

برآورد پارامترهای روزانه و ماهانه دمای هوا در استان کردستان با بکارگیری تصاویر سنجنده MODIS

سرور اسمعیلی^۱، یونس خوشخو^{۲*}، مسعود عبداللهی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۲. استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان

۳. دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه کلگری کانادا

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۸ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۶/۲۱ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۶/۲۵)

چکیده

هدف از انجام این تحقیق، برآورد توزیع مکانی سه پارامتر دمای هوا شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه در استان کردستان با بکارگیری تصاویر سنجنده MODIS نصب شده بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua است. برای این منظور، ۸ ایستگاه سینوپتیک در استان کردستان انتخاب شدند و برای سال-های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ در این ۸ ایستگاه، داده‌های روزانه کمینه، بیشینه و میانگین دمای هوا و همچنین دمای سطح زمین در ۴ زمان مختلف شبانه‌روز با انجام پردازش‌هایی بر روی تصاویر سنجنده MODIS استخراج شدند. سپس از روش رگرسیون خطی چند متغیره جهت استخراج روابط رگرسیونی بین هر کدام از سه پارامتر دمایی مذکور با دماهای سطح زمین برای کل استان کردستان و جهت سنجش خطا از روش اعتبارسنجی متقابل با بکارگیری سه شاخص میانگین قدر مطلق خطا، میانگین اریبی خطا و ضریب کارایی نش - ساتکلیف استفاده شد. نتایج نشان داد که ارتباطی قوی بین هر سه پارامتر دمایی با دماهای سطح زمین مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای وجود دارد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل نیز حاکی از تطابق مناسب و قابل قبول بین مقادیر اندازه‌گیری شده سه پارامتر دمایی مذکور با مقادیر برآورد شده توسط روابط رگرسیونی در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه بود به گونه‌ای که شاخص میانگین قدر مطلق خطا برای سه پارامتر دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین در مقیاس روزانه به ترتیب با ۲/۷، ۲/۱ و ۱/۶ درجه سانتیگراد و در مقیاس ماهانه به ترتیب ۱/۹، ۲/۱ و ۱/۱ درجه سانتیگراد بدست آمد که نشان‌دهنده آن است که مقادیر این پارامترهای دمایی را در نقاطی از استان کردستان که فاقد ایستگاه هواشناسی هستند می‌توان با استخراج دماهای سطح زمین از سنجنده MODIS برای این نقاط و بکارگیری این روابط رگرسیونی با دقت مناسب برآورد کرد.

واژه‌های کلیدی: استان کردستان، دمای سطح زمین؛ دمای هوا؛ رگرسیون خطی چندمتغیره؛ MODIS

مقدمه

دمای هوا یکی از عوامل اصلی توصیف‌کننده شرایط اقلیمی یک منطقه و متغیری مهم در انجام مطالعات محیطی است و دارای نقشی کلیدی در چگونگی انجام فرایندهای مختلف بیولوژیکی، فیزیکی و بیوژئوشیمیایی که بین هیدروسفر و بیوسفر با آتمسفر رخ می‌دهد، می‌باشد (Zhang et al. 2011; Nieto et al., 2011). دمای هوا کاربردهای گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف اکولوژی، کشاورزی، هیدرولوژی و اقلیم‌شناسی دارد. از جنبه اکولوژی و کشاورزی، پراکنش و توزیع گونه‌های گیاهی، طول مراحل مختلف فنولوژیکی یک گیاه، میزان فتوسنتز و تنفس و نیز میزان رشد و توسعه گیاهان وابسته به دمای هواست

(Cabrera, 2002). دمای هوا همچنین بر میزان خسارت پدیده-های زیانبخش جوی نظیر سرمازدگی و گرمزدگی به گیاهان مؤثر است و فرایندهای دینامیکی سیستم خاک-گیاه-آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. دانستن توزیع مکانی و زمانی دمای هوا، برای اجرای مدل‌های شبیه‌سازی سیستم خاک - گیاه - آتمسفر و بیلان انرژی در سطح خاک (House-Peters and Chang, 2011)، تعیین تبخیر و تعرق گیاهان در مقیاس نقطه‌ای و منطقه‌ای (Wang and Dickinson, 2012)، اجرای مدل‌های پیش‌بینی شرایط جوی، مطالعات مربوط به آسایش اقلیمی و تغییر اقلیم (Liu and Weng, 2012; IPCC, 2007)، اجرای مدل‌های هیدرولوژیکی، اجرای مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان و در تعیین گسترش آفات و بیماری‌ها (DeVisser et al., 2010) لازم و ضروری است. بطور مثال از جنبه هیدرولوژی، دمای هوا دارای نقشی اساسی در تسهیم

* نویسنده مسئول: yoones.khoshkhoo@gmail.com

برتری‌هایی از جمله پایین‌تر بودن هزینه جمع‌آوری داده‌ها، امکان برداشت داده‌های بهنگام از تمام سطح منطقه، مرتفع کردن مشکل دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن و نیاز به نیروی انسانی کم و عملیات زمینی بسیار محدود می‌باشد.

تصاویر ماهواره‌ای قادرند با توان تفکیک مکانی ۱ کیلومتر و در مقیاس روزانه، دمای سطح زمین (LST) را مورد پایش قرار دهند. LST بر اساس تابش مادون‌قرمز حرارتی رسیده به ماهواره و انجام برخی محاسبات قابل استخراج است. دمای سطح زمین که عمدتاً حاصل تابش پوشش‌های طبیعی شامل خاک، آب، برف و پوشش گیاهی است به مقدار انرژی رسیده به سطح زمین، گسیلندگی سطح، رطوبت و جریان هوای اتمسفر، بستگی دارد (Jahanbakhsh et al., 2011). اگرچه سطح زمین در مقایسه با هوای بالای آن دارای تغییرات حرارتی شدیدتری است و سطح زمین سریع‌تر از هوای مجاور خود گرم و سرد شده و در نتیجه دمای سطح متفاوت از دمای هواست اما تحقیقات صورت گرفته در رابطه با ارتباط بین دمای هوا و LST استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای در مقیاس‌های منطقه‌ای (Urban et al., 2013) و مقیاس‌های جهانی (Jin and Dickinson, 2010; Mildrexler et al., 2011) نشان‌دهنده وجود یک رابطه همبستگی قوی و معنی‌دار بین LST و دمای هوا است و چنین نتیجه‌گیری شده است که LST پتانسیل بالایی در برآورد دمای هوا دارد و در تحقیقات متعددی از جمله Vancutsem et al. (2010)، Yoo et al. (2011)، Fu et al. (2011)، Benali et al. (2012) و Zhu et al. (2013) از داده‌های LST بعنوان یک منبع تکمیلی و با دقت بالا برای برآورد دمای هوا استفاده شده است. در تحقیقات متعددی که در این رابطه انجام شده است پارامترهای مختلف دمایی شامل دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای میانگین هوا توسط LST برآورد شده‌اند. در زمره برخی از این تحقیقات که در مناطق مختلف دنیا به انجام رسیده‌اند می‌توان به برآورد دمای بیشینه و دمای کمینه هوا در شرق آفریقا (Lin et al., 2012)، برآورد دمای میانگین هوا در شمال شرق (Kloog et al., 2014) و مرکز غربی آمریکا (Zeng et al., 2015)، برآورد دمای کمینه و دمای بیشینه در هند (Shah et al., 2013)، برآورد دمای میانگین هوا در بخش مرکزی مراکش (Boudhar et al., 2011)، برآورد دمای بیشینه و دمای کمینه در شیلی (Bustos and Meza, 2015)، برآورد دمای میانگین هوا در نیوزیلند (Sohrabinia et al., 2015) و برآورد دمای کمینه هوا در اسپانیا (Peón et al., 2014) اشاره کرد. در تحقیقات

مقدار بارش بصورت برف یا باران و همچنین در برآورد میزان ذوب برف است (Richard and Gratton, 2001). افزون بر این موارد، دمای هوا همچنین در اکوسیستم‌های جنگلی نقشی مهم دارد به گونه‌ای که Chuvieco و همکاران (2010) برای برآورد ریسک وقوع آتش‌سوزی جنگل‌ها در اسپانیا، دانستن توزیع مکانی پیوسته دمای هوا در منطقه مورد مطالعه‌شان را یکی از مهم‌ترین متغیرهای ارزیابی شاخص ریسک آتش‌سوزی ذکر کرده‌اند.

بطور معمول، داده‌های دمای هوا در ایستگاه‌های هواشناسی و در ارتفاع بین ۱ تا ۲ متری از سطح زمین در داخل پناهگاه هواشناسی (جعبه اسکرین) با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند. در بسیاری از موارد (از جمله در مناطق با توپوگرافی شدید که دمای هوا نسبت به ارتفاع دارای تغییرپذیری قابل توجهی است) استناد صرف به داده‌های دمای هوا در نقاط ایستگاهی نمی‌تواند معرف کل منطقه باشد و لازم است توزیع مکانی دمای هوا تعیین گردد. برای اجرای بسیاری از مدل‌های منطقه‌ای که در آنها دمای هوا یکی از متغیرهای ورودی مدل است توزیع مکانی دمای هوا باید معلوم باشد. این در حالیست که در بسیاری موارد، فاصله بین ایستگاه‌های هواشناسی هم قابل توجه است. بر این اساس، لازم و ضروری است داده‌های دمای هوا در فواصل بین نقاط ایستگاهی به روش‌هایی برآورد شوند. جهت انجام این کار، روش‌های متعددی ارائه شده‌اند. برخی از این روش‌ها مثل کریجینگ، کوکریجینگ و روش وزن‌دهی بر مبنای عکس فاصله (IDW) الگوریتم‌هایی مبتنی بر درونیابی کردن و تخمین‌های زمین‌آماري جهت برآورد متغیرهای مختلف از جمله دمای هوا در نقاط بین ایستگاهی هستند (Colombi et al., 2007). میزان خطای ناشی از بکارگیری این دسته الگوریتم‌ها در برآورد دمای هوا، در پاره‌ای مطالعات حدود ۱ تا ۳ درجه گزارش شده است (Ishida and Kawashima, 1993). با این وجود، فاصله زیاد بین نقاط ایستگاهی و همچنین وجود توپوگرافی شدید می‌تواند سبب تشدید خطای درونیابی توسط این دسته مدل‌ها گردد. در برخی روش‌های دیگر، از تکنیک سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای جهت مدل‌سازی رفتار مکانی دمای هوا و برآورد آن در مقیاس منطقه‌ای استفاده شده است (Nieto et al., 2011; Bustos and Meza, 2015). این دسته روش‌ها در مقایسه با سایر روش‌ها با دقت بالاتری جهت برآورد دمای هوا بکار گرفته شده‌اند (Sun et al., 2014). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای همچنین دارای

در این استان که مشخصات جغرافیایی آنها در جدول (۱) آورده شده است برای انجام این تحقیق انتخاب شدند. داده‌های دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای میانگین شبانه‌روزی ۸ ایستگاه مذکور برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند. برای همین بازه زمانی، تصاویر روزانه سنجنده MODIS که بر روی دو ماهواره Terra و Aqua نصب شده است برای کل استان کردستان تهیه شدند. این دو ماهواره به ترتیب در تاریخ‌های ۱۸ دسامبر ۱۹۹۹ و ۴ می ۲۰۰۲ توسط سازمان ملی هوا و فضای آمریکا (NASA^۳) در مدار زمین قرار گرفته‌اند و در دو مسیر مخالف، هر روز دو نوبت به دور زمین می‌گردند و محصولات متنوعی برای کاربردهای مختلف زمینی، جوی و اقیانوسی نظیر انجام مطالعات هواشناسی، دمای سطح آب و دمای سطح خاک، میزان پوشش گیاهی، پوشش و مشخصات ابرها، غلظت ذرات معلق در هوا، میزان پوشش برف و نحوه چرخه حرکت آب اقیانوس‌ها تولید و عرضه می‌کنند. زمان عبور ماهواره Terra از روی منطقه مورد مطالعه حدود ۱۰:۳۰ صبح و ۲۲:۳۰ شب و زمان عبور ماهواره Aqua حدود ساعت ۱:۳۰ شب و ۱۳:۳۰ بعد از ظهر می‌باشد. از بین محصولات مختلف سنجنده MODIS، تصاویر مورد استفاده برای انجام این تحقیق جزو زیر گروه داده‌های سطح ۳ (L_3) سنجنده MODIS با کد MOD11A1 مربوط به ماهواره Terra و MYD11A1 مربوط به ماهواره Aqua با توان تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و توان تفکیک زمانی روزانه بوده‌اند. این تصاویر برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ (مجموعاً ۲۹۲۰ تصویر) برای استان کردستان استخراج شدند. جهت استخراج دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده MODIS، با توجه به اینکه این تصاویر تنها با فرمت HDF که حاوی ۱۲ لایه مختلف داده است قابل دسترسی هستند جهت پیش پردازش اولیه تصاویر و استخراج لایه‌های مورد نیاز این تحقیق از بین لایه‌های مختلفی که در هر تصویر HDF وجود دارد از نرم افزار MRT^۴ استفاده شد. تصاویر استخراج شده با استفاده از این نرم‌افزار از سیستم سینوسی به UTM Zone 38, Datum WGS84 ژئورفرنس شده و کلیه تصاویر مربوط به یک روز، با هم Mosaic شدند و سپس به فرمت IMG که جزو فرمت‌های استاندارد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) است، ذخیره شدند. در ادامه، موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منتخب با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS شناسایی و بر اساس عدد راقومی (DN) پیکسل متناظر با ایستگاه‌های هواشناسی، دمای سطح

فوق، از تصاویر سنجنده‌هایی نظیر MODIS و ETM جهت برآورد LST استفاده شده است. روش‌های برآورد دمای هوا با استفاده از LST را می‌توان در چند دسته کلی شامل روش‌های آماری، روش‌های مبتنی بر شاخص^۱ TVX و روش‌های فیزیکی مبتنی بر بیلان انرژی در سطح جای داد (Zakšek and Schroedter, 2009). روش‌های آماری یا در قالب مدل رگرسیون خطی ساده یا در قالب مدل رگرسیون چندگانه خطی ارتباط بین دمای هوا با LST را بیان می‌کنند (Shen and Leptoukh, 2012; Benali et al., 2011). میزان خطای ناشی از بکارگیری روش‌های آماری مذکور جهت برآورد دمای هوا مابین ۱ تا ۲/۶ درجه سانتیگراد گزارش شده است (Zhang et al., 2011). روش‌های مبتنی بر شاخص دما - گیاه (TVX) مبتنی بر این فرض هستند که یک همبستگی معنی‌دار و معکوس بین شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI^۲) با دمای یک کنوبی با سطح پوشش کامل وجود دارد و با پذیرفتن این فرض که دمای کنوبی بسیار نزدیک به دمای هواست دمای هوا با این روش برآورد می‌شود. روش‌های فیزیکی مبتنی بر بیلان انرژی در سطح هم مبتنی بر تسهیم میزان تابش خالص رسیده به سطح خاک به مؤلفه‌های مختلف آن هستند و دارای این نقطه ضعف هستند که به داده‌های زیاد که گاهاً توسط سنجنش از دور قابل دستیابی نیستند، نیاز دارند (Mostovoy et al., 2006). در ارتباط با برآورد دمای هوا به کمک تصاویر ماهواره‌ای تحقیقات داخلی بسیار معدودی انجام شده است که از جمله می‌توان به برآورد دمای میانگین هوا با استفاده از شاخص TVX توسط Parviz and Valizadeh (2011) اشاره کرد. رویکرد غالب سایر تحقیقات مرتبط داخلی معطوف به برآورد دمای سطح زمین با کمک تصاویر ماهواره‌ای بوده است (Kaviani et al., 2013; Bazyani et al., 2014; Feizizadeh et al., 2015).

در این تحقیق با استفاده از LST استخراج شده از تصاویر سنجنده MODIS و با بکارگیری مدل‌های رگرسیون چندگانه خطی، به برآورد توزیع مکانی سه پارامتر اصلی دمای هوا شامل دمای بیشینه، دمای کمینه و دمای میانگین در مقیاس‌های زمانی روزانه و ماهانه در استان کردستان پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه برای انجام این تحقیق، استان کردستان واقع در غرب ایران است. ۸ ایستگاه هواشناسی سینوپتیک واقع

3. National Aeronautics and Space Administration
4. MODIS Re-projection Tool

1. Temperature-Vegetation Index
2. Normalized Difference Vegetation Index

جدول ۱. مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک در استان کردستان

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
سنندج	۳۵° ۱۵' ۱۷"	۴۷° ۰۰' ۵۲"	۱۳۷۳/۴
سقز	۳۶° ۱۳' ۱۵"	۴۶° ۱۸' ۳۹"	۱۵۲۲/۸
بیجار	۳۵° ۵۳' ۱۱"	۴۷° ۳۷' ۱۴"	۱۸۸۳/۴
قروه	۳۵° ۱۰' ۴۷"	۴۷° ۴۷' ۰۹"	۱۹۰۶
مریوان	۳۵° ۲۹' ۴۸"	۴۶° ۰۹' ۰۶"	۱۲۸۶/۶
بانه	۳۶° ۰۰' ۲۴"	۴۵° ۵۳' ۴۲"	۱۶۰۰
زرینه	۳۶° ۰۳' ۳۵"	۴۶° ۵۴' ۴۹"	۲۱۴۲/۶
کامیاران	۳۴° ۴۷' ۱۵"	۴۶° ۵۳' ۳۹"	۱۴۰۴

زمین بر حسب درجه کلونین برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دو زمان روزانه (ساعات ۱۰:۳۰ و ۱۳:۳۰ روز) و دو زمان شبانه (ساعات ۲۲:۳۰ و ۱:۳۰ شب) با استفاده از نرم‌افزار ERDAS IMAGINE استخراج گردید. در برخی از روزها، عدد رقومی برابر با صفر حاصل آمد که نمایانگر وجود برناکی در آن روز است. بر این اساس، از بین ۲۹۲۰ تصویر حاصله، تصاویر مربوط به روزهای ابرناکی جداسازی و کنار گذاشته شدند و در انجام سایر مراحل محاسباتی برآورد دمای هوا دخالت داده نشدند. شکل (۱) یکی از تصاویر HDF استخراج شده که محدوده مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک نیز بر روی آن مشخص شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۱. یک تصویر HDF مربوط به سنجنده MODIS حاوی منطقه مورد مطالعه همراه با موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک منتخب

(Wallach *et al.*, 2006). از این روش در تحقیقات متعددی از جمله Woodard and Sherrick (2011) و Xiong و همکاران (2008) استفاده شده است. روند کار بدین گونه بود که ابتدا برای این ۸ ایستگاه، برای تک‌تک روزهای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴، چهار دمای سطح زمین (LST) در ساعات ۱۰:۳۰ صبح و ۲۲:۳۰ شب (مستخرج از تصاویر ماهواره Terra) و ۱:۳۰ شب

جهت انجام واسنجی مدل از تمامی داده‌های موجود و جهت اعتبارسنجی مدل از روش اعتبارسنجی متقابل^۱ استفاده شد. نقطه قوت اصلی این روش آن است که هم در واسنجی و هم در اعتبارسنجی مدل، تمامی داده‌های موجود نقش دارند

1. Cross-Validation

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - C_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (\text{رابطه ۳})$$

که C_i مقادیر پیش‌بینی شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n تعداد کل مشاهدات است. بدیهی است هر چه مقدار شاخص MAE که بیانگر میانگین قدر مطلق مقادیر خطا است کمتر باشد بیانگر عملکرد بهتر مدل است. شاخص MBE نیز نمایانگر بیش برآوردی یا کم برآوردی مدل است و شاخص NSE نیز که در حقیقت مبتنی بر نسبت-گیری بین واریانس مقادیر خطا به واریانس داده‌های مشاهداتی است حالت ایده‌آل و حداکثر مقدار ممکن آن زمانی رخ می‌دهد که واریانس مقادیر خطا برابر با صفر و در نتیجه مقدار این شاخص برابر با ۱ گردد. اما در حالتی که عملکرد مدل نامناسب و واریانس مقادیر خطا بالا باشد مقدار این شاخص کمتر خواهد شد و در حالت عملکرد بسیار نامناسب مدل که طی آن واریانس مقادیر خطا از واریانس داده‌های مشاهداتی بیشتر باشد مقدار این شاخص می‌تواند مقادیر منفی نیز به خود بگیرد.

نتایج و بحث

برآورد پارامترهای روزانه دمای هوا

روابط رگرسیون خطی چندگانه استخراج شده به روش گام به گام بر اساس داده‌های ۸ ایستگاه مذکور که در واقع به کل استان کردستان قابل تعمیم هستند به تفکیک برای هر سه پارامتر دمایی مذکور در مقیاس روزانه در جدول (۲) ارائه شده‌اند. همانگونه که از جدول پیداست برای کلیه پارامترهای دمایی، ضریب تعیین بالایی بین این پارامترهای دمایی با دماهای سطح زمین در زمان‌های مختلف شبانه‌روز بدست آمده است که نشان‌دهنده ارتباط قوی بین آنها می‌باشد.

در روابط فوق T_{\min} ، T_{\max} و T_{mea} به ترتیب دماهای کمینه، بیشینه و میانگین شبانه‌روزی هوا و $LST_{(\text{night-terra})}$ ، $LST_{(\text{day-terra})}$ و $LST_{(\text{night-aqua})}$ به ترتیب مقادیر دمای سطح زمین برآورد شده توسط ماهواره Terra در شب و در روز و توسط ماهواره Aqua در شب و در روز می‌باشند. نتایج حاصل از بکارگیری روش اعتبارسنجی متقابل با انتخاب سه شاخص MAE، MBE و NSE بین پارامترهای دمایی روزانه اندازه‌گیری شده و برآورد شده در جدول (۳) آورده شده است. همان‌گونه که از جدول (۳) پیداست تطابق مناسب و قابل قبولی بین مقادیر اندازه‌گیری شده سه پارامتر دمایی مذکور با مقادیر برآورد شده توسط روابط رگرسیونی در مقیاس روزانه وجود دارد

و ۱۳:۳۰ بعد از ظهر (مستخرج از تصاویر ماهواره Aqua) استخراج شدند سپس از مدل رگرسیونی خطی چندگانه به روش گام به گام^۱ جهت بدست آوردن ارتباط بین دمای سطح زمین برآورد شده توسط تصاویر ماهواره‌ای با تک‌تک پارامترهای دمای هوا (دمای کمینه، دمای بیشینه و میانگین شبانه‌روزی دمای هوا) استفاده شد و مدل‌های رگرسیونی حاصله به روش فوق به عنوان مدل‌های کلی حاکم بر چگونگی ارتباط بین هر یک از سه پارامتر دمای هوا با دماهای سطح زمین برای کل استان کردستان در نظر گرفته شدند. اعتبارسنجی نتایج به روش اعتبارسنجی متقابل در ۸ مرحله مجزا انجام شد و در هر مرحله، داده‌های یکی از ۸ ایستگاه منتخب مذکور حذف شدند و مدل رگرسیونی خطی چندگانه به روش گام به گام بر اساس ۷ ایستگاه دیگر استخراج و بر اساس داده‌های ایستگاه حذف شده مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. به این معنی که در هر مرحله حذف داده‌های یکی از ایستگاه‌ها، هر یک از ۳ پارامتر دمایی مذکور با استفاده از مدل‌های رگرسیونی مستخرج از داده‌های ۷ ایستگاه دیگر برآورد شدند سپس با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها در ایستگاه حذف شده در آن مرحله مورد مقایسه قرار گرفتند. جهت سنجش خطا از سه شاخص میانگین قدر مطلق خطا (MAE^2)، میانگین اریبی خطا (MBE^3) و ضریب کارایی نش - ساتکلیف (NSE^4) استفاده شد. پس از محاسبه سه شاخص مذکور در هر ۸ مرحله، با میانگین‌گیری کردن از مقادیر هر کدام از این سه شاخص طی ۸ مرحله مذکور، میزان خطای کلی مدل جهت برآورد هر کدام از سه پارامتر دمای هوا در استان کردستان مورد ارزیابی قرار گرفت. پس از انجام روند کلی فوق در مقیاس زمانی روزانه، بر اساس پارامترهای دمایی روزانه حاصله پارامترهای دمایی ماهانه نیز استخراج شدند و دقت بکارگیری الگوریتم اتخاذ شده در این تحقیق برای برآورد سه پارامتر دمایی مذکور در مقیاس ماهانه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. فرمول محاسباتی سه شاخص فوق به شرح زیر است:

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |C_i - O_i|}{n} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (C_i - O_i)}{n} \quad (\text{رابطه ۲})$$

1. Stepwise
2. Mean Absolute Error
3. Mean Bias Error
4. Nah-Sutcliffe Efficiency

به گونه‌ای که برای سه پارامتر T_{min} ، T_{max} و T_{mean} میانگین مقدار شاخص NSE به ترتیب برابر با ۰/۸۹، ۰/۹۶ و ۰/۹۶ و میانگین شاخص MAE که نشان‌دهنده میانگین قدرمطلق خطا بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده است، به ترتیب برابر با ۲/۷، ۲/۱ و ۱/۶ بدست آمده است که برای مقیاس شبانه‌روزی، مقادیری قابل قبول هستند. شاخص MBE نیز که بیانگر تمایل کلی مدل به سمت بیش یا کم برآورد کردن است برای T_{min} ، T_{max} و T_{mean} به ترتیب برابر با ۰/۱۹، ۰ و ۰ بدست آمده است که حاکی از عدم تمایل الگوریتم بکارگرفته شده به سمت کم یا بیش برآوردی T_{mean} و تمایلی مختصر به سمت بیش برآورد کردن T_{max} و کم برآورد کردن T_{min} بوده است. شایان ذکر است چنین نتایجی که برای کل استان کردستان حاصل آمده است قابلیت تعمیم به تک‌تک ایستگاه‌ها را ندارد. بعنوان مثال، یکی از ۸ مرحله انجام شده به روش اعتبارسنجی متقابل در شکل ۲ نشان داده شده است که مربوط به دیاگرام پراکنش بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۱۳ و

۲۰۱۴ برای این سه پارامتر دمایی برای حالتی که ایستگاه کامیاران در ساخت مدل رگرسیونی دخالت داده نشده است می‌باشد. این بدان معنی است که در این مرحله، بر مبنای روابط رگرسیونی استخراج شده توسط ۷ ایستگاه دیگر، مقادیر سه پارامتر دمایی برای ایستگاه کامیاران برآورد شده‌اند و با مقادیر اندازه‌گیری شده آنها در ایستگاه هواشناسی مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. دیده می‌شود که تطابق بالایی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده به ویژه برای دو پارامتر بیشینه دما و میانگین دما حاصل شده است. با این وجود این شکل بیانگر آن است که برای ایستگاه کامیاران، دقت مدل در برآورد پارامترهای T_{min} و T_{mean} در دماهای بالا، کمتر از دماهای پایین بوده است و مدل برای پارامتر T_{mean} در تخمین دماهای بیشتر از ۲۰ درجه سانتیگراد به تدریج دچار کم برآوردی فزاینده‌ای شده است. برای برآورد T_{max} نیز دقت مدل در برآورد دماهای بالا، بیشتر از دماهای پایین بوده است و در برآورد دماهای پایین دچار بیش برآوردی شده است.

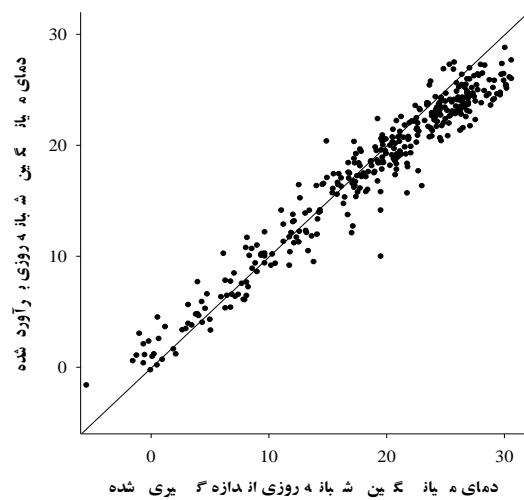
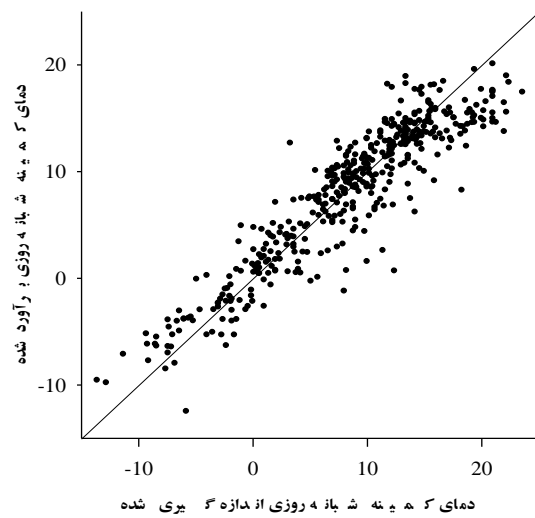
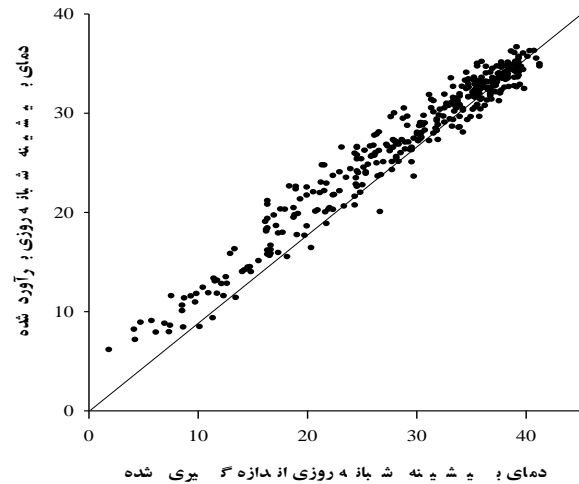
جدول ۲. روابط رگرسیون خطی چندگانه استخراج شده بر اساس دماهای سطح زمین مستخرج از تصاویر سنجنده MODIS برای پارامترهای مختلف دمایی روزانه در استان کردستان

پارامتر دمایی	ضریب تعیین (R^2)	معادله رگرسیون خطی چندگانه
دمای کمینه شبانه‌روزی	87.2%	$T_{min} = 1.152 + 0.5879 \times LST_{(night-aqua)} + 0.27 \times LST_{(night-terra)}$
دمای بیشینه شبانه‌روزی	95.6%	$T_{max} = 8.28 + 0.5328 \times LST_{(night-terra)} + 0.1903 \times LST_{(day-aqua)} + 0.14 \times LST_{(day-terra)}$
دمای میانگین شبانه‌روزی	95.6%	$T_{mean} = 5.434 + 0.4737 \times LST_{(night-terra)} + 0.1176 \times LST_{(day-aqua)} + 0.295 \times LST_{(night-aqua)}$

جدول ۳. مقادیر شاخص‌های MAE، MBE و NSE بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای کمینه، بیشینه و میانگین شبانه‌روزی دمای هوا به روش اعتبارسنجی متقابل

ایستگاه حذف شده	T_{min}			T_{max}			T_{mean}		
	MAE	MBE	NSE	MAE	MBE	NSE	MAE	MBE	NSE
سنندج	۲/۸	۱/۲۱	۰/۸۶	۱/۸	-۱/۰۳	۰/۹۶	۱/۴	۰/۲۳	۰/۹۶
سقز	۳/۴	۲/۳۲	۰/۸۵	۱/۶	۰/۸۹	۰/۹۶	۲/۳	۱/۸۳	۰/۹۵
قروه	۳/۲	-۲/۸۸	۰/۹۱	۱/۵	۰/۷۵	۰/۹۷	۱/۵	-۱/۰۲	۰/۹۷
بیجار	۲/۵	-۲	۰/۹۲	۲/۲	۱/۹۴	۰/۹۷	۱/۴	۰/۰۲	۰/۹۶
مریوان	۳	۲/۱۶	۰/۸۸	۲/۳	-۱/۸۹	۰/۹۶	۱/۳	۰/۲۹	۰/۹۶
بانه	۲/۵	-۲/۳۸	۰/۹۳	۲/۶	۲/۳۷	۰/۹۷	۱/۲	-۰/۱۲	۰/۹۷
زرینه	۲/۴	-۱/۳	۰/۹	۲	۰/۲۷	۰/۹۴	۱/۷	-۰/۵۵	۰/۹۴
کامیاران	۲/۲	-۰/۳	۰/۸۵	۲/۷	-۱/۷۵	۰/۹۳	۱/۸	-۰/۶۹	۰/۹۳
میانگین کل	۲/۷	-۰/۴	۰/۸۹	۲/۱	۰/۱۹	۰/۹۶	۱/۶	۰	۰/۹۶

است دقت الگوریتم بکار گرفته شده در این تحقیق برای برآورد پارامترهای ماهانه دمای هوا نیز با بکارگیری روش اعتبارسنجی متقابل مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاصله در جدول (۴) منعکس شده است. شایان ذکر است در ارتباط با پارامترهای دمایی روزانه که نتایج آن در بخش پیشین ارائه شد، در روزهای ابرناکی بدلیل در دسترس نبودن تصاویر ماهواره‌ای، امکان مقایسه بین مقادیر مشاهداتی و برآوردشده پارامترهای دمایی در این روزها مقدور نبود و لذا مقادیر شاخص‌های سنجش خطای مندرج در جدول (۳) با در نظر گرفتن روزهای بدون ابر و روزهای دارای تصویر حاصل آمده‌اند. در ارتباط با پارامترهای ماهانه دمای هوا، از آنجایی که این پارامترها با متوسط‌گیری از پارامترهای روزانه دمای هوا در طی یک ماه استخراج می‌شوند مشاهداتی ماهانه دمای هوا، تمامی روزهای ماه بدون در نظر گرفتن شرایط ابرناکی دخالت داده شده‌اند اما برای استخراج پارامترهای برآوردشده ماهانه دمای هوا بر اساس تصاویر ماهواره‌ای، به ناچار تنها روزهایی از ماه که بدون ابر و دارای تصویر بوده‌اند در محاسبه پارامترهای ماهانه دمای هوا دخالت داده شده‌اند. بر این اساس، برای ماه‌هایی که توأم با روزهای ابرناکی بوده‌اند میانگین ماهانه هر سه پارامتر دمایی برآوردشده تنها بر اساس روزهای بدون ابر و دارای تصویر صورت گرفته است در حالی که محاسبه میانگین ماهانه پارامترهای دمایی مشاهداتی، بر اساس کل روزهای ماه بوده است و این ناهمسانی به ناچار سبب بروز یک مقدار خطا در برآورد پارامترهای دمایی ماهانه خواهد شد. علی‌رغم وقوع اجتناب‌ناپذیر این نوع خطا، نتایج حاصل از بکارگیری روش اعتبارسنجی متقابل در جدول (۴) حاکی از تطابق مناسب و قابل قبول بین مقادیر مشاهداتی و برآورد شده پارامترهای ماهانه دمای هوا است به گونه‌ای که برای سه پارامتر ماهانه T_{max} ، T_{min} و T_{mean} میانگین مقدار شاخص NSE به ترتیب برابر با $0/96$ ، $0/97$ و $0/97$ و میانگین شاخص MAE به ترتیب برابر با $1/9$ ، $2/1$ و $1/1$ درجه سانتیگراد بدست آمده است که دقت خوبی به حساب می‌آید. شاخص MBE نیز برای T_{max} ، T_{min} و T_{mean} به ترتیب برابر با $-0/9$ ، $1/1$ و $1/1$ درجه سانتیگراد بدست آمده است که حاکی از تمایل الگوریتم بکار گرفته شده به سمت کم برآورد کردن T_{min} و بیش برآورد کردن T_{max} و T_{mean} در مقیاس ماهانه است. از بین سه پارامتر دمایی مورد مطالعه، بطور کلی برآورد میانگین ماهانه دمای هوا با خطای نسبتاً کمتری در مقایسه با دو پارامتر دمایی دیگر همراه بوده است به گونه‌ای که شاخص MAE برای میانگین ماهانه دمای هوا حول و حوش ۱ درجه سانتیگراد



شکل ۲. دیاگرام پراکنش بین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده کمینه، بیشینه و میانگین شبانه‌روزی دمای هوا طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ برای ایستگاه کامیاران همراه با خط نیمساز در حالت حذف ایستگاه کامیاران در ساخت مدل رگرسیونی

برآورد پارامترهای ماهانه دمای هوا

نظر به اینکه انجام مطالعات متعددی از جمله برآورد تبخیر و تعرق، مطالعات اقلیم‌شناسی یک منطقه و همچنین بررسی‌های مربوط به اثرات تغییر اقلیم مبتنی بر داده‌های ماهانه دمای هوا

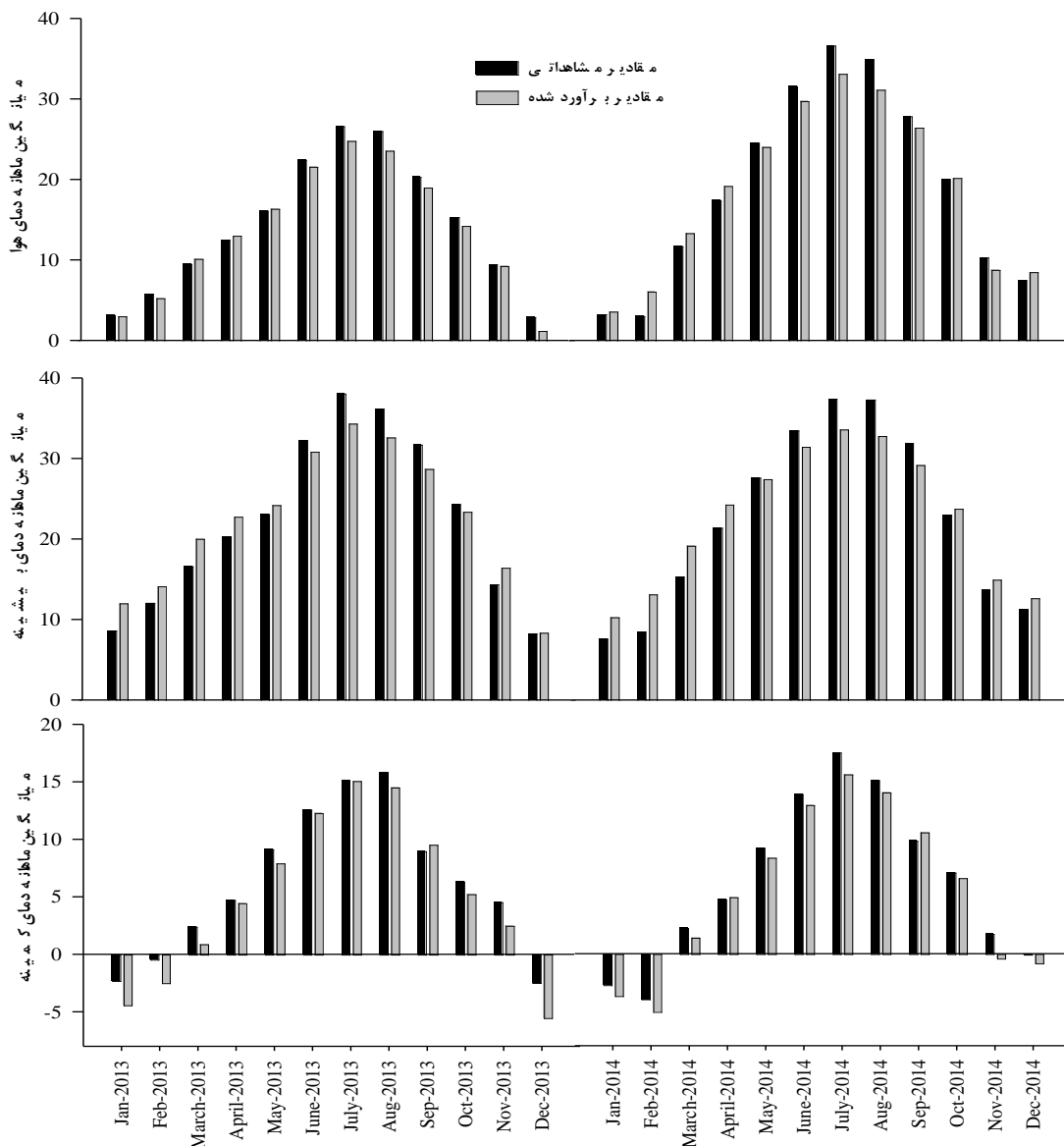
بر اساس میانگین ماهانه دمای هوا محاسبه می‌شود یک بار با قرار دادن مقادیر میانگین ماهانه برآورد شده دمای هوا و بار دیگر با قرار دادن مقادیر میانگین ماهانه مشاهداتی دمای هوا برای ایستگاه کامیاران در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ محاسبه شد و نتایج این دو حالت با هم مورد مقایسه قرار گرفتند. شکل (۴) دیگرام پراکنش بین مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش بلانی کریدل محاسبه شده توسط پارامترهای دمایی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی کامیاران و تبخیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط پارامترهای دمایی برآورد شده از روابط رگرسیونی آورده شده است. همانگونه که از این شکل پیداست مقادیر تبخیر و تعرق گیاه مرجع حاصل از جاگذاری پارامترهای دمایی ماهانه برآورد شده توسط روابط رگرسیونی، تفاوت بسیار کمی با حالت جاگذاری پارامترهای ماهانه دمایی واقعی دارد. این بدان معناست که با محاسبه پارامترهای دمایی توسط این روابط رگرسیونی در استان کردستان و محاسبه تبخیر و تعرق گیاه مرجع بر اساس آن، نتایج حاصله بسیار نزدیک به حالتی خواهند بود که از قرار دادن مقادیر واقعی و اندازه‌گیری شده پارامترهای دمایی استفاده شود. بنابراین این امکان وجود دارد که برای نقاط فاقد داده هواشناسی در استان کردستان، ابتدا پارامترهای دمایی را با کمک تصاویر ماهواره‌ای و روابط رگرسیونی استخراج شده محاسبه نمود سپس این پارامترهای دمایی را در معادلات تجربی برآورد تبخیر و تعرق گیاه مرجع نظیر روش بلانی کریدل قرار داد و با دقت مناسب و قابل قبولی، تبخیر و تعرق گیاه مرجع را برای نقاط فاقد داده هواشناسی برآورد کرد.

بدست آمده است. مقایسه جدول‌های (۳ و ۴) با هم که به ترتیب مربوط به مقادیر شاخص‌های سنجش خطا در مقیاس-های زمانی روزانه و ماهانه هستند در مجموع حاکی از بهبود نسبی مقادیر شاخص‌های سنجش خطای پارامترهای ماهانه در مقایسه با پارامترهای روزانه دمای هوا می‌باشد. بر این اساس، الگوریتم کلی بکار گرفته شده در این تحقیق، دقت بالاتری در برآورد پارامترهای ماهانه دمای هوا داشته است. نتایج حاصله برای یکی از ۸ مرحله انجام شده به روش اعتبارسنجی متقابل برای هر سه پارامتر دمایی ماهانه در شکل (۳) نشان داده شده است که مربوط به مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده این سه پارامتر دمایی در ماه‌های مختلف برای حالتی است که از ایستگاه کامیاران در ساخت مدل رگرسیونی استفاده نشده است و از داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه هواشناسی کامیاران جهت اعتبارسنجی مدل استفاده شده است. دیده می‌شود که در غالب حالات، تفاوت بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده مناسب بوده است با این وجود در اکثر موارد، مقادیر اندازه-گیری شده در ماه‌های گرم سال کم‌برآورد و در ماه‌های سرد سال بیش‌برآورد شده‌اند.

بطور کلی نتایج حاصل از اعتبارسنجی در هر دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه حاکی از آن است که این امکان وجود دارد که با استفاده از روابط رگرسیونی بدست آمده مبتنی بر دماهای سطح زمین مستخرج از تصاویر سنجنده MODIS، مقادیر T_{min} ، T_{max} و T_{mean} را در نقاطی از استان کردستان که فاقد ایستگاه هواشناسی هستند با دقت مناسب و قابل قبول برآورد کرد. به جهت ارزیابی کاربردی نتایج حاصل از این تحقیق، بطور نمونه تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش بلانی کریدل که

جدول ۴. مقادیر شاخص‌های MAE، MBE و NSE بین مقادیر اندازه‌گیری شده و برآورد شده برای کمینه، بیشینه و میانگین ماهانه دمای هوا به روش اعتبارسنجی متقابل

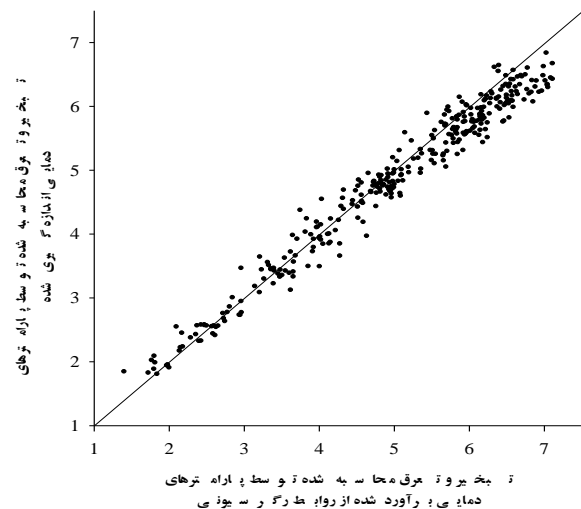
ایستگاه حذف شده	T_{min}			T_{max}			T_{mean}		
	MAE	MBE	NSE	MAE	MBE	NSE	MAE	MBE	NSE
سندج	۰/۹۳	۰/۵۷	۰/۹۷	۱/۳	۰/۱۱	۰/۹۸	۰/۷	۰/۲۹	۰/۹۹
سقز	۲/۲	۱/۱۳	۰/۸۸	۲/۱	۱/۳۶	۰/۹۵	۲	۱/۲۵	۰/۹۴
قروه	۲/۷	-۲/۷۲	۰/۹۸	۱/۸	۱/۴۷	۰/۹۷	۱/۱	-۰/۸	۰/۹۸
بیجار	۲	-۲/۰۲	۰/۹۹	۲/۶	۲/۵۱	۰/۹۹	۰/۸	۰/۱۷	۰/۹۹
مریوان	۱/۷	۰/۹۳	۰/۹	۱/۷	-۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۹	۰/۴۳	۰/۹۸
بانه	۲/۴	-۲/۴۲	۰/۹۸	۳/۲	۲/۹۹	۰/۹۷	۱	۰/۱	۰/۹۸
زرینه	۱/۸	-۱/۷۹	۰/۹۶	۱/۸	۰/۸۲	۰/۹۶	۱/۱	-۰/۷	۰/۹۶
کامیاران	۱/۱	-۰/۹۶	۰/۹۸	۲/۲	۰/۱	۰/۹۴	۱	-۰/۱۹	۰/۹۸
میانگین کل	۱/۹	-۰/۹	۰/۹۶	۲/۱	۱/۱	۰/۹۷	۱/۱	۰/۰۷	۰/۹۷



شکل ۳. مقایسه مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده کمینه، بیشینه و میانگین ماهانه دمای هوا در ماه‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ برای ایستگاه کامیاران در حالت حذف ایستگاه کامیاران در ساخت مدل رگرسیونی

نتیجه‌گیری کلی

بکارگیری الگوریتم کلی بکار گرفته شده در این تحقیق جهت برآورد سه پارامتر دمایی شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و دمای میانگین در دو مقیاس زمانی روزانه و ماهانه و ارزیابی نتایج حاصله به روش اعتبارسنجی متقابل منجر به حصول نتایج بسیار خوبی در برآورد دمای میانگین، نسبتاً خوب در برآورد دمای بیشینه و قابل قبول در برآورد دمای کمینه در استان کردستان گردید. دلیلی که می‌توان برای پایین‌تر بودن دقت برآورد دمای کمینه هوا در مقایسه با دقت برآورد دو پارامتر دمایی دیگر عنوان کرد این است که در مدل رگرسیون خطی چندگانه استخراج شده برای دمای کمینه هوا از دماهای سطح خاک برآورد شده توسط تصاویر ماهواره‌ای در دو زمان ۲۲:۳۰ و



شکل ۴. دیاگرام پراکنش بین مقادیر تخمیر و تعرق گیاه مرجع محاسبه شده توسط پارامترهای دمایی اندازه‌گیری شده و پارامترهای دمایی برآورد شده از روابط رگرسیونی همراه با خط نیمساز در ایستگاه کامیاران طی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴

ایستگاه کامیاران پرداخته شد و نتایج حاصله حاکی از عملکرد متفاوت مدل در تخمین دماهای پایین و دماهای بالا در مقیاس روزانه و نیز عملکرد متفاوت مدل در تخمین پارامترهای دمایی در ماه‌های گرم و سرد سال به لحاظ بیش برآوردی و کم برآوردی در مقیاس ماهانه بود. نتیجه کلی حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که برای مقاصد مختلفی که به توزیع مکانی پارامترهای دمای هوا به ویژه دمای میانگین و دمای بیشینه نیاز است و یا برای برآورد پارامترهای دمایی هوا در نقاطی که ایستگاه هواشناسی وجود ندارد می‌توان از الگوریتم کلی استفاده شده در این تحقیق با مقدار خطای نسبتاً کم و قابل قبول استفاده کرد.

REFERENCES

- Bazyani, S., Zare-Abyaneh, H. and Akbari, M. (2014). Estimating TVX Index using remote sensing data (A case study: Hamedan Province). *Natural Geographic Researchs*, 46(3), 333-348. (In Farsi)
- Benali, A., Carvalho, A., Nunes, J., Carvalhais, N. and Santos, A. (2012). Estimating air surface temperature in Portugal using MODIS LST data. *Remote Sensing Environment*, 124, 108-121.
- Boudhar, A., Duchemin, B., Hanich, L., Boulet, G. and Chehbouni, A. (2011). Spatial distribution of air temperature in mountainous area using satellite thermal Infra Red data. *Comptes Rendus Geoscience*, 34, 32-42.
- Bustos, E. and Meza, F. J. (2015). A method to estimate maximum and minimum air temperature using MODIS surface temperature and vegetation data: application to the Maipo Basin, Chile. *Theoretical and Applied Climatology*, 120(1-2), 211-226.
- Cabrera, H.M. (2002). Ecophysiological responses of plants in ecosystems with Mediterranean-like climate and high mountain environments. *Rev. Chil. Hist. Nat*, 75, 625-637.
- Chuvieco, E., Aguado, I., Yebra, M., Nieto, H., Salas, J., Martín, P., Vilar, L., Martínez, J., Martín, S., Ibarra, P., de la Riva, J., Baeza, J., Rodríguez, F., Molina, J.R. Herrera, M.A. and Zamora, R. (2010). Development of a framework for fire risk assessment using remote sensing and geographic information system technologies. *Ecological Modelling*, 221, 46-58.
- Colombi, A., DeMichele, C., Pepe, M. and Rampini, A. (2007). Estimation of daily mean air temperature from MODIS LST in Alpine areas. *EARSeL eProc*, 6, 38-46.
- DeVisser, M.H., Messina, J.P., Moore, N.J., Lusch, D.P. and Maitima, J. (2010). A dynamic species distribution model of *Glossina* subgenus *Morsitans*: The identification of tsetse reservoirs and refugia. *Ecosphere*, 1(1), 1-21.
- Feizizadeh, B., Didehban, Kh. And Gholamnia, Kh. (2015). Extraction of Land Surface Temperature (LST) based on landsat satellite images and split window algorithm Study area: Mahabad Catchment. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 98, 171-181. (In Farsi)
- Fu, G., Shen, Z., Zhang, X., Shi, P., Zhang, Y. and Wu, J. (2011). Estimating air temperature of an alpine meadow on the Northern Tibetan Plateau using MODIS land surface temperature. *Acta Ecologica Sinica*, 31, 8-13.
- House-Peters, L.A. and Chang, H. (2011). Modeling the impact of land use and climate change on neighborhood-scale evaporation and nighttime cooling: A surface energy balance approach. *Landsc Urban Plan*, 103, 139-155.
- IPCC. (2007). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. *The Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom, Cambridge.
- Ishida, T. and Kawashima, S. 1993. Use of cokriging to estimate surface air temperature from elevation. *Theor. Appl. Climatol*, 47, 147-157.
- Jahanbakhsh, S., Zahedi, M. and Valizadeh, Kh. (2011). Calculation of land surface temperature using SEBAL and tree decision at RS and GIS environment at central part of Maragheh. *Geography and Programming Journal*, 16, 19-42. (In Farsi)
- Jin, M. and Dickinson R.E. (2010). Land surface skin temperature climatology: Benefitting from the strengths of satellite observations. *Environmental Research Letters*, 5(4), 1-13.
- Kaviani, A., Sohrabi, T. and Daneshkar, P. (2013). Estimation of land surface temperature using NDVI in MODIS and Landsat. *Journal of Agricultural Meteorology*, 1(1), 14-25. (In Farsi)
- Kloog, I., Nordio, F., Coull, B.A. and Schwartz, J. (2014). Predicting spatiotemporal mean air temperature using MODIS satellite surface temperature measurements across the Northeastern USA. *Remote Sensing of Environment*, 150, 132-139.
- Lin, S., Moore, N. J., Messina, J. P., DeVisser, M. H. and Wu, J. (2012). Evaluation of estimating daily maximum and minimum air temperature with

- MODIS data in east Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 128-140.
- Liu, H. and Weng, Q. (2012). Enhancing temporal resolution of satellite imagery for public health studies: A case study of West Nile Virus outbreak in Los Angeles in 2007. *Remote Sens Environ*, 117, 57-71.
- Mildrexler, D.J., Zhao, M. and Running, S.W. (2011). A global comparison between station air temperatures and MODIS land surface temperatures reveals the cooling role of forests. *Journal of Geophysical Research*, 116, 1-15.
- Mostovoy, G. V., King, R. L., Reddy, K. R., Kakani, V. G. and Filippova, M. G. (2006). Statistical estimation of daily maximum and minimum air temperatures from MODIS LST data over the state of Mississippi. *GIS science and Remote Sensing*, 43(1), 78-110.
- Nieto, H., Sandholt, I. and Aguado, A. (2011). Air temperature estimation with MSG-SEVIRI data: calibration and validation of the TVX algorithm for the Iberian Peninsula. *Remote Sens. Environ*, 115, 107-116.
- Parviz, L. and Valizadeh, Kh. (2011). Estimating air temperature using TVX Index. *Soil and Water Science Journal*, 56, 21-33. (In Farsi)
- Peón, J., Recondo, C. and Calleja, J.F. (2014). Improvements in the estimation of daily minimum air temperature in peninsular Spain using MODIS land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, 35(13), 5148-5166.
- Richard, C. and Gratton, D.J. (2001). The importance of the air temperature variable for the snowmelt runoff modeling using the SRM. *Hydrological Processes*, 15, 3357-3370.
- Shah, D. B., Pandya, M. R., Trivedi, H. J. and Jani, A. R. (2013). Estimating minimum and maximum air temperature using MODIS data over Indo-Gangetic Plain. *Journal of Earth System Science*, 122(6), 1593-1605.
- Shen, S. and Leptoukh, G.G. (2011). Estimation of Surface Air Temperature over Central and Eastern Eurasia from MODIS Land Surface Temperature. *Environmental Research Letters*, 6, 1-8.
- Sohrabinia, M., Zawar-Reza, P. and Rack, W. (2015). Spatio-temporal analysis of the relationship between LST from MODIS and air temperature in New Zealand. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3-4), 567-583.
- Sun, H., Chen, Y., Gong, A., Zhao, X., Zhan, W. and Wang, M. (2014). Estimating mean air temperature using MODIS day and night land surface temperatures. *Theoretical and applied climatology*, 118(1-2), 81-92.
- Urban, M., Eberle, J., H'uttich, C., Schmullius, C. and Herold, M. (2013). Comparison of satellite-derived land surface temperature and air temperature from meteorological stations on the pan-Arctic scale. *Remote Sensing*, 5, 2348-2367.
- Vancutsem, C., Ceccato, P., Dinku, T. and Connor, S.J. (2010). Evaluation of MODIS land surface temperature data to estimate air temperature in different ecosystems over Africa. *Remote Sensing of Environment*, 114, 449-465.
- Wallach, D., Makowski, D. and Jones, J. W. (2006). Working with dynamic crop models: evaluation, analysis, parameterization, and applications. Elsevier. 447pp.
- Wang, K. and Dickinson, R.E. (2012). A review of global terrestrial evapotranspiration: Observation, modeling, climatology, and climatic variability. *Rev Geophys*, 50, 1-54.
- Woodard, J. D. and Sherrick, B.J. (2011). Estimation of mixture models using cross-validation optimization: Implications for crop yield distribution modeling. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(4), 968-982.
- Xiong, W., Holman, I., Conway, D., Lin, E. and Li, Y. (2008). A crop model cross calibration for use in regional climate impacts studies. *Ecological Modelling*, 213 (3), 365-380.
- Yoo, J.M., Won, YI., Cho, Y.J., Jeong, M.J., Shin, D.B., Lee, S.J., Lee, Y.R., Oh S.M. and Ban, S.J. (2011). Temperature trends in the skin/surface, mid-troposphere and low stratosphere near Korea from satellite and ground measurements. *Asia-Pac J Atmos Sci*, 47, 439-455.
- Zakšek, K. and Schroedter-Homscheidt, M. (2009). Parameterization of air temperature in high temporal and spatial resolution from a combination of the SEVIRI and MODIS instruments. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens*, 64, 414-421.
- Zeng, L., Wardlow, B.D., Tadesse, T., Shan, J., Hayes, M.J., Li, D. and Xiang, D. (2015). Estimation of daily air temperature based on MODIS land surface temperature products over the Corn Belt in the US. *Remote Sensing*, 7(1), 951-970.
- Zhang, W., Huang, Y., Yu, Y. and Sun, W. (2011). Empirical Models for Estimating Daily Maximum, Minimum and Mean Air Temperatures with MODIS Land Surface Temperatures. *International Journal of Remote Sensing*, 32, 9415-9440.
- Zhu, W., Lü, A. and Jia, S. (2013). Estimation of daily maximum and minimum air temperature using MODIS land surface temperature products. *Remote Sensing of Environment*, 130, 62-73.