و دبی کارون به‌ویژه در ماه‌های زمستان همبستگی معنی‌داری وجود دارد به‌صورتی که با افزایش وسعت پوشش برف در کلاس‌های زیاد و متراکم افزایش دبی نیز به‌طور هم‌زمان و با تاخیر تأیید شده است. همچنین، نتایج نشان داد که تغییرات در پوشش برف در ماه‌های پیشین فصل بهار، اثرات قابل‌توجهی بر دبی رودخانه در ماه‌های بعد دارد. با این حال، در فصل تابستان به دلیل کاهش پوشش برف رابطه معنی‌داری بین پوشش برف و دبی رودخانه کارون مشاهده نشده است؛ اما در فصل پاییز به‌ویژه در ماه‌های نوامبر و دسامبر تغییرات در پوشش برف تأثیر قابل‌توجهی بر دبی رودخانه داشته است. یافته‌های این پژوهش، نشان داد که پوشش برف در حوضه آبریز کارون نقش مؤثری در تغییرات دبی رودخانه کارون دارد، به‌طوری‌که در فصول زمستان و پاییز، همبستگی معناداری بین افزایش وسعت پوشش برف و افزایش دبی رودخانه مشاهده شد؛ همچنین، تغییرات پوشش برف در ماه‌های پیش از بهار تأثیر قابل‌توجهی بر دبی رودخانه در ماه‌های بعدی داشته که این موارد می‌تواند به‌عنوان شاخصی مؤثر در پیش‌بینی نوسانات منابع آب رودخانه کارون مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژه‌ها: دبی، رودخانه کارون، پوشش برف، همبستگی، حوضه آبریز.

مقدمه

پوشش برف نقش مهمی در سطح جهانی و منطقه‌ای ایفا می‌کند، زیرا برای دسترسی به آب محلی، رواناب رودخانه و تغذیه آب‌های زیرزمینی ضروری است. از این رو، شناخت دقیق گستره و پویایی پوشش برف ضروری است. (Wendleder et al, 2018). رودخانه کارون به‌عنوان یکی از پرآب‌ترین و بزرگ‌ترین رودخانه‌های ایران، نقشی حیاتی در تأمین آب شرب، مصارف کشاورزی، صنعت و توزیع برق در استان خوزستان و ایران دارد. پوشش برفی در حوضه زاگرس که سرچشمه این رودخانه است، نقش حیاتی را برای تأمین آب و دبی آن دارد. ذوب شدن برف در طول فصل بهار و تابستان، به تدریج به جریان رودخانه تأثیر می‌گذارد و دبی آن را دستخوش تغییرات می‌کند. برف یکی از انواع مهم بارش در چرخه هیدرولوژیکی است و بخش قابل توجهی از بارش‌ها در ارتفاعات حوضه‌های آبریز به شکل برف است؛ بنابراین ذوب برف، ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تأمین کرده و نقش مهمی در ایجاد رواناب سطحی ایفا می‌کند (محمدی و همکاران، ۱۴۰۱). پوشش برفی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان ذخایر آب، به‌ویژه فصول گرم سال محسوب می‌شود. پایش پوشش برفی یکی از مباحث ویژه در حیطه هوا و اقلیم‌شناسی است. پوشش برفی با توجه به سپیدایی بالا نقش کلیدی در ترازمندی انرژی تابشی دارد. از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی، به دلیل اینکه خصوصیات فیزیکی برف بر تغییرات روزانه و حتی بلندمدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد پایش برف یک ضرورت است (Bashir et al, 2010). پوشش برف اهمیت قابل توجهی در هیدرولوژی دارد زیرا نقش حیاتی در چرخه آب و مدیریت منابع آب ایفا می‌کند. بنابراین برف به‌عنوان یک مخزن طبیعی عمل کرده و آب را در طول زمستان ذخیره می‌کند و به تدریج با ذوب شدن آن را آزاد می‌کند. این فرآیند به جریان رودخانه، تغذیه آب‌های زیرزمینی و در کل دسترسی به آب کمک می‌کند. (Amini et al, 2022). با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی امکان اندازه‌گیری دائم زمینی جهت تخمین منابع برفابی و تشکیل پایگاه داده‌ها وجود ندارد. به همین جهت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی مناطق برف‌گیر و ارزیابی تغییرات آن بسیار مهم است. (میر موسوی و صبوری، ۱۳۹۳). پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف و آب

معادل آن از اهمیت بالایی در زمینه سامانه‌های هشدار سیل و خشک‌سالی برخوردار است. گستره سطح پوشش برف به‌عنوان یک متغیر اقلیمی و هیدرولوژیکی بسیار مهم برای پیش‌بینی رواناب در سطوح برف‌گیر در طول فصل ذوب است (فتاحی، ۱۳۹۰). در یک مطالعه تأثیر برف بر تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه رودخانه کومبسی کرال، آفریقای جنوبی نشان داد تغذیه آب زیرزمینی از ذوب برف تحت تأثیر مکانیسم‌های ذوب برف و شرایط تغذیه محلی است (Wu & Yongxin, 2005). مطالعه تأثیرات تغییر اقلیم و پوشش برف بر رژیم جریان رود جلوم در هیمالیای غربی نشان داد که مناطق با ارتفاع زیاد عمدتاً در اوایل فصل تابستان به دبی رودخانه در قالب ذوب برف و یخ کمک می‌کنند (Azmat et al, 2017). مطالعه دینامیک پوشش برف و ارتباط آن با ویژگی‌های مختلف هیدروکلیماتی در حوضه رود گنگ بالایی و زیر حوضه‌های آن نشان داد بین دبی رودخانه و آب حاصل از بارش در زیر حوضه GaRB و آب ترکیبی حاصل از بارش و ذوب برف در حوضه KoRB به همراه بارش در ماه‌های موسمی و ذوب برف در ماه‌های غیر موسمی در هر سه زیر حوضه همبستگی وجود دارد (Thapa et al, 2021). بررسی تأثیر شرایط جوی و محیطی در فصل تابستان و زمستان بر دبی رودخانه‌ها در حوضه‌های کم ارتفاع کانادا که تحت تأثیر برف هستند، نشان می‌دهند که گرمایش بیشتر اقلیمی و کاهش پوشش برف می‌تواند دبی پایین تابستانی آینده را کاهش دهد و خشک‌سالی‌های هیدرولوژیکی را تشدید کرده و بر یکپارچگی اکوسیستم‌ها و خدمات اکولوژیکی تأثیر بگذارد (Kinnard et al, 2022). نتایج یک مطالعه بر روی ارتباط پوشش برف و تغذیه آب‌های زیرزمینی در کوه‌های اطلس نشان داد طی تغییرات زمانی دبی تغذیه مستقیمی در پاسخ به بارش زمستانی می‌دهد، درحالی‌که یک پاسخ تأخیری در تابستان نیز مشاهده می‌گردد که در آن برف در پایان فصل ذوب، آب زیرزمینی را دوباره پر می‌کند (Rhoujjati et al, 2023). همچنین مطالعه نقش بارش تابستانی و دبی زمستانی رودخانه لنا نشان داد که ذوب برف در تابستان عامل اصلی افزایش رواناب سطحی بوده و به افزایش دبی در بهار و اوایل تابستان را منجر شده است. از طرفی، کاهش پوشش برف به دلیل افزایش دمای هوا باعث کاهش دبی پیک و سالانه رودخانه شده است (Hiyama et al, 2023). بررسی و تغییرات پوشش برف و اثرات آن بر رواناب در حوضه

است. با توجه به نقش راهبردی رودخانه کارون در تأمین آب شرب، کشاورزی، صنعت و تولید انرژی در جنوب غرب ایران و وابستگی بالای این رودخانه به بارش‌های برفی مناطق مرتفع زاگرس، بررسی ارتباط میان شاخص‌های پوشش برف و دبی رودخانه از منظر آماری، امری ضروری و کاربردی به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر در راستای پر کردن این خلأ علمی، با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای و آماری، به تحلیل روابط بین پوشش برف و دبی رودخانه پرداخته که می‌تواند بستری علمی برای مدیریت بهینه منابع آب در مواجهه با تغییرات اقلیمی فراهم آورد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون حاصل از ارتفاعات زاگرس در محدود به مشخصات جغرافیایی $30^{\circ}00' - 29^{\circ}00'$ و $52^{\circ}00' - 53^{\circ}00'$ درجه طول شرقی و $30^{\circ}00' - 31^{\circ}00'$ و $34^{\circ}00' - 35^{\circ}00'$ درجه عرض شمالی قرار دارد. نگاره (۱). حوضه آبریز کارون در محدوده استان‌های خوزستان، فارس، کهگیلویه و بویراحمد، لرستان، مرکزی، چهارمحال و بختیاری و اصفهان قرار گرفته است. در این میان استان خوزستان بیشترین سهم را در مساحت و تولید آب دارد. پس‌از آن استان چهارمحال و بختیاری حائز رتبه دوم است (عبدی دهکردی و همکاران، ۱۳۹۹).

مواد و روش

جهت انجام این پژوهش از داده‌های جدول (۱) استفاده شده است.

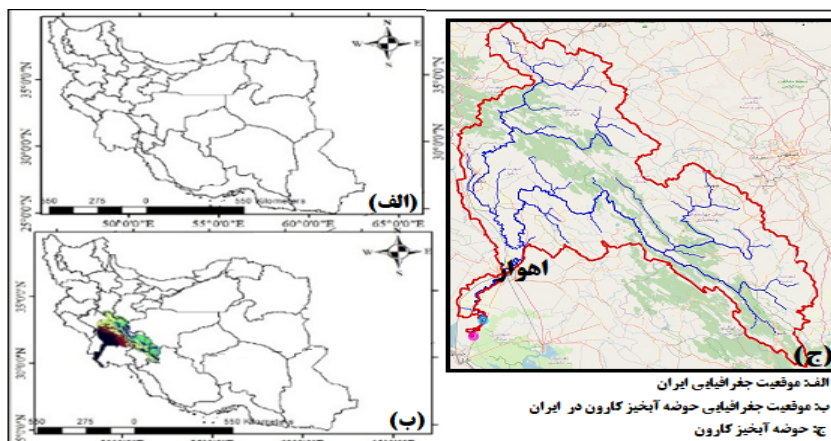
محققان در رشته‌های علوم طبیعی می‌توانند با تحلیل نوسانات پوشش برف در یک منطقه، الگوهای هیدرولوژیکی از جمله دبی رودخانه و روان آب‌ها را پیش‌بینی کنند. به‌طور طبیعی تغییرات در زمان و مکان نوسانات پوشش برف، تأثیر مستقیمی بر چرخه هیدرولوژیکی دارد. در این پژوهش، با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای مودیس طی دوره ۲۲ ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۲) تغییرات پوشش برف در حوضه آبریز زاگرس با دقت مکانی ۵۰۰ متر دریافت و با انجام تصحیحات بر روی آن داده‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند. برای این مهم ابتدا، داده‌های ماهواره‌ای مودیس در پلتفرم پردازش ابری گوگل ارث انجین (GEE) که به‌عنوان یک ابزار قدرتمند، امکان دسترسی آسان به حجم عظیمی از داده‌های ماهواره‌ای از جمله دریافت و تنظیم داده‌های و انجام محاسبات پیچیده بر روی آن را فراهم

رودخانه کریا در طول دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰ نشان داد که عوامل اقلیمی و پوشش برف عمدتاً از طریق تأثیرات مستقیم بر رواناب سالانه حوضه رودخانه موردنظر تأثیر می‌گذارند (Yan et al, 2023). مطالعه رواناب رودخانه ماناس، واقع در کوه‌های تیان شان، نشان داد که رواناب حاصل از ذوب برف ۳۷ درصد و رواناب حاصل از ذوب یخچال‌ها ۲۱ درصد دبی رودخانه را به خود اختصاص می‌دهند (Yang et al, 2024). مطالعه تأثیر نسبی عوامل تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی بر پوشش برف حوضه‌های رودخانه‌ای ایندوس-گنگ-براهماپوترا (IGB) نشان داد در حوضه گنگ، نوسانات اقلیمی بر مساحت پوشش برف و به دنبال آن بر دبی رودخانه‌های این حوضه تأثیرگذار بوده است (Banerjee et al, 2024). ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم بر پوشش برف و دبی چشمه کارستی در خرم‌آباد ایران نشان داد مدل‌های ANN به‌طور رضایت‌بخشی ارتباط دبی چشمه و پوشش برف را شبیه‌سازی می‌کنند (Zeydalinjad, 2024). نتایج یک تحقیق بر روی تأثیر ذوب برف و دبی رودخانه‌های قطب شمال نشان داد افزایش دمای هوا باعث کاهش پوشش برف و در نتیجه کاهش پیک دبی سالانه رودخانه‌ها شده است. علاوه بر این، افزایش دمای هوا باعث افزایش نسبت بارندگی به برف شده که منجر به افزایش رواناب زیرسطحی به‌ویژه در پاییز و زمستان می‌شود. (Park et al, 2024). مطالعه تأثیر تغییرات پوشش برف بر رواناب حوضه‌های آبخیز بالادست رودخانه سیردریا نشان داد زمان‌بندی رواناب تحت تأثیر مدت‌زمان پوشش برف در اواخر زمستان و بهار قرار گرفته است که نشان‌دهنده ذوب زودتر برف در بیشتر مناطقی است که بر رواناب برخی از شاخه‌های رودخانه تأثیر می‌گذارد (Vydra et al, 2024).

بنابراین با توجه به اینکه به‌طور طبیعی دبی رودخانه کارون تحت تأثیر پوشش برفی حوضه آبریز خود در زاگرس قرار دارند و این نوسانات به‌طور متناوب خشک‌سالی‌ها و سیلاب‌هایی را در پی داشته که به دنبال آن خسارات محیطی و انسانی فراوانی طی سال‌های اخیر برجای گذاشته بر همین مبنا با توجه به مطالعات پیشین، هرچند پژوهش‌های متعددی به بررسی نقش پوشش برف در تأمین دبی رودخانه‌ها در مناطق مختلف پرداخته‌اند، اما تحقیقات جامع و هدفمند در خصوص ارزیابی همبستگی میان شاخص‌های سنجش از دور، به‌ویژه شاخص نرمال‌شده پوشش برف (NDSI) و دبی رودخانه‌ها در حوضه آبریز کارون، محدود و پراکنده بوده

اختلاف نرمال شده برف (NDSI) برای تعیین میزان پوشش برف در هر پیکسل محاسبه شد. در ادامه تصاویر پوشش برف اعداد پیکسلها، به اعداد Binary (۰ و ۱) تبدیل و پوشش برفی NDSI به شش دسته تقسیم شد بدین صورت که هر قدر عمق برف بیشتر باشد، عدد موردنظر به ۱ نزدیکتر و هر چه کم عمق تر باشد به صفر متمایل می شود. (Bashir, 2010).

می آورد انجام شد. پس از بارگذاری دادهها، تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از شکل هندسی حوضه آبریز کارون برش و داده‌های پوشش برف این منطقه به صورت ماهانه و فصلی تنظیم و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ در ادامه تصاویر دریافتی پوشش برف به تصاویر دودویی تبدیل شدند تا مناطق پوشیده از برف از مناطق بدون برف تفکیک شوند. سپس، شاخص نرمال شده



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رودخانه کارون

جدول (۱): داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

نوع داده	نوع سنجنده	سری زمانی	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک مکانی	پارامتر
تصویر ماهواره‌ای	مودیس (MOD10A2)	۲۰۰۱-۲۰۲۲	روزانه	۵۰۰ متر	پوشش برف
دبی هیدرومتری	به دست آمده از ایستگاه هیدرومتری	۲۰۰۱-۲۰۲۲	روزانه	اهواز	دبی رودخانه

فایل حوضه آبریز کارون با یک بافر چند کیلومتری برش داده شدند تا تغییرات فقط در این محدوده به نمایش گذاشته شود. آستانه عددی تعیین شده‌ی شاخص NDSI برای استخراج برف $4/0 >$ است که می توان با توجه به شرایط منطقه مقادیری بین $0/2$ الی $0/5$ را نیز در برگیرد. (Ebadi et al., 2021). در یک مطالعه بر روی پوشش برف مناطق مختلف ایران مشخص گردید مقادیر کوچکتر از $0/4$ شاخص NDSI به عنوان مناطق غیره برفی و بیشتر از $0/7$ نیز مناطق کاملاً پوشیده از برف شناسایی شد (Shams et al, 2014). بنابراین دسته بندی پوشش برفی برای حوضه مورد مطالعه با توجه به استاندارد جهانی برابر یا بیشتر از $0/4$ ($NDSI \geq 0.4$) به عنوان پوشش برفی واقعی در نظر گرفته شد. جدول (۲).

محاسبه شاخص NDSI

شاخص تفاوت نرمال شده برف یا NDSI یک شاخص عددی است که برای تخمین و نقشه برداری از پوشش برف روی سطح زمین به کار می رود. این شاخص با مقایسه میزان بازتاب نور در دو باند مختلف از طیف الکترومغناطیسی که توسط ماهواره‌ها دریافت می شود، محاسبه می شود. شاخص نرمال شده پوشش برفی (NDSI) برای شناسایی مناطق پوشیده از برف در تصاویر ماهواره‌ای استفاده می شود. فرمول محاسبه NDSI به صورت زیر است. (Heal et al, 2017).

Green مقدار بازتابش در باند سبز (معمولاً باند ۲) SWIR مقدار بازتابش در باند مادون قرمز کوتاه (معمولاً باند ۶).

$$NDSI = \frac{Green - Swir}{Green + swir} \quad (1)$$

در مرحله پیش پردازش ابتدا تصاویر مودیس با فرمت HDF به فرمت رستری (RST) تبدیل سپس تصاویر توسط شیپ

جدول (۲) - دسته‌بندی شدت پوشش برف بر اساس شاخص NDSI

طبقه بندی	محدوده NDSI	توضیحات
بدون برف	$NDSI < 0.2$	عدم وجود برف در سطح زمین است.
کم	$NDSI = > 0.2 < 0.4$	مقادیر کم و مشکوک پوشش برف در سطح زمین، قابل چشم پوشی
متوسط	$NDSI = > 0.4 < 0.6$	پوشش برفی قطعی
زیاد	$NDSI = > 0.6 < 0.8$	پوشش برفی پایدار در ارتفاعات بالا
متراکم	$NDSI = > 0.8 < 1$	برف متراکم و عمیق در سطح زمین
پوشش کلی برف	$NDSI = > 0.4 < 1$	شاخص نرمال شده پوشش برفی

ژانویه بین پوشش برف در دسته زیاد با دبی رودخانه کارون همبستگی معنی‌دار مثبتی در سطح 0.05 با ضریب 0.43 مشاهده می‌گردد. به این معنی که افزایش وسعت پوشش برفی در کلاس زیاد می‌تواند افزایش دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه را در پی داشته باشد جدول (۳). بر همین مبنای مقایسه نوسانات مقادیر پوشش برف و دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه مشخص گردید که نوسانات بسیار شدیدی در داده‌ها وجود دارد. به طوری که در برخی سال‌ها، پوشش برف و دبی زیاد و در برخی سال‌های بسیار کم است؛ بنابراین با توجه به نوسانات نسبتاً منظم بین پوشش برفی کلاس زیاد و دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه همبستگی معنی‌دار ایجاد شده در این ماه تأیید می‌گردد نگاره (۲). در ماه فوریه و مارس نیز بین دبی رودخانه کارون با پوشش برف کلاس متراکم همبستگی قوی و معنی‌داری در سطح 0.05 مشاهده می‌گردد که نشان‌دهنده رابطه آماری قوی و قابل‌اطمینانی بین این متغیرها است؛ بنابراین افزایش پوشش برف در کلاس متراکم در حوضه آبریز رودخانه کارون در ماه‌های مذکور با افزایش دبی رودخانه کارون همراه می‌شود جدول (۳). با مقایسه هم‌زمان نوسانات پوشش برف در کلاس متراکم و دبی رودخانه کارون در ماه فوریه و مارس نیز مشخص گردید نوسانات پوشش برفی کلاس متراکم در اکثر موارد با نوسانات دبی رودخانه کارون هم‌زمان و هماهنگ است و این شرایط همبستگی بین این کلاس پوشش برفی با دبی رودخانه کارون در ماه‌های مذکور را تأیید می‌کند. نگاره‌های (۳) و (۴).

به‌طور کلی در اکثر موارد، در ماه‌های فصل زمستان همبستگی مثبت و مستقیمی بین پوشش برف و دبی رودخانه کارون با یک ماه تأخیر مشاهده می‌شود. این یعنی با افزایش پوشش برف در یک ماه و افزایش دبی رودخانه در ماه بعد است.

در ادامه، برای بررسی ارتباط کمی بین پوشش برف و دبی رودخانه کارون، از روش همبستگی پیرسون استفاده شد. این روش قدرت و جهت ارتباط بین دو متغیر کمی را تعیین می‌کند. بدین منظور، همبستگی بین پوشش برف در کلاس‌های مختلف (متوسط، زیاد، متراکم و پوشش کلی برف) با دبی رودخانه کارون به صورت زیر محاسبه و تحلیل شد.

همبستگی هم‌زمان: همبستگی بین پوشش برف در یک ماه خاص با دبی رودخانه در همان ماه محاسبه شد تا رابطه مستقیم و آنی بین این دو متغیر بررسی شود. همبستگی با تأخیر زمانی یک و دو ماهه: با توجه به اینکه تغییرات در پوشش برف معمولاً با تأخیر بر دبی رودخانه تأثیر می‌گذارند، همبستگی بین پوشش برف در یک یا دو ماه با دبی رودخانه در ماه بعد و ماه پس‌از آن (با تأخیر یک و دو ماهه) نیز محاسبه شد تا تأثیر زمانی این رابطه مشخص شود. همچنین، برای تجسم بهتر این روابط، داده‌های پوشش برف و دبی رودخانه در زمان‌هایی که همبستگی معنی‌داری بین آن‌ها وجود داشت (چه به صورت هم‌زمان و چه با تأخیر)، نرمال‌سازی شده و نمودارهای مقایسه‌ای برای آن‌ها ترسیم شد. این نمودارها به ما کمک می‌کنند تا تغییرات هم‌زمان دو متغیر را به صورت گرافیکی مشاهده و الگوهای پنهان در داده‌ها شناسایی شد.

نتایج و بحث

بررسی همبستگی هم‌زمان بین میزان پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف (متوسط، زیاد، متراکم و کلی) با دبی رودخانه کارون در ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) انجام شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در ماه

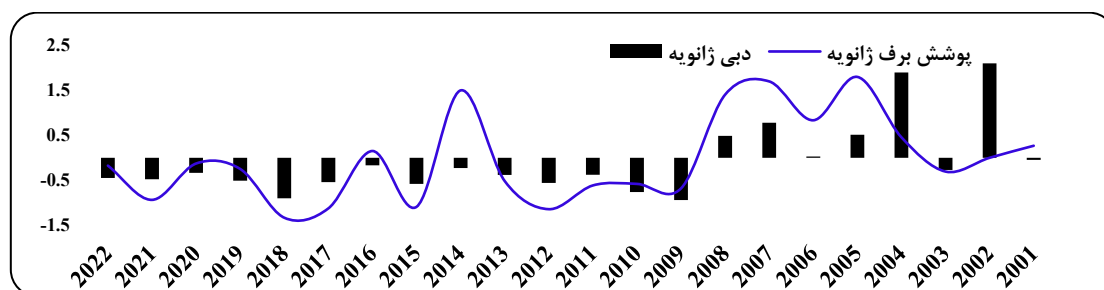
نشان داد که پوشش برف ماه ژانویه با تأخیر دوماهه تأثیر قابل توجهی بر دبی رودخانه ندارد و همبستگی‌ها ضعیف هستند؛ اما در ماه فوریه قوی‌ترین همبستگی بین پوشش برف کلاس متوسط و زیاد با دبی رودخانه کارون با همبستگی مثبت و بسیار قوی در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ ایجاد شده است. این شرایط در ماه مارس برای پوشش برف کلاس زیاد و متراکم به صورت همبستگی بسیار قوی تکرار شده است. به صورتی که همبستگی در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ به ترتیب با ضریب ۰/۵۰ و ۰/۷۰ مشخص است جدول (۵).

همچنین مقایسه نوسانات پوشش برف در کلاس‌های متوسط و زیاد در ماه فوریه و پوشش برف در کلاس زیاد و متراکم در ماه مارس با دبی رودخانه کارون با تأخیر دوماهه بررسی شد طبق نتایج به‌طور واضح نوسانات پوشش برف در کلاس‌های ذکر شده و دبی رودخانه کارون ارتباط نزدیک و هماهنگی دارند، با این حال، تأخیر دوماهه در تأثیرات بر دبی را باید در نظر گرفت به صورتی که تأخیر دوماهه در دبی نشان می‌دهد که تأثیرات پوشش برف بر دبی رودخانه به‌طور مستقیم نیست و نیاز به یک دوره زمان برای ذوب برف و اثرگذاری دارد. نگاره‌های (۸) و (۹).

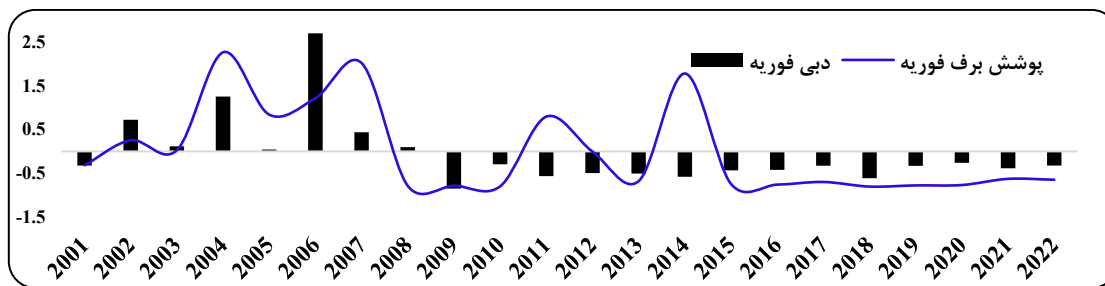
بدین صورت که در ماه ژانویه با یک ماه تأخیر همبستگی قوی بین پوشش برف کلاس متوسط و پوشش کلی برف در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با دبی رودخانه کارون مشاهده می‌گردد. در ماه فوریه و مارس نیز قوی‌ترین همبستگی مثبت در سطح معنی‌داری ۰/۰۱ بین پوشش برف متراکم و دبی به ترتیب با ضریب همبستگی ۰/۵۴ و ۰/۷۱ ایجاد شده است. این نشان می‌دهد که پوشش برف متراکم در ماه‌های قبل، تأثیر قابل توجهی بر افزایش دبی رودخانه کارون در ماه فوریه و مارس دارد. جدول (۴). همچنین با مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متوسط و پوشش کلی برف با دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه با تأخیر یک‌ماهه مشخص گردید هم پوشش برف و هم دبی رودخانه نوسانات شدیدی را دارد. همچنین به نظر می‌رسد تغییرات در نوسانات پوشش برف به‌ویژه در کلاس متوسط و پوشش کلی با تأخیر یک‌ماهه تأثیر بیشتری بر روی دبی رودخانه داشته است جدول (۴) و نگاره (۵). این شرایط برای ماه فوریه و مارس به صورت کلی نوسانات هماهنگی منظم‌تری با تأخیر یک‌ماهه را نشان می‌دهند؛ بنابراین با وجود پوشش برف کافی، نقش مهمی در تغذیه رودخانه کارون با تأخیر یک ماه در زمان کاهش یا افزایش دبی مشاهده می‌گردد. نگاره‌های (۶) و (۷). نتایج

جدول (۳) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه، فوریه و مارس

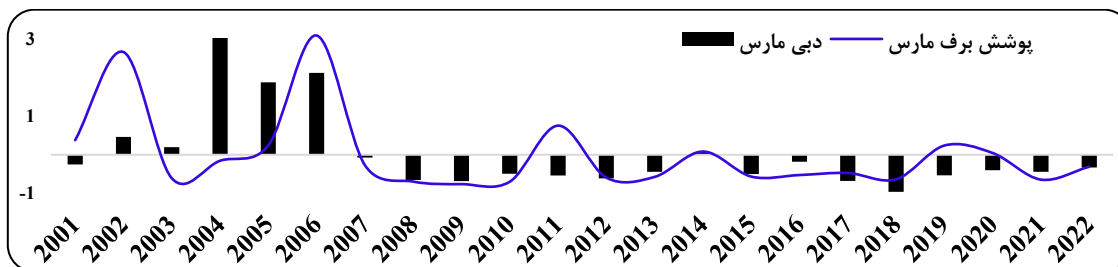
دبی ماه مارس	دبی ماه فوریه	دبی ماه ژانویه	Time series	دسته بندی پوشش برف
0.06	-0.13	0.06	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$	پوشش برف متوسط
0.07	0.20	0.43*	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$	پوشش برف زیاد
0.47*	0.50*	0.33	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$	پوشش برف متراکم
0.06	0.16	0.36	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	پوشش برف کلی



شکل ۲: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس زیاد و دبی رودخانه کارون در ماه ژانویه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



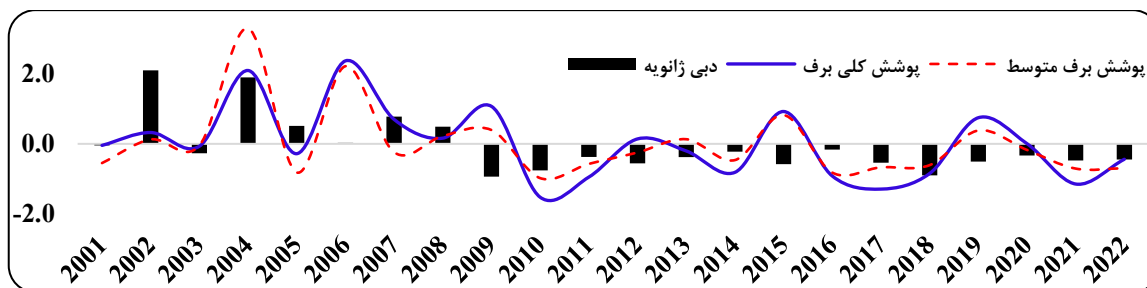
شکل ۳: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم و دبی رودخانه کارون در ماه فوریه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



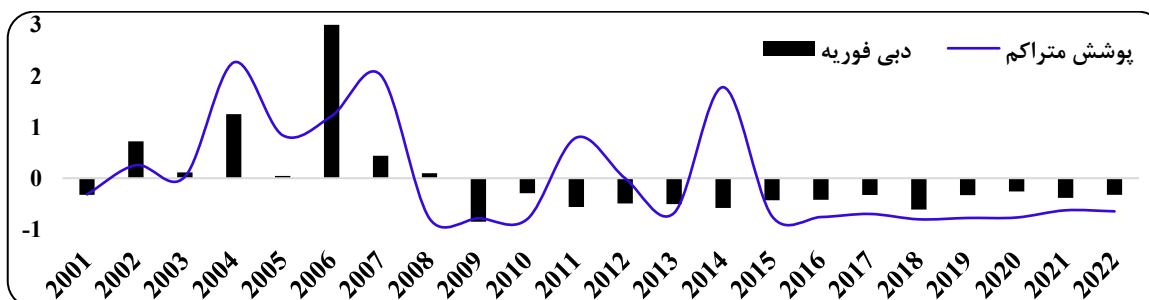
شکل ۴: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم و دبی رودخانه کارون در ماه مارس طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

جدول (۴) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رود کارون در ماه ژانویه، فوریه و مارس با یک ماه تأخیر

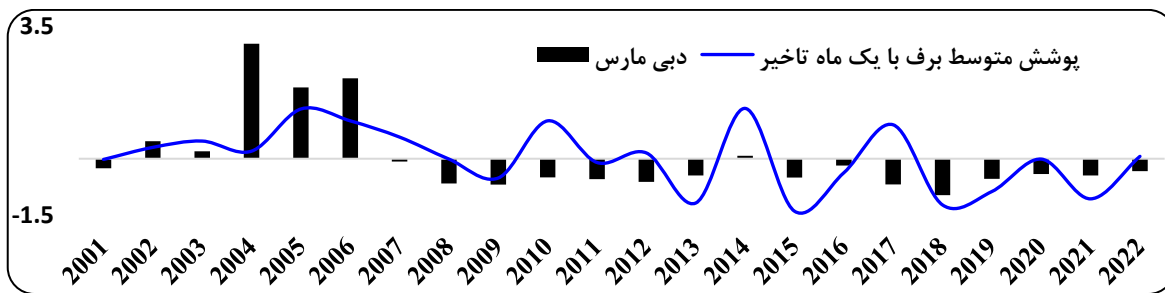
دبی ماه مارس	دبی ماه فوریه	دبی ماه ژانویه	Time series	دسته‌بندی پوشش برف
-.01	.12	.454*	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$	پوشش برف متوسط
.39	.36	-.02	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$	پوشش برف زیاد
.71**	.54**	-.11	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$	پوشش برف متراکم
.35	.34	.467*	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	پوشش برف کلی



شکل ۵: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس، متوسط و زیاد با دبی کارون در ماه ژانویه با تأخیر یک‌ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



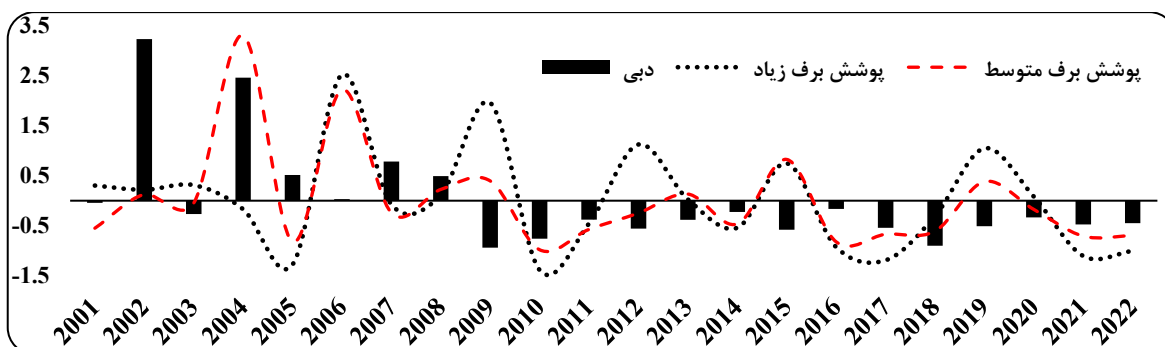
شکل ۶: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم با دبی رودخانه کارون در ماه فوریه با تأخیر یک‌ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



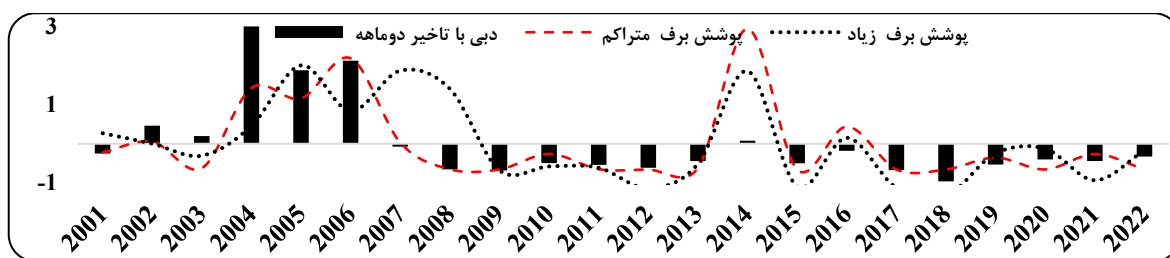
شکل ۷: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متوسط با دبی رودخانه کارون در ماه مارس با تأخیر یک‌ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

جدول (۵) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی ماه ژانویه، فوریه و مارس با دو ماه تأخیر

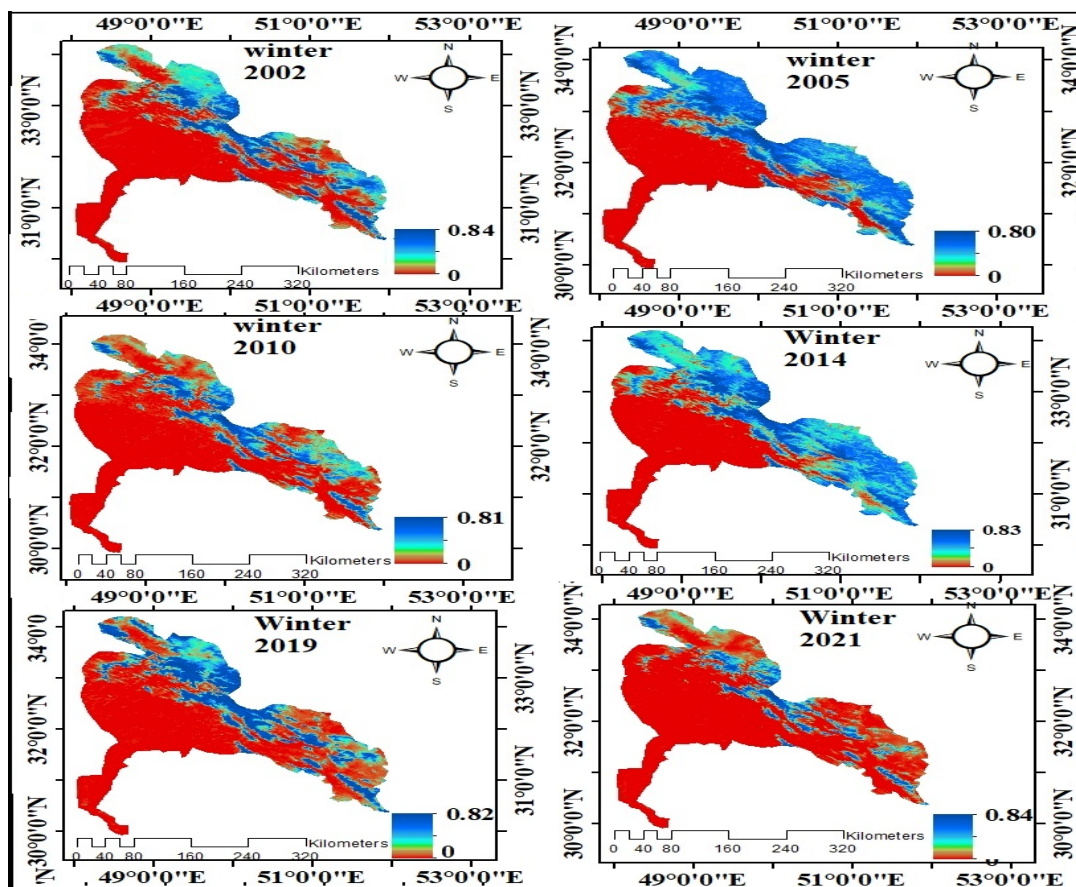
دبی ماه مارس	دبی ماه فوریه	دبی ماه ژانویه	Time series	دسته بندی پوشش برف
-0.08	.675**	-.11	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$	پوشش برف متوسط
.505*	.443*	-.16	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$	پوشش برف زیاد
.704**	-.16	-.07	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$	پوشش برف متراکم
.30	.29	-.25	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	پوشش برف کلی



شکل ۸: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متوسط و زیاد با دبی کارون در ماه فوریه با تأخیر دو‌ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



شکل ۹: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس زیاد و متراکم با دبی کارون در ماه مارس با تأخیر دو‌ماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



شکل (۱۰): توزیع مکانی پهنه‌های برفی و غیره برفی در حوضه آبریز کارون در زاگرس جنوبی طی فصل زمستان در چند سال منتخب

برف با دبی رودخانه کارون در ماه ژوئن مشخص گردید نوسانات پوشش کلی برف نسبت به نوسانات دبی به طور تقریبی هماهنگی دارد (نگاره (۱۱)). در ماه آوریل با تأخیر یک‌ماهه بین پوشش برف متراکم و دبی رودخانه کارون همبستگی قوی و مثبتی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ با ضریب ۰/۴۳ مشاهده می‌گردد؛ بنابراین با افزایش وسعت پوشش برفی دسته متراکم افزایش دبی رودخانه کارون با تأخیر یک ماهه در ماه آوریل ایجاد می‌گردد (جدول (۷))؛ بنابراین با مقایسه نوسانات پوشش برف متراکم با دبی رودخانه کارون در ماه آوریل با تأخیر یک‌ماهه مشخص گردید بین پوشش برف و دبی رودخانه کارون ارتباط وجود دارد. افزایش پوشش برف متراکم به‌طورکلی منجر به افزایش دبی رودخانه می‌شود این بدان معناست که تغییرات در پوشش برف در ماه مارس، تأثیر خود را بر روی دبی رودخانه در ماه آوریل نشان می‌دهد. (نگاره (۱۲)). در ماه ژوئن نیز با تأخیر یک‌ماهه همبستگی قابل‌توجهی بین پوشش برفی در دسته‌های متوسط و پوشش کلی برف بدون معنی‌داری مشخص با

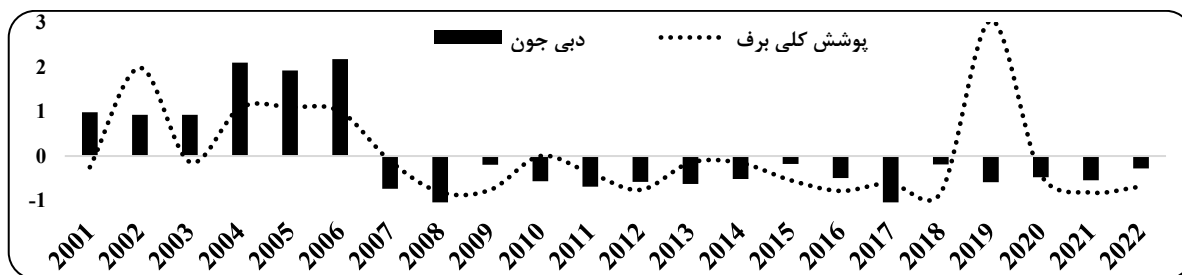
در ماه آوریل و می همبستگی معنی‌داری بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه کارون مشاهده نشد اما همبستگی قابل‌توجهی بین پوشش برف متوسط و پوشش کلی برف با ضریب ۰/۳۸، ۰/۳۰ و ۰/۳۳ مشاهده گردید. بنابراین در ماه می، افزایش وسعت پوشش برف در کلاس متوسط و پوشش کلی برف ممکن است با افزایش دبی رودخانه کارون همراه باشد، هرچند این همبستگی معنی‌دار نباشد، اما قابل‌توجه است. در ماه ژوئن بین وسعت پوشش برفی و دبی رودخانه همبستگی مثبتی وجود دارد به صورتی که بین پوشش کلی برف با دبی رودخانه کارون همبستگی معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با ضریب ۰/۴۸ مشاهده شد این شرایط در رابطه با پوشش برف متوسط به‌صورت همبستگی مثبت قابل‌توجه با ضریب ۰/۴۱ مشخص است. این یافته‌ها نشان می‌دهد در ماه ژوئن، ذوب شدن برف‌ها می‌تواند یکی از عوامل اصلی تأمین آب رودخانه کارون باشد. به‌ویژه، اگر وسعت پوشش برف کلاس متوسط افزایشی گردد. (جدول (۶)). با مقایسه نوسانات پوشش کلی

افزایش دبی رودخانه کارون در ماه می می‌شود. بنابراین با مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم با دبی رودخانه کارون در ماه می با تأخیر دوماهه مشخص گردید هماهنگی بین نوسانات دبی رودخانه و پوشش برفی دسته متراکم وجود دارد و افزایش پوشش برف متراکم در دو ماه قبل افزایش دبی رودخانه کارون را در ماه می در پی دارد. نگاره (۱۲). همچنین بین پوشش برف دسته متوسط و زیاد با دبی رودخانه کارون با دو ماه تأخیر همبستگی قابل توجهی با ضریب ۰/۳۷ و ۰/۳۵ بدون معنی‌داری مشخص مشاهده می‌گردد. جدول (۸).

ضریب ۰/۳۸، ۰/۳۳ و ۰/۳۴ مشاهده می‌گردد. بنابراین یک رابطه نسبی مثبت در رابطه با پوشش برف و دبی رودخانه کارون در ماه ژوئن وجود دارد و این رابطه به اندازه‌ای قوی نیست که بتوان آن را با اطمینان آماری تأیید کرد. جدول (۷). همچنین با دو ماه تأخیر بین پوشش برف دسته متراکم و دبی رودخانه کارون در ماه می همبستگی معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ با ضریب ۰/۴۶ مشاهده می‌گردد. بنابراین بین میزان پوشش برف متراکم در حوضه آبریز کارون و دبی این رودخانه در ماه می، رابطه مستقیمی وجود دارد. به عبارت دیگر، افزایش پوشش برف متراکم در ماه‌های قبل، منجر به

جدول (۶) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه کارون در ماه آوریل، می و ژوئن

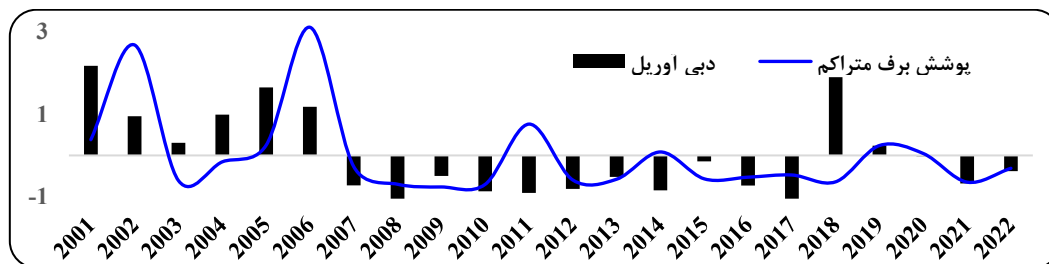
دسته بندی پوشش برف	Time series	آوریل	می	ژوئن
پوشش برف متوسط	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$	.18	.30	.41
پوشش برف زیاد	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$	.25	.24	.01
پوشش برف متراکم	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$	.19	-.06	
پوشش برف کلی	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	.16	.33	.48*



شکل ۱۱: مقایسه نوسانات پوشش کلی برف با دبی رودخانه کارون در ماه ژوئن طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

جدول (۷) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه در ماه آوریل، می و ژوئن با یک ماه تأخیر

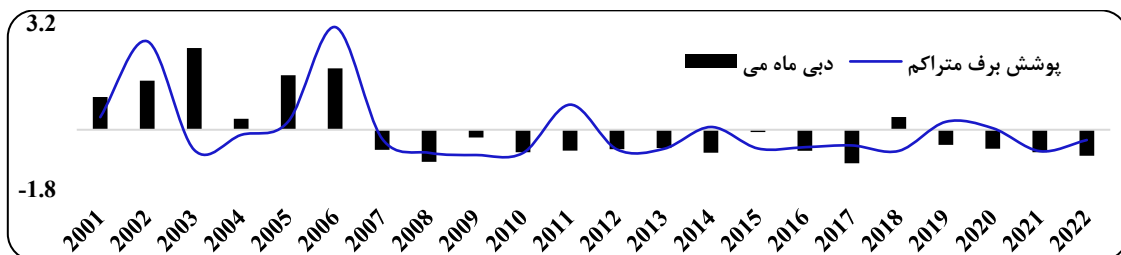
دسته بندی پوشش برف	Time series	آوریل	می	ژوئن
پوشش برف متوسط	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$	.008	.36	.33
پوشش برف زیاد	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$	.08	.33	.27
پوشش برف متراکم	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$	.43*	.13	-.10
پوشش برف کلی	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	.06	.27	.34



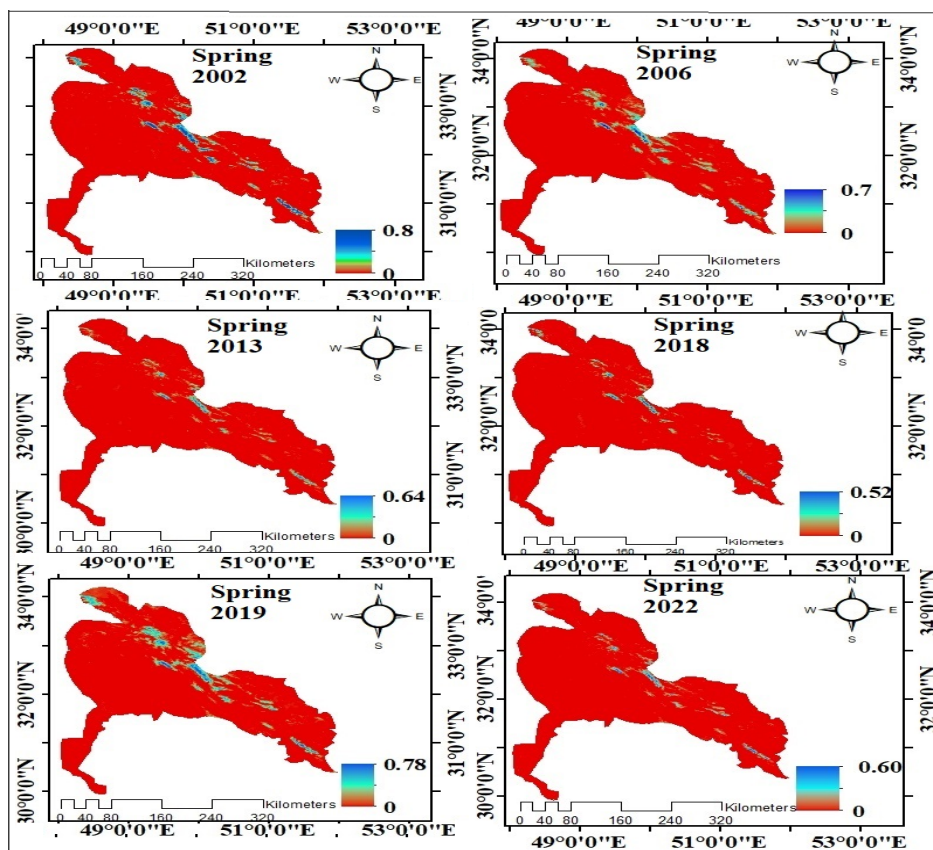
نگاره ۱۲: مقایسه نوسانات پوشش کلی برف با دبی کارون در ماه آوریل با تأخیر یک‌ماهه طی سری زمانی

جدول (۸) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی کارون در ماه آوریل، می و ژوئن با دو ماه تأخیر

دسته بندی پوشش برف	Time series	آوریل	می	ژوئن
پوشش برف متوسط	$NDSI > 0.4 < 0.6$	-0.20	-0.02	0.35
پوشش برف زیاد	$NDSI > 0.6 < 0.8$	0.09	0.09	0.37
پوشش برف متراکم	$NDSI > 0.8 < 1$	0.17	0.46*	0.09
پوشش برف کلی	$NDSI > 0.4 < 1$	-0.04	0.05	0.28



شکل ۱۳: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم با دبی رودخانه کارون در ماه می با تأخیر دوماهه طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



شکل ۱۴: توزیع مکانی پهنه های برفی و غیره برفی در حوضه آبریز کارون در زاگرس جنوبی در فصول بهار در چند سال منتخب

ماه اکتبر نشان داد هیچ‌گونه رابطه معنی‌دار و قابل‌توجهی به‌صورت هم‌زمان در این ماه مشاهده نشده است. اما در ماه نوامبر بین پوشش برف کلاس متوسط و دبی رودخانه در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ همبستگی مثبت و قوی با ضریب

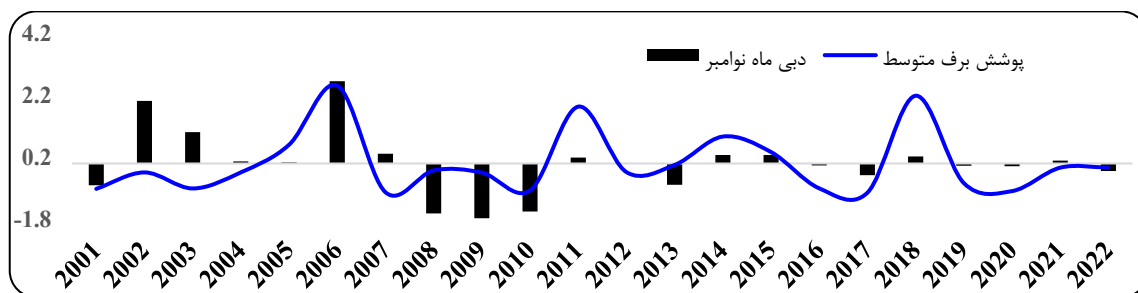
تغییرات در میزان وسعت پوشش برفی در ماه‌های پاییز، می‌تواند اثرات قابل‌توجهی بر دبی رودخانه کارون، به‌ویژه در ماه‌های خشک‌سال، داشته باشد. بررسی ارتباط بین وسعت پوشش برف حوضه آبریز کارون و دبی رودخانه کارون در

با پوشش برف متراکم با همبستگی بسیار قوی در سطح $0/01$ با ضریب $0/71$ نیز صدق می‌کند جدول (۹). بنابراین با ترسیم نمودار مقایسه‌ای به‌وضوح می‌توان انطباق هم‌زمان نوسانات صعودی و نزولی پوشش برف و دبی رودخانه کارون و همبستگی این دو متغیر را تأیید کرد. نگاره (۱۶). در رابطه همبستگی با تأخیر یک و دو ماهه بین پوشش برف ماه‌های مورد مطالعه در فصل پاییز هیچ‌گونه رابطه معنی‌دار و مشخصی مشاهده نگردیده است و در اکثر موارد همبستگی به‌صورت ضعیف است. جدول (۱۰) و (۱۱).

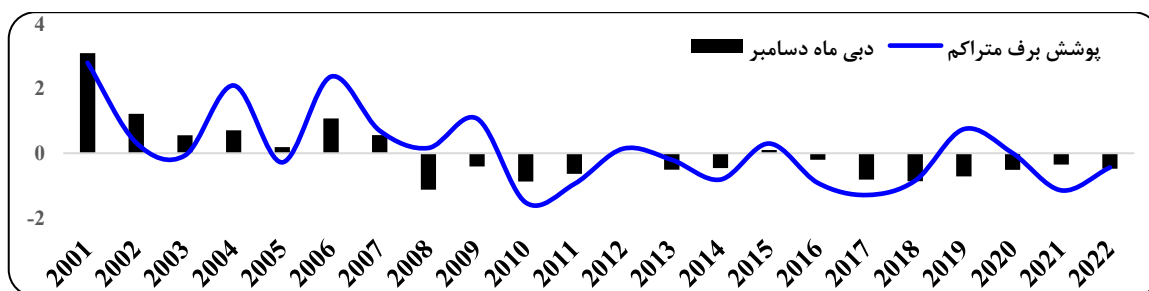
۰/۴۴ مشاهده می‌گردد. جدول (۹). این بدین معنی است که تغییر در پوشش برف کلاس متوسط به‌طور قابل توجهی بر تغییرات دبی رودخانه تأثیر می‌گذارد و احتمال اینکه این همبستگی به‌طور تصادفی باشد، بسیار کم است و می‌توان با اطمینان بیشتری به وجود این رابطه را تأیید کرد بنابراین با مقایسه نوسانات وسعت پوشش برفی متوسط با نوسانات دبی رودخانه کارون در ماه نوامبر هم‌زمانی نوسانات دبی با پوشش کلاس برف متوسط و ارتباط نزدیک بین دو تغییر را نشان می‌دهد نگاره (۱۵). این شرایط برای ماه دسامبر نیز در رابطه

جدول (۹) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه کارون در ماه اکتبر، نوامبر، دسامبر

دسته بندی پوشش برف	Time series	اکتبر	نوامبر	دسامبر
پوشش برف متوسط	$NDSI=>0.4<0.6$	.26	.44*	.24
پوشش برف زیاد	$NDSI=>0.6<0.8$		-.01	.28
پوشش برف متراکم	$NDSI=>0.8<1$		.03	.71**
پوشش برف کلی	$NDSI=>0.4<1$	.27	.15	.23



شکل ۱۵: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متوسط با دبی رودخانه کارون در ماه نوامبر طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



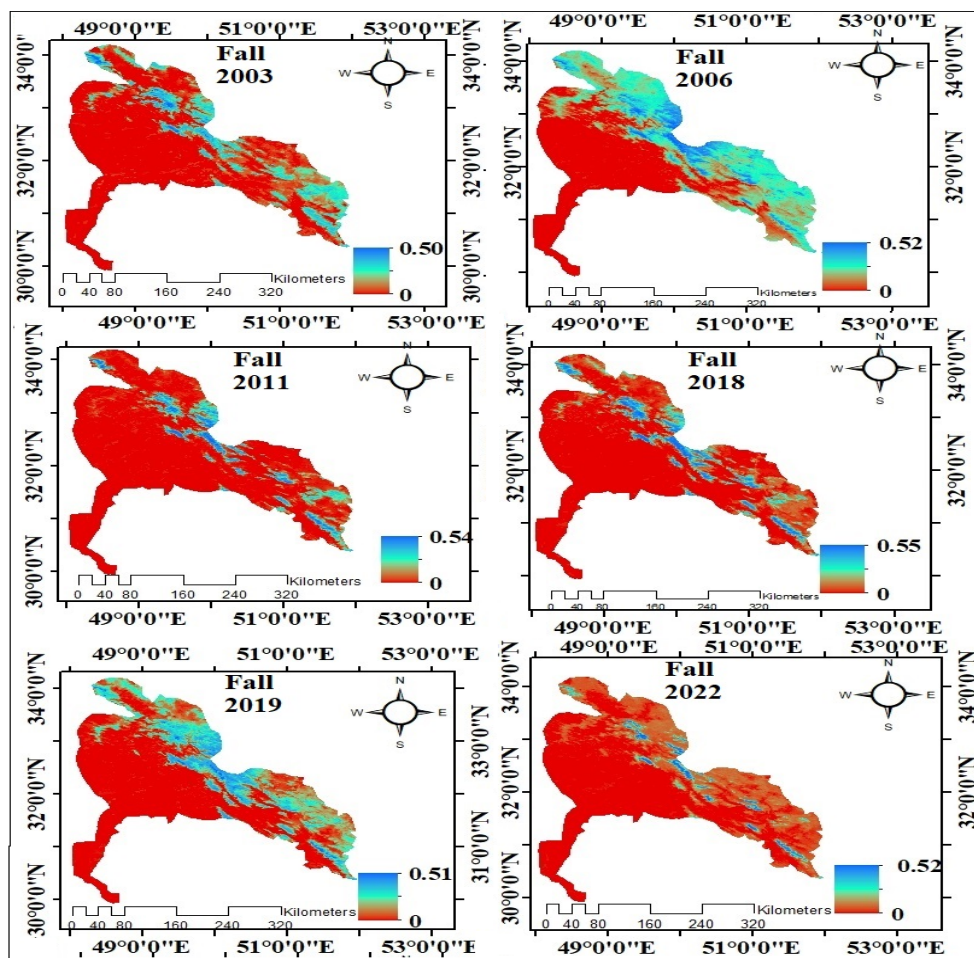
شکل ۱۶: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم با دبی رودخانه کارون در ماه دسامبر طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

جدول (۱۰) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی ماه اکتبر، نوامبر، دسامبر با تأخیر یک‌ماهه

دسته بندی پوشش برف	Time series	اکتبر	نوامبر	دسامبر
پوشش برف متوسط	$NDSI=>0.4<0.6$		.10	-.09
پوشش برف زیاد	$NDSI=>0.6<0.8$			-.32
پوشش برف متراکم	$NDSI=>0.8<1$			-.12
پوشش برف کلی	$NDSI=>0.4<1$	.21	.14	0.01

جدول (۱۱) همبستگی بین پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی ماه اکتبر، نوامبر، دسامبر با تأخیر دو ماهه

دسته بندی پوشش برف	Time series	اکتبر	نوامبر	دسامبر
پوشش برف متوسط	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 0.6$			-.15
پوشش برف زیاد	$NDSI \Rightarrow 0.6 < 0.8$			
پوشش برف متراکم	$NDSI \Rightarrow 0.8 < 1$			
پوشش برف کلی	$NDSI \Rightarrow 0.4 < 1$	.34	.07	-.15



شکل ۱۷: توزیع مکانی پهنه‌های برفی و غیره برفی در حوضه آبریز کارون در زاگرس جنوبی طی فصل پاییز در چند سال منتخب

متراکم و دبی رودخانه کارون در فصل زمستان همبستگی معنی‌داری در سطح $0/01$ با ضریب همبستگی $0/57$ مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر با افزایش میزان پوشش برف در کلاس زیاد، متراکم و پوشش کلی برف دبی رودخانه کارون در فصل زمستان نیز به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد جدول (۱۲). با مقایسه بین پوشش برف (کلاس متراکم، زیاد و کلی) حوضه آبریز کارون و دبی رودخانه کارون در فصل زمستان مشخص می‌گردد تمام متغیرها نوسانات شدیدی را در طول دوره زمانی دارند. این نوسانات می‌توانند تحت تأثیر دما،

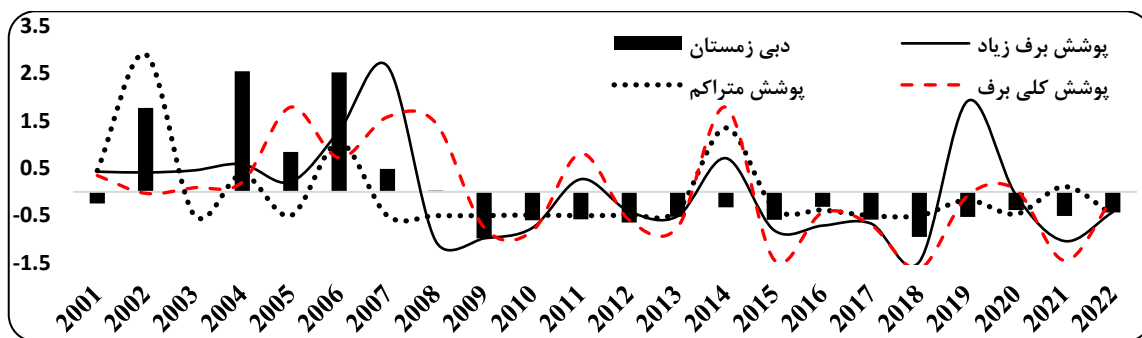
همبستگی بین میزان پوشش برف در حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف و دبی رودخانه کارون به صورت فصلی و سالانه نیز انجام شد طبق نتایج به دست آمده همبستگی بین پوشش برف و دبی رودخانه در فصول مختلف متفاوت است. به طوری که میزان همبستگی در فصول زمستان و بهار قوی‌تر از پاییز و تابستان است. این امر نشان می‌دهد که تأثیر پوشش برف بر دبی رودخانه در فصول مختلف متفاوت است. در فصل زمستان بین پوشش برف زیاد و پوشش کلی برف همبستگی معنی‌داری در سطح $0/05$ و بین پوشش برف

است. همچنین در فصل بهار در تمام کلاس‌های پوشش برفی با دبی رودخانه کارون همبستگی قابل توجهی با ضریب همبستگی بالاتر از ۰/۳۰ بدون رابطه معنی‌دار مشاهده می‌گردد جدول (۱۲). در سایر فصول سال میزان همبستگی پوشش برف و دبی رودخانه کارون ضعیف است.

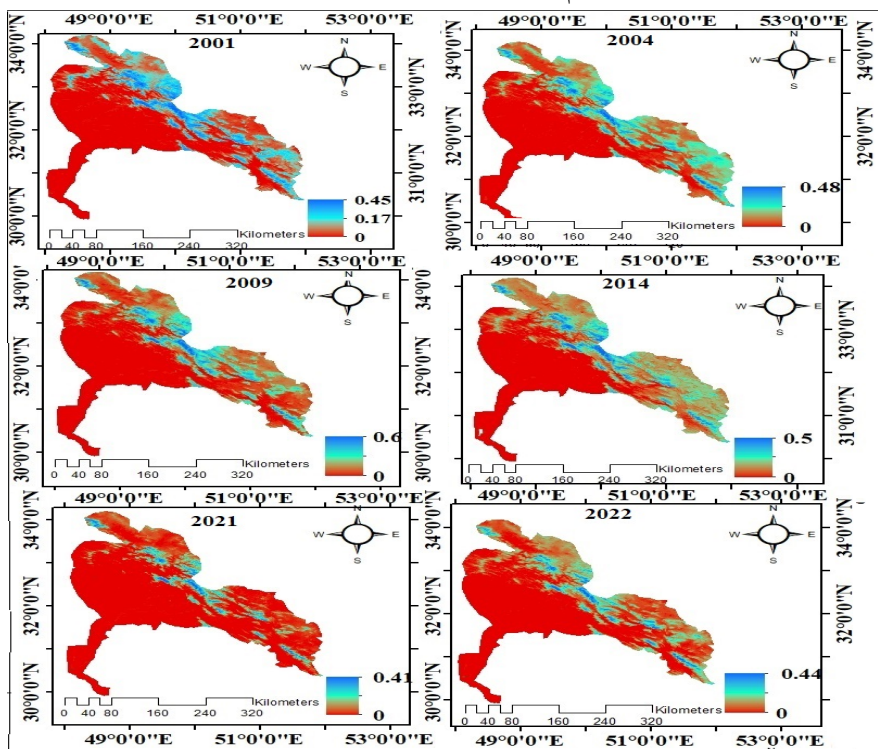
بارش و شرایط جوی قرار گیرند و نمایانگر تغییرات زمستانی باشند. به‌طورکلی دبی رودخانه کارون نوساناتی را نشان می‌دهد که با پوشش برف در کلاس‌های ذکرشده هم‌زمانی و همگامی تأیید شده‌ای دارد نگاره (۲۰). این همبستگی قوی نشان می‌دهد که پوشش برف حوضه آبریز کارون در زاگرس یکی از عوامل مهم در تغذیه رودخانه کارون در فصل زمستان

جدول (۱۲) همبستگی فصلی و سالانه پوشش برف حوضه آبریز کارون در کلاس‌های مختلف با دبی رودخانه کارون

سال	پاییز	تابستان	بهار	زمستان	Time series
-۰.۱۷	-۰.۰۴		.۳۲	.۳۰	NDSI=>0.4< 0.6
-۰.۱۴			.۳۵	.۴۸*	NDSI=>0.6< 0.8
				.۵۷**	NDSI=>0.8< 1
.۱۸	.۲۱	.۱۷	.۳۲	.۴۳*	NDSI=>0.4< 1



شکل ۱۸: مقایسه نوسانات پوشش برف کلاس متراکم، زیاد و پوشش کلی با دبی کارون در فصل زمستان طی سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲



شکل ۱۹: توزیع مکانی سالانه پهنه‌های برفی و غیره برفی در حوضه آبریز کارون در زاگرس جنوبی در چند سال منتخب

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که بین پوشش برف زاگرس در دسته‌های مختلف (متوسط، زیاد، متراکم و پوشش کلی برف) و دبی رودخانه کارون، همبستگی هم‌زمان و با تأخیر وجود دارد. به‌خصوص در ماه‌های فصل زمستان که با افزایش وسعت پوشش برفی در کلاس‌های زیاد و متراکم، دبی رودخانه کارون نیز در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس افزایش می‌گردد. همچنین با توجه به نوسانات شدید در داده‌ها، مشخص گردید که پوشش برف در کلاس‌های مختلف تأثیر قابل‌توجهی بر دبی رودخانه دارد، به‌طوری‌که افزایش پوشش برف در یک ماه، افزایش دبی در ماه بعد را به همراه دارد. به‌ویژه، تأثیرات پوشش برف در کلاس‌های متوسط و زیاد به‌طور واضح بر دبی رودخانه در ماه‌های بعد نیز نمایان می‌شود. در فصل بهار در ماه‌های آوریل و می، هرچند همبستگی معناداری مشاهده نگردید، اما همبستگی‌های قابل‌توجهی بین پوشش برف کلاس متوسط و پوشش کلی برف با دبی وجود دارد. به‌ویژه در ماه ژوئن، همبستگی مثبت و معناداری بین پوشش برف و دبی رودخانه کارون مشاهده می‌گردد. در ماه آوریل، با تأخیر یک‌ماهه همبستگی مثبت و معنی‌داری بین پوشش برف متراکم و دبی رودخانه مشهود است، به این معنی که افزایش پوشش برف در ماه مارس باعث افزایش دبی در آوریل می‌شود. همچنین، در ماه می، همبستگی بین پوشش برف متراکم و دبی با تأخیر دو‌ماهه قابل‌توجه است. این یافته‌ها مؤید این است که افزایش پوشش برف در کلاس‌های متراکم و متوسط در ماه‌های قبل می‌تواند به تأمین آب رودخانه کارون در ماه‌های بعد منجر شود، هرچند که این روابط به‌قدری قوی نیستند که به‌طور قطعی تأیید شوند؛ اما به‌طورکلی، تغییرات در پوشش برف در ماه‌های پیشین فصل بهار، اثرات قابل‌توجهی بر دبی رودخانه کارون در ماه‌های بعد دارند و تأخیر زمانی در این تأثیرات باید در نظر گرفته شود. نتایج یک مطالعه بر روی ۳۰۴۹ حوضه تحت تأثیر پوشش برف طی سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۲۰ در نیم‌کره نشان داد تغییرات زمانی در رابطه با دبی رودخانه با افزایش وسعت پوشش برف، دبی زودتر از موعد افزایشی و با کاهش وسعت پوشش برف دبی به‌صورت کند تر و کاهشی است. (Han et al, 2024). همچنین تغییرات در

وسعت پوشش برفی در ماه‌های پاییز تأثیر قابل‌توجهی بر دبی رودخانه کارون دارد، به‌ویژه در ماه‌های خشک از جمله در ماه اکتبر، هیچ رابطه معنی‌داری بین پوشش برف و دبی رودخانه مشاهده نشد. اما در نوامبر، همبستگی مثبت و قوی (با ضریب ۰/۴۴) بین پوشش برف متوسط و دبی رودخانه در سطح ۰/۰۵ وجود دارد، که نشان‌دهنده تأثیر قابل‌توجه پوشش برف بر دبی رودخانه کارون است. در ماه دسامبر نیز همبستگی بسیار قوی بین پوشش برف متراکم و دبی رودخانه با ضریب ۰/۷۱ مشاهده شد. این نتایج حاکی از انطباق هم‌زمان نوسانات پوشش برف و دبی رودخانه است. باین‌حال، در مورد همبستگی‌های با تأخیر یک و دو‌ماهه در ماه‌های پاییز، هیچ رابطه معناداری مشاهده نشده و همبستگی‌ها به‌طورکلی ضعیف هستند. در نتیجه، می‌توان گفت که تغییرات در پوشش برف به‌ویژه در ماه‌های نوامبر و دسامبر تأثیر قابل‌توجهی بر دبی رودخانه کارون دارند. نتایج مطالعه واکنش رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه بالادست رود سند نیز نشان داد بین میزان ذوب پوشش برفی و دبی رودخانه سند همبستگی وجود دارد و همچنین میزان، فصلی بودن و وقوع پدیده‌های حدی هیدرولوژیکی جریان رودخانه سند، ظرفیت تولید برق‌آبی آینده را تحت تأثیر قرار دهد (Bilal et al. 2024). به‌طورکلی پوشش برف حوضه آبریز کارون در زاگرس به‌عنوان عوامل مهم تغذیه رودخانه کارون، به‌ویژه در فصول سرد سال (زمستان و بهار) نقش قابل‌توجهی دارد و افزایش پوشش برف در این حوضه منجر به افزایش دبی رودخانه کارون می‌گردد. بنابراین پوشش برف می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در پیش‌بینی دبی رودخانه کارون به‌صورت هم‌زمان و باتأخیر، به‌ویژه در فصل زمستان و اوایل بهار مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- 1- Abdi Dehkordi, M., Bozorg Haddad, A., & Saloei, T. 2021. Investigation of the Karun Basin Landscape under the Conditions of Exploitation of Under Study or Implemented Development Projects Based on the System Dynamics Approach. Iranian Journal of Water and Soil Research, 51(2), 489-501.
- 2- Amini Rakan, A., Khalili, K., Rezaie, H., & Fathollahzadeh Attar, N. 2022. Simulating Snow Cover Extent by Combined Principal Component Analysis and Artificial Intelligence Approaches

- 14- Mohammadi, P., Ibrahim, K., & Bazrafshan, J. 2022. The Impact of Temperature Increase on Snowmelt and River Runoff in Warm Months and Analysis of Climatic Variables in Tamar Basin, Iran. *Iranian Journal of Water and Soil Research*, 53(7), 1624-1611.
- 15- Park, H., Kim, Y., Suzuki, K., & Hiyama, T. 2024. Influence of snowmelt on increasing Arctic River discharge: numerical evaluation. *Progress in Earth and Planetary Science*, 11(1), 13.
- 16- Rhoujjati, N., Brahim, Y. A., Hanich, L., Rhoujjati, A., Rafik, A., Ouati, H., & Bouchaou, L. 2023. Snowpack and groundwater recharge in the Atlas Mountains: New evidence and key drivers. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49, 101520.
- 17- Shams, M., Masbahi, M., Fattahi, A., Sadegh, B. 2014. Evaluation of the accuracy of the NDSI index derived from MODIS images in areas with moderate slope. *Remote Sensing and GIS Journal of Iran*, 6 (1).
- 18- Thapa, S., Zhang, F., Zhang, H., Zeng, C., Wang, L., Xu, C. Y., & Nepal, S. 2021. Assessing the snow cover dynamics and its relationship with different hydro-climatic characteristics in Upper Ganges River basin and its sub-basins. *Science of the Total Environment*, 793, 148648
- 19- Vydra, C., Dietz, A. J., Roessler, S., & Conrad, C. 2024. The Influence of Snow Cover Variability on the Runoff in Syr Darya Headwater Catchments between 2000 and 2022 Based on the Analysis of Remote Sensing Time Series. *Water*, 16(13), 1902.
- 20- Wendleder, A., Dietz, A. J., & Schork, K. 2018. Mapping snow cover extent using optical and SAR data. In *IGARSS 2018-2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 5104-5107). IEEE.
- 21- Wu, Y., & Xu, Y. 2005. Snow impact on groundwater recharge in Table Mountain Group aquifer systems with a case study of the Kommissiekraal River catchment South Africa. *Water SA*, 31(3), 275-28
- 22- Yan, W., Wang, Y., Ma, X., Liu, M., Yan, J., Tan, Y., & Liu, S. 2023. Snow Cover and Climate Change and Their Coupling Effects on Runoff in the Keriya River Basin during 2001–2020. *Remote Sensing*, 15(13), 3435.
- 23- Yang, Z. L., & Bai, P. 2024. Response of runoff and its components to climate change in the Manas River of the Tian Shan Mountains. *Advances in Climate Change Research*, 15(1), 62-74.
- 24- Zeydilinejad, N., Pour-Beyranvand, A., Nassery, H. R., & Ghazi, B. 2024. Evaluating climate change impacts on snow cover and karst spring discharge in a data-scarce region: a case study of Iran. *Acta Geophysica*, 1-24.
- Using Climatic Parameters. *Water Harvesting Research*, 5(2), 241-256.
- 3- Azmat, M., Liaqat, U. W., Qamar, M. U., & Awan, U. K. 2017. Impacts of changing climate and snow cover on the flow regime of Jhelum River, Western Himalayas. *Regional environmental change*, 17, 813-825.
- 4- Bashir, F., & Ghulam, R. 2010. Estimation of average snow cover over Northern Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 7(13), 63-69.
- 5- Banerjee, A., Kang, S., Moazzam, M. F. U., & Meadows, M. E. (2024). Climate dynamics and the effect of topography on snow cover variation in the Indus-Ganges-Brahmaputra River basins. *Atmospheric Research*, 309, 107571.
- 6- Bilal, H., Siwar, C., Mokhtar, M. B., Lahlou, F. Z., Kanniah, K. D., & Al-Ansari, T. (2024). Snow runoff modelling in the upper Indus River Basin and its implication to energy water food nexus. *Ecological Modelling*, 498, 110871.
- 7- Ebadi, H., Eftekhari, A., Akram, M., Mohammadkhanloo, A., Hakim Elah, Z., & Fakhrabadi, M. 2021. Introduction of a new spectral index for extraction of snow-covered areas using optical remote sensing images. *Scientific-Research Journal of Geographical Information "Sefid-Eghlim"*, 30(117), 79-94
- 8- Fatahi, A., & Vazifehdoust, M. 2011. Estimation of Snow Surface Temperature and Snow Cover Extent Using MODIS Imagery (Case Study: Basins of Golestan Province). *Geographical Research Quarterly*, 26(3), 10.
- 9- Hall, D. K., & McCabe, M. F. 2017. Satellite remote sensing for snow applications. *Remote Sensing of Environment*, 190, 117-124. DOI: 10.1016/j.rse.2016.12.018.
- 10- Han, J., Liu, Z., Woods, R., McVicar, T. R., Yang, D., Wang, T., & Yang, Y. 2024. Streamflow seasonality in a snow-dwindling world. *Nature*, 629(8014), 1075-1081.
- 11- Hiyama, T., Park, H., Kobayashi, K., Lebedeva, L., & Gustafsson, D. 2023. Contribution of summer net precipitation to winter river discharge in permafrost zone of the Lena River basin. *Journal of Hydrology*, 616, 128797.
- 12- Kinnard, C., Bzeouich, G., & Assani, A. 2022. Impacts of summer and winter conditions on Summer River low flows in low elevation, snow-affected catchments. *Journal of Hydrology*, 605, 127393.
- 13- Mirmosavi, H., & Sabour, L. (2014). Monitoring Snow Cover Changes Using MODIS Imagery in Northwestern Iran. *Geography and Development*, 12(35), 181-199.