



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

سال چهارم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۱
Vol.4, No.2, Summer 2012

۶۲-۴۵

بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده به منظور برآورد میزان خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران

روشنک درویش‌زاده*^۱، علی‌اکبر متکان^۲، امین حسینی اصل^۳، محسن ابراهیمی خوسفی^۴

۱. استادیار، گروه کارتوگرافی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. دانشیار، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۳. مربی، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۱/۴/۲۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۳/۱۸

چکیده

خشکسالی از بلایای طبیعی است که تبعات منفی گسترده‌ای را برای اقتصاد، کشاورزی، محیط و اجتماع به همراه دارد. فقدان شناخت و ارزیابی دقیق این پدیده باعث بروز بخش عمده خسارت‌های ناشی از آن می‌شود. در چند دهه اخیر، علم و به‌ویژه فناوری سنجش از دور محققان را در زمینه خشکسالی بسیار کمک کرده است و شاخص‌های متعددی برای ارزیابی و بررسی خشکسالی ارائه شده‌اند. هدف از این تحقیق بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده (MPDI) از طریق محاسبه دقیق و صحیح پوشش گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین پارامتر در این شاخص است. به منظور محاسبه شاخص مذکور، تعیین درصد پوشش گیاهی و همچنین پارامترهای خط خاک ضروری است. برای این کار از تصاویر ماهواره‌ای ALOS مربوط به تیر ماه سال ۱۳۸۸ استفاده شده است. حوضه آبخیز شیپور واقع در استان یزد به عنوان منطقه مطالعه انتخاب شد و با مطالعات میدانی درصد پوشش گیاهی ۵۲ پلات اندازه‌گیری شد. ۱۷ شاخص رایج گیاهی و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تخمین درصد پوشش گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج حاصل از شاخص‌های گیاهی نشان دادند شاخص‌هایی که در آنها بازتاب خاک در نظر گرفته می‌شود، با دقتی بهتر از دیگر شاخص‌ها (درصد $RMSE < 4$ و $R^2 > 0.63$) می‌توانند درصد پوشش گیاهی را در مناطق خشک تبیین کنند. از طرفی، نتایج به‌دست‌آمده از شبکه‌های عصبی نیز تأیید می‌کنند که چون در شبکه‌های مذکور می‌توان ورودی‌های متعددی همچون اطلاعات طیفی باندهای متفاوت را به شبکه معرفی کرد، لذا اینها با دقتی بیشتر (درصد $RMSE < 2$ و $R^2 > 0.74$) از شاخص‌های گیاهی می‌توانند در تخمین درصد پوشش گیاهی به کار روند. در نهایت، با استفاده از مناسب‌ترین روش (شبکه‌های عصبی)، درصد پوشش گیاهی منطقه محاسبه شد و با توجه به پارامترهای خط خاک، نقشه شدت خشکسالی تهیه گردید.

کلیدواژه‌ها: شاخص عمودی خشکسالی اصلاح‌شده، درصد پوشش گیاهی، تصویر ALOS، خشکسالی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه کارتوگرافی، تلفن: ۶۱۱۱۳۵۳۶

Email: r.darvishzadeh@ut.ac.ir

۱- مقدمه

خشکسالی از پدیده‌های محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر اقلیم هر منطقه است و می‌تواند در هر نقطه‌ای رخ دهد. این پدیده را می‌توان از جنبه‌های گوناگونی چون اقلیمی، مدیریت منابع آب، اجتماعی - اقتصادی، کلی و جزئی، نقطه‌ای یا منطقه‌ای، و نیز شدت و مدت و فرکانس مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار داد. در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص‌های اقلیمی بوده است. پراکندگی ایستگاه‌ها به‌خصوص در مناطق خشک ایران، فقدان آمار درازمدت در بسیاری از ایستگاه‌ها، فقدان ایستگاه‌های سینوپتیک با دوره آماری طولانی و همچنین نقطه‌ای بودن روش‌های مبتنی بر آمار اقلیمی محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به‌وجود آورده‌اند. در چند دهه اخیر، تصاویر ماهواره‌ای دیدی جامع را از نظر زمانی و مکانی از سطح زمین فراهم ساخته و محققان را در زمینه‌های مختلف مطالعاتی بسیار کمک کرده‌اند. رطوبت خاک، منبع عمده‌ای برای رشد گیاهان به شمار می‌آید و چنانچه از مقداری مشخص (بسته به نوع گیاه کمتر) باشد، گیاهان نمی‌توانند آب مورد نیاز خود را از خاک دریافت کنند و در نتیجه شرایط خشکسالی شکل می‌گیرد. درواقع رطوبت خاک را می‌توان از مهم‌ترین پارامترهایی برشمرد که در پایش خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی می‌شود (Ghulam, 2006). بازتاب طیفی خاک با افزایش رطوبت کاهش می‌یابد و بنابراین شدت خشکسالی را می‌توان براساس رطوبت موجود در خاک تخمین زد. از طرفی، طیف رسیده به سنجنده مخلوطی از بازتاب گسیل یا منعکس‌شده از سطح پدیده‌های مختلف است و در نتیجه، تداخل طیفی پدیده‌ها باعث به‌وجود آمدن محدودیت‌هایی در سطح پیکسل برای برآورد شدت خشکسالی می‌شود. از آنجا که پوشش گیاهی رابطه نزدیکی با رطوبت خاک دارد، می‌توان با استفاده از بازتاب طیفی خاک - که به نوعی بیانگر شدت خشکی است - و همچنین

بازتاب طیفی پوشش گیاهی - که خود از رطوبت و میزان آب در دسترس خاک تأثیر می‌پذیرد - اقدام به پایش خشکسالی کرد. تا کنون، مدل‌های زیادی برای پایش خشکسالی ارائه شده‌اند که عمدتاً بر شاخص‌های گیاهی (به‌خصوص NDVI¹) و دمای سطحی زمین (LST²) مبتنی‌اند و از آن جمله می‌توان به اینها اشاره کرد: شاخص آنومالی پوشش گیاهی (AVI³) (Chen et al., 1994)، شاخص شرایط پوشش گیاهی (VCI⁴) (Kogan, 1995a)، شاخص شرایط دمایی پوشش گیاهی (VTCI⁵) (Wang et al., 2001)، شاخص دما - خشکسالی - پوشش گیاهی (TDVI⁶) (Sandholt et al., 2002) و شاخص خشکی پوشش گیاهی (VDI⁷) (Maki et al., 2004).

از آنجا که دمای سطحی زمین و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال‌شده پارامترهایی هستند که خشکسالی پس از وقوع بر آنها با تأخیر تأثیر می‌گذارد، همین امر مانع پایش لحظه‌ای⁸ خشکسالی می‌شود. از سوی دیگر، این شاخص‌ها برای پایش خشکسالی به تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای نیاز دارند، که این خود باعث افزایش حجم پردازش داده‌ها و هزینه و زمان می‌شود.

به منظور رفع این محدودیت‌ها و مشکلات، در سال ۲۰۰۶ شاخص خشکسالی عمودی (PDI⁹) بر پایه بازتاب در ناحیه قرمز و مادون قرمز نزدیک ارائه شد. نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص نشان از همبستگی بیش از ۷۵ درصد با شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های اقلیمی و داده‌های رطوبتی داشت (Ghulam, 2006). از آنجا که رطوبت و پوشش گیاهی از جمله

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Land Surface Temperature
3. Anomaly Vegetation Index
4. Vegetation Condition Index
5. Vegetation Temperature Condition index
6. Temperature Drought Vegetation Index
7. Vegetation Drought Index
8. Real Time
9. Perpendicular Drought Index

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ناحیه مورد مطالعه

ناحیه مطالعاتی، حوضه آبریز شیطان است که از نظر جغرافیایی بین عرض‌های $31^{\circ} 31' 25''$ و $31^{\circ} 45' 15''$ شمالی و طول‌های $55^{\circ} 45' 46''$ و $56^{\circ} 03' 22''$ شرقی واقع شده است. این منطقه در استان یزد، در بخش جنوبی شهرستان بافق در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری شهر بافق از سمت شرق، در حد فاصل مرز استان یزد و کرمان قرار گرفته است (شکل ۱).

مساحت کل ناحیه شیطان ۴۱۶ کیلومتر مربع است و بلندترین نقطه ارتفاعی آن با ۲۹۸۹ متر و پست‌ترین نقطه با ۱۸۴۴ متر در محل خروجی حوضه واقع‌اند. متوسط بارندگی محدوده مورد مطالعه ۱۷۱ میلی‌متر، دمای متوسط سالانه آن $14/1$ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه به روش دومارتن اصلاح شده از نوع خشک سرد است و جزو مناطق خشک مرکزی ایران به شمار می‌رود. پوشش گیاهی حوضه از چهار تیپ گیاهی اصلی تشکیل شده است: درمنه زاردستی، درمنه زارکوهی، هزارخار دشتی، و گون.

۲-۲- داده‌های به‌کاررفته

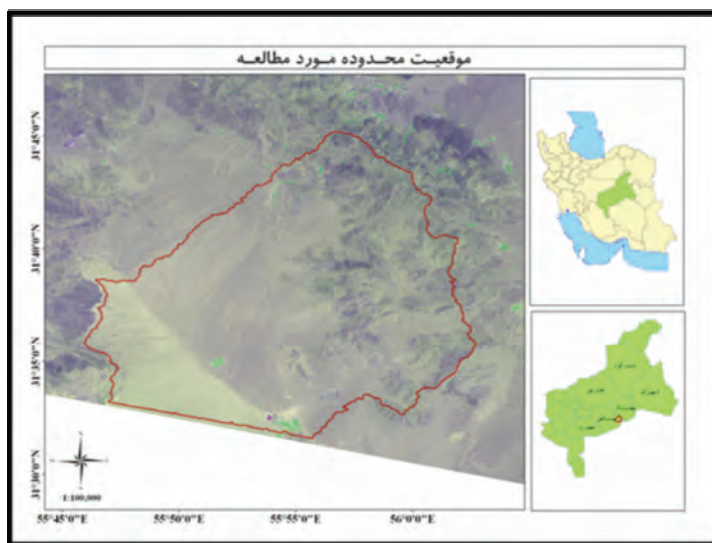
به منظور انجام تحقیق حاضر، از تصاویر سنجنده AVNIR^۲ ماهواره ALOS مربوط به تاریخ ۲۷ تیر ۱۳۸۸، نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای زمین مرجع کردن تصاویر، و همچنین درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در مطالعات میدانی (تیرماه ۱۳۸۸) در ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های گیاهی استفاده شده است.

عوامل مهم در بررسی خشکسالی هستند، در سال ۲۰۰۷ شاخص عمودی خشکسالی (PDI) بهبود یافت و اصلاح شد و اکنون شاخص خشکسالی عمودی اصلاح‌شده (MPDI)^۱ نامیده می‌شود. در این شاخص علاوه بر رفتار طیفی رطوبت در باند قرمز و مادون قرمز، درصد پوشش گیاهی (FV)^۲ نیز در نظر گرفته می‌شود. نتایج نشان داد که شاخص مذکور در مقایسه با شاخص PDI، درصد همبستگی بیشتری با شاخص خشکسالی محاسبه‌شده از طریق داده‌های زمینی دارد (Ghulam et al., 2007).

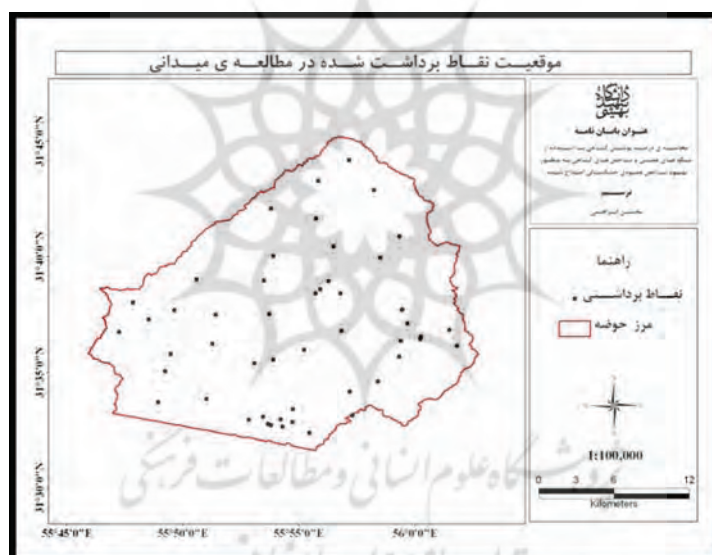
غلام و همکاران در سال ۲۰۰۷ برای محاسبه درصد پوشش گیاهی از شاخص NDVI استفاده کردند. از آنجا که در مناطق خشک به علت تأثیر مضاعف بازتاب خاک زمینه، این شاخص به خوبی نمی‌تواند خصوصیات پوشش گیاهی را تبیین کند باعث کاهش دقت برآورد پوشش گیاهی در این مناطق می‌گردد (Ishyama et al., 1997)، در تحقیق حاضر سعی شد از دیگر روش‌های تخمین درصد پوشش گیاهی برای محاسبه این پارامتر (به عنوان مهم‌ترین پارامتر ورودی شاخص MPDI) استفاده شود.

برای محاسبه درصد پوشش گیاهی (Fv) روش‌های مختلفی به کار می‌روند، همچون: شبکه عصبی^۳ (Elmore et al., 1999)، تجزیه خطی^۴ (Baret et al., 2000) و شاخص‌های پوشش گیاهی (Baret et al., 1995). محدودیت روش تجزیه پیکسل‌های آمیخته در مناطق خشک این است که مستلزم انتخاب پیکسل‌های خالص^۵ است و در مناطق یادشده به دلیل تراکم کم پوشش گیاهی امکان انتخاب این نوع پیکسل در تصاویر با قدرت تفکیک مکانی متوسط نظیر ALOS، ETM، و ASTER برای تخمین درصد پوشش گیاهی وجود ندارد. هدف از تحقیق حاضر، تخمین درصد پوشش گیاهی با استفاده از دو روش شاخص‌های گیاهی و شبکه‌های عصبی مصنوعی و انتخاب روش بهینه محاسبه درصد پوشش گیاهی به منظور بهبود شاخص MPDI با توجه به شرایط مناطق خشک مرکزی ایران است.

1. Modified Perpendicular Drought Index
2. Fraction of Vegetation
3. Artificial Neural Network
4. Linear Unmixing
5. Endmember



شکل ۱. موقعیت محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. پراکنش نقاط برداشتی در محاسبه درصد پوشش گیاهی به روش میدانی

۲-۳- روش تحقیق

۲-۳-۱- روش نمونه‌برداری

به‌منظور تعیین درصد پوشش گیاهی با روش میدانی، ابتدا ۷۰ نقطه به طور تصادفی با توجه به مینیمم و ماکزیمم طول و عرض جغرافیایی منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند و سپس ۵۲ نقطه از این میان با استفاده از دستگاه GPS دستی برداشت شدند. در شکل ۲ موقعیت نقاط برداشتی نشان داده شده است.

با توجه به قدرت تفکیک تصویر مورد استفاده (۱۰ متر) و با هدف حذف خطای ناشی از دقت GPS، ابعاد پلات‌های برداشت میدانی با ضریب ۵ برابر اندازه پیکسل و به ابعاد ۵۰ متر در ۵۰ متر انتخاب گردیدند. سپس مختصات نقاط تصادفی تعیین‌شده برای برداشت زمینی، به عنوان مختصات مرکز پلات در نظر گرفته شدند و درصد پوشش گیاهی در هر پلات اندازه‌گیری شد. برای محاسبه درصد پوشش گیاهی در هر پلات

بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده به منظور برآورد میزان خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران

شده با گیاه تعیین گردید. در هر پلات ۵۰ در ۵۰ متر با توجه به میزان همگنی، ۶ زیرپلات یک مترمربعی برداشت شد که در نهایت میانگین زیرپلات‌های برداشتی یک مترمربعی، به عنوان متوسط درصد پوشش گیاهی در پلات ۵۰ در ۵۰ متر در نظر گرفته شد. مشخصات داده‌های برداشت شده زمینی در جدول ۱ درج گردیده است.

۵۰ در ۵۰ متر از زیرپلات‌های یک مترمربعی استفاده شد، بدین گونه که با ایستادن در مرکز پلات، به طور تصادفی و با پرتاب سنگ موقعیت زیرپلات یک مترمربعی در محیط پلات ۵۰ در ۵۰ متر تعیین شد و محل برخورد سنگ به زمین به عنوان محل قرار گرفتن گوشه پایین پلات در نظر گرفته شد و درصد پوشش گیاهی برای این زیرپلات با توجه به مساحت پوشیده

جدول ۱. مشخصات پلان‌های برداشت شده زمینی

پلات	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	واریانس	پلات	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	واریانس
۱	۳۰/۸۳	۲۵	۴۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷	۲۷	۲۶/۶۷	۱۵	۳۵	۸/۱۶	۶۶/۶۷
۲	۲۴/۱۷	۱۵	۳۵	۷/۳۶	۵۴/۱۷	۲۸	۲۴/۱۷	۱۵	۳۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷
۳	۲۰/۸۳	۱۵	۳۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷	۲۹	۲۷/۵۰	۲۰	۴۰	۸/۲۲	۶۷/۵۰
۴	۲۲/۵۰	۱۵	۳۰	۵/۲۴	۲۷/۵۰	۳۰	۳۴/۱۷	۲۵	۴۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷
۵	۲۵/۰۰	۲۰	۳۰	۴/۴۷	۲۰/۰۰	۳۱	۲۱/۶۷	۱۰	۳۰	۹/۳۱	۸۶/۶۷
۶	۳۰/۰۰	۲۰	۴۰	۷/۰۷	۵۰/۰۰	۳۲	۲۱/۶۷	۱۵	۳۰	۶/۰۶	۳۶/۶۷
۷	۲۵/۸۳	۲۰	۳۰	۳/۷۶	۱۴/۱۷	۳۳	۲۲/۵۰	۱۵	۳۰	۵/۲۴	۲۷/۵۰
۸	۲۸/۳۳	۱۵	۴۵	۱۰/۳۳	۱۰۶/۶۷	۳۴	۳۰/۸۳	۲۵	۴۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷
۹	۲۰/۰۰	۱۵	۳۰	۵/۴۸	۳۰/۰۰	۳۵	۲۵/۸۳	۲۰	۳۰	۳/۷۶	۱۴/۱۷
۱۰	۲۶/۶۷	۱۵	۴۰	۸/۷۶	۷۶/۶۷	۳۶	۲۱/۶۷	۱۰	۳۰	۸/۱۶	۶۶/۶۷
۱۱	۳۰/۰۰	۲۰	۴۰	۷/۰۷	۵۰/۰۰	۳۷	۲۳/۳۳	۱۵	۳۰	۵/۱۶	۲۶/۶۷
۱۲	۲۳/۳۳	۱۵	۳۰	۶/۰۶	۳۶/۶۷	۳۸	۲۳/۳۳	۲۵	۴۰	۵/۱۶	۲۶/۶۷
۱۳	۲۶/۶۷	۱۰	۳۵	۹/۳۱	۸۶/۶۷	۳۹	۳۷/۵۰	۳۰	۴۵	۶/۱۲	۳۷/۵۰
۱۴	۲۵/۸۳	۱۵	۳۵	۶/۶۵	۴۴/۱۷	۴۰	۲۸/۳۳	۲۰	۳۵	۶/۰۶	۳۶/۶۷
۱۵	۲۶/۶۷	۲۰	۳۵	۵/۱۶	۲۶/۶۷	۴۱	۲۵/۵۰	۱۵	۳۰	۶/۸۹	۴۷/۵۰
۱۶	۲۳/۳۳	۱۵	۳۰	۵/۱۶	۲۶/۶۷	۴۲	۲۹/۱۷	۲۰	۴۰	۷/۳۶	۵۴/۱۷
۱۷	۲۷/۵۰	۲۰	۳۵	۵/۲۴	۲۷/۵۰	۴۳	۲۲/۵۰	۱۵	۳۰	۵/۲۴	۲۷/۵۰
۱۸	۱۸/۳۳	۱۰	۲۵	۶/۰۶	۳۶/۶۷	۴۴	۲۵/۸۳	۱۵	۴۰	۸/۶۱	۷۴/۱۷
۱۹	۱۷/۵۰	۱۰	۲۵	۶/۸۹	۴۷/۵۰	۴۵	۲۲/۵۰	۱۵	۳۰	۵/۲۴	۲۷/۵۰
۲۰	۱۸/۳۳	۱۰	۲۵	۶/۰۶	۳۶/۶۷	۴۶	۲۹/۱۷	۲۰	۴۰	۷/۳۶	۵۴/۱۷
۲۱	۲۳/۳۳	۱۵	۳۵	۸/۱۶	۶۶/۶۷	۴۷	۲۰/۸۳	۲۵	۳۵	۳/۷۶	۱۴/۱۷
۲۲	۲۲/۵۰	۱۵	۳۵	۶/۸۹	۴۷/۵۰	۴۸	۲۴/۱۷	۱۵	۳۵	۶/۶۵	۴۴/۱۷
۲۳	۲۴/۱۷	۱۵	۳۰	۵/۸۵	۳۴/۱۷	۴۹	۱۹/۱۷	۱۵	۲۵	۳/۷۶	۱۴/۱۷
۲۴	۲۳/۳۳	۲۵	۴۰	۵/۱۶	۲۶/۶۷	۵۰	۱۶/۶۷	۱۰	۲۵	۵/۱۶	۲۶/۶۷
۲۵	۲۱/۶۷	۱۵	۳۰	۶/۰۶	۳۶/۶۷	۵۱	۳۱/۶۷	۲۵	۴۰	۶/۰۶	۳۶/۶۷
۲۶	۲۱/۶۷	۱۵	۳۰	۵/۱۶	۲۶/۶۷	۵۲	۴۲/۵۰	۳۰	۵۵	۸/۲۲	۶۷/۵۰

برای تصحیح هندسی تصاویر، ۱۷ نقطه به صورت پراکنده در تمام تصویر (۹۴۲ کیلومترمربع) از روی نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ انتخاب شد و سپس با استفاده از معادلات پلی‌نومیال درجه دو با دقت ۰/۶۵ پیکسل و روش نمونه‌برداری نزدیک‌ترین همسایه، بازنویسی^۳ گردید. با توجه به اینکه ابعاد پلات‌های برداشتی ۵۰ متر و قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورد استفاده ۱۰ متر است، در نهایت به منظور مقایسه برداشت‌های میدانی و شاخص‌های مشتق‌شده از بازتاب باندهای مختلف، فیلتر میانگین ۵ در ۵ بر روی تصویر اعمال گردید.

۲-۳-۳- محاسبه درصد پوشش گیاهی با

استفاده از شاخص‌ها

در انجام تحقیق حاضر سعی شد تا از شاخص‌هایی گیاهی که با توجه به قدرت تفکیک طیفی تصاویر ALOS می‌توان محاسبه کرد استفاده شود. بدین منظور ۱۷ شاخص رایج پوشش گیاهی به کار گرفته شدند (جدول ۳).

گفتنی است که ۶ پلات ۵۰ متر در ۵۰ متر نیز از خاک‌های لخت موجود در منطقه به منظور محاسبه پارامترهای خط خاک برداشت شد.

۲-۳-۲- پیش‌پردازش تصاویر

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق محاسبه درصد پوشش گیاهی با استفاده از میزان بازتاب^۱ است، عدد رقومی ثبت‌شده سنجنده، ابتدا به رادیانس^۲ تبدیل شد. محاسبه رادیانس برای تصاویر سنجنده AVNIR با استفاده از رابطه (۱) انجام می‌شود:

رابطه (۱)

$$L_i = \text{Gain} * DN_i \quad i = 1-4$$

که در آن L_i رادیانس در باند i ، Gain عدد ثابتی است که مقدار آن برای هر باند تعریف شده است، و DN_i عدد رقومی ثبت‌شده سنجنده است. برای دستیابی به بازتاب واقعی زمینی و همچنین تصحیح اتمسفری تصاویر، از الگوریتم FLAASH در نرم‌افزار ENVI۴/۷ استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز تصحیح تصاویر AVNIR و مقادیر تنظیم شده، در جدول ۲ درج گردیده‌اند.

جدول ۲. پارامترهای تنظیم‌شده به منظور تصحیح اتمسفری تصویر مورد استفاده

پارامتر مورد نیاز	مقدار تنظیم‌شده	پارامتر مورد نیاز	مقدار تنظیم‌شده
عرض جغرافیایی مرکز تصویر	۳۱/۸۱	تاریخ تهیه تصویر	۲۰۰۹/۷/۱۸
طول جغرافیایی مرکز تصویر	۵۶/۱۰	متوسط ارتفاع زمینی (کیلومتر)	۲
ارتفاع ماهواره (کیلومتر)	۶۹۲	مدل آئروسول	روستایی
مدل اتمسفری	تابستان عرض‌های میانی	بازیابی آئروسول و آب	خیر

1. Reflectance
2. Radiance
3. Resample

بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده به منظور برآورد میزان خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران

جدول ۳. شاخص‌های پوشش گیاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر

شاخص	مخفف	رابطه	منبع
Atmospherically resistant vegetation index	ARVI	$ARVI = \frac{R_{NIR} - R_{RB}}{R_{NIR} + R_{RB}}$ $R_{RB} = R_{RED} - \lambda(R_B - R_{RED})$	Kaufman&Tanre, 1992
Difference Vegetation Index	DVI	$DVI = R_{NIR} - R_{RED}$	Tucker, 1979
Global Environment Monitoring Index	GEMI	$GEMI = \frac{\mu(1-0/25\mu) - (R_{RED} - 0/125)}{1 - R_{RED}}$ $\mu = \frac{(R_{NIR}^2 - R_{RED}^2) + 1/5R_{NIR} + 0/5R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + 0/5}$	Pinty & Verstraete, 1992
InfraRed percentage vegetation Index	IPVI	$IPVI = \frac{R_{NIR}}{R_{RED} + R_{NIR}}$	Crripen, 1990
Modified soil Adjusted Vegetation Index1	MSAVI ₂	$MSAVI_2 = \frac{2R_{NIR} + 1 - \sqrt{(2R_{NIR} + 1)^2 - 8(R_{NIR} - R_{RED})}}{2}$	Qi et al., 1994
Modified soil Adjusted Vegetation Index	MSAVI ₁	$MSAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1+L)}{R_{NIR} + R_{RED} + L}$ $L = 1 - 2\alpha NDVI * WDWI$	Qi et al., 1994
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}}$	Rouse et al., 1974
Perpendicular Vegetation Index	PVI	$PVI = \frac{R_{NIR} - \alpha R_{RED} - \beta}{\sqrt{1 + \alpha^2}}$	Richardson & Wiegand, 1977
Soil Adjusted Vegetation Index	SAVI	$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1+L)}{R_{NIR} + R_{RED} + L}$	Huete, 1988
Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index	SARVI	$SAVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}(1+L)}{R_{NIR} + R_{RED} + L}$ $R_{RB} = R_{RED} - \lambda(R_B - R_{RED})$	Kaufman&Tanre, 1992
Soil and Atmospherically Resistant Vegetation Index2	SARVI2(EVI)	$SARVI^2 = \frac{2/5(R_{NIR} - R_{RED})}{1 + R_{NIR} + 6R_{RED} - 7/5/R_B}$	Huete et al., 1997
Ratio Vegetation Index	SR(RVI)	$SR = \frac{R_{NIR}}{R_{RED}}$	Jordan, 1969
Transformed Soil Adjusted Vegetation Index	TSAVI	$TSAVI = \frac{\alpha(R_{NIR} - \alpha R_{RED} - \beta)}{\alpha R_{NIR} + R_{RED} + \alpha\beta + 0/08(1 + \alpha^2)}$	Baret & Guyot, 1991
Weighted Difference Vegetation Index	WDVI	$WDVI = R_{NIR} - \alpha R_{Red}$	Clevers, 1989
Soil Adjusted Vegetation Index2	SAVI ₂	$SAVI^2 = \frac{R_{NIR}}{R_{RED} + \frac{\beta}{\alpha}}$	Major et al., 1990
Optimized Soil Adjusted Vegetation Index	OSAVI	$OSAVI = 1/16 \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED} + 0/16}$	Rondeaux et al., 1996
Modified Simple Ratio	MSR	$SR = \frac{SR - 1}{\sqrt{SR} + 1}$	Chen, 1996

R_{RED} : بازتاب در ناحیه قرمز، R_{NIR} : بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک، R_B : بازتاب در ناحیه آبی، α : شیب خط خاک، و β : عرض از مبدأ خط خاک

مذکور این است که در هر مرحله براساس $n-1$ عدد داده برداشت شده و مقادیر متنظر آن به ازای هر شاخص، یک معادله رگرسیونی محاسبه می‌شود و براساس معادله یادشده، مقدار درصد پوشش گیاهی برای نقطه‌ای که وارد مدل نشده است محاسبه می‌گردد. این عمل به اندازه n بار تکرار می‌شود تا مقادیر تخمینی به ازای هر شاخص، برای هر نقطه محاسبه گردد. در نهایت، براساس مقادیر واقعی و مقادیر تخمین زده شده، میزان R^2 و RMSE به ازای هر شاخص محاسبه می‌گردد (Geladi and Kowalski, 1986). با توجه به اینکه در این روش مدل هر بار با $n-1$ داده ارزیابی می‌شود، میزان خطا کمتر از روش انتخاب تصادفی نمونه‌هاست. به عبارت دیگر، در این روش خطای ناشی از تقسیم تصادفی داده‌ها به دو دسته آموزشی و آزمایشی حذف می‌گردد. حال با توجه به نتایج مراحل قبل و با استفاده از مناسب‌ترین شاخص تخمین، درصد پوشش گیاهی تعیین گردید و به منظور یافتن مناسب‌ترین عدد برای ضریب K ، این ضریب از صفر تا ۵ و با گام‌های $0/001$ تغییر داده شد. به عبارت دیگر، این ضریب 5000 بار تغییر یافت و درصد پوشش گیاهی در نقاط نمونه‌برداری محاسبه شد. سپس، ضریب R^2 و همچنین میزان RMSE به روش Cross Validation محاسبه شدند و در نهایت ضریب بهینه انتخاب گردید.

۲-۳-۴- محاسبه درصد پوشش گیاهی با استفاده

از شبکه‌های عصبی مصنوعی

در تحقیق حاضر به منظور تخمین درصد پوشش گیاهی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف شبکه‌های عصبی و براساس داده‌های برداشت شده زمینی، از شبکه پرسپترون چندلایه استفاده شده است.

قبل از آموزش شبکه، لازم است مقدار ورودی‌ها و خروجی‌های هدف، با نرمالیزه کردن در محدوده معینی

خط خاک^۱ خط فرضی رگرسیونی در فضای طیفی بازتاب خاک در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است (Richardson and Wiegand, 1977) و برای محاسبه برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی نظیر SAVI، MSAVI و TSAVI به دست آوردن معادله خط خاک و ضرایب آن ضروری است.

در تحقیق حاضر برای محاسبه معادله خط خاک، ابتدا ۷۵۶ پیکسل خالص خاک با استفاده از موقعیت ۶ پلات خاک برداشت شد (معادل ۱۵۰ پیکسل) و سپس با استفاده از فضای ویژگی قرمز - مادون قرمز نزدیک و اعمال مشاهدات میدانی (معادل ۶۰۶ پیکسل) استخراج گردید و با پلات کردن بازتاب این پیکسل‌ها در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک، ضرایب خط خاک محاسبه شد.

بعد از پیش‌پردازش تصاویر و استخراج بازتاب نقاط متنظر با پلات‌های برداشتی، شاخص‌های پوشش گیاهی در محیط نرم‌افزار MATLAB محاسبه گردید. سپس به منظور استانداردسازی مقادیر شاخص‌های به کار رفته، از رابطه (۲) استفاده شد:

$$F_V = 1 - \left(\frac{VI - VI_{Max}}{VI_{min} - VI_{max}} \right)^K$$

که در آن، VI شاخص پوشش گیاهی، VI_{max} حداکثر مقدار شاخص مورد استفاده، VI_{min} حداقل مقدار شاخص مورد استفاده و K عددی ثابت در بازه $0/5$ تا 5 با گام‌های $0/001$ است و میزان RMSE را کاهش می‌دهد (Baret et al., 1995).

در این مرحله، عدد $0/5$ برای ضریب K در نظر گرفته شد. در مراحل بعدی، با هدف انتخاب ضریب بهینه، این ضریب با گام‌های $0/001$ تا رسیدن به عدد ۵ تغییر داده شد.

۲-۳-۳-۱- اعتبارسنجی نتایج شاخص‌ها

برای اعتبارسنجی شاخص‌های محاسبه‌شده، روش Cross Validation به کار گرفته شد. اساس روش

1. Soil Line

تمامی توابع آموزشی پس‌انتشار خطای موجود در نرم‌افزار MATLAB - صرف‌نظر از معایب هر کدام - استفاده شد. اینها عبارت‌اند از: کاهش شیب با سرعت آموزش ثابت، کاهش شیب با مومنتوم با سرعت آموزش ثابت، کاهش شیب با سرعت آموزش متغیر، پس‌انتشار شیب با مومنتوم با سرعت آموزش متغیر، پس‌انتشار ارتجاعی، شیب توأم CGF، شیب توأم CGP، شیب توأم CGB، شیب توأم SCG، شبه نیوتن BFGS، شبه نیوتن OSS و الگوریتم LM.

استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی این امکان را فراهم می‌آورد تا با تلفیق پارامترهای مؤثر متعدد بتوان با دقتی بیش از دیگر روش‌های محاسباتی به تخمین مقدار خروجی مورد نظر پرداخت. در تحقیق حاضر از تصویر ماهواره‌ای ALOS با تعداد ۴ باند استفاده شده است. برای تعیین مناسب‌ترین الگوریتم شبکه‌های عصبی مصنوعی، این ورودی‌های متغیر به شبکه معرفی گردید و به ازای هر کدام تمامی مدل‌ها دوباره اجرا شدند:

- یک ورودی شامل تنها باند آبی؛
- یک ورودی شامل تنها باند سبز؛
- یک ورودی شامل تنها باند قرمز؛
- یک ورودی شامل تنها باند مادون قرمز نزدیک؛
- دو ورودی شامل باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک؛ و
- چهار ورودی شامل باندهای آبی، سبز، قرمز و مادون قرمز نزدیک.

پس از تعیین ورودی‌های مطلوب، می‌بایست تعداد تکرار نیز در هر شبکه تعیین شود. اگر تکرارها به تعداد کافی نباشند، ممکن است شبکه به خوبی آموزش نیبند و نتیجه مطلوب به دست نیاید. از طرفی، افزایش تعداد تکرار ممکن است باعث آموزش بیش از حد شبکه شود و این امر می‌تواند به نتایج غیرمنطقی بینجامد، بدین

قرار گیرند. به همین دلیل مقادیر تمامی ورودی‌ها و خروجی‌های هدف در محدوده (۱ و -۱) قرار گرفت. در شبکه‌ها توابع انتقال مختلف معرفی می‌شوند؛ و توانایی محاسبه مشتقات تابع انتقالی در الگوی آموزشی پس‌انتشار خطا نیز اهمیت دارد. توابع لوگ‌سیگموئید^۱ و تانژانت سیگموئید^۲ معمول‌ترین توابع انتقال در آموزش پس‌انتشار هستند که در شبکه‌های چندلایه کاربرد دارند (Menhaj, 2005). تابع لوگ سیگموئید خروجی‌های بین ۰ و ۱ در محدوده مقادیر مثبت و منفی ایجاد می‌کند. همچنین در شرایطی که در داده‌های ورودی مقدار صفر وجود داشته باشد، برای بهبود کارایی می‌توان از تابع تانژانت سیگموئید نیز استفاده کرد.

از آنجا که دو تابع یادشده به دلیل پیوسته بودن و مشتق‌پذیر بودن بیشترین کاربرد را در الگوریتم پس‌انتشار خطا دارند (Menhaj, 2005)، در تحقیق حاضر کلیه محاسبات یک‌بار با تابع Logsig و یک بار هم با تابع Tansig انجام شد.

افزایش تعداد واحدها در لایه میانی همواره باعث کمتر شدن خطای آموزشی می‌شود ولی ممکن است به افزایش خطای تست یا آزمون نیز بینجامد. این امر تطبیق بیش از حد نام دارد؛ یعنی اینکه نمونه‌های آموزشی به خوبی آموزش دیده‌اند ولی شبکه نتوانسته است تابع مورد نظر را به خوبی آموزش دهد. این امر به‌ویژه زمانی که در میان نمونه‌های آموزشی نویز وجود داشته باشد، بیشتر رخ می‌دهد (Menhaj, 2005). درواقع باید در افزایش تعداد نرون‌ها در لایه میانی دقت لازم را به خرج داد تا موجب افزایش خطا نشود. در این تحقیق به ازای هر تابع انتقال، تعداد نرون مخفی متغیر ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ انتخاب گردید و تمام محاسبات به ازای هر کدام انجام شد و تأثیر تغییر تعداد نرون مخفی نیز بررسی گردید.

یکی از مراحل انجام محاسبات با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی انتخاب تابعی است که با هدف آموزش شبکه به کار می‌رود. در این تحقیق از

1. Log-sigmoid
2. Tan-sigmoid

رابطه (۳)

$$MPDI = \frac{R_{Red} + \alpha R_{NIR} - F_V (R_{V,Red} + \alpha R_{V,NIR})}{(1 - F_V)\sqrt{\alpha^2 + 1}}$$

$$\frac{PDI - F_V PDI_V}{(1 - F_V)}$$

که در آن، α : شیب خط خاک، R_{NIR} : بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک، R_{RED} : بازتاب در باند قرمز، F_V : درصد پوشش گیاهی، NIR ، RV و RV_{RED} : بازتاب پوشش گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است و به ترتیب ضرایب ثابت $0/5$ و $0/05$ در نظر گرفته می‌شوند (ghulam et al., 2007).

۳- نتایج

۳-۱- نتایج به دست آمده از شاخص‌های پوشش گیاهی

در تحقیق حاضر با استفاده از ۷۵۶ پیکسل خالص خاک که موقعیت آنها در برداشت میدانی و همچنین با استفاده از فضای ویژگی باند قرمز و مادون قرمز نزدیک مشخص شده بود، به تعیین پارامترهای خط خاک پرداخته شد (رابطه ۴ و شکل ۳).

صورت که با آموزش بیش از حد ۱، خطای داده‌های آموزشی کاهش می‌یابد ولی هنگامی که داده‌های تست وارد شبکه‌ی شبیه‌سازی شده می‌شوند، نتایج مطلوبی به دست نمی‌آیند (Menhaj, 2005). بنابراین باید تعداد تکرارها را به گونه‌ای تعیین کرد که دقت داده‌های آموزش و تست، بهینه باشد. در تحقیق حاضر، تعداد تکرار ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ برای هر شبکه در نظر گرفته شد و در نهایت تعداد تکرار بهینه تعیین گردید.

۲-۳-۴-۱- اعتبارسنجی نتایج حاصل از

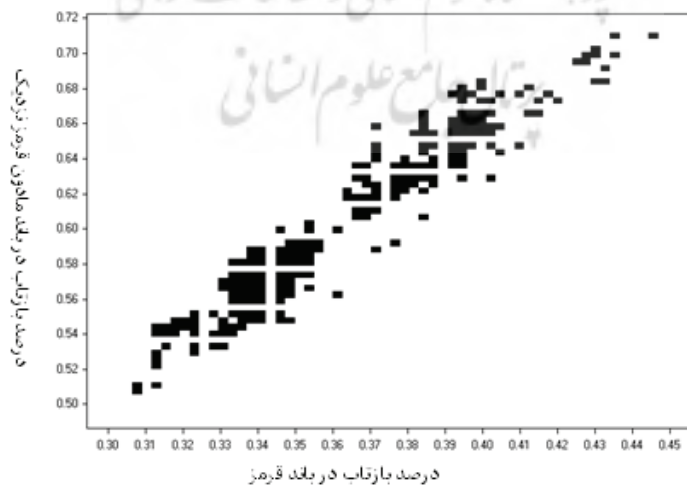
شبکه‌های عصبی مصنوعی

به منظور اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز از روش Cross Validation استفاده شد (Geladi and Kowalski, 1986).

۲-۳-۵- محاسبه درصد پوشش گیاهی و شاخص

MPDI

پس از انتخاب روش بهینه، نقشه درصد پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه تهیه شد. در مرحله بعد، با محاسبه پارامترهای خط خاک، شاخص MPDI از رابطه (۳) محاسبه گردید:



شکل ۳. موقعیت پیکسل‌های خاک در فضای ویژگی قرمز و مادون قرمز نزدیک (اعداد بیانگر میزان بازتاب‌اند)

می‌گیرند (SAVI، MSAVI₂، SARVI و OSAVI) درصد پوشش گیاهی را با دقت نسبتاً پایین‌تری برآورد کرده‌اند. این بدان دلیل است که هر چند شاخص‌های یادشده بازتاب خط خاک را در نظر می‌گیرند ولی در محاسبه آنها از ضرایب ثابت تجربی استفاده می‌شود و نه ضرایب خط خاک. بنابراین ممکن است که ضرایب به کار گرفته شده برای منطقه مورد مطالعه، مناسب نباشند. این شاخص‌ها به همین خاطر نتوانسته‌اند درصد پوشش گیاهی را به درستی بیان کنند.

۳-۱-۱- تعیین ضریب بهینه K

با توجه به نتایج به دست آمده، شاخص‌هایی که ضرایب خط خاک را در نظر می‌گیرند، بهتر از دیگر شاخص‌ها می‌توانند درصد پوشش گیاهی را تبیین کنند. همچنین با توجه به نتایج مربوط به آزمون t، تفاوت معنی‌داری بین مقادیر تخمین زده شده با این شاخص‌ها وجود ندارد ($P\text{-Value} > 0/05$). از این میان، شاخص MSAVI₁ دقت بیشتری از شاخص‌های PVI، MDVI و TSAVI دارد و به این خاطر به عنوان مناسب‌ترین شاخص انتخاب شده است. سپس ضریب K بین 0/5 تا 5 با گام‌های 0/01 تغییر داده شدند و مقدار RMSE به ازای هر ضریب محاسبه گردید (شکل ۴).

$$R_{NIR} = 1/8R_{RED} \quad \text{رابطه (۴)}$$

معادله (۴) رابطه بین ارزش پیکسل‌های خالص خاک در باند قرمز و مادون قرمز نزدیک را نشان می‌دهد. این رابطه در واقع معادله خط رگرسیون پیکسل‌های خاک نشان داده شده در شکل ۳ است. با توجه به این رابطه، صفر به عنوان عرض از مبدأ خط خاک و 1/8 به عنوان شیب خط خاک در کلیه محاسبات مربوط به شاخص‌های گیاهی و شاخص MPDI در نظر گرفته شده است.

جدول شماره ۴ نتایج به دست آمده از شاخص‌های گیاهی به روش Crossvalidation است.

همان‌گونه که جدول ۴ نشان می‌دهد، به ترتیب شاخص‌های PVI، MSAVI₁، WDVI و TSAVI دارای بالاترین میزان R^2 و کمترین میزان RMSE هستند با استفاده از شاخص‌های PVI، WDVI و TSAVI نیز به ترتیب دقت‌هایی تقریباً مشابه شاخص MSAVI₁ به دست آمده است. آزمون t نیز نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین مقادیر تخمین زده شده به وسیله این شاخص‌ها به چشم نمی‌خورد ($P\text{-value} > 0/05$). از آنجا که منطقه مورد مطالعه جزو مناطق خشک است و بازتاب خاک زمینه تأثیری جدی در مقدار ثبت شده سنجنده دارد، این شاخص‌ها دقیق‌تر از آن‌های دیگرند. دیگر شاخص‌هایی که بازتاب خاک زمینه را در نظر

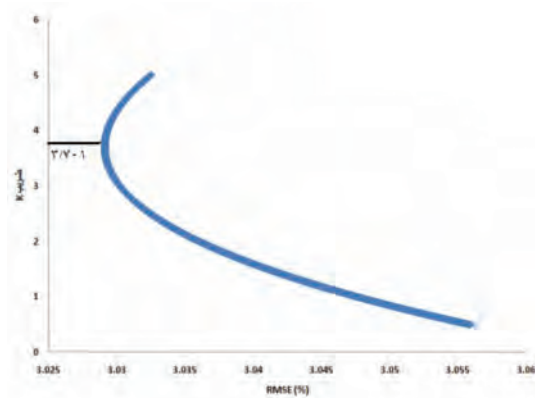
جدول ۴. R^2 و RMSE بین مقادیر مشاهداتی زمینی و مقادیر تخمین زده شده به روش CrossValidation

شاخص	R^2	RMSE	شاخص	R^2	RMSE
MSAVI ₁	0/64	3/04	SAVI ₂	0/52	3/74
PVI	0/63	3/08	SR	0/52	3/74
WDVI	0/63	3/08	SARVI ₁₀	0/52	3/71
TSAVI	0/63	3/11	MSR	0/49	3/99
NDVI	0/60	3/24	OSAVI	0/48	3/65
IPVI	0/60	3/24	EVI	0/39	3/97
MSAVI ₂	0/59	3/25	DVI	0/20	5/37
SAVI ₁₀	0/53	3/49	GEMI	0/10	4/84
ARVI	0/53	3/77			

۳-۲- نتایج به دست آمده از شبکه‌های عصبی

مصنوعی

در جدول ۵ نتایج حاصل از شبکه‌های عصبی مصنوعی به روش Cross Validation نشان داده شده است. این جدول نشان می‌دهد که بالاترین میزان R_2 و کمترین میزان RMSE مربوط به حالتی است که از چهار باند تصویر به عنوان ورودی استفاده شود. در حالتی که باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک، به عنوان ورودی به کار رفته‌اند، از دقت نتایج در قیاس با حالت اول کاسته شده، به دلیل کاهش تعداد ورودی‌هاست. اگرچه نتایج آزمون t نشان داد که تفاوت معناداری بین نتایج به دست آمده وجود ندارد ($P - Value > 0/05$). با توجه به جدول ۵، در حالتی که تنها یک ورودی به کار رفته، کارایی باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز بیشتر است - به دلیل خصوصیت طیفی گیاهان در محدوده این دو طول موج.



شکل ۴. تغییر میزان RMSE با تغییر ضریب K

نتایج حاصل از تغییر ضریب K نشان دهنده کاهش RMSE با افزایش ضریب K تا مرز ۳/۷۰۱ است و پس از آن میزان RMSE افزایش می‌یابد. ضریب ۳/۷۰۱ بدین دلیل به عنوان مناسب در نظر گرفته شد.

جدول ۵. نتایج شبکه عصبی با روش Cross Validation

ورودی	تابع انتقال	تعداد نرون مخفی	تابع آموزشی	R2	RMSE (درصد)
B1,B2,B3,B4	LogSig	۱	lm	۰/۸۶	۰/۸
B3,B4		۳	oss	۰/۸۱	۰/۸
B4		۱	cgp	۰/۷۹	۱/۱
B3		۲	cgb	۰/۷۹	۱/۲
B1	Tansig	۲	cgp	۰/۶۹	۱/۴
B2		۴	cgp	۰/۶۳	۱/۷
B1,B2,B3,B4		۱	lm	۰/۸۷	۱/۱
B3,B4		۳	oss	۰/۷۹	۰/۹
B4	Tansig	۱	cgp	۰/۷۸	۱/۴
B3		۲	cgb	۰/۷۸	۱/۳
B1		۲	cgp	۰/۶۹	۱/۹
B2		۴	cgp	۰/۶۵	۱/۲

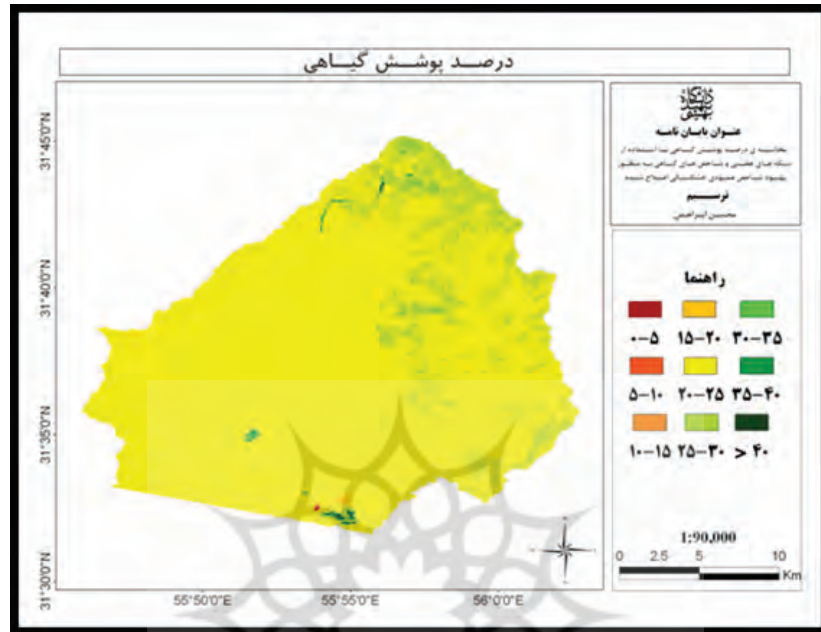
بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده به منظور برآورد میزان خشکسالی در مناطق خشک مرکزی ایران

شکل ۶ شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه را با استفاده از شاخص MPDI.

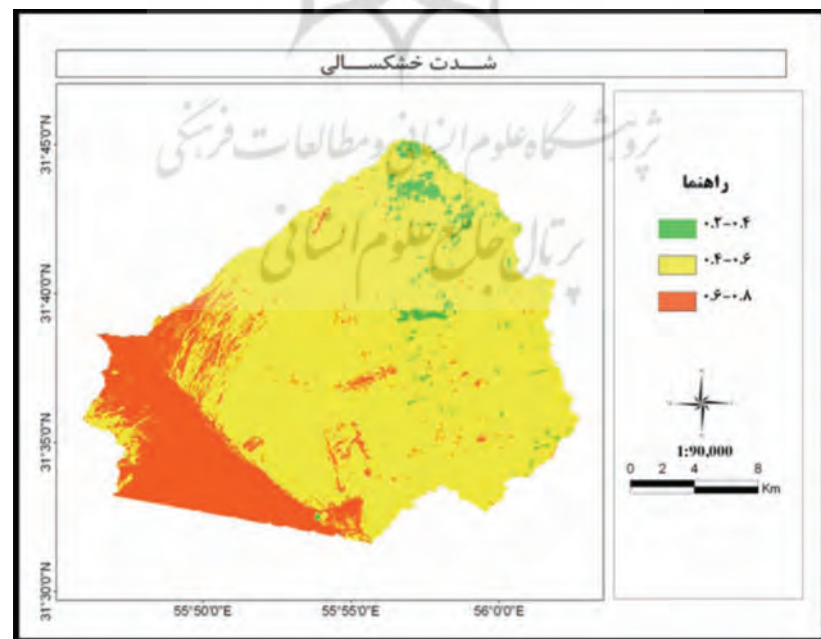
۳-۳- نقشه درصد پوشش گیاهی و نقشه شدت

خشکسالی حاصل از شاخص MPDI

شکل ۵ درصد پوشش گیاهی را نشان می‌دهد و



شکل ۵. درصد پوشش گیاهی محاسبه شده با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۶. شدت خشکسالی محاسبه شده با استفاده از شاخص MPDI

این ضرایب برای منطقه مورد مطالعه، چه بسا دقت‌شان پایین‌تر از شاخص‌های دسته اول و حتی کمتر از برخی شاخص‌هایی باشد که در آنها بازتاب خاک را در نظر گرفته نمی‌شود (NDVI).

نکته درخور توجه این است که شاخص SAVI₂ نیز برای محاسبه به ضرایب خط خاک نیاز دارد ولی از آنجا که عرض از مبدأ خط خاک در این تحقیق صفر است، با توجه به رابطه شاخص مذکور این شاخص مانند SR عمل می‌کند و نتایجی مشابه آن دارد. این در حالی است که درویش‌زاده و همکاران در سال ۲۰۰۸ در تحقیق خود (زمانی که عرض از مبدأ خط خاک بزرگ‌تر از صفر است) این شاخص را بهترین شاخص حساس به میزان سبزی‌نگی برشمرده‌اند.

شاخص‌های EVI و GEMI آنهایی هستند که با هدف کاهش تأثیرات اتمسفر ارائه شده‌اند. این شاخص‌ها در تحقیق حاضر کمترین میزان دقت را داشته‌اند. علت این امر می‌تواند بازتاب بیش از حد خاک زمینه (Liang, 2003) در منطقه مورد مطالعه باشد. در محاسبه شاخص‌های مذکور ضرایب ثابت متعددی به کار می‌رود که ممکن است برای منطقه مورد مطالعه بهینه نباشند و به‌وجود آمدن چنین خطایی را دامن بزنند.

مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از شاخص‌های گیاهی و شبکه‌های عصبی نشان می‌دهد که شبکه‌های عصبی قابلیت و دقت بیشتری در تخمین درصد پوشش گیاهی دارند و دلیل آن را می‌توان چنین توضیح داد:

الف) رفتار طیفی هر پدیده در طول موج‌های مختلف متفاوت است و شناسایی هر پدیده مستلزم وجود تمامی اطلاعات طول موج‌های مختلف است. در شاخص‌های گیاهی عموماً اطلاعات موجود در دو یا سه باند به کار می‌روند؛ و این در حالی است که گاه حجم عظیمی از اطلاعات موجود در باندهای دیگر نادیده گرفته می‌شود. استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی این امکان را فراهم آورده است تا نه تنها بتوان از تمامی اطلاعات دریافت‌شده سنجنده استفاده کرد

با توجه به شکل ۵ بیش از ۹۵ درصد حوضه مورد مطالعه پوشش کمتر از ۳۵ درصد دارد و چنین مناطقی جزو اراضی زراعی و باغی منطقه به شمار می‌آیند. مناطق شمالی و شرقی حوضه مورد مطالعه درصد پوشش گیاهی بیشتری در مقایسه با دیگر مناطق دارند، که خود به دلیل واقع شدن در ارتفاع بیش از ۲۵۰۰ متر و دریافت مقدار بارندگی بیشتر است. از طرفی گیاه غالب این مناطق تیپ گون و بادام کوهی و ارس هستند که مقاومت بیشتری در برابر شرایط کم‌آبی دارند. پوشش مناطق مرکزی و غربی حوضه، کمتر از ۲۵ درصد است و این مناطق در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر واقع شده‌اند و در مقایسه با ارتفاعات، مقدار بارندگی‌شان کمتر و دمای‌شان بیشتر است. تیپ غالب گیاهی این مناطق درمنه دشتی است. کمترین میزان درصد پوشش گیاهی مربوط به مناطقی است که دخالت انسان (احداث سد خاکی) باعث از بین رفتن پوشش گیاهی شده است.

با توجه به شکل ۶ کمترین مقدار شاخص MPDI مربوط به مناطق شمالی حوضه مورد مطالعه است. این مناطق اگرچه درصد پوشش گیاهی‌شان بیشتر است و نیاز بیشتری هم به رطوبت دارند و ممکن است زودتر باعث تخلیه رطوبتی خاک شوند ولی به دلیل واقع شدن در ارتفاعات «بیش از ۲۰۰۰ متر» حساسیت کمتری به خشکسالی دارند و رطوبت مورد نیاز رشد گیاهان در آنها تا اواخر فصل رشد فراهم است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه جزو مناطق خشک است، انتظار می‌رفت شاخص‌هایی که در آنها بازتاب خاک در نظر گرفته می‌شود، دقیق‌تر از دیگر شاخص‌ها بتوانند درصد پوشش گیاهی را تخمین بزنند. نتایج نشان داد تنها شاخص‌هایی که در محاسبه آنها ضرایب خط خاک دخیل شده است، از این لحاظ بهترند. شاخص‌هایی که در محاسبات آنها از ضرایب تجربی استفاده می‌شود به دلیل احتمال بهینه نبودن

می آیند که دما و تبخیر در آنها بیش از مناطق شمالی است و حساسیت بیشتری نیز در برابر خشکسالی دارند. مناطق غربی حوضه، به‌رغم اینکه از نظر شرایط توپوگرافی و اقلیمی و همچنین درصد پوشش گیاهی مانند مناطق مرکزی و شرقی حوضه‌اند ولی در آنها شدت خشکسالی بیشتر از ۰/۸ رخ نموده است. این بدان دلیل است که نوع خاک مناطق غربی آبرفتی و شنی است و رطوبت را مدت بسیار کمتری - در قیاس با دیگر مناطق - در خود نگه می‌دارد. بدین ترتیب این مناطق اگرچه از نظر درصد پوشش گیاهی تفاوت عمده‌ای با مناطق مرکزی و شرقی ندارند ولی از دسترس خارج شدن رطوبت در آنها باعث بروز خشکی شدید شده است.

۵- منابع

- Baret, F., Clevers, J., & Steven, M.D., 1995, **The Robustness of Canopy Gap Fraction Estimations from Red and Near-infrared Reflectances**, Remote Sensing of Environment, 54, PP. 141-151.
- Baret, F., Guyot, G., 1991, **Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and APAR Assessment**, Remote Sensing of Environment, 35, PP. 161-173.
- Carpenter, G., Gopal, S., Macomber, S., Martens, S., Woodcock, C., & J., F., 1999, **A Neural Network Method for Efficient Vegetation Mapping**, Remote Sensing of Environment, 70, PP. 326-338.
- Chen, J.M., 1996, **Evaluation of Vegetation Indices and a Modified Simple Ratio for Boreal Applications**, Remote Sensing of Environment, 22, PP. 229-242.

بلکه با وارد کردن اطلاعات واقعی زمینی به شبکه، نتایج بهتری هم به‌دست آورد.

ب) شبکه عصبی پرسپترون (از نوع شبکه‌های نظارت‌شده) مقادیر محاسبه‌شده را با مقادیر واقعی مقایسه می‌کند و با تغییر وزن‌های اختصاص یافته به هر ورودی، موجب کاهش میزان خطا و افزایش دقت می‌شود و تا زمانی که به حداقل خطا نرسد آموزش شبکه ادامه می‌یابد؛ و این خود باعث دستیابی به دقت‌های مطلوب می‌شود. از طرفی، در شبکه‌های عصبی می‌توان با وارد کردن ورودی‌های تأثیرگذار، از میزان خطای نهایی تخمین درصد پوشش گیاهی کاست. البته ناگفته نماند که همیشه افزایش تعداد ورودی‌ها لزماً باعث افزایش دقت مدل نمی‌شود. حتی اضافه کردن ورودی‌هایی که هیچ رابطه‌ای با مقادیر خروجی ندارند نه تنها باعث افزایش دقت نمی‌شود بلکه ممکن است به کاهش آن نیز بینجامد (Menhaj, 2005).

ج) از دیگر خصوصیات شبکه‌های عصبی مصنوعی که آنها را از دیگر روش‌ها و الگوریتم‌ها متمایز می‌سازد، حساسیت کمتر آنها به وجود خطا در ورودی‌هاست. علت این امر پردازش توزیعی اطلاعات است. در این سیستم فعالیت‌های پیچیده با ساختار موازی شبیه‌سازی می‌شوند و به جای آنکه تمام بار فعالیت بر دوش یک واحد محاسباتی سریع قرار گیرد، تعداد زیادی واحدهای محاسباتی ساده به صورت مشترک آن را انجام می‌دهند. این تقسیم کار، پیامد مثبت دیگری نیز دارد: چون تعداد زیادی نرون در یک زمان درگیر فعالیت‌اند، سهم هر یک از نرون‌ها چندان با اهمیت نیست. بنابراین وجود خطا در یکی از آنها - و نتیجه آن - تأثیر چندان بر دیگر واحدهای محاسباتی ندارد.

با مقایسه شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان دریافت که برخی از مناطق شرقی حوضه، اگر چه از نظر درصد پوشش گیاهی مشابه مناطق شمالی می‌باشند، ولی در آنها خشکسالی متوسط با شدت ۰/۴ تا ۰/۶ رخ داده است. این مناطق، جزو مناطق پست حوضه به شمار

- Chen, W., Xiao, Q., & Sheng, Y., 1994, **Application of the Anomaly Vegetation Index to Monitoring Heavy Drought in 1992**, Remote Sensing of Environment, 9, PP. 106-112.
- Clevers, J.G.P.W., 1989, **The Application of a Weighted Infrared-red Vegetation Index for Estimating Leaf Area Index by Correcting Soil Moisture**, Remote Sensing of Environment, 29, PP. 25–37.
- Crippen, R.E., 1990, **Calculating the Vegetation Index Faster**, Remote Sensing of Environment, 34, PP. 71–73.
- Elmore, A.J., Mustard, J., Manning, S., & Lobell, D., 2000, **Quantifying Vegetation Change in Semiarid Environments: Precision and Accuracy of Spectral Mixture Analysis and the Normalized Difference Vegetation Index**, Remote Sensing of Environment, 73, PP. 87- 102.
- Geladi, P., Kowalski, B.R., 1986, **Partial Least-squares Regression: A Tutorial**, Analytica Chimica Acta, 185, PP. 1-17.
- Ghulam, A., Qiming, Q., Tashpolat T., Zhao-Liang L., 2007, **Modified Perpendicular Drought Index (MPDI): A Real-time Drought Monitoring Method**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 62, PP. 150–164.
- Ghulam, A., Qin, Q., Zhan, Z., 2006, **Designing of the Perpendicular Drought Index**, Environmental Geology, 10.
- Huete, H., 1988, **A Soil-adjusted Vegetation Index (SAVI)**, Remote Sensing of Environment, 25, PP. 295–309.
- Ishiyama, T., Nakajima, Y., Kajiwar, K. & Tsuchiya, K., 1997, **Extraction of Vegetation Cover in an Arid Area Based on Satellite Data**, Advances in Space Research, Calibration and Intercalibration of Satellite Sensors and Early Results of Radarsat, 19, PP.1375-1378.
- Jordan, C.F., 1969, **Derivation of Leaf Area Index from Quality of Light on the Forest Floor**, Ecology, 50, PP. 663-666.
- Kaufman, Y.J., Tanre, D., 1992, **Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 30, PP. 261-270.
- Kogan, F.N., 1995a, **Droughts of the late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar-orbiting Satellite Data**, Bulletin of the American Meteorological Society, 76, PP. 655–668.
- Liang, S., 2003, **A Direct Algorithm for Estimating Land Surface Broadband Albedos from MODIS Imagery**, IEEE Trans Geosci Remote Sensing of Environment, 41, PP. 136-145.
- Major, D.J., Baret, F., Guyot, G., 1990, **A ratio Vegetation Index Adjusted for Soil Brightness**, International Journal of Remote Sensing, 11, PP. 727-740.
- Maki, M., Ishihara, M., & Tamura, M., 2004, **Estimation of Leaf Water Status to Monitor the Risk of Forest Fires by Using Remotely Sensed Data**, Remote Sensing of Environment, 90, PP. 441-450.

- Menhaj, M.B., 2005, **Principles of Artificial Neural Network**, Amir kabir university, Tehran.
- Pinty, B., Verstraete, M., 1992, **GEMI: A Nonlinear Index to Monitor Global Vegetation from Satellites**, *Vegetation*, 10, PP. 15-20.
- Qi, J., Chehbouni, Al ., Huete, A ., Kerr, Y., 1994, **A Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI)**. *Remote Sensing of Environment*, 48, PP. 119- 126.
- Richardson, A.J., Wiegand, C.L., 1977, **Distinguishing Vegetation from Soil Background Information**, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43, PP. 1541-1552.
- Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F., 1996, **Optimisation of Soil-adjusted Vegetation Indices**, *Remote Sensing of Environment*, 55, PP. 95-107.
- Rouse, J.W., Haas, R.H ., Schell, J.A ., Deering, D.W ., Harlan, J.C., 1974, **Monitoring the Vernal Advancement of Retrogradation of Natural Vegetation**, NASA/GSFC, Type III, final report, Greenbelt, MD.
- Sandholt, L., Rasmussen, K., & Andersen, J., 2002, **A Simple Interpretation of the Surface Temperature/vegetation Index Space for Assessment of Surface Moisture Status**, *Remote Sensing of Environment*, 79, PP. 213-224.
- Tucker, C.J., 1979, **Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation**, *Remote Sensing of Environment*, 8, PP. 127-150.
- Wang, P., Li, X., Gong, J., & Song, C., 2001, **Vegetation Temperature Condition Index and its Application for Drought Monitoring**, In, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*. PP. 141-143, Sydney, Australia.