

هیدروژنومورفولوژی، شماره‌ی ۱۶، پاییز ۱۳۹۷، صص ۱۷۵-۱۵۹

وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۲۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۰

بررسی نقش عوامل هیدروژنومورفولوژیکی و تغییرات اقلیمی در میزان پوشش برف در کوهستان الوند

زهره مریانجی^{۱*}

مسلم درویشی^۲

چکیده

پوشش برف یک پدیده‌ی مهم هیدروژنومورفولوژیکی است، آب ناشی از ذوب برف یک منبع حیاتی در تغذیه‌ی آب‌های زیر زمینی در بسیاری از نقاط جهان بوده و سهم چشمگیری در سیلاب رودخانه‌ها دارد. برف یکی از فاکتورهای مهم کنترل‌کننده‌ی هیدرو اقلیم هر ناحیه‌ی جغرافیایی است که تابع عوامل هیدروژنومورفولوژیکی مانند شیب و جهت دامنه است. تحقیق اخیر در فن‌آوری سنجش از دور، ترکیب مناسبی را از تحلیل‌ها و تعیین سهم شیب و جهت دامنه و تغییرات دما و بارش در بررسی پوشش برف در ارتباط با مدل‌های هیدروژنولوژیکی در اختیار قرار می‌دهد، بر این اساس برای تشخیص سهم ناهمواری‌ها (جهت و میزان شیب دامنه) در ریزش برف در دو طرف دامنه شمالی و جنوبی کوهستان الوند از تلفیق مدل NDSI و مدل همسازها استفاده گردید، نتایج نشان می‌دهد دامنه‌ی شمالی منطقه‌ی مورد مطالعه (حوضه‌ی آبریز عباس‌آباد) هفت درصد بارش برف بیشتری نسبت به دامنه‌ی جنوبی دریافت می‌کند. تأثیر دامنه در میزان پوشش برف را مدل آماری همسازها نیز تأیید می‌کند، چنانچه بر اساس یافته‌ها این مدل مقدار واریانس همساز دوم در دامنه‌ی شمالی الوند (حوضه‌ی آبریز عباس‌آباد) ۲۸ درصد و در دامنه جنوبی آن (حوضه‌ی آبریز تویسرکان رود) ۲۰ درصد است و علت آن دریافت کمتر انرژی خورشید و سرمای بیشتر دامنه‌ی شمالی در حوضه‌ی آبریز عباس‌آباد است.

۱- استادیار گروه جغرافیا، آب و هواشناسی دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، همدان، ایران (نویسنده مسئول).
Email: z.maryanji@gmail.com

۲- مربی گروه مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه سیدجمال‌الدین اسدآبادی، همدان، ایران.

همچنین میزان برف در منطقه‌ی تحت تأثیر عواملی نظیر شیب دامنه، متغیر بوده است. به‌طور کلی بر اساس یافته‌ها می‌توان گفت روند پوشش برف در دو طرف دامنه‌ی الوند در دهه‌ی اخیر رو به کاهش است و می‌تواند چالش زیست محیطی منطقه در سال‌های اخیر باشد.

کلمات کلیدی: عوامل هیدروژئومورفولوژیکی، تصاویر ماهواره لندست، NDSI.

مقدمه

پوشش برف و تغییرات زمانی آن از پارامترهای اساسی در مطالعات هیدروژئومورفولوژیکی و اقلیم‌شناسی در مناطق با عرض جغرافیایی بالا و متوسط می‌باشد. برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه‌ی هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی نقش ارزنده ایفا می‌کند. برف با نمایش اطلاعات تغییر اقلیم، نقش مهم و حساسی در چرخه‌ی آبی زمین دارد. مطالعه برف به عنوان یکی از منابع پایدار تأمین آب‌های سطحی و زیر سطحی در کشور ما همواره مورد توجه بوده است (حقی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶).

امروزه استفاده از ابزار مهم سنجش از دور برای فهم عوامل پیچیده‌ی محیطی برف در مقیاس محلی و جهانی کاربرد فراوان دارد. ابزارهای تصویرساز سنجش از دور، اندازه‌گیری‌های مهمی را در این زمینه فراهم می‌کند. در زمینه برف سامانه‌های سنجش از دور ضرورت و اهمیت زیادی برای تهیه‌ی شواهد مستقیم تغییر اقلیم دارد. همچنین سنجش از دور برای فراهم کردن داده‌هایی که می‌توانند در مدل‌های تخمین و پیش‌بینی تغییرات استفاده شوند نیز اهمیت زیادی دارد. مطالعه برف بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای همواره مورد توجه محققان بوده است، در این زمینه می‌توان به کارهای تحقیقی زیر اشاره نمود، پاراجکا^۱ و بلوش^۲ (۲۰۰۸) قابلیت تهیه‌ی نقشه‌ی برف بر مبنای تصاویر

1- Parajka, J.

2- Blöschl, G.

مودیس^۱ را مورد بررسی قرار دادند. همچنین در رابطه با استفاده از سنجنده‌ی مودیس در تولید نقشه‌ی برف می‌توان به کار ژانگ و همکاران^۲ (۲۰۱۰) اشاره نمود. نیکو مولگ و همکاران (۲۰۱۰) بر مبنای تصاویر سنجنده‌ی مودیس ماهواره‌های ترا^۳ و آکوا^۴ به کاهش سهم پیکسل‌های ابر در تصاویر پرداخته و در نتیجه دقت شناسایی برف را افزایش دادند این افراد از تصاویر سنجنده ETM+^۵ ماهواره لندست^۶ جهت ارزیابی دقت عملکرد روش پیشنهادی خود استفاده نمودند، مشابه این کار در ایران توسط باصری نام و همکاران (۱۳۹۴) انجام شده است. استفاده از شاخص تشخیص برف تحت عنوان NDSI^۷ در تحقیقات شناسایی پوشش برف بر مبنای تصاویر ماهواره‌ای بسیار مورد استفاده قرار گرفته است که می‌توان به کارهای مختلف‌یاشاره نمود. (رایگانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ شفیع‌زاده مقدم، ۱۳۷۸؛ امینی و همکاران، ۱۳۹۵؛ خسروی، ۱۳۹۳).

علاوه بر این برف از جنبه‌های گوناگونی همواره مورد توجه محققان بوده است. در تحلیل شرایط ریزش برف بیشتر عوامل هواشناختی نظیر پروفیل عمودی دما (جو سطح زمین و جو بالا)، شب‌نم و... مورد توجه بوده است (زینی‌وند و همکاران، ۲۰۰۹: ۴۸۹). ماتسوا و ساسیو^۸ (۱۹۸۱) با بررسی شرایط ریزش برف در مناطقی از کشور ژاپن بهترین دماهای شروع ذوب برف را دماهای بین ۱ تا ۲ درجه سانتی‌گراد معین نمودند. جنیفر مورن^۹ و همکاران (۲۰۰۸) به شناسایی و معرفی الگوهای آب و هوایی بزرگ مقیاس مؤثر بر تنوع بارش برف در شرق ایالات متحده پرداختند. هاگ مارک و لاورسون^{۱۰} (۱۹۹۷) دمای بالاتر از یخبندان، دمای مرطوب و خشک و بخار آب موجود در جو را از عناصر

1- MODIS

2- Zhang, Y.

3- Terra

4- Aqua

5- Enhanced Thematic Mapper Plus

6- Landsat

7- Normalized Difference Snow Index

8- Matsuo, T., Sasyo, Y.

9- Jennifer Morin

10- Häggmark, L. Ivarsson, K-I.

11- YE Baisheng

مهم در ذوب برف برمی‌شمارد. بی بیشینگ و همکاران^۱ (۱۹۹۹) تأثیر دما بر ذوب برف و دبی رودخانه‌ها در مناطق یخچالی چین را بررسی نمودند. حامد آصف^۲ و همکاران (۲۰۰۷) به کمک معادلات غیرخطی و مدل SCS با اتکا بر بیلان انرژی ورودی و واکنش سطوح پوشیده از برف مدلی را برای تخمین ذوب برف ابداع نمودند. ژانگ بی چی^۳ و همکاران (۲۰۰۷) با توجه به گرادیان دما-ارتفاع، نقش دمای حداکثر روزانه با تأخیر ۱۲ ساعته در ذوب برف را مؤثرتر از متوسط دما می‌دانند. سانجای کامور^۴ و همکاران (۲۰۰۹) به منظور شبیه‌سازی ذوب برف و رواناب حاصل از آن در حوضه‌های کوهستانی از متوسط درجه حرارت بیشتر از صفر درجه سانتی‌گراد و بارش استفاده نمودند. در ایران نیز زینی‌وند (۲۰۰۹) به کمک مدل فیزیکی بیلان انرژی تابشی با طول موج بلند و پوشش آسمان را در ذوب برف مؤثر دانسته و از آن جهت برآورد سیلاب استفاده کردند. خسروی و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور پرداختند. قائمی و مرید (۱۳۷۳) با تحلیل برف در حوضه رودخانه دماوند دمای ۳ درجه سانتی‌گراد و کمتر را جهت ریزش برف و مقدار آب معادل برف را ۲ برابر متوسط حداکثر دما و ۴ برابر متوسط دما مشخص نمودند، مصیبی (۱۳۷۸) استفاده از متوسط دمای ماهانه و حداکثر متوسط دما را جهت برآورد تخمین ذوب برف مناسب دانسته است. رحیمی (۱۳۸۵) با کمک روش درجه-روز دماهای بیشتر از ۲ درجه بالاتر از صفر را موثر دانسته‌اند. مهم‌ترین نوآوری این تحقیق مشخص نمودن اثر تغییرات دما بر ریزش برف با استفاده از داده‌های دمای سطح زمین با بررسی برف در دامنه شمالی و جنوبی کوهستان الوند طی یک دوره‌ی زمانی ده ساله (در بازه‌ی زمانی اسفند ماه) و تعیین سهم عوامل هیدروژئومورفولوژیکی نظیر شیب و جهت دامنه در پوشش برف است.

1- Hamed Assaf

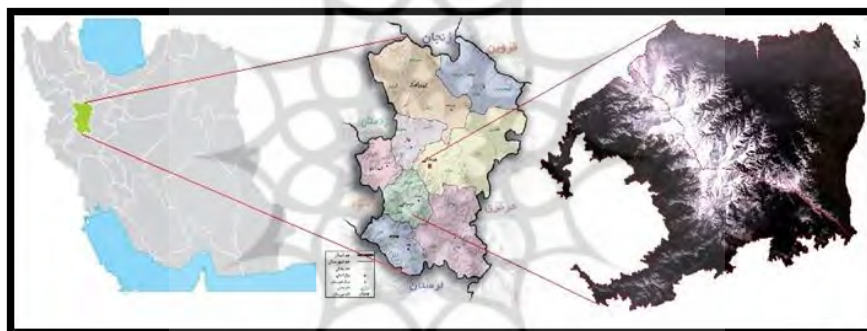
2- Zhang YiChi

3- Sanjay Kumar Jain

مواد و روش‌ها

– منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه کوهستان الوند در میانه‌ی استان همدان و حد طبیعی بین حوضه‌ی آبریز عباس‌آباد در دامنه‌ی شمالی و حوضه‌ی آبریز تویسرکان رود در دامنه‌ی جنوبی است. جهت این کوهستان از شمال غربی به جنوب شرقی است و استان همدان را به دو نیمه‌ی شمالی و جنوبی تقسیم می‌کند. شکل (۱) موقعیت کوهستان الوند را نشان می‌دهد.



شکل (۱) منطقه‌ی مورد مطالعه، کوهستان الوند واقع در مرکز استان همدان

– کاربرد مدل NDSI و تصاویر ماهواره‌ای لندست

در این تحقیق بر پایه‌ی تصاویر ماهواره لندست ۵، ۷، ۸ و با استفاده از داده‌های موجود در باندهای مرئی و مادون قرمز به استخراج اطلاعات برف بر مبنای شاخص NDSI پرداخته شده است. در ماهواره‌ی لندست ۵ از اطلاعات سنجنده TM^۱، در ماهواره‌ی لندست ۷ از اطلاعات سنجنده ETM+ و در ماهواره لندست ۸ از اطلاعات سنجنده OLI^۲ استفاده شده است. برای همه‌ی تصاویر پس از تصحیحات اتمسفری با

1- Thematic Mapper

2- Operational Land Imager

استفاده از مدل FLAASH^۱، میزان بازتابندگی^۲ در باندهای سبز و مادون قرمز موج کوتاه محاسبه شده است و بر مبنای این اصل که پوشش برف در باند سبز بازتابش به شدت بالایی داشته و در باند مادون قرمز موج کوتاه^۳ این بازتابش بسیار پایین خواهد بود، شاخص NDSI با استفاده از رابطه ی (۱) برای تهیه ی نقشه ی برف بر روی تصاویر اعمال شده است:

$$\text{NDSI} = \frac{(\rho_{\text{green}} - \rho_{\text{SWIR}})}{(\rho_{\text{green}} + \rho_{\text{SWIR}})} \quad \text{رابطه ی (۱)}$$

رابطه ی (۱) ρ_{green} : میزان بازتابندگی در باند سبز، ρ_{SWIR} : میزان بازتابندگی در باند مادون قرمز کوتاه

استفاده از شاخص های نسبتی نظیر NDSI اثر توپوگرافی را بر نتیجه حاصل به شدت کاهش خواهد داد، یکی دیگر از مواردی که این شاخص را مورد تأثیر قرار خواهد داد وجود ابر در تصاویر است که در این تحقیق با توجه به پوشش کامل ابر بر روی منطقه ی مورد مطالعه در سه مقطع زمانی از ده مقطع مورد بررسی، در این مقاطع زمان اخذ تصویر با کمی جابجایی نسبت به سایر زمان ها مورد بررسی قرار گرفت.

– کاربرد مدل همسازها و روش های آماری

در این مطالعه از داده های دما و برف در ایستگاه همدید، همدان فرودگاه و تویسرکان استفاده شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، دوره ی آماری انتخاب شده برابر با ۱۰ سال (۲۰۰۶-۲۰۱۵) می باشد. جهت بررسی نقش کوهستان الوند در ریزش برف در دو دامنه ی شمالی و جنوبی و تغییرات رژیم ریزش برف در دامنه ی بادگیر و باد پناه الوند از تحلیل فوریه (همسازها) استفاده شد. بدین منظور با استفاده از میانگین

1- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

2- reflectance

3- SWIR: Short-wavelength infrared

ماهانه بارش برف به سانتی‌متر با کاربرد سری‌های فوریه به تحلیل همسازهای بارش برف و رفتارهای تناوبی و تغییرات زمانی آن پرداخته شد.

این تحلیل به کمک یک سری زمانی در رابطه‌ی (۲) نشان داده شده است: (تاراونه^۱، ۲۰۰۳):

$$X_t \cong \bar{X} \cdot \prod_{i=1}^n \left\{ a_i \cos \frac{2\sigma}{T} it \cdot b_i \sin \frac{2\sigma}{T} it \right\} \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

رابطه‌ی (۲) را یک الگوی فوریه گویند. ضروری است یادآوری شود که هر چند نمایش فوریه (یک دنباله متناهی) مقوله‌ای صرفاً ریاضی است ولی تعیین آن با تعداد معدودی از همسازها است که به لحاظ آماری معنی‌دار بوده و تقریب خوبی به دست می‌دهد. الگوی فوریه در تعیین حالت کلی رفتار جو اهمیت بسیاری داشته در حقیقت غالباً تعداد کمی از همسازها برای بیان رفتار یک عنصر اقلیمی کفایت می‌کند (رابسون^۲، ۱۹۹۷).

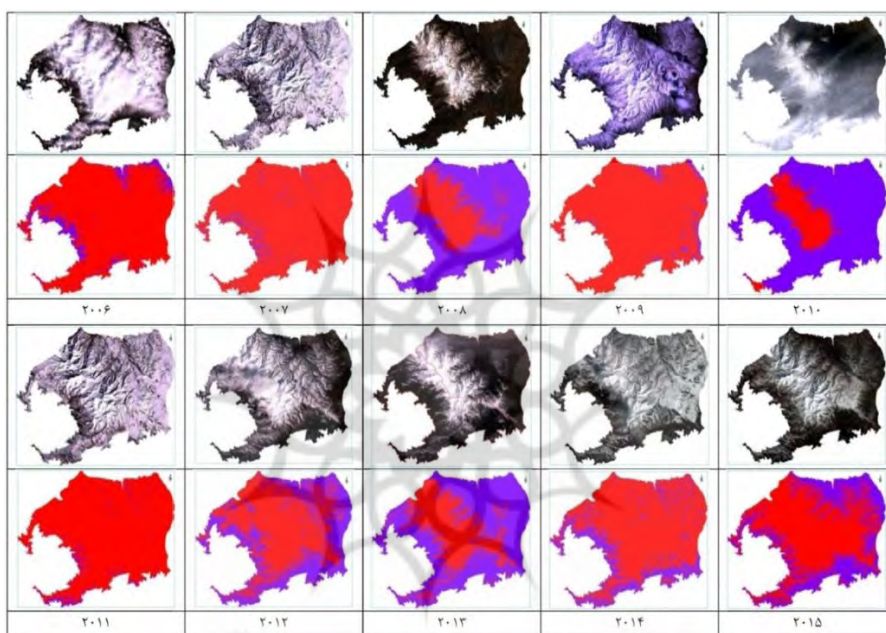
رابطه‌ی (۲) نمایش فوریه سری زمانی $(X_1, X_2, X_3 \dots X_n)$ است. همان‌گونه که در رابطه‌ی (۲) دیده می‌شود، مؤلفه‌های سینوسی و کسینوسی حول یک میانگین ثابت رفتار سری را تعیین می‌کنند. چنان که آشکار است الگوی فوریه را نیز می‌توان به عنوان یک الگوی رگرسیون خطی در نظر گرفت که در آن تعداد ضرایب رگرسیون برابر طول سری می‌باشد.

در رابطه‌ی (۲) a_i و b_i ضرایب فوریه نامیده می‌شوند و همانند یک رگرسیون چند متغیره با استفاده از روش کمترین مربعات خطا به دست می‌آیند. این ضرایب با استفاده از رابطه‌ی (۳) و (۴) محاسبه می‌شوند (تاراونه، ۲۰۰۳).

1- Tarawneh
2- Robeson

$$a_i \equiv \frac{2}{N} \left| \sum_{t=1}^{N/2} x_t \cos \left[\frac{2\sigma}{12} it \right] \right|, i \equiv 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

$$b_i \equiv \frac{2}{N} \left| \sum_{t=0}^{N/2} x_t \sin \left[\frac{2\sigma}{12} it \right] \right|, i \equiv 1, 2, \dots, \frac{N}{2} \quad \text{رابطه‌ی (۴)}$$



شکل (۲) تصاویر مرئی و نقشه‌ی پوشش برف برای منطقه‌ی مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی ده ساله از ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵

بحث و نتایج

– تفسیر تصاویر ماهواره‌ای

پس از اعمال تصحیحات اتمسفری، رادیومتریکی و هندسی بر روی تصاویر اخذ شده شاخص تفاضلی نرمال شده برف برای تصاویر مختلف استخراج شد. منطقه‌ی مورد مطالعه بر مبنای مدل رقومی ارتفاعی^۱ به دو قسمت الوند شمالی و جنوبی تقسیم‌بندی شده است

1- DEM: Digital elevation model

و ارتفاع‌های ۱۹۴۰ الی ۳۵۷۰ متری در منطقه‌ی مورد بررسی قرار گرفته است. شکل (۲) پردازش‌های مذکور و استخراج نقشه برف برای منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

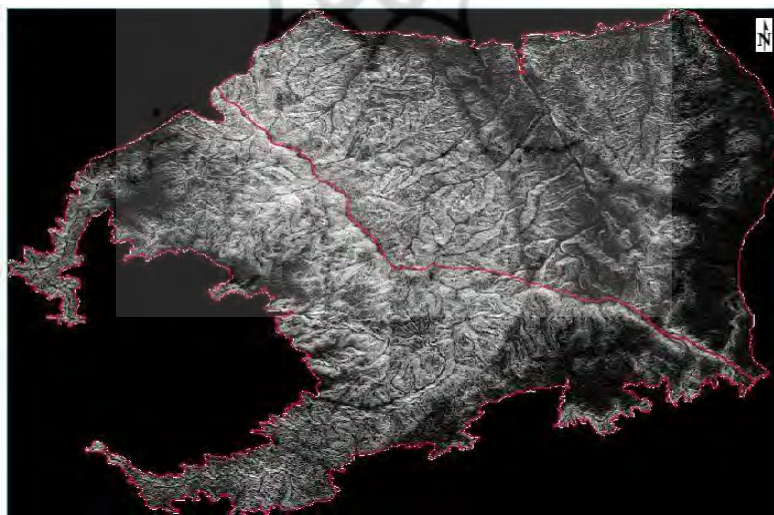
یکی از عوارض و پدیده‌های اثرگذار بر پوشش برف، اثر کوهستان یا توپوگرافی منطقه می‌باشد. توده‌های هوا با توجه به ارتفاعشان ممکن است به وسیله‌ی کوه متوقف شده، تغییر جهت داده و یا از کوه عبور کنند، لذا خواص این توده‌ها و وضع هوای قابل انتظار از آنها قبل از هر چیز به وسیله حرکات صعودی اجباری در دامنه‌ی کوه‌ها کنترل می‌شود. جهت مطالعه‌ی نقش ارتفاع و مقایسه جهت دامنه در پوشش برف از تصاویر مرئی محدوده (ماهواره لندست) و مدل NDSI استفاده شد. بر اساس یافته‌های مدل جدول (۱) حوضه‌ی آبریز تویسرکان رود برف کمتری (۶۲ درصد) نسبت به حوضه‌ی آبریز عباس‌آباد (۶۹ درصد) دریافت می‌کند با اینکه توده‌ی هوای مرطوب ضمن صعود در دامنه‌ی غربی ارتفاعات الوند، باعث بارش بیشتری نسبت به دامنه‌ی شرقی آن می‌گردد، اما دمای ایستگاه همدان به دلیل قرار گرفتن در دامنه‌ی شمالی الوند و دریافت کمتر انرژی خورشید سردتر از ایستگاه تویسرکان است و این باعث می‌شود ریزش برف در دامنه شمالی مشهودتر از دامنه جنوبی باشد (شکل ۲).

جدول (۱) درصد پوشش و مساحت برف برای منطقه‌ی مورد مطالعه در بازه‌ی ده ساله

تاریخ اخذ تصویر	ماهواره	سنجنده	پوشش برف الوند شمالی (مترمربع)	درصد مساحت پوشش برف الوند شمالی	پوشش برف الوند جنوبی (مترمربع)	درصد مساحت پوشش برف الوند جنوبی	پوشش برف الوند (مترمربع)	درصد مساحت پوشش برف الوند
۲۰۰۶،۰۲	Landsat 7	ETM+	۹۳،۹۳	۴۸۴،۷۷۲،۴۰۰	۸۸،۳۹	۴۰۲،۰۵۹،۷۰۰	۹۱،۳۳	۸۸۶،۸۲۳،۱۰۰
۲۰۰۷،۰۱	Landsat 7	ETM+	۹۸،۵۴	۵۰۸،۵۳۶،۰۰۰	۹۳،۷۲	۴۲۶،۳۰۷،۵۰۰	۹۶،۲۸	۹۳۴،۸۴۳،۵۰۰
۲۰۰۸،۰۳	Landsat 7	ETM+	۳۰،۲۲	۱۵۵،۹۵۵،۶۰۰	۲۲،۰۷	۱۰۰،۳۸۴،۲۰۰	۲۶،۴۰	۲۵۶،۳۳۹،۸۰۰
۲۰۰۹،۰۲	Landsat 5	TM	۹۳،۷۴	۴۸۳،۸۰۷،۶۰۰	۹۷،۳۱	۴۴۲،۶۶۰،۵۰۰	۹۵،۴۲	۹۲۶،۴۶۸،۱۰۰
۲۰۱۰،۰۲	Landsat 5	TM	۱۷،۵۴	۹۰،۵۴۳،۶۰۰	۲۲،۳۸	۱۰۱،۸۱۷،۰۰۰	۱۹،۸۱	۱۹۲،۳۶۰،۶۰۰
۲۰۱۱،۰۱	Landsat 7	ETM+	۹۸،۸۸	۵۱۰،۲۹۷،۳۰۰	۹۳،۵۷	۴۲۵،۶۴۷،۸۰۰	۹۶،۳۹	۹۳۵،۹۴۵،۱۰۰
۲۰۱۲،۰۲	Landsat 7	ETM+	۶۵،۱۶	۳۳۶،۲۶۴،۳۰۰	۵۰،۹۴	۲۳۱،۷۰۲،۳۰۰	۵۸،۴۹	۵۶۷،۹۶۶،۶۰۰
۲۰۱۳،۰۲	Landsat 7	ETM+	۳۵،۳۴	۱۸۲،۳۸۵،۰۰۰	۳۵،۱۵	۱۵۹،۹۰۰،۳۰۰	۳۵،۲۵	۳۴۲،۲۸۵،۳۰۰
۲۰۱۴،۰۲	Landsat 8	OLI	۹۲،۴۵	۴۷۷،۱۴۷،۶۰۰	۶۳،۶۰	۲۸۹،۳۲۷،۵۰۰	۷۸،۹۴	۷۶۶،۴۷۵،۱۰۰
۲۰۱۵،۰۲	Landsat 8	OLI	۶۶،۷۰	۳۴۴،۲۴۷،۳۰۰	۶۲،۶۰	۲۸۴،۷۷۴،۴۰۰	۶۴،۷۸	۶۲۹،۰۲۱،۷۰۰

– بررسی میزان شیب منطقه در دامنه‌ی شمالی و جنوبی الوند

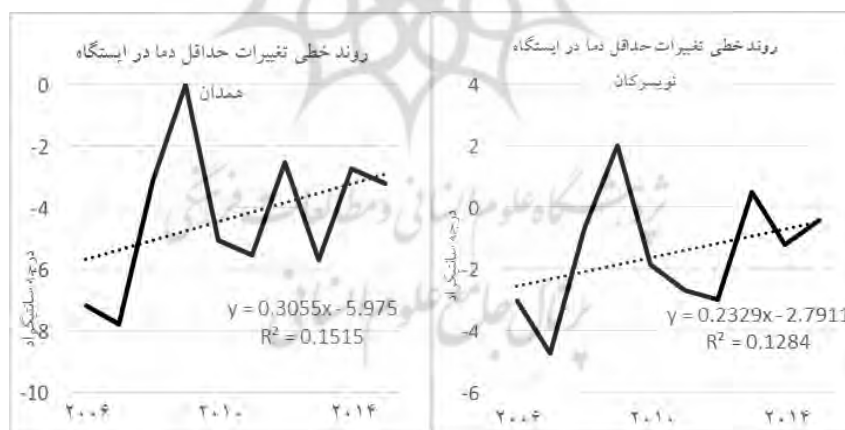
با استفاده از مدل های رقومی ارتفاع که خود می‌توانند حاصل پردازش‌های زوج تصویر باشند می‌تواند میزان شیب در مناطق مختلف را برآورد نمود، در این تحقیق بر پایه‌ی مدل رقومی ارتفاعی استر، شیب در دامنه‌ی شمالی و جنوبی کوهستان الوند مورد بررسی قرار گرفت که از نتایج آن می‌توان به شیب متوسط ۹۶,۳۹٪ معادل ۴۳,۹۵ درجه در دامنه‌ی شمالی و شیب متوسط ۱۴۹,۱۹٪ معادل ۵۶,۱۷ درجه در دامنه‌ی جنوبی الوند اشاره نمود، نتایج، شیب بالاتر در دامنه‌ی جنوبی را نمایش می‌دهند، شکل (۳) از مقایسه میزان پوشش برف در دامنه‌ی شمالی و جنوبی می‌توان دریافت که همواره میزان پوشش برف در دامنه‌ی شمالی بیش از دامنه‌ی جنوبی در طول دوره‌ی بررسی ده ساله بوده است، به نظر می‌رسد مهم‌ترین عامل این پدیده جهت تابش نور خورشید می‌باشد، البته شیب کمتر دامنه‌ی شمالی را نیز می‌تواند عامل دیگر آن برشمرده شود زیرا در شیب کمتر روان آب‌ها با سرعت کمتری مسیر خود را طی کرده و ماندگاری بیشتر برف در دامنه را موجب شوند (امانیان و همکاران، ۱۳۹۶).



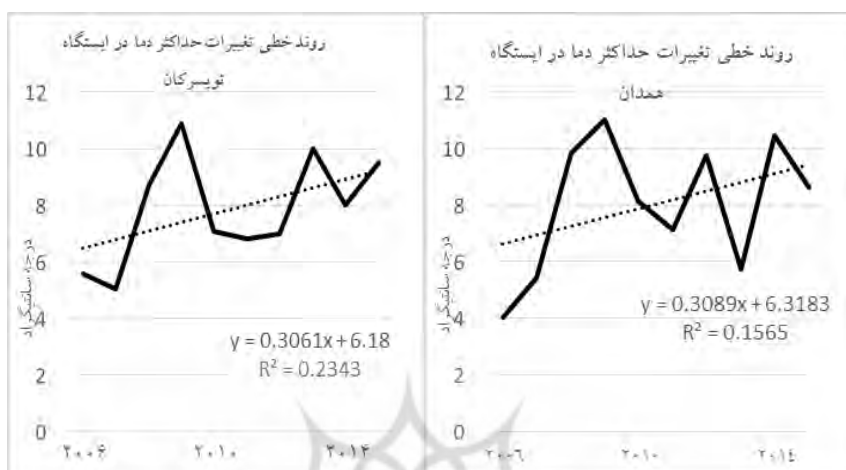
شکل (۳) نقشه‌ی شیب دامنه‌ی شمال و جنوبی الوند

– تغییرات داده‌های دما در منطقه‌ی مورد مطالعه

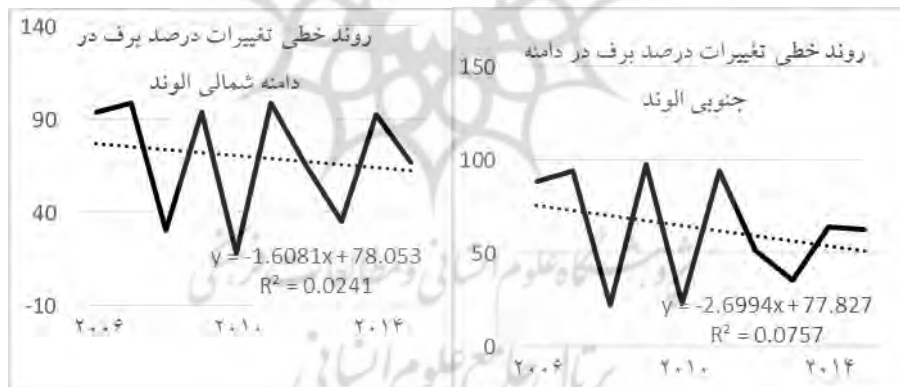
به منظور بررسی و شناسائی وجود هر گونه روند، بی‌نظمی‌ها و نوسانات در سری‌های زمانی، ابتدا نمودار داده‌های حداقل، حداکثر در فصل زمستان در ایستگاه همدان و ایستگاه تویسرکان ترسیم شده و خط روند مربوطه آن مشخص گردید. شکل (۴) نمودار خطی نوسانات دما حداقل و حداکثر در فصل زمستان را در طی دوره‌ی آماری مورد مطالعه نشان می‌دهد. همانگونه که شکل (۴) نشان می‌دهد، حداقل و حداکثر دما در فصل زمستان افزایش یافته است. این روند تند افزایشی در دمای فصل زمستان و کاهش ریزش برف نشانگر اثرات تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در منطقه‌ی مورد مطالعه است. شکل (۴) نمودار تغییرات حداقل، حداکثر در فصل زمستان در ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. در ده سال اخیر تغییرات ناگهانی در روند مشاهده می‌شود و شیب تغییرات قابل تامل است. به طوری که در ده سال اخیر کاهش ریزش برف و گرمای نسبی هوا در فصل زمستان در منطقه مشهود می‌باشد (شکل ۵).



شکل (۴) میزان روند حداقل‌های دما، در ایستگاه همدان و تویسرکان



ادامه‌ی شکل (۴) میزان روند در حداکثرهای دما در فصل زمستان در ایستگاه همدان و توپسرکان (۲۰۰۶-۲۰۱۵)



شکل (۵) میزان تغییرات درصد برف در دامنه‌ی شمالی و جنوبی الوند در اسفند ماه (۲۰۰۶-۲۰۱۵)

– آشکارسازی تغییرات ریزش برف در دامنه‌ی الوند با استفاده از تحلیل همسازها

در این مقاله دو همساز اول مورد استفاده قرار گرفته است تا تغییر پذیری الگوهای ریزش برف را تفسیر نماید. اولین همساز یک موج است که تمام دوره را پوشش می‌دهد و هر تغییر کوچکی نمی‌تواند با این همساز نشان داده شود. فراوانی اولین همساز

($\frac{1}{12}$ ماه) است در حالی که فراوانی دومین همساز ($\frac{2}{12}$ ماه) است که می‌تواند جزئیات بیشتری را توضیح دهد. با تحلیل سهم واریانس همسازهای مختلف بارش برف از منابع مختلف تعیین و با تحلیل دامنه‌ی مقدار حداکثر ریزش برف مشخص و نیز زمان وقوع حداکثر بارش برف تخمین زده می‌شود.

مقدار واریانس در همساز اول بیانگر سهم منطقه از سیستم‌های برون‌مرزی و سینوپتیک است که خارج از مرزهای ایران در فصل زمستان تشکیل می‌شود و بر اقلیم منطقه اثر می‌گذارد (مانند توده‌های هوای قطبی-جبهه قطبی تأثیر رطوبت دریای مدیترانه توسط امواج کوتاه و بادهای غربی). در حالی که همساز دوم نشان‌دهنده‌ی تأثیر ارتفاعات بر آب و هوای منطقه است. مقدار واریانس همساز دوم در دامنه‌ی شمالی قابل ملاحظه است، مقدار آن ۲۸ درصد می‌باشد و بیانگر تأثیر توپوگرافی بر بارش برف منطقه است که با افزایش ارتفاع کاهش دما و صعود اجباری توده‌های هوا در فصل پاییز در دامنه‌ی الوند و تبدیل نزولات جوی به برف قابل توجه است و نشان می‌دهد علت ریزش برف تا ۲۸ درصد مربوط به ارتفاع و توپوگرافی دامنه شمالی الوند است. این در حالی است که در حوضه‌ی تویسرکان رود این مقدار به ۲۰ درصد کاهش می‌یابد یعنی ارتفاعات شمالی الوند در ریزش برف به طور مؤثرتری عمل می‌کند. جدول (۲) اطلاعات همسازهای اول تا سوم ریزش برف در ایستگاه همدان و تویسرکان

جدول (۲) اطلاعات همسازهای اول تا سوم ریزش برف در ایستگاه همدان و تویسرکان

ایستگاه	همساز	ai	bi	Ai	μ_i	ti	vi	PVRi	CPVRi
تویسرکان	۱	۱۷/۸	۵/۸	۱۸/۲	۲۲/۱	۰/۵	۱۶۵	۷۳/۷	۷۱/۷
	۲	۰/۷۲	۰/۵۸	۱۰/۸	۴۱/۸	۰/۴۵	۴۶/۴	۲۰/۹	۹۴/۶
همدان	۱	۱۰/۴	۴/۳	۱۱/۲	۲۲/۴	۰/۸۵	۶۳	۶۷/۸	۶۷/۸
	۲	۴/۹	۴/۷	۶/۸	۴۳/۲	۰/۷۵	۲۳/۵	۲۸	۹۲/۸

نتیجه‌گیری

کوهستان الوند شاخه‌ایی از رشته کوه زاگرس است که از داخل استان همدان عبور می‌کند و دارای قله مرتفع و بلندی است، از پدیده‌های هواشناسی حاصل از این رشته کوه وزش بادهای شدید و کولاک برف و از پدیده‌های ژئو اقلیمی آن می‌توان به ریزش بهمن اشاره نمود. حوضه‌های آبریز عباس‌آباد و توپسرکان رود بیشتر از کوهستان الوند اثر می‌پذیرند (برهانی، ۱۳۸۲).

جهت دامنه‌ها نقش مهمی در توزیع مکانی پوشش برفی در کوهستان الوند دارد. این مطالعه با بررسی ویژگی‌های پنهان داده‌های اقلیمی از طریق تحلیل همسازها و عوامل هیدروژئومورفولوژی نظیر شیب و جهت دامنه در تصاویر ماهواره‌ای نشان داد سهم دامنه‌ی شمالی در ریزش برف بیشتر از دامنه‌های جنوبی است که مقدار قابل توجه آن در همساز دوم و کاهش نسبی دما و ریزش برف می‌باشد. دامنه‌های شمالی در نیمکره‌ی شمالی سردتر است و دامنه‌های آفتاب گیر جنوبی گرمای بیشتری را نسبت به دامنه‌های که در مقابل تابش مستقیم آفتاب قرار ندارند، دریافت می‌کنند (کاوپانی و علیجانی، ۱۳۷۳) میزان درصد برف در شاخص NDSI و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای نیز در دو طرف دامنه‌ی الوند این واقعیت جغرافیایی را تأیید می‌کند و همچنین کارایی این شاخص را در بررسی پوشش برف نشان می‌دهد.

نتایج پژوهش ثقفیان و سیما در پیش‌بینی احتمال مکانی وقوع برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که مدل زنجیره مارکوف و داده‌های ماهواره‌ای توانایی پیش‌بینی سطوح برفی در دامنه‌های برف‌گیر زاگرس را دارد (ثقفیان، ۱۳۹۳).

همچنین شیب کمتر دامنه‌ی شمالی می‌تواند عامل دیگری برای پوشش بیشتر برف باشد زیرا در دامنه‌ی شمالی با شیب کمتر، روان آب‌ها با سرعت کمتری مسیر خود را طی کرده و ماندگاری بیشتر برف در دامنه‌ی شمالی را موجب می‌شوند (امانیان، ۱۳۹۶).

صراف و همکاران نیز در پژوهشی به بررسی رابطه‌ی بین بارش و توپوگرافی در دامنه‌های شرقی و غربی کوهستان تالش پرداختند آنها دریافتند که دامنه‌های شرقی تالش بیش از دامنه‌های غربی بارش دریافت می‌کند و اثر متغیرهای توپوگرافی با جهت جغرافیایی تغییر می‌کند (صراف و همکاران، ۱۳۸۸).

به طور کلی نتایج، ویژگی پنهان افزایش دما و کاهش ریزش برف را در داده‌ها نشان می‌دهد و پردازش تصاویر ماهواره‌ای نیز این واقعیت را تأیید می‌کند. با توجه به اینکه الوند از لحاظ اقلیمی جزء مناطق سرد و کوهستانی کشور می‌باشد و پایداری محیط طبیعی در آن منوط به پایداری نسبی اقلیم است لذا به نظر می‌رسد جهت نیل به توسعه‌ی پایدار و آمایش سرزمین در این منطقه می‌بایستی در برنامه‌ریزی منطقه‌ای تغییرات اقلیمی و از جمله تغییرات و کاهش ریزش برف در بلندمدت لحاظ گردد.

منابع

- امانیان، نصرت‌الله؛ گرانیان، مهدی؛ طالبی، علی و محمدرضا هادیان (۱۳۹۶)، تأثیر پلان و نیم‌رخ شیب بر آستانه شروع رواناب، نشریه‌ی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، شماره‌ی ۳۹، صص ۱۱۰-۱۰۵.
- امینی، یاسر؛ علیپور، عباس؛ هاشمی، سیدمصطفی، و سجاد باقری سیدشکری (۱۳۹۶)، برآورد آب معادل برف در استان کرمان جهت مدیریت منابع آب با استفاده از داده‌های سنجش از دور مایکروویو غیرفعال به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و تکنیک‌های رگرسیون چندگانه، فصلنامه‌ی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره‌ی ۱۰۲، صص ۶۷-۸۰.
- باصری نام، سجاد؛ اسماعیلی، علی و مریم دهقانی (۱۳۹۴)، ارائه الگوریتم جهت بهبود دقت نقشه‌ی پوششی برف با استفاده از تصاویر مودیس، نشریه‌ی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی، شماره‌ی نخست، بهار ۱۳۹۴.
- برهانی، رضا (۱۳۸۲)، تهیه‌ی اطلس باد استان همدان به منظور برنامه‌ریزی محیطی، طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات هواشناسی استان همدان.
- ثقفیان، بهرام و سمیه سیما (۱۳۹۳)، پیش‌بینی احتمال مکانی وقوع برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور وزن‌جیره مارکوف مرتبه یک، مجله‌ی سنجش از دور و GIS ایران، شماره‌ی ۲، صص ۶۴-۴۹.
- حقی‌زاده، علی؛ کیانی، آرمان و میلاد کیانی (۱۳۹۶)، ارزیابی کارایی روش‌های زمین‌آماري به منظور برآورد توزیع مکانی عمق و چگالی برف در مناطق کوهستانی (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز گوش بالا مشهد)، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۲، صص ۶۶-۴۵.
- خسروی، محمود؛ طاوسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد و محبوبه امیدی قلعه محمدی (۱۳۹۶)، بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور، هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی ۱۲، صص ۴۴-۲۵.

- خسروی، عباس (۱۳۹۳)، تهیهی نقشه‌ی مخاطرات بهمن با داده‌های ماهواره‌ای و مدل ارتفاعی رقومی، فصلنامه‌ی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، شماره‌ی ۸۹، صص ۲۶-۳۱.
- مصری علمداری، پریچهر (۱۳۸۸)، بررسی رابطه بین بارش و توپوگرافی در دامنه‌های شرقی و غربی منطقه‌ی کوهستانی تالش، مجله‌ی جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره‌ی ۳۵، صص ۸۴-۶۳.
- Häggmark, L. Ivarsson, K-I. (1997), **MESAN Mesoscaling analysis**, SMHI RMK, No. 75, PP.21-28.
- Kirkyala K. & Sultan Hameed (1989), **Harmonic analysis of the seasonal cycle in precipitation over the United States: a comparison between observations and General Circulation Model**, American Meteorological Society, No.11794, PP.1463-1475.
- Matsuo, T., Sasyo, Y. (1981), **Non-melting phenomena of snowflakes observed in sub saturated air below freezing level**, Journal of the Meteorological Society of Japan, No, 59, PP.26-32.
- Mölg, N., Rastner, P., Irsara, L., Notarnicola, C., Steurer, C. & Zebisch, M. (2010), **Multi-temporal modis snow cover monitoring over the alpine regions for civil protection applications**, in 30th EARSeI symposium, 31st May–3rd June 2010.
- Parajka, J. & Blöschl, G., (2008), The value of modis snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrologic models, Journal of Hydrology, Vol. 358, PP.240-258.
- Zhang, Y., Yan, S. & Lu, Y. (2010), **Snow cover monitoring using modis data in Liaoning Province**, Northeastern China, Remote Sensing, Vol. 2, PP.777-793.