

بررسی تغییرات زمانی - فضایی آلبیدوی سطح بر روی دشت سیستان در شرق ایران با استفاده از تولیدات

سنجش از دور سنجنده MODIS ماهواره Terra

فاطمه فیروزی^۱، تقی طاوسی^۲، پیمان محمودی^{۳*}، مهدی امیرجهانشاهی^۴

۱. دانشجوی دکتری مخاطرات آب و هوایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۲. استاد گروه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۳. استادیار گروه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه سیستان و بلوچستان
۴. استادیار گروه آمار، دانشکده ریاضی و آمار، دانشگاه سیستان و بلوچستان

*نویسنده عهده دار مکاتبات: زاهدان، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، پست الکترونیکی: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir، شماره تماس: ۰۹۱۳۳۳۰۳۴۶/

چکیده

بیان انرژی تابشی دریافتی و برگشتی از کره زمین بیانگر انرژی قابل دسترس در هر بخش از سامانه زمین-جو می‌باشد. همچنین تابش خالص خورشیدی بنیادی‌ترین نیروی محرکه برای تبخیر و تعرق و تمامی کنش و واکنش‌های میان رویه زمین و اتمسفر می‌باشد. این برهم‌کنش‌ها به‌گونه‌ای معنی‌دار بر اقلیم و دگرگونی آن سایه می‌افکنند. از این رو، برآورد ریزبینانه انرژی خالص در مقیاس گسترده از نظر مدل‌های اقلیمی جهانی و منطقه‌ای حائز اهمیت است. در این پژوهش جهت مطالعه روند تغییرات بلندمدت میانگین ماهانه البیدو سطحی دشت سیستان از تولیدات البیدوی سنجنده تابش سنج تصویربردار طیفی با وضوح متوسط ماهواره ترا بانام (MCD43B3) استفاده شد. تصاویر اخذشده، برای یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۴) برای سه ماه آوریل، می و ژوئن با قدرت تفکیک فضایی یک در یک کیلومتر بوده است. بعد از اخذ تصاویر از مرکز آرشیو فعال توزیع فرایندهای سطح زمین ناسا، تمامی ۴۵ تصویر دانه‌لود شده برای منطقه مورد مطالعه دشت سیستان به فرمت ASCII تبدیل شد، که هر ASCII ۳۰۰۸۰ پیکسل را شامل می‌شود. در نهایت با استفاده از دو روش آماری برآورد کننده شیب سن (Sen) و رگرسیون خطی کلاسیک روند تغییرات بلندمدت میانگین ماهانه البیدو در سطح معناداری پنج درصد، در یک مقیاس پیکسل-مبنا مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از این دو مدل نشان دادند که این دو مدل در برآورد روند تغییرات میانگین البیدو دقیقاً مانند همدیگر عمل نموده‌اند و تفاوتی با یکدیگر نداشته‌اند. همچنین نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که کانون بیشترین روند کاهشی شیب تغییرات البیدو در شمال شرق می‌باشد که در این قسمت از دشت به دلیل جاری بودن رودخانه هیرمند، کشاورزی به‌صورت گسترده‌ای در آن رواج دارد. مقادیر افزایشی شیب روند تغییرات نیز به‌صورت بسیار محدود و لکه‌هایی کوچک و گاهاً بزرگ در شمال، جنوب شرق و مرکز دشت قابل مشاهده است. این روند افزایشی در مقادیر شاخص البیدو نیز در شمال دشت دقیقاً منطبق بر خشک شدن دریاچه‌های سه گانه هامون بوده است. بقیه مساحت دشت نیز که دارای

چشم‌اندازی بیابانی می‌باشد و فاقد هرگونه پوشش گیاهی و همچنین جمعیت انسانی می‌باشد روند خاصی را از خود نشان نداده است. در این مطالعه همچنین به‌روشنی مشخص شد که استفاده از روش غیرپارامتریک برآورد کننده شیب سنس و پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک در مطالعات روند تغییرات البیدو مناطق خشک منتج از تولیدات ماهواره‌ای سنجنده مودیس می‌تواند بسیار کارآمد باشد.

کلمات کلیدی: البیدو، دشت سیستان، روند، مودیس

Analyzing Temporal and Spatial Variations of Surface Albedo over Sistan Plain in Eastern Iran using Satellite Remote Sensing Product of MODIS Sensor of Terra Satellite

Fateme Firozi^۱, Taghi Tavosi^۲, Peyman Mahmoudi^{۳*}, Seyed Mahdi Amir Jahanshahi^۴

۱. PHD Student Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

۲. Professor Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

۳. Assistant Professor, Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

۴. Assistant Professor Department of Statistics, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

*Correspondence Address: Department of Physical Geography, Geography and Regional Planning Faculty, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran, Email: p_mahmoudi@gep.usb.ac.ir, Tell: ۰۹۱۸۲۸۰۳۴۶۲

Abstract

The radiative energy balance received and returned from Earth planet reflects the energy available in each part of the Earth-Atmosphere system. Also, net solar radiation is the most fundamental driving force for evaporation, and all actions and reactions between the Earth's surface and the atmosphere. These reactions significantly affect the climate and its transformations. Hence, the wide-scale cross-sectional estimation of pure net energy is important in terms of global and regional climate models. In this research, in order to study the trend of long-term monthly average changes of surface-Albedo, the Albedo products from the sensors of MODIS Satellite Terra named MCD43B3 were used. The spatial resolution of the images taken was 1×1 km for a ۵۰-year statistical period (۱۹۵۰-۲۰۰۰) for April, May, and June. After capturing images by NASA's land processes distributed active archive center, all ۴۵ downloaded images. The next step was to convert the image format to ASCII format; each ASCII includes ۳۰۰۸۰ pixels. Finally, by using both statistical methods of Sen's slope estimator, and Classic Linear Regression the trends of long-term monthly average Albedo changes were analyzed on a pixel-based scale. The results of these two models showed that these two models did

not differ in their estimation of the trends of Albedo's average changes, and acted precisely the same. Also, the results of this research showed that the center of the most slowly declining slope of Albedo changes is located in the northeast, where, due to the flow of the Hirmand River, in this part of the plain the agriculture is widespread. The incremental magnitude of the slope of the change process is also very limited, and there are small and large spots in the north, northeast, and center of the plain. This increasing trend in the values of Albedo's index in the north of the plain was exactly the same as the drying of the Hamoon triple lakes. The rest of the plain area, which has desert landscape and does not have any vegetation, as well as any human population, has not shown any particular trend. In this study, it was also clearly found that, the use of nonparametric method of Sen's slope estimator and parametric method of classic linear regression can be very effective in studying the trend of Albedo changes in the arid regions resulted from satellite products of MODIS sensors.

Key words: Albedo, Sistan Plain, Trend, MODIS

مقدمه

آلبیدوی پهن باند سطح^۱، کسری از انرژی تابشی فرودی موج کوتاه خورشید است که توسط سطح زمین در تمامی جهات بازتاب می‌شود. آلبیدو، پارامتر فیزیکی بسیار مهمی در مطالعات اقلیمی و هواشناسی، هیدرولوژیکی (Henderson-Seller & Twine & etc, ۲۰۰۴; Wilson, ۱۹۳۳) و مطالعه در زمینه انتقال تابش و محاسبه ذخیره تابشی زمین محسوب می‌شود (Maurer, ۲۰۰۲). آلبیدوی سطح زمین به ویژگی‌ها و نوع پوشش زمین، شرایط جوی، میزان رطوبت خاک و وضعیت پوشش گیاهی (Bonan, ۱۹۹۶; Henderson-Seller, ۱۹۹۰) منطقه وابسته می‌باشد. از این رو می‌توان از آن در تعیین پارامترهای جوی (ابر، هواویز، بخار آب و ...) و همچنین در مطالعه تغییرات محیطی ناشی از فعالیت‌های انسانی و طبیعی مانند فعالیت‌های کشاورزی، شهرسازی، تغییر کاربری زمین، جنگل‌زدایی، کوبرزایی و تغییر پوشش زمین استفاده نمود (Li & Garand, ۱۹۹۴). برای تعیین آلبیدوی اجسام روی سطح زمین، در مقیاس وسیع و با در نظر گرفتن توپوگرافی‌های سطح زمین، امکان اندازه‌گیری زمینی مقادیر آلبیدوی اجسام وجود نداشته، لذا به‌ناچار از روش‌های سنجش‌ازدور برای این مورد استفاده می‌گردد. در همین راستا، در دهه‌های اخیر، تولیدات آلبیدو با استفاده از سنجش‌ازدور رشد زیادی یافته است، که شامل ماهواره AVHRR^۲ (Schaaf & etc, ۲۰۰۲; Leroy & etc, ۱۹۹۷) polder^۳، (Strugnell & Lucht, ۲۰۰۱; Csiszar & Gutman, ۱۹۹۹) سنجنده Meteosat (Nicholson & Frouin, ۲۰۰۱; Pinty & etc, ۲۰۰۰) Spot، ماهواره (Roujean & Geiger, ۲۰۰۷)، سنجنده MISR^۴ (Taberner & etc, ۲۰۱۰) و سنجنده Modis (Liang, ۲۰۰۰) می‌باشد. البته محصولات این سنجنده‌ها اغلب دارای تفاوت‌هایی هستند که ناشی از تفاوت در قدرت تفکیک مکانی، طیفی و زمانی این سنجنده‌ها و همچنین

^۱ Surface broadband albedo

^۲ Advanced Very High Resolution Radiometer

^۳ Polarization and Directionality of the Earth's Reflectances

^۴ Multi-angle Imaging SpectroRadiometer

الگوریتم‌های مورد استفاده هر یک می‌باشد. با توجه به اهمیت میزان دقت در گسیل مندی^۵، اعتبارسنجی محصولات گسیل مندی این سنجنده‌ها از اهمیت خاصی برخوردار هستند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۳).

مطالعات در زمینه البیدو در مکان‌های مختلف به صورت بسیار گسترده‌ای انجام شده است از جمله بررسی البیدو در مناطق خشک و بیابانی (Hulley & etc, ۲۰۰۹؛ Elena & etc, ۲۰۰۹)، بررسی البیدو در رابطه با سطوح مرطوب (Duke & Guerif, ۱۹۹۸؛ Muller & Decamps, ۲۰۰۱)، مطالعه البیدوی سطوح برفی (Robinson & Thomas & Rowntree, ۱۹۹۲)، مقایسه برآورد البیدوی سطحی (خیرخواه زرکش و همکاران، ۱۳۹۳) و همچنین مطالعه البیدوی سطحی و تبخیر و تعرق (Opoku Duah & etc, ۲۰۰۸) و ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰) را می‌توان نام برد. با توجه به اینکه داده‌های سنجنده مودیس یکی از مهم‌ترین داده‌های ماهواره‌ای در راستای مطالعه مؤلفه‌های محیطی به شمار می‌رود، در این مطالعه، از داده‌های محصول البیدو MCD۴۳B۳ سنجنده مودیس استفاده شد. با توجه به جداسازی مکانی نسبتاً مناسبی که سنجنده مودیس برای اهداف هواشناسی و محیط زیست دارد (۱۰۰۰ متر، ۵۰۰ متر و ۲۵۰ متر) و همچنین جداسازی باندی خوب این سنجنده (در ۳۶ باند از ۰/۴ تا ۱۴/۴ میکرومتر)، امکان اندازه‌گیری ریزبینانه عناصر هواشناسی مانند دمای سطح زمین، دمای هوا، تابش خورشیدی، البیدو، نم هوا و ... را به صورت مستقیم و غیرمستقیم فراهم می‌آورد (لطفی، ۱۳۹۰). بسیاری از مدل‌های جهانی آب‌وهوا، به البیدوهای پهن باند^۶ مادون قرمز نزدیک^۷ (۱/۳-۰/۷ میکرومتر) و مرئی (۰/۷-۰/۴ میکرومتر) نیاز دارند، در حالی که مطالعات تعادل انرژی سطح، نوعاً نیازمند البیدوی پهن باند امواج کوتاه^۸ (۵-۰/۲ میکرومتر) می‌باشند (اکبرزاده، ۱۳۹۰؛ Liang & etc, ۱۹۹۸؛ Wielicki & etc, ۲۰۰۵؛ Li & etc, ۲۰۰۲).

وانگ و همکاران (۲۰۱۰)، البیدوی مرئی و طول موج کوتاه واقعی بدست آمده از سنجنده مودیس، نسخه ۴ و ۵ را در ۱۸ سایت در سراسر دنیا در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که نسخه ۴ محصول البیدوی سنجنده مودیس نسبت به داده‌های زمینی دارای ناریب منفی ۰/۰۰۸، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۲ می‌باشد. مقادیر ضرایب برای نسخه ۵ به ترتیب عبارتند از: اریب منفی ۰/۰۰۹، انحراف معیار ۰/۰۲۳ و ضریب همبستگی ۰/۸۰. در اکثر مطالعات تایید اعتبار البیدو با داده‌های زمینی یک اریب منفی به اندازه چند صدم برای تصحیح نتایج داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر اندازه‌گیری شده البیدو پیشنهاد شده است، که به این معنی است که البیدوی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای کمی کمتر از مقادیر واقعی است (جلیوند و همکاران، ۱۳۹۶).

جلیوند و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات البیدوی سطح و نواحی ساحلی دریاچه ارومیه پرداختند برای انجام این کار تصاویر البیدوی ۱۶ روزه سنجنده مودیس با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متری دریافت و حداکثر مقدار البیدو سالانه در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ در محدوده مکانی دریاچه و نواحی خشک شده در هر سال استخراج شده است. نتایج نشان داد در محدوده طول موج کوتاه با کاهش تراز آب دریاچه، میانگین البیدوی سطح آن و مناطق خشک شده، به ترتیب تقریباً ۴ و ۱/۵ برابر شده است.

بنابراین یکی از جنبه‌های مهمی که همواره از دید محققین دو حوزه سنجش‌ازدور و محیط‌زیست کمتر بدان توجه شده است. مطالعه روند تغییرات بلندمدت البیدو در طول زمان با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای بوده است. لذا در این مطالعه، قصد بر این است که با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر سنجنده مودیس ماهواره ترا و با معرفی یک چهارچوب علمی جدید

^۵ Emissivity

^۶ Surface broadband albedo

^۷ Near infrared

^۸ Shortwave broadband albedo

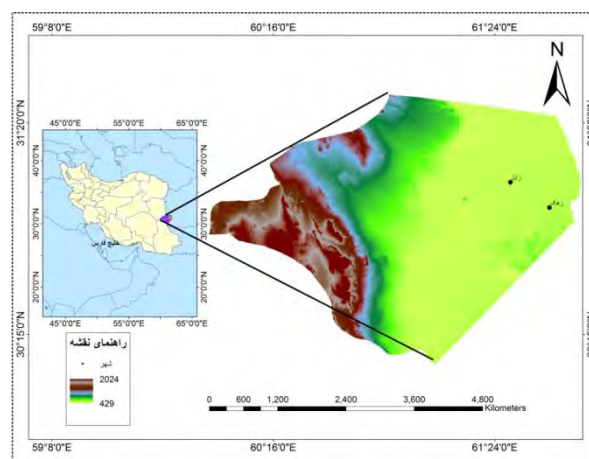
مبتنی بر دو دانش سنجش از دور و آمار در یک مقیاس پیکسل-مبنا تغییرات روند البیدو در یکی از دشت های خشک و فراخشک جهان به نام دشت سیستان در شرق ایران به عنوان یک مطالعه موردی با استفاده از روش های آماری پارامتریک و غیرپارامتریک مورد بررسی قرار گیرد. انتخاب این دشت به عنوان یک مطالعه موردی به دلیل شرایط خاص زیست محیطی این دشت بوده است. متأسفانه در چند سال اخیر به دلیل مسائل هیدروپلیتیک بین ایران و افغانستان در خصوص رودخانه هیرمند، خشک شدن تالاب های سه گانه هامون، خشکسالی های طولانی مدت، مدیریت ناصحیح منابع آب و مهاجرت دچار تغییرات وسیعی در پوشش زمین-کاربری اراضی شده است. لذا در ادامه بعد از معرفی منطقه مورد مطالعه، روش کار به طور کامل ارائه و در نهایت نتایج در قالب دو بخش بحث و نتیجه گیری ارائه خواهند شد.

مواد و روش ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

از دیدگاه سیاسی، دشت سیستان گرچه در بخش آسیای مرکزی از فلات ایران واقع شده است، ولی تمامیت این حوضه بین سه کشور افغانستان، پاکستان و ایران تقسیم می شود. بیشترین بخش آن، به نام نیمروز در افغانستان واقع است و بخش کوچکی از آن در پاکستان، و تقریباً یک سوم آن در کشور ایران قرار دارد. مساحت این سرزمین ۸۱۱۷ کیلومتر مربع و جمعیتی بالغ بر ۴۰۰۰۰۰ نفر در آن سکنه گزیده اند. با این اوصاف، سیستان از مناطقی است که داری متراکم ترین جمعیت در سراسر سرزمین های مرزی شرق ایران می باشد. سیستان سرزمینی تقریباً صاف و هموار است که همه آب های حاصل از نزولات جوی و جریانات سطحی منطقه را به سوی خود جذب می کند. وسعت تالاب های پیرامونی در این منطقه (حدود ۵۰۰۰ کیلومتر مربع) کمتر از ۵ درصد مساحت کل حوضه را به خود اختصاص داده است. زمانی که آب به اندازه کافی موجود باشد دریاچه های سه گانه هامون را تشکیل می دهند (هامون پوزک، صابوری، هیرمند). همچنین چهار دریاچه مصنوعی (چاه نیمه) برای تأمین مصارف عمومی آب در این دشت ایجاد شده است. رودخانه هایی که از افغانستان سرچشمه گرفته و به این دشت سیستان ایران سرازیر می شوند، علاوه بر اینکه آب مورد نیاز کشاورزی منطقه را تأمین می کند، منبعی برای تأمین آب دریاچه های سه گانه هامون نیز به شمار می روند (Van Beek & Meijer, ۲۰۰۶).

متوسط بارندگی سالانه این دشت بسیار ناچیز و بین ۵۰ تا ۵۵ میلی متر است که حدود ۷ درصد متوسط بارندگی سالانه در جهان می باشد. میزان تبخیر سالانه آن بسیار بالا و در حدود ۴۸۰۰ میلی متر گزارش شده است. متوسط حداکثر درجه حرارت آن ۳۴/۵ درجه سانتی گراد و متوسط حداقل درجه حرارت ۸/۵ درجه سانتی گراد است. مهم ترین مشخصه آب و هوایی دشت سیستان بادهای ۱۲۰ روزه آن است که از اواسط خردادماه شروع به وزیدن می کند و تا اوایل مهرماه ادامه دارد و جهت آن از شمال شرقی به جنوب شرقی است و سرعت آنگاه تا بالای ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می رسد (افروز، ۱۳۹۰).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی دشت سیستان ایران

روش و داده‌های مورد استفاده

در مطالعه حاضر از محصولات آلبیدوی MODIS (MCD43B3) با قدرت تفکیک ۱۰۰۰ متر استفاده شده است که از مشاهدات سنجنده مودیس بر روی هر دو ماهواره Terra و Aqua تولید می‌شود. در مرحله تصحیح جوی، از اطلاعات هواویزی و بخار آب، برای استخراج بازتابندگی‌های سطحی از رادیانس بالای جو استفاده می‌شود. سپس بازتابندگی‌های سطحی عاری از ابر و تصحیح جوی شده، برای استخراج پارامترهای مدل BRDF به کار می‌روند. این دو اندازه‌گیری به نام‌های آلبیدوی طیفی نیمکره‌ای یا البیدو Black Sky (BSA) و البیدو طیفی نیمکره‌ای یا البیدو White Sky (WSA) معروفند. آلبیدوهای WSA و BSA در هفت باند زمینی مودیس (باند یک تا هفت) و سه پهن باند مرئی، مادون قرمز نزدیک و موج کوتاه تولید می‌شوند (Wang & etc, ۲۰۱۰). در این تحقیق از محصول (MCD43B3) که شامل موج کوتاه، مرئی و مادون قرمز می‌باشد استفاده شده است. بسیاری از مدل‌های جهانی آب و هوا، به البیدوهای پهن باند مادون قرمز نزدیک (۰,۷-۱/۳ میکرومتر) و مرئی (۰,۴-۰,۷ میکرومتر) نیاز دارند، در حالی که مطالعات تعادل انرژی سطح، نوعاً نیازمند آلبیدوی پهن باند امواج کوتاه (۵-۰,۲ میکرومتر) می‌باشند (اکبرزاده، ۱۳۹۰). در این پژوهش جهت تحلیل روند البیدو دشت سیستان برای یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) از ۴۵ سری تولیدات طول موج کوتاه سنجنده MODIS ماهواره ترا با نام (MCD43B3) استفاده شد (جدول شماره ۱) که الگوریتم محاسبه آلبیدو از داده‌های مودیس در رابطه (۱) ارائه شده است (ادب و همکاران، ۱۳۹۳).

$$\alpha^{modis} = 0.160\alpha_1 + 0.291\alpha_2 + 0.243\alpha_3 + 0.116\alpha_4 + 0.112\alpha_5 + 0.081\alpha_7 - 0.0055$$

رابطه (۱)

که در آن α_1 مقادیر انعکاسی اصلاح شده در هر باند است.

بعد از اخذ و آماده سازی تصاویر و تشکیل بانک اطلاعاتی آن‌ها، نحوه استخراج و تنظیم داده‌ها مرحله بعدی کار را تشکیل می‌داد. در این مرحله ابتدا تمامی ۴۵ تصویر داندود شده تک به تک به فرمت ASCII تبدیل و ذخیره شدند. با توجه به قدرت تفکیک فضایی ۱ در ۱ کیلومتر هر تصویر، تعداد مجموع پیکسل‌های هر تصویر که در داخل مرزهای منطقه مورد مطالعه قرار می‌گرفتند بالغ بر ۳۰۰۸۰ پیکسل می‌شدند. در ادامه با استفاده از نرم افزار R، سری زمانی البیدو تمامی ۳۰۰۸۰ پیکسل برای هر سه ماه آوریل، می و ژوئن به تفکیک و برای کل دوره آماری مورد مطالعه آماده شدند. در نهایت با استفاده از روش آماری غیرپارامتریک برآوردکننده شیب سنس و روش پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک تغییرات البیدو هر پیکسل در این دشت مورد بررسی قرار گرفت.

تحلیل روند با استفاده از آزمون (MANN-KENDALL)

جهت برآورد نمودن شیب واقعی یک روند در یک سری زمانی، استفاده از روش غیرپارامتریک سنس می‌تواند یکی از روش‌های مناسب در این زمینه باشد. این روش نیز همانند بسیاری دیگر از روش‌های غیرپارامتریک همچون من - کندال بر تحلیل تفاوت بین مشاهدات یک سری زمانی استوار است. این روش زمانی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد که روند موجود در سری زمانی یک روند خطی باشد. این بدان معناست که $f(t)$ در معادله شماره (۲) برابر است با:

$$f(t) = Qt + B$$

رابطه (۲)

که Q ، شیب خط روند و B ، مقدار ثابت است.

جهت محاسبه شیب خط روند یعنی Q ، ابتدا بایستی شیب بین هر جفت داده مشاهده ائی، با استفاده از معادله شماره (۳) محاسبه گردد:

$$Q_i = \frac{x_j - x_k}{j - k} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که $j > k$ است. در این معادله x_j و x_k به ترتیب داده های مشاهده ائی در زمان های j و k است. با اعمال این رابطه، برای هر جفت داده مشاهده ائی، یک شیب بدست می آید. با قرار دادن این شیب ها در کنار یکدیگر یک سری زمانی از شیب های محاسبه شده حاصل می آید. یعنی اگر n تعداد x_j در سری زمانی وجود داشته باشد ما به اندازه $N = n(n-1)/2$ برآورد شیب Q_i خواهیم داشت.

در مرحله بعد، میانه سری زمانی مورد مطالعه بایستی بدست آید. برای این کار N تعداد از Q_i ها از کوچک به بزرگ مرتب می شوند و سپس با استفاده از یکی از معادلات زیر اقدام به تعیین میانه سری زمانی می گردد. اگر تعداد مشاهدات سری زمانی مورد مطالعه فرد باشد از معادله شماره (۴) و اگر زوج باشد از معادله شماره (۵) استفاده می گردد:

$$Q = Q_{[(N+1)/2]} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$Q = \frac{1}{2} [Q_{[N/2]} + Q_{[(N+2)/2]}] \quad \text{رابطه (۵)}$$

نتیجه حاصل از این معادلات، بدست آمدن شیب خط روند (Q_{med}) است. اگر شیب خط روند مثبت باشد حاکی از صعودی بودن روند و اگر منفی باشد دال بر نزولی بودن روند است.

مرحله بعد، آزمون نمودن شیب بدست آمده در فاصله اطمینان ۹۵ درصد است. جهت انجام این آزمون از رابطه زیر استفاده می گردد:

$$C_a = Z_{1-\alpha/2} \sqrt{VAR(S)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

که Z عبارت است از آماره توزیع نرمال استاندارد در یک آزمون دو طرفه که برای سطح اطمینان ۹۵ درصد برابر با $Z = 1.96$ است و $VAR(S)$ ، نیز واریانس پارامتر S است. جهت بدست آوردن مقدار پارامتر S و همچنین $VAR(S)$ مراحل زیر بایستی پیموده شود:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک جملات سری با همدیگر و اعمال تابع sgn و استخراج پارامتر S

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad \text{رابطه (۷)}$$

که n تعداد مشاهدات سری، x_j و x_k نیز به ترتیب داده های j ام و k ام سری می باشند.

ب) محاسبه تابع علامت^۹ (sgn) که به شرح ذیل قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۸)}$$

ج) محاسبه واریانس S توسط یکی از روابط زیر. اگر تعداد داده های سری زمانی بزرگتر از ۱۰ مورد باشند از معادله شماره ۸ و اگر کوچکتر از ۹ مورد باشند از رابطه شماره (۹) بهره گرفته می شود.

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad \text{رابطه (۹)}$$

$$\text{VAR}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که n تعداد داده های مشاهده ائی، m تعداد سری هائی است که در آنها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t نیز بیانگر فراوانی داده های با ارزش یکسان می باشد.
 و در نهایت حدود اعتماد بالا و پائین به کمک روابط زیر محاسبه می گردد:

$$\begin{cases} M_1 = \frac{n' + C_a}{2} \\ M_2 = \frac{n' - C_a}{2} \end{cases} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

که n' تعداد شیب هائی است که از طریق معادله ۹ بدست آمده است.

^۹ -Sign Function

حال M_1 امین و M_{2+1} امین شیبها را از بین شیبهای محاسبه شده استخراج می نماییم. در صورتی که عدد صفر در دامنه بین دو شیب استخراج شده فوق قرار گیرد فرض صفر پذیرفته شده و عدم وجود روند در سری داده ها تأیید می گردد. در غیر اینصورت فرض صفر رد شده و وجود روند در سطح اطمینان مورد آزمون پذیرفته میگردد.

در نهایت جهت بدست آوردن مقدار B در معادله شماره ۱، n تعداد تفاضل $x_i - Qt_i$ محاسبه می شود. سپس میانه این مقادیر، برآورد B را در اختیار می گذارد (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰).

• روش رگرسیون خطی

شکل کلی معادله رگرسیون خطی کلاسیک به صورت رابطه (۵) می باشد که در آن y متغیر خروجی، x_1, x_2, \dots, x_n متغیرهای ورودی و a_0, a_1, \dots, a_n ضرایب معادله به حساب می آیند (علیجانی و همکاران، ۱۳۹۰).

$$y = a_0 + a_1x_1 + \dots + a_nx_n + \varepsilon \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

رابطه (۱۱) حالت تک متغیره رگرسیون خطی کلاسیک می باشد که در این تحقیق از این حالت استفاده شده است.

$$y = a_0 + a_1x + \varepsilon \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

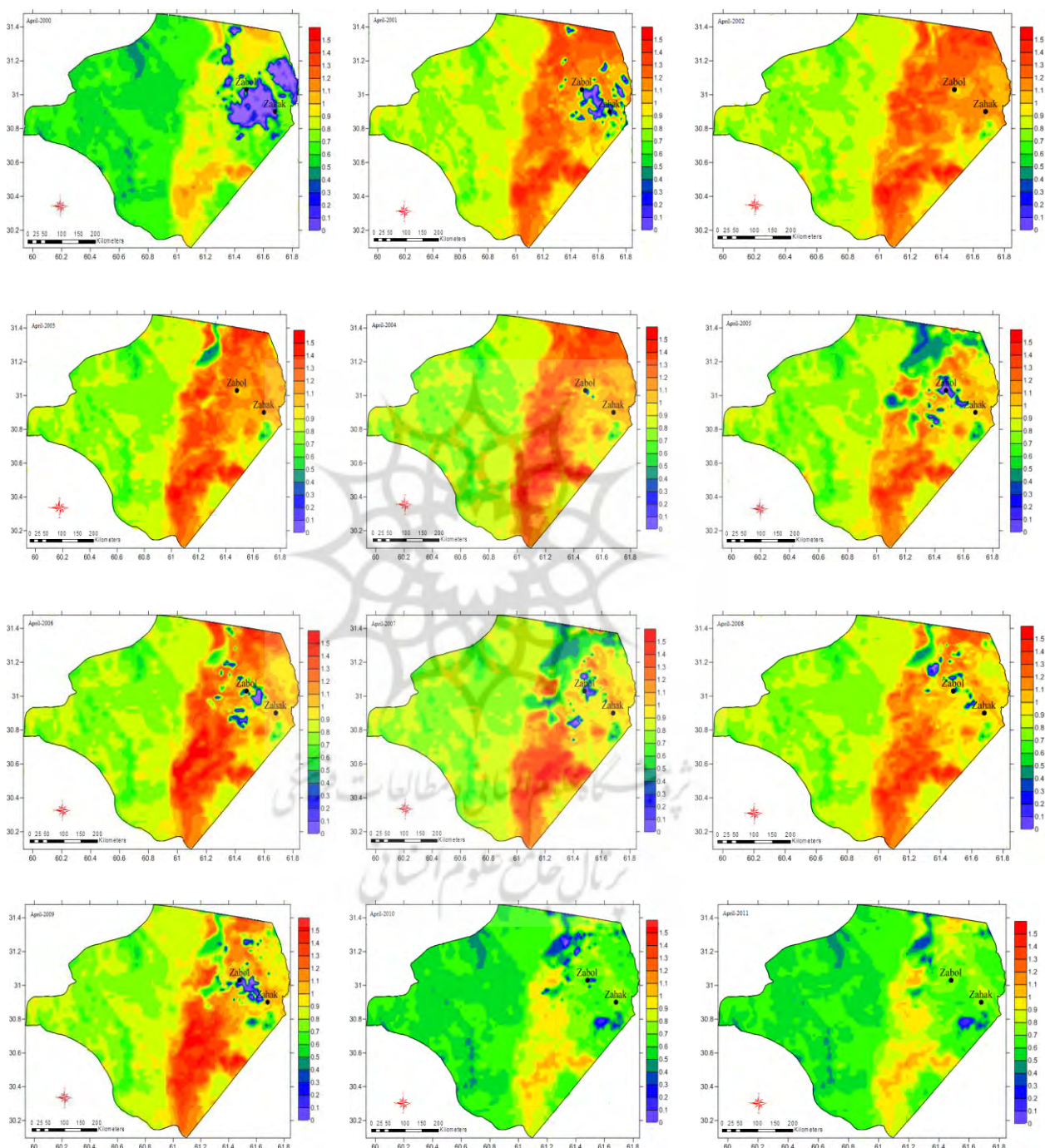
مقیاس داده	میزان	داده های	نام لایه	داده البیدو با فرمت HDF
مورد نظر	رنج داده	مفقوده		
۰/۰۰۱۰	-۳۲۷۶۶	۳۲۷۶۷	آلبیدو	Albedo_BSA_Band_shortwave (Black Sky Albedo)

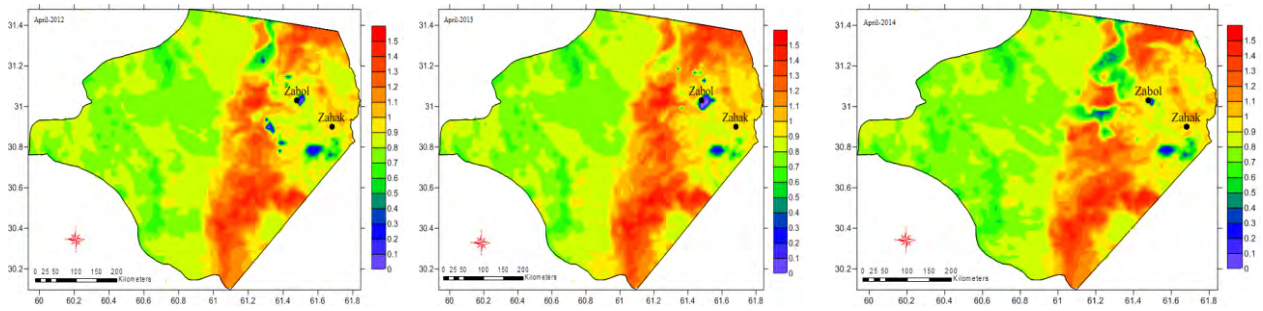
جدول (۱): مشخصات داده آلبیدو ماهانه ماهواره ترا (MCD۴۳B۳)

بحث و نتایج

روش های آماری غیرپارامتریک برآوردگر شیب سنس و روش آماری پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک برای تحلیل جامع روند سری های زمانی داده های البیدو ماهواره مودیس مورد استفاده قرار گرفت و با استفاده از نرم افزار آماری R متغیر روند برای هر ۳۰۰۸۰ ستون محاسبه شد. در شکل شماره ۲ برای نمونه نقشه های البیدو ماه آوریل برای کل دوره ۱۵ ساله مورد مطالعه آورده شده است. همان گونه که از تصاویر ماه آوریل برداشت می شود در شمال شرق، شمال و شرق دشت سیستان که سطح اکثر منطقه زمین کشاورزی، باغات و از طرف دیگر دریاچه هامون و چاه نیمه ها می باشد نسبت به سایر مناطق دارای میزان البیدو به مراتب پایین تری در سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ بوده است، که علت این امر را می توان به این موضوع اختصاص داد در زراعت فعال دشت سیستان که در فصل بهار می باشد، وجود پوشش گیاهی متراکم نسبت به سایر کاربری ها، موجب جذب بیشتر طیف الکترومغناطیس شده است. و از طرف دیگر وجود تالاب هامون و چاه نیمه ها است که دلیل آن را می توان این گونه بیان کرد که آب قسمت اعظم انرژی را که بدان می رسد جذب می کند، میزان انعکاس، با افزایش طول موج کاهش می یابد تا اینکه در محدوده

مادون قرمز نزدیک (حدود یک میکرومتر) به صفر می رسد. در نقشه‌های آلبیدو نیمه غربی دشت سیستان، میزان موج کوتاه کمتر از نیمه شرقی می باشد که دلیل آن وجود ارتفاعات و همچنین نوع خاک منطقه می باشد که از نوع اریدی سل هستند. این خاکها مناطق خشک به رنگ قهوه‌ای و قرمز می باشند، که مانع از انعکاس نور خورشید می شوند و از طرف دیگر وجود سنگفرش‌های بیابانی است که از بازتاب سطح خاک جلوگیری کرده و به نحوی خاک را در زیر خود پنهان می کنند. (۳)





شکل (۲): نقشه‌های تهیه‌شده از خروجی برنامه R ماه آوریل طی سال ۲۰۱۴-۲۰۰۰



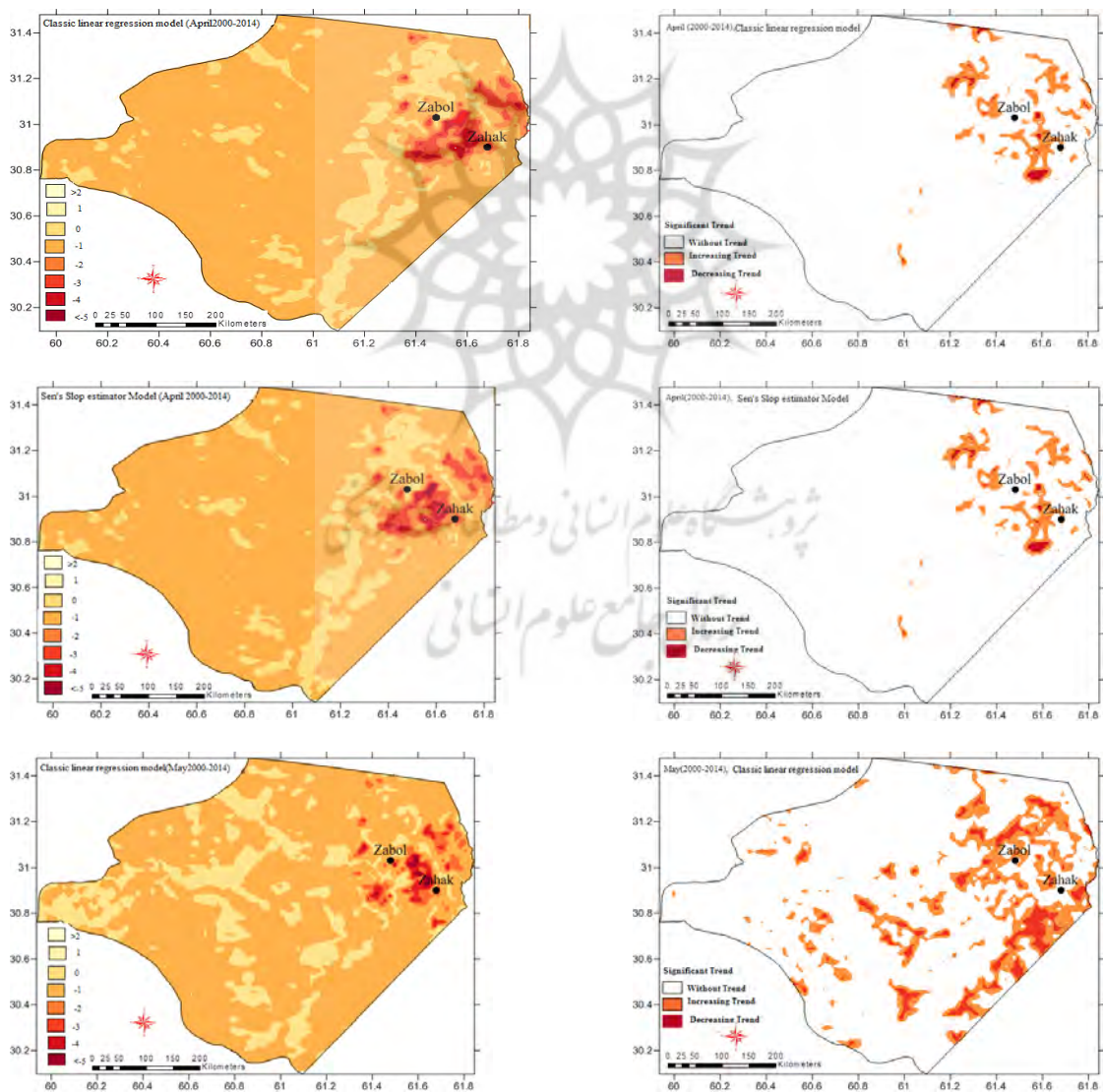
شکل (۳): تصویر پوشش سنگ‌فرش در دشت سیستان

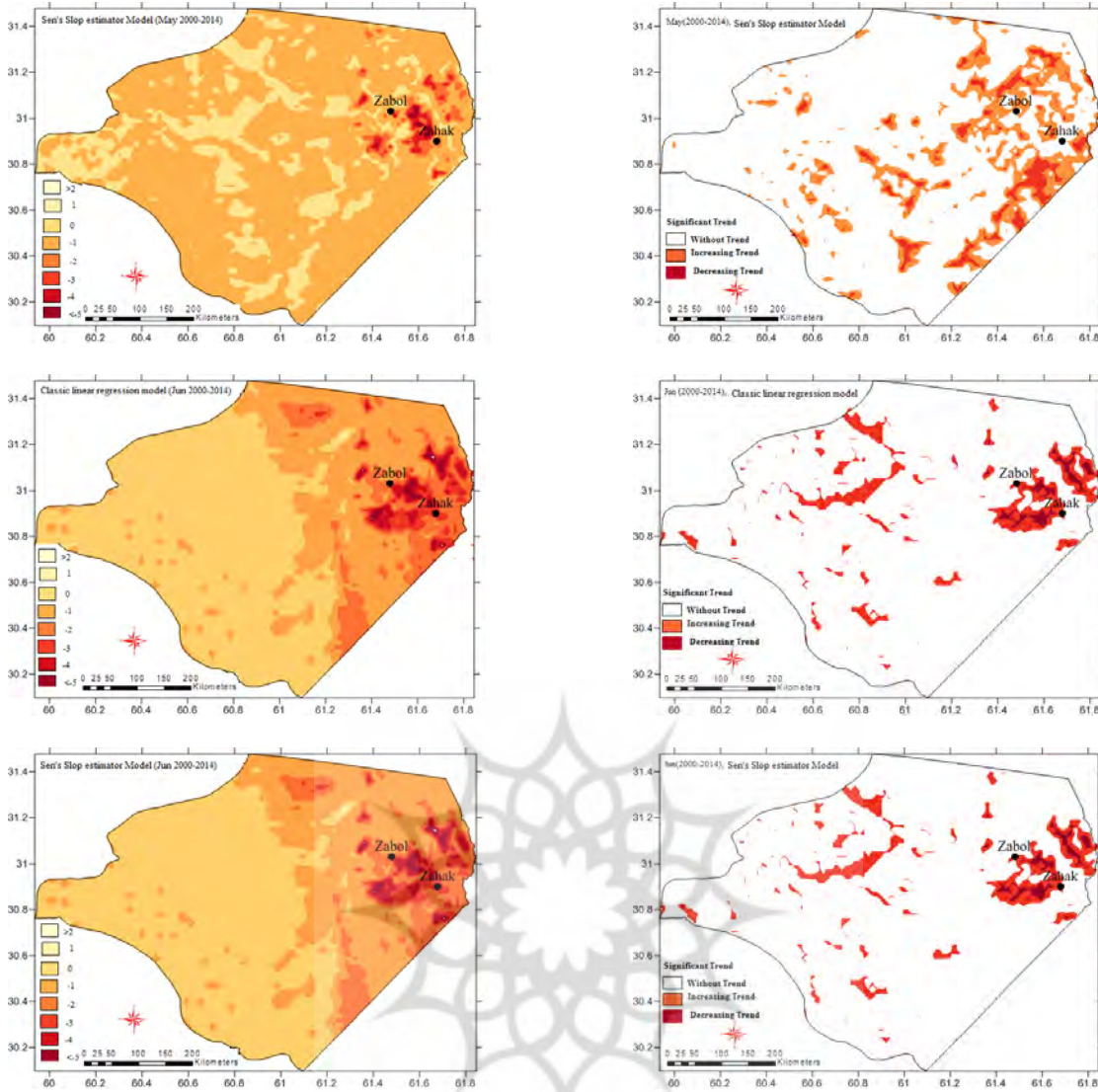
در همین راستا، مقدار شیب روند تغییرات شاخص البیدو، به تفکیک سه ماه آوریل، می و ژوئن با استفاده از روش غیرپارامتریک برآورد کننده شیب سنس و پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک پیکسل به پیکسل، برای تمامی ۳۰۰۸۰ پیکسل واقع شده در محدوده دشت سیستان محاسبه شدند. در ادامه مقادیر شیب روندهای به‌دست‌آمده در قالب نقشه‌های هم‌روند جهت تحلیل‌های فضایی تهیه شدند (شکل ۴). با مقایسه نقشه‌های هم‌روند ماه‌های آوریل، می و ژوئن شاهد الگوهای فضایی تقریباً یکسانی برای هر سه ماه موردنظر بوده‌ایم. با توجه به این نقشه‌ها به‌روشنی مشخص می‌شود که بیشترین روند کاهشی شیب تغییرات در شمال شرق مشاهده شده است. در این قسمت از دشت که به دلیل جاری بودن رودخانه هیرمند، کشاورزی نیز به‌صورت گسترده‌ای در آن رواج دارد، شیب روند تغییرات به‌طور کامل کاهشی بوده است. مقادیر افزایشی شیب روند تغییرات نیز به‌صورت بسیار محدود و لکه‌هایی کوچک و گاه‌بزرگ در شمال، جنوب شرق و مرکز دشت قابل مشاهده است. این روند افزایشی در مقادیر شاخص البیدو نیز در شمال دشت دقیقاً منطبق بر خشک شدن دریاچه‌های سه‌گانه هامون بوده است. بقیه مساحت دشت نیز که دارای چشم‌اندازی بیابانی می‌باشد و فاقد هر گونه پوشش گیاهی و همچنین جمعیت انسانی می‌باشد روند خاصی را از خود نشان نداده است.

معنادار بودن روندهای به‌دست‌آمده در سطح احتمالاتی $\alpha = 0.05$ نکته بسیار مهمی است که در بسیاری از مطالعات مربوط به روند تغییرات بدان توجه می‌شود. در این مطالعه نیز تمامی روندهای به‌دست‌آمده در سطح احتمالاتی $\alpha = 0.05$ با استفاده از دو روش شیب سنس و رگرسیون خطی کلاسیک مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج معنادار بودن روندها در قالب سه نقشه مجزا برای سه ماه آوریل، می و ژوئن در شکل ۴ آورده شده‌اند. کانون تغییر روند برای هر پیکسل به سه دسته بدون روند، افزایشی و کاهشی تقسیم‌بندی شده است. تصاویر گویای آن است که از سال ۲۰۱۴-۲۰۰۰ در قسمت شمال شرق دشت سیستان پیکسل‌هایی که به‌طور دائم دارای پوشش گیاهی باغات انگور، خرما و جنگل‌گز یا کشاورزی بوده‌اند، روند البیدو کاهشی بوده

است. به این دلیل که، مهم‌ترین خاصیت گیاهان حفظ رطوبت و جذب بیشتر طیف الکترومغناطیس می‌باشد. بیشتر انرژی دریافتی، صرف تبخیر رطوبت خاک می‌شود، چون آب هادی خوبی برای حرارت است، بقیه انرژی تابشی خورشید صرف گرم کردن لایه‌های عمیق‌تر خاک می‌شود.

روندهای افزایشی در مقادیر شاخص البیدو در شمال، جنوب شرق و مرکز دشت که پیکسل‌هایی به صورت پراکنده دارای بالاترین مقادیر شیب تغییرات نیز بوده است اکثراً در سطح $\alpha = 0.05$ معنادار بوده است. سطح هامون بسته به میزان آب ورودی، فصول پربارش، خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌ها تفاوت داشته و تابعی از آب جریان یافته در رودخانه هیرمند، خروجی پشت سدها و رودخانه‌های فصلی دیگر می‌باشد. از آنجا که حیات این دریاچه به رودخانه هیرمند و انشعابات فرعی آن وابسته است، آبیگری آن منوط به نوسانات طبیعی یا مصنوعی (احداث کانال) رودخانه هیرمند بوده و قطعاً آبیگری اخیر مخازن چاه نیمه، سد زهک، سیستان، کجکی و... در افغانستان تأثیر زیادی در کاهش آبیگری دریاچه داشته است، به‌ویژه در سال‌های اخیر بروز خشک‌سالی از یک طرف و احداث سدهای جدید از طرف دیگر منجر به خشکی هامون هیرمند و همچنین کاهش آب چاه نیمه شده است. که این خود باعث افزایش زمین بایر و در نتیجه افزایش انعکاس طیف الکترومغناطیس بازتابیده عوارض مختلف موجود در سطح زمین در این قسمت از دشت سیستان شده است.

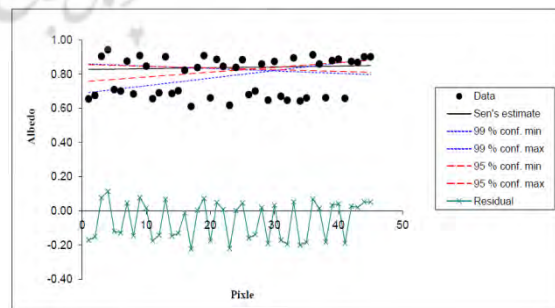
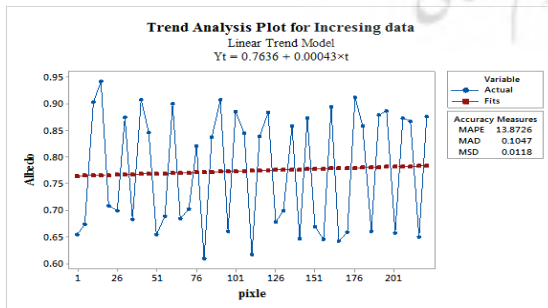


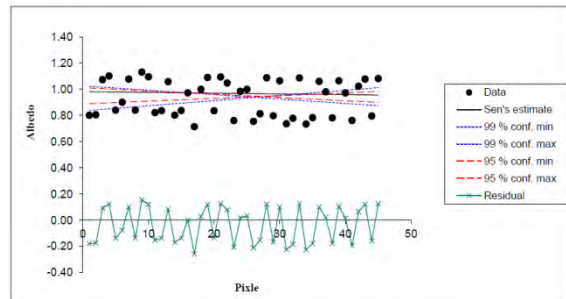
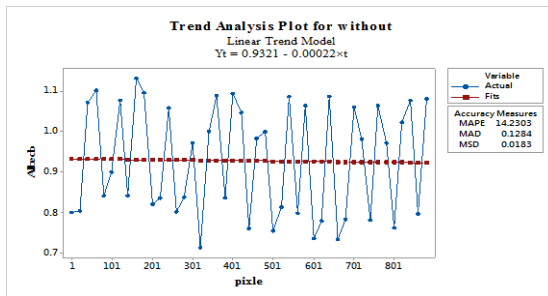
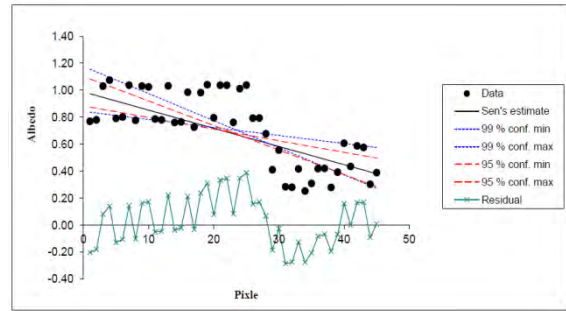
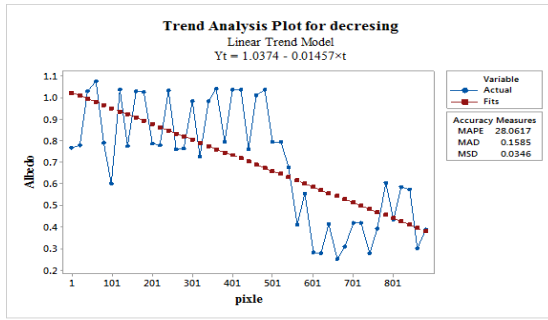


شکل (۴): نقشه شیب خط (سمت چپ) و روند (سمت راست) طی سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴

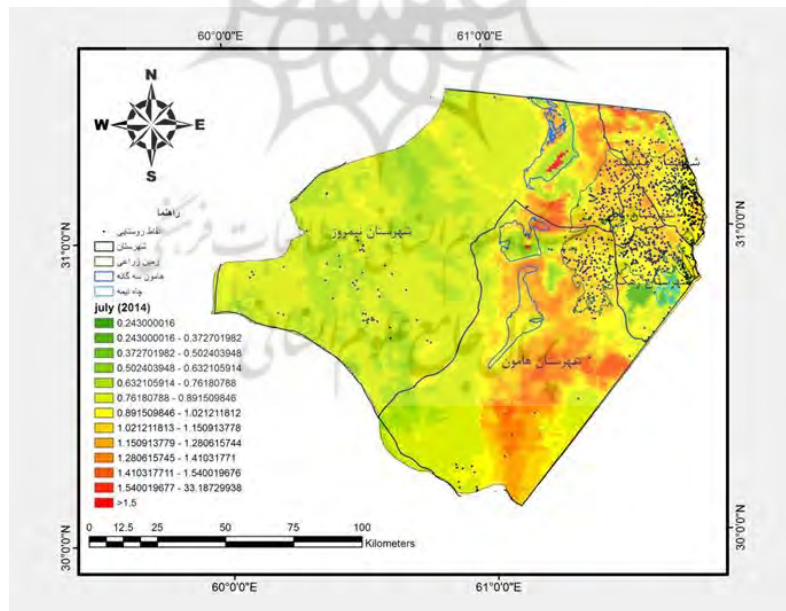
به صورت تصادفی پیکسل‌هایی از منطقه مورد مطالعه انتخاب و سپس نمودارهای از نمونه روند افزایشی، کاهش‌ی و خنثی در

شکل شماره (۵) تهیه شده است.





شکل (۵): نمودار روند افزایشی، کاهش و خنثی رگرسیون خطی (سمت چپ) و شیب سن (سمت راست) البیدو در شکل (۶) نقشه کاربری اراضی و البیدوی ماه جولای دشت سیستان می باشد که علاوه بر اینکه موقعیت زمین های کشاورزی، نقاط شهری و روستایی، تالاب هامون و چاه نیمه ها را نشان می دهد چون که در این ماه محصولات کشاورزی برداشت شده اند، روند افزایشی البیدو نیز در نیمه شرقی قابل مشاهده می باشد.



شکل (۶): نقشه کاربری اراضی و البیدو ماه جولای دشت سیستان

نتیجه گیری

در این مطالعه روند تغییرات البیدو با استفاده از روش غیرپارامتریک برآورد کننده شیب سنس و روش پارامتریک رگرسیون خطی کلاسیک در یکی از خشک‌ترین دشت‌های جهان در شرق ایران مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که کانون بیشترین تغییرات کاهشی البیدو در شمال شرق دشت بوده است. این روند کاهشی در شاخص البیدو ناشی از محصولات کشاورزی و محصولات باغی همچون انگور، خرما و یا جنگل گز می‌باشد. مساحت مناطق دارای روند افزایشی البیدو به صورت پراکنده در غرب، مرکز و جنوب شرق بوده است. این روند افزایشی در شاخص البیدو ناشی از دو عامل متفاوت بوده است از یک طرف رها کردن زمین‌های کشاورزی به خصوص در مرکز دشت به دلیل دور بودن از منابع آبی موجود (دور بودن از مسیر رودخانه هیرمند) و از طرف دیگر خشک شدن تالاب‌های سه‌گانه هامون، که دلیل آن وجود رسوبات ریزدانه و احیاناً درشت‌دانه ای که در اثر حمل توسط جریان آب منتقل شده‌اند، دارای سطح صیقلی بوده و همچنین افزایش زمین بایر که موجب مقدار بیشتر انعکاس این طیف شده است. از طرف دیگر، فعالیت‌های انسانی در دشت سیستان من جمله اراضی شهرها، تأسیسات و سطوح فلزی نیز افزایش البیدو را در پی داشته است. لذا به روشنی مشخص می‌شود که در دشت سیستان روند البیدو نیز وابسته به تغییر پوشش سطح زمین به دلایل انسانی و طبیعی مانند سدسازی، خشک‌سالی، شهرسازی، مسائل هیدروپلیتیک موجود بین ایران و افغانستان و ... می‌باشد، که بیانگر نتیجه یکسان با محققانی چون (ثنایی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰؛ مباشری و همکاران، ۱۳۸۷) که بیان کردند نواحی با پوشش گیاهی متراکم و دمای پایین دارای مقادیر آلبیدوی سطحی پایین و مقادیر بالای تبخیر و تعرق بوده و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده از مقادیر آلبیدوی سطحی پایین و مقدار تبخیر و تعرق کمی برخوردارند.

این مقاله برای آگاهی تحلیلگران، در مورد جنبه‌های مهم تشخیص تغییرات و ارائه یک سیستم تصمیم‌گیری که آن‌ها را از طریق یک سری مراحل در انتخاب روش پردازش راهنمایی کند مفید می‌باشد. شاخص بازتاب‌های طیفی مانند Albedo که در اثر تغییر در سایر عوامل، این شاخص نیز تغییراتی می‌کند و آگاهی و شناخت نسبت به این تغییرات کمک زیادی به مطالعه بیابانزایی توسط سنجش از دور می‌نماید. زیرا افزایش تفاوت در تصاویر ماهواره‌ای را می‌توان به عنوان شاخصی از بیابانزایی محسوب کرد. اما از این نکات نباید غافل شد که مشکلاتی از قبیل اختلالات جوی مانند گرد و غبار که در مناطقی مانند دشت سیستان وجود دارد، سنگ‌های که برخی نقاط را پوشش می‌دهد، همچنین قدرت تفکیک فضایی سنجنده مودیس شاخص‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دوره زمانی بلند مدت قابل اعتماد می‌باشد و گام دیگر در این مطالعه به روشنی نشان داد که استفاده از روش ناپارامتریک برآورد کننده شیب سن و رگرسیون خطی کلاسیک در مطالعات روند تغییرات مؤلفه‌های محیطی مناطق خشک منتج از تولیدات ماهواره‌ای سنجنده مادیس بسیار کارآمد بوده است. اما روش ناپارامتریک برآورد کننده شیب سن چون اساس کار بر تفاوت بین داده‌های مشاهداتی استوار می‌باشد مستقل از توزیع‌های آماری بوده و برای سری‌هایی با چولگی یا کشیدگی زیاد مناسب‌تر از دیگر روش‌های پارامتریک چون رگرسیون خطی کلاسیک می‌باشد.

منابع

۱. ادب، ح.، امیراحمدی، ا.، عتباتی، آ.، ۱۳۹۳، ارتباط پوشش گیاهی با دما و آلودگی سطحی در دوره گرم سال با استفاده از داده های مودیس در شمال ایران، پژوهش های جغرافیای طبیعی، دوره ۴۶، شماره ۴، صص ۴۳۴-۴۱۹.
۲. افروزه، ف.، س. ن. ا.، موسوی، ج.، ترکمانی، ۱۳۹۰، بررسی نوسانات آب و بهینه کردن مصرف آن در بخش کشاورزی منطقه سیستان: کاربرد رهیافت فازی، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۳، شماره ۳، صص ۵۹-۳۷.
۳. اکبرزاده، م.، م. ر.، مباشری، س. ب.، فاطمی، ۱۳۹۲، ارزیابی محصولات البیدوی ۱۶ روزه MODIS با استفاده از البیدوی ASTER در مناطق نیمه خشک با پوشش همگن، نشریه پژوهش های اقلیم شناسی، سال ۴، شماره ۱۳، صص ۹۶-۸۵.
۴. بهرامی، م.، م. ر.، مباشری، م.، رحیم زادگان، ۱۳۹۳، ارزیابی دقت محصولات گسیل مندی سنجنده ASTER و MODIS با استفاده از اندازه گیریهای میدانی، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۷، صص ۴۰-۲۹.
۵. جلیلود، ا.، سیما، س.، سروانی، س.، تجریشی، م.، ۱۳۹۶، بررسی تغییرات آلودگی سطح و نواحی ساحلی دریاچه ارومیه، دهمین کنگره ملی مهندسی عمران، صص ۱۲-۱.
۶. خیرخواه زرکش، م.، ع.، محبوبیان، ه.، حسادی، ۱۳۹۳، مقایسه مقایر برآوردی آلودگی سطحی بهدست آمده از تصاویر لندست و مودیس، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال پنجم، شماره دوم، صص ۴۸-۳۹.
۷. علیجانی، بهلول، محمودی، پیمان، چوگان، عبدالجبار. (۱۳۹۰). بررسی روند تغییرات بارش های سالانه و فصلی ایران با استفاده از روش ناپارامتریک، پژوهش های اقلیم شناسی، سال سوم، شماره ۹. صص ۱۳-۱.
۸. Bonan, G. B., ۱۹۹۶, A Land Surface Model (LSM Version ۱.۰) for Ecological, Hydrological, and Atmospheric Studies: Technical Description and User's Guide, NCAR Tech Note, ۱:۱۵۰-۷۱۷
۹. Cess, R. D., ۱۹۷۸, Biosphere-albedo feedback and climate modeling, Atmos Sci, ۳۵(۹): ۱۵۶۵-۱۷۶۸.
۱۰. Csiszar, I., Gutman, G., ۱۹۹۹, Mapping global land surface albedo from NOAA AVHRR, Geophysical Research, ۱۰۴: ۶۲۱۵-۶۲۲۸.
۱۱. Duke, C., Guerif, M., ۱۹۹۸, Crop reflectance estimate errors from the SAIL model due to spatial and temporal variability of canopy and soil characteristics, Remote Sens Environ, ۶۶: ۲۸۶-۲۹۷.
۱۲. Elena, A., Tsvetsinskaya, C. B., Schaaf, F., Gao, A. H., Strahler, R., Dickinson, E., ۲۰۰۲, Relating MODIS-derived surface albedo to soils and rock types over Northern Africa and the Arabian peninsula, geophysical research letters, ۲۹: ۸۱۷-۸۴۰.
۱۳. Henderson-Sellers, A., ۱۹۹۰, Predicting Generalized Ecosystem Groups with the NCAR CCM: First Steps Towards an Interactive Biosphere, Climate, ۳: ۹۱۷-۹۴۰.
۱۴. Henderson-Sellers, A., Wilson, M.F., ۱۹۳۳, Surface albedo for climate modeling, Reviews of Geophysics, ۲۱: ۱۷۴۳-۱۷۷۸.

10. Hu, Y. Q., Yang, X. L., Zhang, Q., 1992, The characters of energy budget on the gobi and desert surface in Hexi Region, *Acta Meteorologica Sinica*, 27: 82-91.
11. Hulley, G. C., Hook, S. J., Baldrige, A. M., 2009, Validation of the North American ASTER Land Surface Emissivity Database (NAALSED) version 2.0 using pseudo-invariant sand dune sites, *Remote Sensing of Environment*, 113: 1-13.
12. Leroy, M., Deuzé, J. L., Bréon, F. M., Hautecoeur, O., Herman, M., Buriez, J. C., 1997, Retrieval of atmospheric properties and surface bidirectional reflectances over the land from POLDER/ADEOS, *Geophysical Research*, 102: 17023-17037.
13. Li, Z., Cribb, M. C., Trishchenko, A. P., 2002, Impact of surface inhomogeneity on solar radiative transfer under overcast conditions, *Geophys*, 107: 429-440.
14. Li, Z., Garand, L., 1994, Estimation of surface albedo from space: A parameterization for global application, *Geophysical Research*, 99: 3330-3350.
15. Liang, S., 2000, Narrowband to broadband conversions of land surface albedo Algorithms, *Remote Sens Environ*, 76(2): 213-228.
16. Liang, S., Strahler, A., Walthall, C., 1998, July. Retrieval of land surface albedo from satellite observations: A simulation study. In *Geo science and Remote Sensing Symposium Proceedings*, IEEE International, 3: 1287-1288.
17. Liang, X., Xu, M., Gao, W., Kunkel, K., Slusser, J., Dai, Y., Min, Q., Houser, P.R., Rodell, M., Schaaf, C. B., Gao, F., 2000, Development of land surface albedo parameterization based on Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data, *Geophysical Research*, 110: 1-20.
18. Maurer, J., 2002, Retrieval of surface albedo from space, Part of a graduate course ("Remote Sensing Field Methods"), NASA/GSFC/LaRC/JPL, 1: 1-10.
19. Muller, E., Decamps, H., 2001, Modeling soil moisture-reflectance, *Remote Sens Environ*, 76: 173-180.
20. Nicholson, S. E., Frouin, R., 2001, Satellite-derived surface radiation budget over the African continent—Part II: Climatologies of the various components, *Climate*, 14: 70-76.
21. Opoku Duah, S., Donoghue, D., Burt, T., 2008, Intercomparison of evapotranspiration over the Savannah Volta Basin in West Africa using remote sensing data. *Sensors*, 8: 2737-2761.
22. Pinty, B., Roveda, F., Verstraete, M. M., Gobron, N., Govaerts, Y., Martonchik, J. V., 2000, Surface albedo retrieval from Meteosat, *Geophysical Research*, 105: 99-112.
23. Robinson, D. A., Kukla, G., 1980, Maximum surface albedo of seasonally snow-covered lands in the Northern Hemisphere, *Clim Appl Meteorol*, 24: 402-411.
24. Roujean, J. L., Geiger, B., 2002, Use of a Kalman filter for the retrieval of surface BRDF coefficients with a time-evolving model based on the ECOCLIMAP land cover classification, *Remote Sensing of Environment*, 83: 1-10.
25. Schaaf, C. B., Gao, F., Strahler, A. H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., 2002, First operational BRDF albedo and nadir reflectance products from MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 83: 130-148.
26. Schaaf, C.B., Gao, F., Strahler, A.H., Lucht, W., Li, X., Tsang, T., Strugnell, N.C., Zhang, X., Jin, Y., Muller, J.P., 2002, First operational BRDF albedo nadir reflectance products from MODIS, *Remote Sensing of Environment*, 83: 130-148.
27. Strugnell, N. C., Lucht, W., 2001, An algorithm to infer continental-scale albedo from AVHRR data, land cover class and field observations of typical BRDFs, *Climate*, 14: 1370-1376.
28. Taberner, M., Pinty, B., Govaerts, Y., Liang, S., Verstraete, M. M., Gobron, N., 2000, Comparison of MISR and MODIS land surface albedos: Methodology, *Geophysical Research*, 105: 29-40.

۳۴. Thomas, G., Rowntree, P. R., ۱۹۹۲, The boreal forests and climate, Meteorol Soc, ۱۱۸: ۴۶۹-۷۹۷.
۳۵. Twine, T.E., Kucharik, C.J., Foley, J.A., ۲۰۰۴, Effects of land cover change on the energy and water balance of the Mississippi River Basin, Hydrometeorology , ۵: ۶۴۰-۶۵۰.
۳۶. Van Beek, E., Meijer, K., ۲۰۰۶, Integrated water resources management for the Sistan closed inland delta, Iran, Delft, Netherlands, Delft hydraulics, www.wldelft.nl/cons/area/rbm/wrpl/pdf/main_report_sistan_irwm.pdf.
۳۷. Wang, K., Liang, S., Schaaf, C. L. and Strahler, A. H., ۲۰۱۰, Evaluation of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer land surface visible and shortwave albedo products at FLUXNET sites, J. Geophys. Res, ۱۱۵, D۱۷۱۰۷, doi:۱۰.۱۰۲۹۳۰۰۹JD۰۱۳۱۰۱.
۳۸. Wanner, W., Strahler, A. H., Hu, B., Lewis, P., ۱۹۹۷, Global retrieval of bidirectional reflectance and albedo over land from MODIS and MISR data: Theory and algorithm, Journal of Geophysical Research, ۱۰۲: ۱۴۳-۱۶۱.
۳۹. Wielicki, B. A., Wong, T., Loeb, N., Minnis, P., Priestley, K., Kandel, R., ۲۰۰۵, Changes in Earth's albedo measured by satellite, Sci, ۸۰۸: ۸۲۵-۸۲۵.

