

صص ۱۸-۱

## بررسی روند تغییرات سطح پوششی برف و ارتباط آن با دمای سطح زمین به صورت سری زمانی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز مشکین شهر)<sup>۱</sup>

**موسی عابدینی\***

استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**ابوذر صادقی**

دانشجو دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

**حمید سلیمانی یوز بند**

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۱

### چکیده

برف و یخچال‌ها برای زندگی در زمین و تأمین زندگی انسان اساسی بوده و زندگی روزمره ما تأثیر می‌گذارند. لذا بررسی و ارزیابی دمای سطح زمین و سطح پوشش برف با مؤلفه توپوگرافیکی و تغییرات سطحی پوشش برفی (SC) حوضه مشکین شهر، هدف اصلی پژوهش است. در این پژوهش با استفاده از تصاویر لندست ۵، ۸ و ۹ در سامانه ارث انجین شاخص NDSI محاسبه و برای همان تصاویر دمای سطح زمین (LST) برای تابستان شاخص NDVI محاسبه شد. نتایج به دست آمده نشان داد که بین دمای سطح زمین و سطح پوشش برف رابطه معکوس وجود دارد. بررسی نقشه‌های (SC) و طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد که در ارتفاعات بالاتر از ۴۳۸۱ متر تا سال ۲۰۰۷ در تصاویر همه مناطق پوشیده از برف بوده است ولی بعد از سال ۲۰۰۷ با نوساناتی همراه بوده است. در ارتفاعات کمتر از ۲۰۰۰ متر میانگین سالانه دما ۱۴٫۹۷- تا ۰٫۹۷ درجه سانتی‌گراد است اما با افزایش ارتفاع دما کاهش می‌یابد. به طوری که در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر میانگین دمای سالانه حدود ۲۴٫۸۴- الی ۱۲٫۶۴- درجه سانتی‌گراد است. طبق نتایج پژوهش حاضر بیشترین میزان سبزیگی مربوط به سال ۱۹۹۳ با مساحت ۱۰۴۱٫۷۴ کیلومترمربع بوده که در این سال میزان مساحت سطحی برف برابر با ۱۶۴۲٫۳۷ کیلومترمربع بوده و در مقابل در سال ۲۰۰۶ میزان پوشش گیاهی در کم‌ترین مقدار خود برابر با ۲۳۷٫۴۲ کیلومترمربع که در این سال میزان مساحت پوشش برفی برابر با ۱۰۰۳٫۶۳ کیلومترمربع بوده است.

**واژگان کلیدی:** سطح پوشش برف، دمای سطح زمین، لندست، مشکین شهر، مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع.

<sup>۱</sup>- این مقاله مستخرج از طرح پژوهشی به شماره قرارداد (۴۰۲/۱۱۳) از محل اعتبارات معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه محقق اردبیلی می‌باشد.

## مقدمه

برف و یخچال‌ها برای زندگی در زمین و تأمین زندگی انسان اساسی بوده و زندگی روزمره ما تأثیر گذاشته و امکان توسعه فعالیت‌های اجتماعی-اقتصادی را فراهم می‌کند. از جمله تولید برق آبی، گردشگری، مصرف آب و کشاورزی. حجم برف به تغییرات اقلیم بسیار حساس است و عمدتاً توسط دو عامل اصلی یعنی دما و بارش کنترل می‌شود. پوشش برف فصلی که به شدت به نوسانات بارش و دما وابسته است، تغییرات معنادار فضایی و زمانی در توزیع برف را نشان می‌دهد که تأثیرگذار بر منابع آب تازه، الگوهای رواناب و خنک کردن دما سطح را دارد. با تغییرات اقلیم که منجر به تغییرات ناهمگن در ذوب برف و بارش می‌شود، بر اکوسیستم‌ها، جمعیت‌ها و فعالیت‌های اقتصادی حتی در مناطق خالی از برف تأثیر می‌گذارد. علاوه بر این، برف فصلی به‌طور قابل توجهی بر چرخه کربن تأثیر می‌گذارد (آکیورک و همکاران، ۲۰۲۳). کیسه‌برفی با انباشتن برف در طول زمستان‌های مرطوب و رهاسازی آهسته آن در بهار و تابستان خشک، منبع حیاتی تأمین آب برای جمعیت‌ها و اکوسیستم‌ها را فراهم می‌کند (مانکین<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵، ویویرولی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). در واقع، پوشش برف عنصر مهمی از سطح زمین است که بر توزیع مکانی و شرایط سایر عناصر یخ‌پوسته تأثیر می‌گذارد، زیرا برف یک جزء ضروری برای حفظ ثبات یخچال‌های طبیعی در مناطق معتدل بوده که بر بودجه جهانی و منطقه‌ای انرژی تأثیر می‌گذارد (بارنت<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این، پوشش برف تأثیر مستقیمی بر محیط‌زیست و سیستم اجتماعی-اقتصادی دارد، زیرا تحقیقات متعدد نشان می‌دهد که آب حاصل از ذوب برف جزء اصلی سیستم‌های رواناب در نواحی پایین از نظر کمیت و همچنین توزیع و کیفیت آب است (شوبر<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۴، سای<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). دانش پوشش برف برای پیش‌بینی ذوب برف و رواناب و اعتبارسنجی یا کالیبراسیون مدل‌های مختلف هیدرولوژیکی استفاده شده است (کیائو<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱). خورشید منبع اصلی، سر آغاز حیات و منشأ تمام انرژی‌ها است و تابش جهانی آن عامل اصلی تغییرات اقلیمی است (عابدینی و شیشه‌گران، ۱۴۰۲). علاوه بر این، ذوب شدن پوشش برف می‌تواند باعث بروز فجایع زیست‌محیطی مانند سیل یا خشک‌سالی در صورت عدم بارش برف شود؛ بنابراین، تشخیص به‌موقع شروع ذوب برف برای شناسایی سیل احتمالی ضروری است (پیلک<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به تمامی این جنبه‌ها و تأثیر تغییر اقلیم در مناطق کوهستانی بر گستره مکانی و طول مدت پوشش برف جهانی، پایش مستمر پوشش برف یکی از حیاتی‌ترین موضوعات در مطالعه و شناخت یخ‌پوسته است (سای<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۹). در مناطق نیمه‌خشک، مناطق کوهستانی پوشیده از برف به‌عنوان برج‌های آبی در نظر گرفته می‌شوند که منبع منظم آب برای آبیاری، آب آشامیدنی، تولید برق، ذخیره سدها و یک حائل حیاتی در دوره‌های خشک‌سالی هستند. علاوه بر این،

<sup>2</sup> Mankin et al

<sup>3</sup> Viviroli et al

<sup>4</sup> Barnett et al

<sup>5</sup> Schöber et al

<sup>6</sup> Tsai et al

<sup>7</sup> Qiao et al

<sup>8</sup> Pielke et al

<sup>9</sup> Tsai et al

منابع آب حاصل از برف‌های ذوب شده منبع اصلی آب برای جمعیت‌های ساکن پایین‌دست هستند (مانکین<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) و به‌طور قابل توجهی به تغذیه آب‌های زیرزمینی کمک می‌کنند (اوتیکی<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۲۲، وو و خو<sup>۱۲</sup>، ۲۰۰۷). علیرغم اهمیت منطقه پوشیده از برف برای مدیریت منابع آب در این مناطق، شکاف‌های زیادی در مورد پویایی سریع آن در مکان و زمان و ویژگی‌های آن باقی‌مانده است (بودار<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۲۰، توئل<sup>۱۴</sup> و همکاران، ۲۰۲۱)؛ بنابراین برآورد دقیق پوشش برف در حوضه‌های اطلس عالی برای مدل‌سازی مناسب تعادل آب کلی در مقیاس حوضه و به‌ویژه جریان و تغذیه آب زیرزمینی ضروری است. علاوه بر این، اطلس عالی از نظر ایستگاه‌های هواشناسی (هانیش<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۲۲، جارلان<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۵) به دلیل هزینه بالای آن‌ها و دشواری دسترسی به مناطق کوهستانی در زمستان، کمبود نشان می‌دهد. علاوه بر این، تنوع مکانی-زمانی آب‌وهوا و توپوگرافی پیچیده منطقه (بابا<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۲۱، بوماری<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۲۱، بودار<sup>۱۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۱، توئل و الطاهیر<sup>۲۰</sup>، ۲۰۱۸) مشکلات عمده‌ای را برای نقشه‌برداری نقشه‌برداری و نظارت بر پوشش برف در محل ایجاد می‌کند. به‌عنوان یک جایگزین، سنجش‌ازدور ماهواره‌ای نوری می‌تواند مشاهدات توزیع شده منظم در فضا و زمان را برای نقشه‌برداری از پوشش برف فراهم کند (دوزیر و مارکس<sup>۲۱</sup>، ۱۹۸۷، گاسکوین<sup>۲۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). پوشش برف به‌دلیل ویژگی‌های خاص آن در بخش نوری محدوده طیف الکترومغناطیسی، از طریق فضا از حسگرهای نوری مختلف قابل شناسایی است (بودار<sup>۲۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۰، مارچین<sup>۲۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). تهیه نقشه‌های پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از آوریل ۱۹۶۰ توسط سنجنده TIROS-1 شروع شده است؛ اما با گذشت چندین دهه از شروع به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای و سنجنده‌ها و تکنیک‌های مختلف جهت تهیه نقشه پوشش برف، همچنان تقاضا برای افزایش دقت و سرعت این نقشه‌ها وجود دارد (متکان و همکاران، ۱۳۸۷). در چند سال اخیر شاهد توسعه چندین ماهواره در مدار زمین بوده‌ایم که می‌توانند برای نظارت بر پوشش برف و نقشه‌برداری مورد استفاده قرار گیرند. متأسفانه، به‌دلیل محدودیت‌های تکنولوژیکی، ماهواره‌های موجود تصاویری با دو حالت ارائه می‌دهند: یا داده‌هایی با زمان بازبینی طولانی اما وضوح مکانی بالا، یا داده‌هایی با زمان بازدید مجدد کوتاه اما وضوح مکانی پایین (امیلیانوا<sup>۲۵</sup>، ۲۰۱۳، فنگ<sup>۲۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۶). به‌عنوان مثال، حسگرهای با وضوح پایین و نوار پهن

<sup>10</sup> Mankin et al

<sup>11</sup> Ouattiki et al

<sup>12</sup> Wu and Xu

<sup>13</sup> Boudhar et al

<sup>14</sup> Tuel et al

<sup>15</sup> Hanich et al

<sup>16</sup> Jarlan et al

<sup>17</sup> Baba et al

<sup>18</sup> Bouamri et al

<sup>19</sup> Boudhar et al

<sup>20</sup> Tuel and Eltahir

<sup>21</sup> Dozier and Marks

<sup>22</sup> Gascoïn et al

<sup>23</sup> Boudhar et al

<sup>24</sup> Marchane et al

<sup>25</sup> Emelyanova

مانند MODIS، SPOT-VEGETATION و NOAA-AVHRR فرکانس اکتساب روزانه مناسب برای نظارت زمانی سطح زمین در وضوح‌های مکانی مختلف از ۲۵۰ متر تا ۱ کیلومتر را ارائه می‌دهند. با این حال، وضوح فضایی MODIS برای ثبت تنوع فضایی پوشش برف کافی نیست که این امر توانایی ما را برای ارتباط بین وجود یا مدت پوشش برف در مقیاس حوضه کوچک محدود می‌کند (اندرتون<sup>۲۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۲، کارلسون<sup>۲۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۷، لویز مورنو و استالی<sup>۲۹</sup>، ۲۰۰۸). مطالعاتی در خصوص سنجش برف و برآورد سطح حاصل از آن انجام گرفته است.

در پژوهشی خسروی و همکاران در سال (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زرد کوه بختیاری با استفاده از سنجش‌ازدور پرداختند. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست برای ماه‌های آوریل و سپتامبر در سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۳ و ۲۰۱۱ به این نتیجه رسیدند که سطوح پوشش برف در ارتفاعات زرد کوه بختیاری طی دوره آماری روندی کاهشی داشته است. بهزادی کریمی و همکاران (۱۴۰۰) پژوهشی را در ارتباط با تغییرات زمانی-مکانی تبخیر و تعرق در حوضه آبریز کارون طی دوره‌های آبی و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای به عمل آورده‌اند و نتایج نشان داده که متوسط سالانه دمای حداقل در سطح حوضه، بین ۱،۲ تا ۳،۴ دمای حداکثر بین ۱،۳ تا ۳،۷ سلسیوس در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه، افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصل از نقشه‌های پهنه‌بندی تغییرات تبخیر و تعرق سطح حوضه، بیشترین میزان تغییرات تبخیر و تعرق، طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و تحت سناریو RCP8.5 در مناطق غربی حوضه رخ خواهد داد. حسینی و کاشکی (۱۴۰۰) به بررسی پایش آب و هواشناسی روزهای برفی زاهدان در بازه زمانی ۴۰ ساله کرده‌اند. نتایج نشان داد که بارش برف در زاهدان به صورت متمرکز در فصول گذار پاییز و زمستان (ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه و مارس) رهنمود دارد. در تراز دریا نیز الگوهای ادغامی پرفشارهای مهاجر سیبری-خزر با فراوانی ۳۲،۵ درصد و پرفشار سیبری-قفقاز با ۲۰ درصد، بیشترین نقش‌آفرینی را در رخداد بارش برف‌بازی می‌کند. در پژوهشی اصغری و همکاران در سال (۱۴۰۱) به بررسی تغییرات پوشش برف و دمای سطح زمین با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع حوضه آبریز دریاچه ارومیه پرداخته‌اند. شیخی و ملک محمدی (۱۴۰۲) به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی-مکانی دمای سطح زمین در اراضی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور به مطالعه شهر ایلام پرداختند. با استفاده از تصاویر لندست به بررسی تغییرات دمای سطح زمین و کاربری پرداختند که نتایج آن‌ها نشان داد کمینه دما در مناطق مرتفع و پوشش سبز بوده است. مصطفی و همکاران در سال ۲۰۲۲ تحت پژوهشی به بررسی اثربخشی استفاده ترکیبی از سنجنده‌های نوری از طریق تکنیک‌های فیوژن تصویر برای ثبت دینامیک برف و تولید سری‌های زمانی شاخص NDSI دقیق و متراکم در یک محیط نیمه‌خشک پرداختند. سه مدل متفاوت شامل FSDAF، FSDAF.ESTARFM و FSDAF از قبل طبقه‌بندی شده آزمایش شده و برای تلفیق داده‌های L8 و S2 مقایسه شدند. نتایج نشان داد که مدل FSDAF از قبل طبقه‌بندی شده نقشه NDSI با بیشترین دقت و ضریب همبستگی ۰،۹۶

<sup>26</sup> Feng et al

<sup>27</sup> Anderton et al

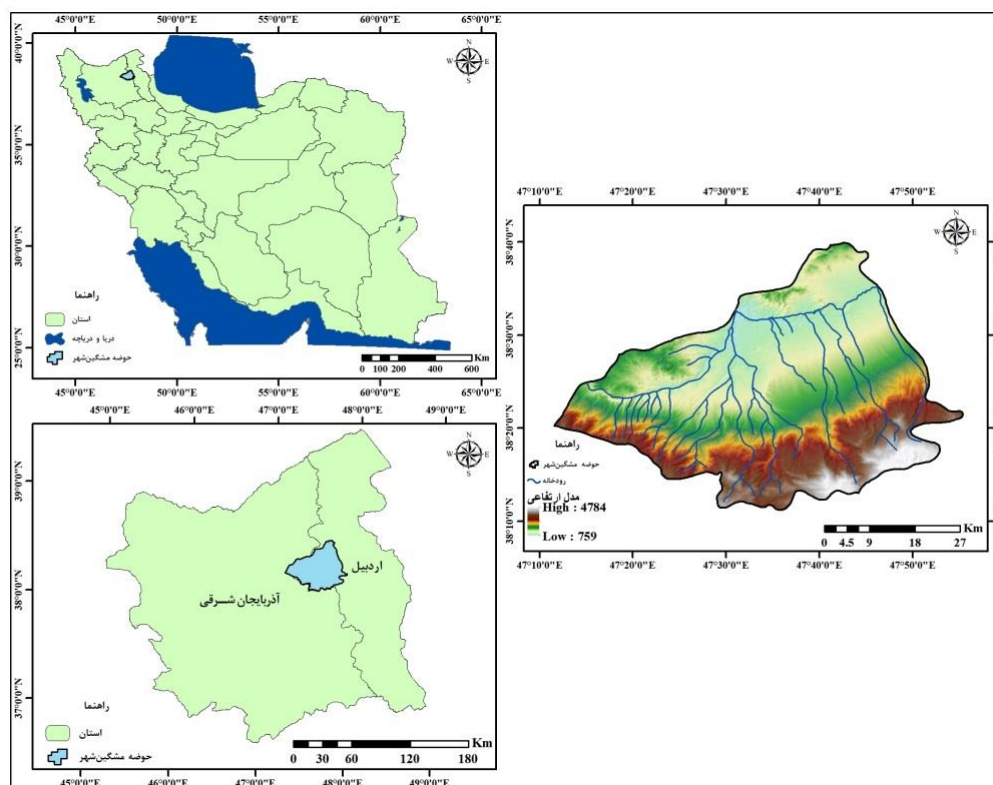
<sup>28</sup> Carlson et al

<sup>29</sup> López-Moreno and Stähli

تولید می‌کند. ژیاثو و همکاران در سال ۲۰۲۲ در مطالعه‌ای به برآورد پوشش کسر برف در محیط‌هایی با پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های بازتاب سطحی MODIS پرداختند. نتایج نشان داد که ادغام ۲۰ مدل فرعی وابستگی مدل به کیفیت نمونه آموزشی را تا حد زیادی کاهش داده و استحکام پیش‌بینی‌های مدل را بهبود می‌بخشد. شارلوت و همکاران در سال ۲۰۲۳ در پژوهشی به بررسی دقت تهیه نقشه پوشش برف بر اساس لندست بهبودیافته با استفاده از یک NDSI مکانی-زمانی و مدل مخلوط خطی تعمیم‌یافته پرداختند. در این پژوهش از مجموعه داده‌های پوشش برفی Landsat-8 با اندازه‌گیری‌های عمق برف زمینی ایستگاه‌های آب‌وهوایی برفراز سوئیس برای دوره ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۰ استفاده شده است. نتایج نشان داد که یک رابطه ثابت بین مقادیر NDSI و نوع پوشش زمین، ارتفاع، فصل‌ها و اندازه‌گیری عمق برف وجود دارد. در این مطالعه یک روش NDSI مکانی-زمانی جدید برای به حداکثر رساندن دقت تهیه نقشه پوشش برف با استفاده از یک مدل خطی تعمیم‌یافته (GLMM) پیشنهاد شد. این مدل از سه متغیر محیطی (ارتفاع، نوع پوشش زمین و فصل‌ها) و مقادیر خام NDSI استفاده می‌کند و دقت تهیه نقشه پوشش برفی را تا ۲۴ درصد با آستانه ثابت ۰,۴ بهبود می‌بخشد.

### محدوده مورد مطالعه

حوضه آبخیز مشگین شهر با وسعت ۱۷۹۵/۸۷ کیلومتر مربع در طول شرقی ۴۷ ۱۰ تا ۴۷ ۵۵ و عرض شمالی ۳۸ ۱۰ تا ۳۸ ۴۰ قرار گرفته است (شکل ۱). از رودخانه‌های مهم استان اردبیل که در این حوضه قرار گرفته‌اند می‌توان به رودخانه‌هایی مثل خیاوچای، انارچای، کرکری‌چای، کلفیرچای، آلتی‌چای اشاره کرد که همگی این رودخانه‌ها پس از طی مسیری وارد رودخانه قره‌سو می‌شوند. حوضه مورد مطالعه جزء واحد ساختمانی البرز غربی- منطقه آذربایجان است (عالایی طالقانی، ۱۳۸۵: ۴۸) مورد مطالعه پس از حرکات زمین ساختی در پلیوسن و کواترنر شکل گرفته است. شکل‌گیری طبقات واحدهای سنگی، دگرشکلی آن‌ها و انواع پدیده‌های تکتونیکی حاصل عملکرد آتش‌فشان‌های این دوران است که پس از تشکیل واحدهای سنگی سخت بر اثر تنش‌های وارده، گسل‌ها و شکستگی‌های وسیعی ایجاد شده است (عابدینی و شبرنگ، ۱۳۹۳: ۵۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز مشگین شهر

## داده‌ها و روش‌ها

### روش پژوهش

در این پژوهش از سامانه GEE<sup>۳۰</sup> برای استخراج شاخص برف و دمای سطح زمین استفاده شد. در این سامانه از تصاویر لندست‌های ۸،۵ و ۹ برای استخراج شاخص و از همان تصاویر برای استخراج دمای سطح زمین استفاده شد. با توجه به عامل ارتفاع در برف‌گیری برای اعمال شاخص ارتفاع شاخص NDSI و LST به نرم‌افزار ArcMap انتقال داده شد تا این شاخص نیز اعمال گردد. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه (قله توده کوهستان سبلان) بیشتر اوقات در تصاویر لندست دارای پوشش ابری بوده برای همین مشکل برای سال‌هایی که در ماه بهمن تصاویر دارای پوشش ابر نبوده یا ابر در محدوده مورد مطالعه نبوده آن تصاویر و سال‌ها برای مطالعه انتخاب شدند که در جدول (شماره ۱) لیست تصاویر نمایش داده شده است.

جدول ۱: لیست تصاویر استفاده شده برای LST و NDSI

| ردیف | لندست     | تاریخ تصویر |
|------|-----------|-------------|
| 1    | Landsat 5 | ۱۹۹۱/۰۲/۱۳  |
| 2    | Landsat 5 | ۱۹۹۲/۰۲/۱۶  |
| 3    | Landsat 5 | ۱۹۹۳/۰۲/۱۸  |
| 4    | Landsat 5 | ۱۹۹۴/۰۲/۰۵  |
| 5    | Landsat 5 | ۱۹۹۷/۰۲/۱۳  |
| 6    | Landsat 5 | ۲۰۰۶/۰۲/۰۶  |
| 7    | Landsat 5 | ۲۰۰۷/۰۲/۰۹  |
| 8    | Landsat 8 | ۲۰۱۷/۰۲/۰۴  |
| 9    | Landsat 8 | ۲۰۱۹/۰۲/۲۶  |
| 10   | Landsat 8 | ۲۰۲۲/۰۲/۰۲  |
| 11   | Landsat 9 | ۲۰۲۳/۰۲/۰۶  |

جدول ۲: لیست تصاویر استفاده شده برای NDVI

| ردیف | لندست     | تاریخ تصویر |
|------|-----------|-------------|
| 1    | Landsat 5 | ۱۹۹۱/۰۵/۲۰  |
| 2    | Landsat 5 | ۱۹۹۲/۰۷/۲۵  |
| 3    | Landsat 5 | ۱۹۹۳/۰۶/۱۰  |
| 4    | Landsat 5 | ۱۹۹۴/۰۶/۱۳  |
| 5    | Landsat 5 | ۱۹۹۷/۰۷/۲۳  |
| 6    | Landsat 5 | ۲۰۰۶/۰۷/۱۶  |
| 7    | Landsat 5 | ۲۰۰۷/۰۶/۰۱  |
| 8    | Landsat 8 | ۲۰۱۷/۰۶/۲۸  |
| 9    | Landsat 8 | ۲۰۱۹/۰۷/۰۴  |
| 10   | Landsat 8 | ۲۰۲۲/۰۷/۱۲  |
| 11   | Landsat 9 | ۲۰۲۳/۰۷/۰۷  |

## شاخص NDSI:

در این پژوهش از شاخص تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) برای بررسی تغییرات پوشش برفی استفاده شده است. این شاخص توانایی جداسازی طول موج پدیده‌ها بخصوص برف از یخ را داشته که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{NDSI} = \frac{(G - \text{SWIR})}{(G + \text{SWIR})} \quad \text{رابطه ۱:}$$

حاصل به کارگیری این شاخص تولید پیکسل‌هایی با ارزش ۱- تا ۱+ ایجاد خواهد شد که ارزش پیکسل‌هایی که از ۱- تا صفر باشند نشان‌دهنده مناطقی است که برف در آن‌ها وجود ندارد و از صفر تا ۱+ مناطقی هستند که برف با توجه به عمق آن ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هر قدر عمق برف بیشتر باشد، عدد مورد نظر به ۱ نزدیک‌تر و هرچقدر کم عمق‌تر باشد به صفر متمایل می‌شود (خسروی و همکاران، ۱۳۹۶).

## استخراج دمای سطح زمین

درجه حرارت سطح زمین می‌تواند اطلاعات مفیدی در رابطه با خصوصیات فیزیکی زمین و اقلیم که نقش بسزایی در فرایندهای محیط‌زیستی بازی می‌کنند فراهم نماید (لو و ونگ، ۲۰۰۴). برای تعیین دمای واقعی سطح زمین از الگوریتم‌های گوناگونی همچون رابطه معکوس تابع پلانک استفاده می‌شود و در این پژوهش نیز به منظور به دست آوردن دمای سطح زمین از این الگوریتم استفاده شد. در همین راستا از باند ۱۰ حرارتی سنجنده لندست ۸ و ۹ و از باند ۶ سنجنده لندست ۵ استفاده شد. دمای سطح زمین در این روش (بر مبنای میزان تابش الکترومغناطیسی جسم سیاه) با استفاده از رابطه ۲ حاصل می‌شود (سین‌ها و همکاران، ۲۰۱۴).

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + \left[\frac{\lambda \cdot BT}{\rho}\right] \cdot \ln \epsilon\}} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه  $BT$ ،  $\lambda$  و  $\epsilon$  به ترتیب برابر با دمای درخشندگی باندهای حرارتی ۶ و ۱۰ طول موج و گسیل مندی و  $\rho$  برابر با مقدار ثابت ۲-۱۰.۱۴۳۸ است (میلتون و اوگور، ۲۰۱۶).

## شاخص NDVI

این شاخص که تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی است دارای مقادیر بین -۱ و +۱ است. مقادیر مختلف سبزیگی نمایانگر پوشش‌های مختلف می‌باشند. به عنوان مثال مقادیر NDVI بین ۰,۰۵ تا ۱,۰ برای مناطق گیاهی کم تراکم، مقادیر بین ۰,۱ تا ۰,۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰,۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی است. آب، برف و یخ دارای مقادیر NDVI منفی می‌باشند؛ و خاک‌ها دارای مقادیر کمتر از ۰,۰۵ و ابرها نیز معمولاً دارای مقادیر حول صفر هستند (فاطمی و رضایی، ص ۱۳۷).

## بحث و یافته‌ها

برای بررسی تغییرات پوشش برف، اسفند ماه که تغییرات را به صورت واضح‌تری نسبت به دیگر ماه‌های سال نشان می‌دهد، انتخاب گردید. در این پژوهش برای ارزیابی دمای سطح زمین و سطح پوشش برف و بررسی ارتباط بین دو مؤلفه از تصاویر سنجنده Landsat استفاده شده است. در این مطالعه منطقه مورد مطالعه به ۱۰ طبقه ارتفاعی تقسیم شده است. مناطق کم ارتفاع مساحت بیشتری از کل منطقه را در برمی‌گیرند (جدول ۳). بیشترین مساحت مربوط به طبقه ارتفاعی ۱۱۶۱-۷۵۹ با مساحت ۵۲۷,۲۵ کیلومتر مربع و کمترین مساحت طبقه ارتفاعی مربوط به مناطق مرتفع ۴۷۸۴ - ۴۳۸۱ با مساحت ۰,۹۴ کیلومتر مربع است؛ بنابراین مناطق مرتفع حوزه مساحت کمتری دارند.



جدول ۳: مساحت طبقات ارتفاعی

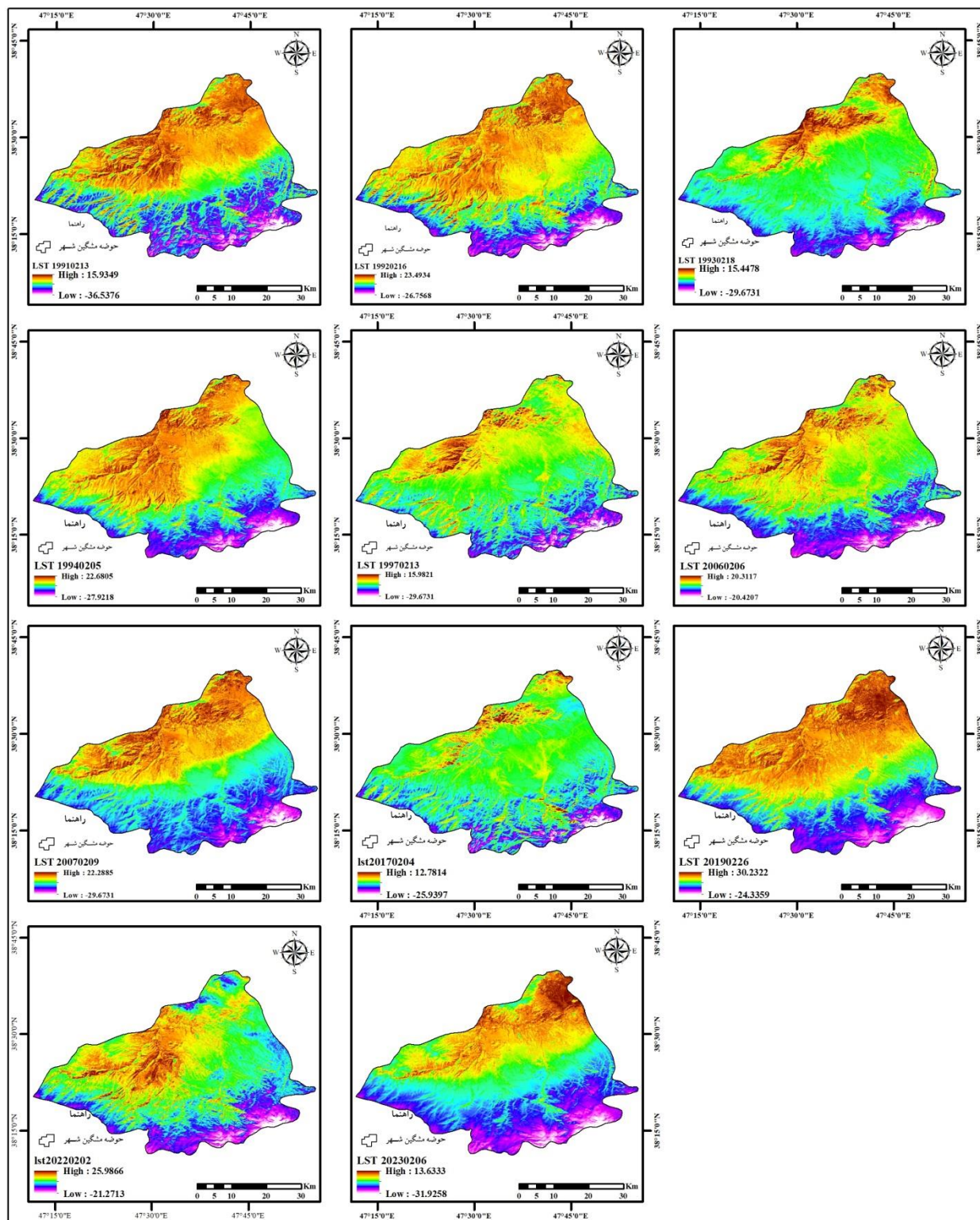
| طبقه ارتفاعی | مساحت طبقه به کیلومتر مربع | درصد طبقه |
|--------------|----------------------------|-----------|
| ۷۵۹ - ۱۱۶۱   | ۵۲۷/۲۵                     | ۲۹/۳۵     |
| ۱۱۶۱ - ۱۵۶۴  | ۵۱۵/۶۵                     | ۲۸/۷۱     |
| ۱۵۶۴ - ۱۹۶۶  | ۱۹۱/۶۷                     | ۱۰/۶۷     |
| ۱۹۶۶ - ۲۳۶۹  | ۲۰۹/۹۲                     | ۱۱/۶۸     |
| ۲۳۶۹ - ۲۷۷۱  | ۱۸۹/۴۰                     | ۱۰/۵۴     |
| ۲۷۷۱ - ۳۱۷۴  | ۹۸/۳۴                      | ۵/۴۷      |
| ۳۱۷۴ - ۳۵۷۶  | ۴۵/۳۰                      | ۲/۵۲      |
| ۳۵۷۶ - ۳۹۷۹  | ۱۲/۲۲                      | ۰/۶۸      |
| ۳۹۷۹ - ۴۳۸۱  | ۵/۱۵                       | ۰/۲۸      |
| ۴۳۸۱ - ۴۷۸۴  | ۰/۹۴                       | ۰/۰۵      |

### بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین

برای بررسی دمای سطح زمین، محصولات سنجنده Landsat به صورت تک تصویر مربوط به اواخر اسفند ماه هر سال در حوضه مشکین شهر تهیه شد. در جدول ۳ نتایج تغییرات میانگین دما در بازه زمانی مورد مطالعه ارائه شده است و شکل (۲) دمای سطح زمین را در حوضه مشکین شهر نشان می‌دهد. کمترین مقدار میانگین دما (جدول ۴) مربوط به سال ۱۹۹۱ با درجه دمایی  $-۲۹,۰۰$  و بیشترین مقدار میانگین دما مربوط به سال  $۲۰۱۹$  با درجه دمایی  $۱۹,۰۴$  درجه سانتی‌گراد بوده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در بین سال‌های مورد مطالعه (جدول ۱) سال‌های  $۲۰۱۹$  و  $۲۰۲۲$  نسبت به سال‌های دیگر از میانگین دمای بیشتری برخوردار بودند. به طوری که در این سال‌ها در ارتفاعات کمتر از  $۲۳۶۹$  متر دما به صورت مثبت و بالای صفر نمایش داده می‌شود بعد از این سال‌ها نیز گرم‌ترین سال، سال  $۱۹۹۲$  و  $۲۰۰۶$  بوده که در طبقات ارتفاعی کمتر از  $۱۹۶۶$  متر دما به صورت مثبت و بالای صفر بوده است. در بقیه سال‌های مورد به طور میانگین مناطق خیلی کم ارتفاع (ارتفاعات کمتر از  $۱۱۶۱$  متر) درجه دمایی بالای صفر ثبت کرده‌اند. بررسی نقشه‌های حاصل نشان می‌دهد که حداقل مقدار دما مربوط به مناطق مرتفع و کوهستانی هستند و حداکثر دما را مناطق پست و هموار دارا می‌باشند.

جدول ۴: دما به سلسیوس

| سال ارتفاع | ۱۹۹۱   | ۱۹۹۲   | ۱۹۹۳   | ۱۹۹۴   | ۱۹۹۷   | ۲۰۰۶   | ۲۰۰۷   | ۲۰۱۷   | ۲۰۱۹   | ۲۰۲۲   | ۲۰۲۳   |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ۷۵۹-۱۱۶۱   | ۳,۷۵   | ۱۰,۱۴  | ۰,۳    | ۸,۳۳   | -۱,۱۱  | ۷,۶۴   | ۹,۸۴   | -۴,۸۴  | ۱۹,۰۴  | ۹,۷۳   | ۱,۳۱   |
| ۱۱۶۱-۱۵۶۴  | -۱,۵۶  | ۷,۴۲   | -۴,۵۹  | ۴,۹۵   | -۳,۶۸  | ۴,۸۲   | ۲,۹۸   | -۴,۲۲  | ۱۴,۴۹  | ۵,۹۷   | -۶,۴۵  |
| ۱۵۶۴-۱۹۶۶  | -۹,۸۰  | ۳,۰۵   | -۶,۱۰  | -۰,۴۰  | -۵,۶۶  | ۱,۸۲   | -۴,۶۴  | -۵,۲۴  | ۵,۸۳   | ۳,۵۲   | -۱۲,۵۴ |
| ۱۹۶۶-۲۳۶۹  | -۱۱,۲۲ | -۰,۰۷  | -۷,۶۸  | -۳,۷۵  | -۷,۱۷  | -۳,۰۸  | -۶,۱۰  | -۵,۵۷  | ۰,۱۰   | ۰,۹۷   | -۱۴,۹۷ |
| ۲۳۶۹-۲۷۷۱  | -۱۵,۳۹ | -۵,۲۱  | -۱۰,۶۷ | -۸,۶۹  | -۱۰,۵۵ | -۵,۱۹  | -۸,۳۱  | -۶,۷۳  | -۴,۸۸  | -۳,۶۸  | -۱۷,۸۱ |
| ۲۷۷۱-۳۱۷۴  | -۱۷,۷۴ | -۱۰,۰۷ | -۱۳,۹۸ | -۱۲,۴۰ | -۱۴,۱۴ | -۷,۶۶  | -۱۰,۷۳ | -۹,۰۹  | -۸,۲۸  | -۷,۲۵  | -۲۰,۵۴ |
| ۳۱۷۴-۳۵۷۶  | -۲۰,۳۵ | -۱۳,۳۷ | -۱۷,۱۴ | -۱۵,۶۳ | -۱۷,۴۷ | -۱۰,۰۴ | -۱۴,۲۷ | -۱۲,۱۷ | -۱۱,۸۳ | -۱۰,۰۹ | -۲۲,۶۸ |
| ۳۵۷۶-۳۹۷۹  | -۲۴,۵۷ | -۱۶,۵۶ | -۲۰,۶۲ | -۱۸,۷۸ | -۲۰,۳۶ | -۱۲,۶۴ | -۱۸,۲۵ | -۱۴,۷۶ | -۱۵,۴۶ | -۱۳,۰۲ | -۲۴,۸۴ |
| ۳۹۷۹-۴۳۸۱  | -۲۶,۹۸ | -۱۸,۸۴ | -۲۲,۶۶ | -۲۰,۴۸ | -۲۱,۲۵ | -۱۴,۲۰ | -۲۰,۷۶ | -۱۵,۸۱ | -۱۸,۰۱ | -۱۴,۷۵ | -۲۶,۱۰ |
| ۴۳۸۱-۴۷۸۴  | -۲۹,۰۰ | -۲۱,۰۶ | -۲۵,۶۵ | -۲۳,۳۴ | -۲۳,۶۹ | -۱۶,۹۲ | -۲۳,۹۶ | -۱۸,۱۶ | -۲۱,۱۹ | -۱۷,۲۱ | -۲۸,۲۷ |



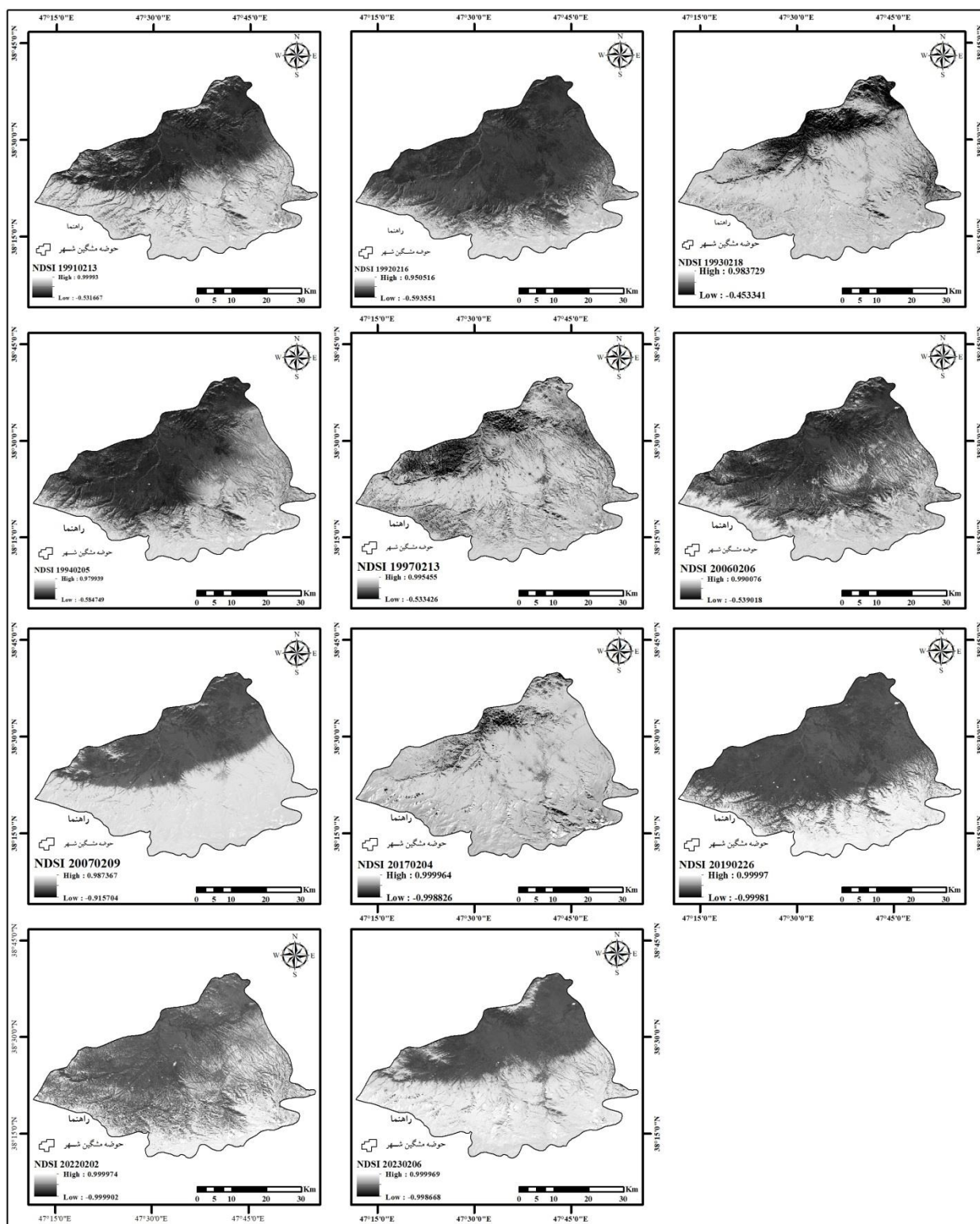
شکل ۲: دمای سطح زمین (برای تاریخ‌های جدول ۱)

### بررسی سطح پوشش برف

در جدول (۵) نتایج تغییرات سطح پوشش برف مربوط به اسفند ماه در بازه زمانی مورد مطالعه ارائه شده است و در شکل (۳) تغییرات مساحت سطح پوشش برف آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود روند تغییرات برف در سال های مختلف از الگوی منظمی برخوردار نیست. به طوری که در سال های مورد مطالعه به جز سال های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ بقیه سال ها در طبقات بالای ۲۳۶۹ متر به طور میانگین هر طبقه ارتفاعی بیشتر از ۹۸ درصد آن طبقه پوشیده از برف بوده است. ولی در سال ۲۰۱۷ در بالاترین طبقه ارتفاعی سطح پوششی برف به کمترین میزان خود یعنی ۰٫۴۳ کیلومتر مربع رسیده که در بحث میانگین دما نیز اشاره شد که میانگین دما در سال های ۲۰۱۹ و ۲۰۲۲ نسبت به بقیه سال ها بالاتر بوده که در این سال ها نیز در این طبقه ارتفاعی به ترتیب ۰٫۶۵ و ۰٫۴۳ کیلومتر مربع بوده است. به گونه ای که در سال ۱۹۹۷ شاهد بیشترین مقدار میانگین مساحت سطح پوشش برف با مساحت ۴۷۷٫۵۷ و کمترین مساحت برف در سال در سال ۲۰۱۹ با مساحت ۱٫۲۳ کیلومتر مربع نسبت به مساحت طبقه ارتفاعی بوده است.

جدول ۵: مساحت سطح پوشش برف به کیلومتر مربع

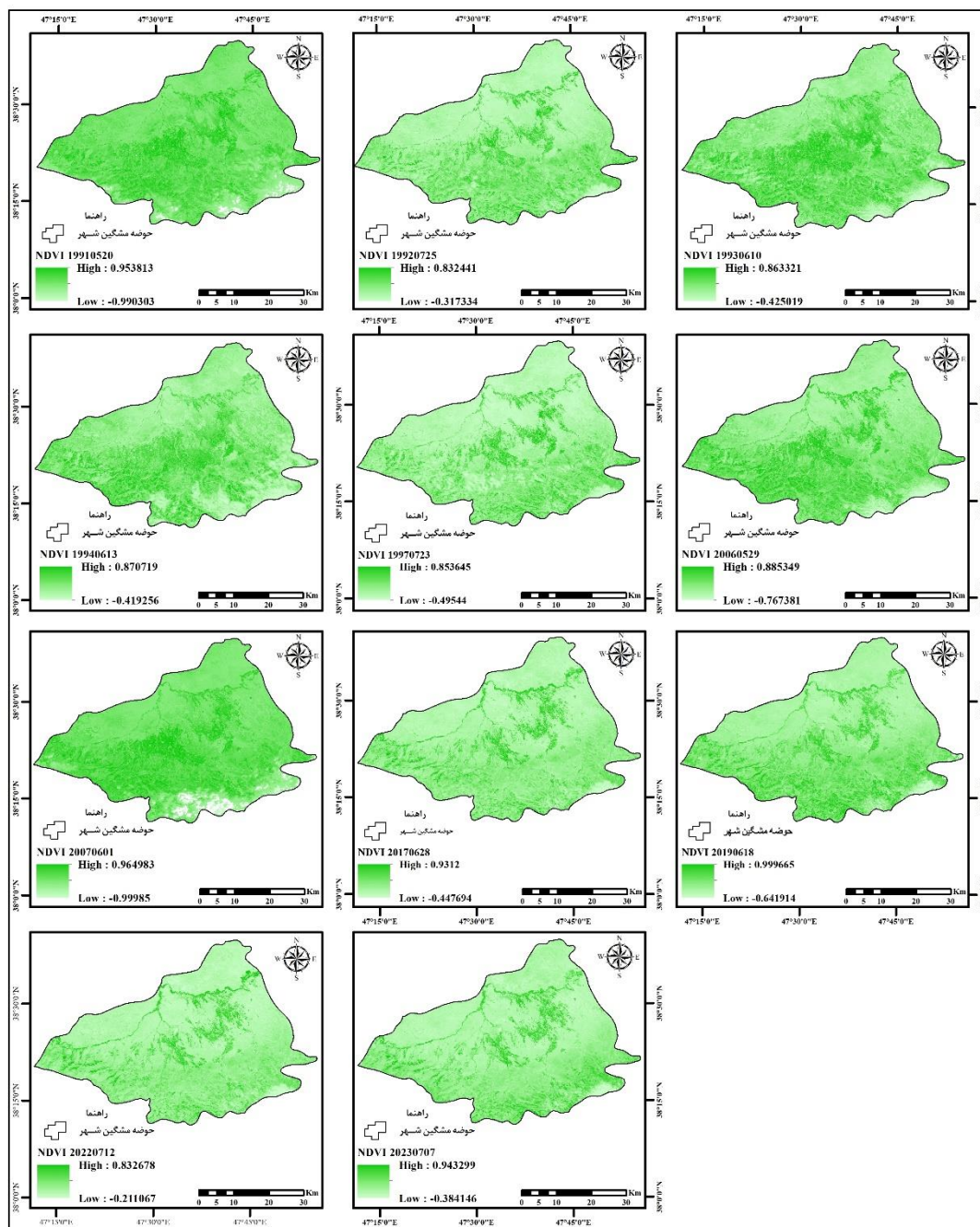
| سال ارتفاع  | ۱۹۹۱   | ۱۹۹۲   | ۱۹۹۳   | ۱۹۹۴   | ۱۹۹۷   | ۲۰۰۶   | ۲۰۰۷   | ۲۰۱۷   | ۲۰۱۹   | ۲۰۲۲   | ۲۰۲۳   |
|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| ۷۵۹ - ۱۱۶۱  | ۳۱٫۸۲  | ۷٫۴۹   | ۴۰۶۶۶  | ۷۲٫۹۴  | ۴۶۶٫۴۷ | ۷۰٫۵۳  | ۱۰۰٫۱۵ | ۴۳۲٫۲۹ | ۱٫۲۳   | ۸۴٫۳۳  | ۸٫۳۹   |
| ۱۱۶۱ - ۱۵۶۴ | ۳۰۴٫۴۵ | ۱۳٫۳۸  | ۴۹۰٫۳۱ | ۱۸۰٫۹۳ | ۴۷۷٫۵۷ | ۲۶۷٫۴۰ | ۳۳۲٫۲۵ | ۴۷۳٫۰۰ | ۱۲٫۷۷  | ۲۵۴٫۸۶ | ۲۲۰٫۲۵ |
| ۱۵۶۴ - ۱۹۶۶ | ۱۸۱٫۶۰ | ۶۲۰٫۸  | ۱۸۹٫۶۷ | ۱۳۲٫۳۸ | ۱۸۶٫۳۱ | ۱۲۳٫۸۶ | ۱۹۱٫۲۱ | ۱۷۰٫۳۵ | ۸۸٫۹۶  | ۱۰۸٫۲۸ | ۱۴۶۰٫۲ |
| ۱۹۶۶ - ۲۳۶۹ | ۲۰۲٫۷۰ | ۱۴۵٫۵۲ | ۳۰۶٫۲۸ | ۱۸۲٫۹۱ | ۳۰۵٫۲۱ | ۱۹۵٫۵۴ | ۳۰۹٫۹۱ | ۱۸۹٫۱۴ | ۱۶۶٫۴۵ | ۱۳۱٫۲۰ | ۱۷۴٫۵۲ |
| ۲۳۶۹ - ۲۷۷۱ | ۱۸۶٫۴۸ | ۱۷۶٫۴۵ | ۱۸۷٫۵۱ | ۱۸۵٫۱۰ | ۱۸۸٫۵۲ | ۱۸۵٫۱۹ | ۱۸۹٫۳۶ | ۱۷۳٫۵۴ | ۱۸۱٫۱۸ | ۱۵۵٫۵۲ | ۱۷۴٫۵۲ |
| ۲۷۷۱ - ۳۱۷۴ | ۹۷٫۹۱  | ۹۷٫۸۵  | ۹۸٫۳۳  | ۹۷٫۹۶  | ۹۸٫۲۴  | ۹۷٫۷۵  | ۹۸٫۳۴  | ۸۷٫۸۷  | ۹۷٫۶۰  | ۸۸٫۸۱  | ۹۴٫۵۶  |
| ۳۱۷۴ - ۳۵۷۶ | ۴۴٫۹۳  | ۴۵٫۲۹  | ۴۵٫۳۰  | ۴۵٫۲۵  | ۴۵٫۲۱  | ۴۵٫۲۴  | ۴۵٫۲۸  | ۳۶٫۹۸  | ۴۴٫۸۷  | ۳۹٫۹۵  | ۴۲٫۵۹  |
| ۳۵۷۶ - ۳۹۷۹ | ۱۲۰٫۱  | ۱۲٫۲۲  | ۱۲٫۲۲  | ۱۲۰٫۸  | ۱۲۰۰   | ۱۲۰۰   | ۱۲۰۰   | ۱۲۰۰   | ۵٫۸۶   | ۱۰۰٫۵۱ | ۸۰۰    |
| ۳۹۷۹ - ۴۳۸۱ | ۵۰٫۸   | ۵٫۱۵   | ۵٫۱۵   | ۵۰٫۸   | ۵۰٫۳   | ۵۰٫۹   | ۵۰٫۹   | ۱٫۵۲   | ۳٫۶۳   | ۲٫۸۴   | ۲٫۶۸   |
| ۴۳۸۱ - ۴۷۸۴ | ۰٫۹۴   | ۰٫۹۴   | ۰٫۹۴   | ۰٫۹۳   | ۰٫۹۲   | ۰٫۹۴   | ۰٫۹۴   | ۰٫۲۹   | ۰٫۶۵   | ۰٫۴۳   | ۰٫۴۳   |



شکل ۳: میانگین سطح پوشش برف (برای تاریخ‌های جدول ۱)

در جدول (۶) مساحت شاخص پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های مورد مطالعه بر اساس طبقه ارتفاعی که در جدول (۱) مشخصات طبقات ارتفاعی مشخص محاسبه شده است. (شکل ۴) در حالت کلی بیشترین میزان سبزیگی





شکل ۴: شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

### نتیجه گیری

از نظر اقلیم‌شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می‌کنند، پایش برف یک ضرورت است و برآورد دقیق سطح پوشش آن به عنوان یکی از عملیات محوری و اساسی در زمینه مدیریت منابع آب، به ویژه در مناطقی که بارش برف سهم زیادی در نزولات جوی دارد محسوب می‌شود. در این مطالعه مساحت سطح پوشش برف (SC)، مقدار دمای سطح زمین (LST) و میزان سبزی‌نگی پوشش گیاهی (NDVI) برای تاریخ‌هایی که مشخص شده محاسبه

شد و ارتباط این سه متغیر با توپوگرافی حوضه مشکین شهر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین نشان می‌دهد که مناطق با ارتفاع زیاد، به دلیل مرتفع بودن دمای کمتری دارند ولی مناطق که پست و هموار هستند دمای بیشتری دارند. به طوری که در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر به صورت میانگین بالای صفر بوده یا چند درجه کمتر از صفر اما در ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر دما در سال‌های مورد مطالعه همیشه زیر صفر بوده است. این نتایج نشان می‌دهد دما با ارتفاع در کل منطقه مورد مطالعه رابطه معکوسی دارد. سطح پوشش برف (SC) با ارتفاع رابطه مستقیمی دارد، به طوری که بررسی نقشه‌های سطح پوششی برف در ارتفاعات بیشتر از ۲۳۶۹ متر در سال‌های مورد مطالعه به جز سال‌های ۲۰۱۷، ۲۰۱۹، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به طور متوسط ۹۸ در طبقه ارتفاعی پوشید از برف بوده است. هر چه ارتفاع کاهش پیدا می‌کند درصد سطح پوشش برف در منطقه نیز به تبع آن کاهش پیدا کرده است. همچنین بررسی نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی نشان می‌دهد بیشترین میزان سبزیگی مربوط به سال ۱۹۹۳ با مساحت ۱۰۴۱،۷۴ کیلومتر مربع بوده که در این سال میزان مساحت سطحی برف برابر با ۱۶۴۲،۳۷ کیلومتر مربع، در مقابل در سال ۲۰۰۶ میزان پوشش گیاهی در کم‌ترین مقدار خود برابر با ۲۳۷،۴۲ کیلومتر مربع که در این سال میزان مساحت پوشش برفی برابر با ۱۰۰۳،۶۳ کیلومتر مربع بوده است. در رابطه با میزان پوشش گیاهی می‌توان گفت علاوه بر برف باید پارامترهای دیگر نیز مورد بررسی قرار بگیرد. در این مطالعه با بررسی نقشه‌های سطح پوشش برف (SC)، دمای سطح زمین (LST) و میزان سبزیگی پوشش گیاهی (NDVI) و ارتباط این سه مؤلفه با توپوگرافی منطقه به وضعیت هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه پی برده شده است.

## منابع

- ۱- اصغری سراسکانرود، صیاد؛ صادقی، ابودر؛ ملانوری، الهام (۱۴۰۲): بررسی تغییرات پوشش برف و دمای سطح زمین با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه، هیدروژئومورفولوژی، سال دهم، شماره سی و چهارم، صص ۵۳-۷۵:
- ۲- بهزادی کریمی، حسین؛ مظفری، غلامعلی؛ امیدوار، کمال؛ مزیدی، احمد (۱۴۰۰): چشم‌انداز تغییرات زمانی - مکانی تبخیر و تعرق در حوضه آبریز کارون طی دوره‌های آتی و تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سیزدهم، شماره ۵۴، صص ۸۷-۱۰۸:
- ۳- حسینی، سید محمد؛ کاشکی، عبدالرضا (۱۴۰۰): پایش آب و هواشناسی روزهای برفی در زاهدان، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سیزدهم، شماره ۵۴، صص ۵۷-۷۲:
- ۴- خسروی، محمود؛ طاووسی، تقی؛ رئیس‌پور، کوهزاد؛ امیدوی قلعه‌محمدی، محبوبه (۱۳۹۵): بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زرد کوه بختیاری با استفاده از سنجش‌ازدور، هیدروژئومورفولوژی، سال سوم، شماره دوازدهم، صص ۲۵-۴۴:
- ۵- شیخی، حجت؛ ملک محمدی، رضا (۱۴۰۱): بررسی تغییرات کاربری اراضی بر الگوهای زمانی - مکانی دمای سطح زمین در اراضی شهری با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و GIS (مطالعه موردی: شهر ایلام)، آمایش سرزمین، سال پانزدهم، شماره اول، صص ۱۶۵-۱۸۶:

- ۶- عابدینی، موسی؛ شنو، شبرنگ (۱۳۹۳): ارزیابی فعالیت‌های نو زمین‌ساخت در حوضه آبخیز مشکین‌چای از طریق شاخص‌های ژئومورفولوژی، جغرافیا و توسعه، سیستان و بلوچستان، شماره ۳۵، صص ۴۶-۶۶.
- ۷- عابدینی، موسی؛ محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۲): امکان‌سنجی استفاده از انرژی تابشی خورشید با استفاده از سنجش از دور و الگوریتم سبال (مطالعه موردی: شهرستان ساوجبلاغ) آمایش سرزمین، سال پانزدهم، شماره اول، صص ۱۴۷-۱۶۳.
- ۸- علایی‌طالقانی، محمود (۱۳۸۵): ژئومورفولوژی ایران، چاپ دوم، تهران، انتشارات قومس، صص ۳۶۰.
- ۹- فاطمی، سید باقر؛ رضایی، یوسف (۱۴۰۱): مبانی سنجش از دور، انتشارات آزاده، صص ۲۸۸.
- ۱۰- متکان، علی‌اکبر؛ ضیائیان فیروزآبادی، پرویز؛ عاشور لو، داوود؛ داداشی خانقاه، سپیده (۱۳۸۷): ارزیابی شاخص جهانی پوشش برف برای مطالعه سطح پوشش برف در مقیاس منطقه‌ای، همایش ژئوماتیک ۸۷ و چهارمین همایش یکسان‌سازی نام‌های جغرافیایی، تهران:

- 11- Akyurek, Z; Kuter, S; Karaman, C And Akpınar, M. (2023): Understanding The Snow Cover Climatology Over Turkey From Era5-Land Reanalysis Data And Modis Snow Cover Frequency Product, *Geosciences*, 13, 311, 1-19.
- 12- Anderton, S.P. White, S.M. Alvera, B. (2002): Micro-Scale Spatial Variability And The Timing Of Snow Melt Runoff In A High Mountain Catchment. *J. Hydrol*, 158-176.
- 13- Baba, M.W. Boudhar, A. Gascoin, S. Hanich, L. Marchane, A. Chehbouni, A. (2021): Assessment Of Merra-2 And Era5 To Model The Snow Water Equivalent In The High Atlas (1981-2019). *Water* 2021, 13, Pp 890.
- 14- Barnett, T.P. Adam, J.C. Lettenmaier, D.P. (2005): Potential Impacts Of A Warming Climate On Water Availability In Snow-Dominated Regions, 438, 303-309.
- 15- Bouamri, H. Kinnard, C. Boudhar, A. Gascoin, S. Hanich, L. Chehbouni, A. (2021): Modis Does Not Capture The Spatial Heterogeneity Of Snow Cover Induced By Solar Radiation. *Front. Earth Sci*, 9, 1-19.
- 16- Boudhar, A. Duchemin, B. Hanich, L. Boulet, G. Chehbouni, A. (2011): Spatial Distribution Of The Air Temperature In Mountainous Areas Using Satellite Thermal Infra-Red Data. *Comptes. Rendus. Geosci*, 343, 32-42.
- 17- Boudhar, A. Duchemin, B. Hanich, L. Jarlan, L. Chaponnière, A. Maisongrande, P. Boulet, G. Chehbouni, A. (2010): Long-Term Analysis Of Snow-Covered Area In The Moroccan High-Atlas Through Remote Sensing. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 12, 109-115.
- 18- Boudhar, A. Ouati, H. Bouamri, H. Lebrini, Y. Karaoui, I. Hssaisoune, M. Arioua, A. (2020): Benabdelouahab, T. Hydrological Response To Snow Cover Changes Using Remote Sensing Over The Oum Er Rbia Upstream Basin, Morocco. In *Mapping And Spatial Analysis Of Socio-Economic And Environmental Indicators For Sustainable Development, Advances In Science, Technology & Innovation*; Rebai, N. Mastere, M. Eds. Springer International Publishing: Berlin/Heidelberg, Germany, 95-102.
- 19- Carlson, B.Z. Corona, M.C. Dentant, C. Bonet, R. Thuiller, W. Choler, P. (2017): Observed Long-Term Greening Of Alpine Vegetation—A Case Study In The French Alps. *Environ. Res. Lett*, 12, 1-13.
- 20- Charlotte, P; Pablo, T; Bruno, Ch; Gregory, G; Pascal, P. (2023): Improved Landsat-Based Snow Cover Mapping Accuracy Using A Spatiotemporal Ndsi And Generalized Linear Mixed Model. *Science Of Remote Sensing* 7, 1-13.
- 21- Dozier, J. Marks, D. (1987): Snow Mapping And Classification From Landsat Thematic Mapper Data. *A. Glaciol*, 9, 97-103.
- 22- Emelyanova, I.V. Mccicar, T.R. Van Niel, T.G. Li, L.T. Van Dijk, A.I.J.M. (2013): Assessing The Accuracy Of Blending Landsat-Modis Surface Reflectances In Two Landscapes With Contrasting Spatial And Temporal Dynamics: A Framework For Algorithm Selection. *Remote Sens. Environ*, 133, 193-209.
- 23- Feng, G. Masek, J. Schwaller, M. Hall, F. (2006): On The Blending Of The Landsat And Modis Surface Reflectance: Predicting Daily Landsat Surface Reflectance. *Ieee Trans. Geosci. Remote Sens*, 44, 2207-2218.



- 24- Gascoin, S. Hagolle, O. Huc, M. Jarlan, L. Dejoux, J.F. Szczypta, C. Marti, R. Sánchez, R. (2015): A Snow Cover Climatology For The Pyrenees From Modis Snow Products. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 19, 2337–2351.
- 25- Hanich, L. Chehbouni, A. Gascoin, S. Boudhar, A. Jarlan, L. Trambly, Y. Boulet, G. Marchane, A. Baba, M.W. Kinnard, C. Et Al. (2022): Snow Hydrology In The Moroccan Atlas Mountains. *J. Hydrol. Reg. Stud*, 42, 1-20.
- 26- Jarlan, L. Khabba, S. Er-Raki, S. Le Page, M. Hanich, L. Fakir, Y. Merlin, O. Mangiarotti, S. Gascoin, S. Ezzahar, J. Et Al. (2015): Remote Sensing Of Water Resources In Semi-Arid Mediterranean Areas: The Joint International Laboratory Trema. *Int. J. Remote Sens*, 36, 4879–4917.
- 27- López-Moreno, J.I. Stähli, M. (2008): Statistical Analysis Of The Snow Cover Variability In A Subalpine Watershed: Assessing The Role Of Topography And Forest Interactions. *J. Hydrol*, 348, 379–394.
- 28- Mankin, J.S. Viviroli, D. Singh, D. Hoekstra, A.Y. Diffenbaugh, N.S. (2015): The Potential For Snow To Supply Human Water Demand In The Present And Future. *Environ. Res. Lett*, 10, 114016.
- 29- Marchane, A. Jarlan, L. Hanich, L. Boudhar, A. Gascoin, S. Tavernier, A. Filali, N. Le Page, M. Hagolle, O. Berjamy, B. (2015): Assessment Of Daily Modis Snow Cover Products To Monitor Snow Cover Dynamics Over The Moroccan Atlas Mountain Range. *Remote Sens. Environ*, 160, 72–86.
- 30- Milton Isaya Ndossi ;Ugur Avdan. (2016): Application Of Open Source Coding Technologies In The Production Of Land Surface Temperature (Lst) Maps From Landsat: A Pyqgis Plugin; *Remote Sensing*, 8, 413.
- 31- Mostafa, B; Abdelaziz, H; Abdelghani, B; Youssra, E; Haytam, E; Hafsa, B; Hamza, O; Abdelghani, Ch. (2022): High-Resolution Monitoring Of The Snow Cover On The Moroccan Atlas Through The Spatio-Temporal Fusion Of Landsat And Sentinel-2 Images. *Remote Sens*, 14, 5814.
- 32- Ouatiki, H. Boudhar, A. Leblanc, M. Fakir, Y. Chehbouni, A. (2022): When Climate Variability Partly Compensates For Groundwater Depletion: An Analysis Of The Grace Signal In Morocco. *J. Hydrol. Reg. Stud*, 42, 1-14.
- 33- Pielke, R.A. Doesken, N. Bliss, O. Green, T. Chaffin, C. Salas, J.D. Woodhouse, C.A. Lukas, J.J. Wolter, K. (2005): Drought 2002 In Colorado: An Unprecedented Drought Or A Routine Drought? *Pure Appl. Geophys*, 162, 1455–1479.
- 34- Qiao, H. Zhang, P. Li, Z. Liu, C. (2021): A New Geostationary Satellite-Based Snow Cover Recognition Method For Fy-4a Agri. *Ieee J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens*, 14, 11372–11385.
- 35- Schöber, J. Schneider, K. Helfricht, K. Schattan, P. Achleitner, S. Schöberl, F. Kirnbauer, R. (2014): Snow Cover Characteristics In A Glacierized Catchment In The Tyrolean Alps—Improved Spatially Distributed Modelling By Usage Of Lidar Data. *J. Hydrol*, 519, 3492–3510.
- 36- Sinha, S. Pandey, P.C. Sharma, L.K. Nathawat, M.S. Kumar, P. Kanga, S. (2014): Remote Estimation Of Land Surface Temperature For Different Lulc Features Of A Moist Deciduous Tropical Forest Region. In *Remote Sensing Applications In Environmental Research*; Springer: Berlin, Germany; Heidelberg, Germany, 57–68.
- 37- Tsai, Y.L.S. Dietz, A. Oppelt, N. Kuenzer, C. (2019): Remote Sensing Of Snow Cover Using Spaceborne Sar: A Review. *Remote Sens*, 11, 1-44.
- 38- Tuel, A. Chehbouni, A. Eltahir, E.A.B. (2021): Dynamics Of Seasonal Snowpack Over The High Atlas. *J. Hydrol*. 595, 1-14.
- 39- Tuel, A. Eltahir, E.A.B. (2018): Seasonal Precipitation Forecast Over Morocco. *Water Resour. Res*, 54, 9118–9130.
- 40- Viviroli, D. Dürr, H.H. Messerli, B. Meybeck, M. Weingartner, R. (2007): Mountains Of The World, Water Towers For Humanity: Typology, Mapping, And Global Significance. *Water Resour. Res*, 43, 1-13.

- 41- U, Y. Xu, Y. (2007): Snow Impact On Groundwater Recharge In Table Mountain Group Aquifer Systems With A Case Study Of The Kommissiekraal River Catchment South Africa, 31, 275–282.
- 42- Iongxin, X; Tao, H; Shunlin, L; Yichuan, M; Shuang, L; Xiaona, Ch. (2022): Estimating Fractional Snow Cover In Vegetated Environments Using MODIS Surface Reflectance Data, International Journal Of Applied Earth Observations And Geoinformation 114, 1-23.