

## پهنه بندی خطر خشکسالی مناطق خشک با استفاده از روشهای دانش مینا در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه شیطان، یزد)

علی اکبر متکان<sup>۱</sup>، روشنگر درویش زاده<sup>۲\*</sup>، امین حسینی اصل<sup>۳</sup>، محسن ابراهیمی خوسفی<sup>۴</sup>، زهره ابراهیمی خوسفی<sup>۵</sup>

۱. دانشیار، ۲. استادیار، ۳. مربی، ۴. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS

دانشگاه شهید بهشتی - دانشکده علوم زمین - گروه سنجش از دور و GIS

۵. کارشناس ارشد مدیریت مناطق خشک و بیابانی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۱/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۴/۰۷

### چکیده

خشکسالی تأثیرات منفی بسیاری روی اقتصاد، محیط زیست و کشاورزی می گذارد و خسارات سنگینی را برای قسمت های مختلف جهان به بار می آورد، لذا تخمین و پیش بینی خشکسالی همواره یک مسئله مهم برای تصمیم گیرندگان و برنامه ریزان بوده است. هدف از این تحقیق پهنه بندی خطر خشکسالی در حوضه شیطان واقع در استان یزد با تلفیق داده های ماهواره ای، محیطی و هواشناسی می باشد. بدین منظور از تصاویر ماهواره ای ALOS (تیر ۱۳۸۸)، نقشه های توپوگرافی مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ و آمار بارندگی، دما و تبخیر ایستگاه های هواشناسی استفاده شده است. در ابتدا لایه های اطلاعاتی عوامل موثر بر خشکسالی (شیب، جهت، ارتفاع، دما، بارندگی، تبخیر، کاربری اراضی، تراکم شبکه آبراهه ها و درصد پوشش گیاهی) تهیه و سپس با استفاده از منطق فازی و براساس حساسیت به خشکسالی استاندارد گردید. از روش سلسله مراتبی جهت تعیین وزن هر پارامتر استفاده شد. به منظور تلفیق لایه های مذکور از دو روش شاخص وزنی و اپراتورهای مختلف منطق فازی و به منظور ارزیابی نتایج حاصله از شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده<sup>۱</sup> (MPDI) استفاده شده است. نتایج نشان داد که از بین روشهای مورد استفاده، روش شاخص وزنی با بالاترین دقت ( $R^2 = 0/81$ ) می تواند به منظور پهنه بندی خطر خشکسالی مورد استفاده قرار بگیرد.

**کلید واژه ها:** خطر خشکسالی، مناطق خشک، سنجش از دور، GIS، روش های دانش مینا

## مقدمه

خشکسالی به عنوان یکی از مهمترین بلاهای طبیعی بوده که با وقوع تدریجی آرام و خزننده اش بر ابعاد مختلف زندگی بشر تاثیر می گذارد.

این بلا به عنوان یک پدیده ناگوار اقلیمی که بطور مستقیم جوامع را از طریق محدودیت در دسترسی به منابع آب تحت تاثیر قرار می دهد، هزینه های اقتصادی، اجتماعی و محیطی زیادی را به همراه دارد (گودارد<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۳)

در گذشته، رویکرد مرسوم پایش خشکسالی، بر پایه مشاهدات اقلیمی هواشناسی و استفاده از شاخص های اقلیمی بوده است که این روش ها به علت استفاده از آمار ایستگاه های هواشناسی به صورت نقطه ای می باشند و از طرفی پراکندگی ایستگاه ها بخصوص در مناطق خشک محدودیت هایی را در بررسی خشکسالی بوجود آورده است.

در چهار دهه اخیر، سنجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است که عموماً بر پایه شاخص های گیاهی، دمای سطحی زمین (LST)<sup>۲</sup>، رطوبت و بازتاب در ناحیه مرئی و مادون قرمز است که از آن جمله می توان به شاخص محتوای آب برگ (LWCI) (هانت<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۸۷)، شاخص آنومالی پوشش گیاهی (AVI)<sup>۴</sup> (چن<sup>۵</sup> و همکاران، ۱۹۹۴)، شاخص فراهم بودن آب (VSWI)<sup>۶</sup> (کلارسون<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۴) و شاخص شرایط پوشش گیاهی

(VCI)<sup>۸</sup> (کوغان<sup>۹</sup>، ۱۹۹۵) اشاره نمود. به منظور محاسبه شاخص های فوق الذکر نیاز به بازیابی LST و آلیدو از تصاویر ماهواره ای، تصحیحات آتمسفری داده های ماهواره ای، تجزیه پیکسل های آمیخته و تبدیل باندهای طیفی باریک به باندهای طیفی پهن می باشد (لیانگ<sup>۱۰</sup>، ۲۰۰۳؛ ژائو<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰). بنابراین خطای نهایی استخراج و کمی کردن اطلاعات خشکسالی می تواند زیاد باشد.

از طرفی دمای سطحی زمین و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)<sup>۱۲</sup> پارامترهایی هستند که خشکسالی پس از وقوع با تاخیر زمانی روی آنها تاثیر می گذارد و این مانع پایش لحظه ای<sup>۱۳</sup> خشکسالی می شود. از سوی دیگر شاخص های ذکر شده به منظور پایش خشکسالی نیاز به سری تصاویر چند زمانه ماهواره ای دارند که این خود باعث افزایش حجم پردازش داده ها، هزینه و زمان است.

به منظور رفع این محدودیت ها و مشکلات، غلام<sup>۱۴</sup> در سال ۲۰۰۶ شاخص خشکسالی عمودی (PDI)<sup>۱۵</sup> را بر پایه بازتاب در ناحیه قرمز و مادون قرمز نزدیک ارائه نمود. نتایج حاصل از این شاخص همبستگی بالای ۷۵ درصد با شاخص های خشکسالی مبتنی بر داده های اقلیمی و داده های رطوبتی و همچنین سایر شاخص های مبتنی بر تصاویر ماهواره ای نشان داد.

شاخص PDI نسبت به سایر شاخص های خشکسالی مبتنی بر سنجش از دور، ساده تر و کارآتر است و تنها براساس رفتار رطوبتی پدیده ها در باند قرمز و مادون قرمز

1. Goddard

3. Hunt

5. Chen

7. Clarson

9. Kogan

11. Zhao

13. Real Time

15. Perpendicular Drought Index

2. Land Surface Temperature

4. Anomaly Vegetation Index

6. Vegetation Supply Water Index

8. Vegetation Condition Index

10. Liang

12. Normalized Difference Vegetation Index

14. Ghulam

زمین را در نظر می گیرند در حالیکه علاوه بر موارد ذکر شده عوامل متعدد دیگری از جمله عوامل محیطی (شیب، ارتفاع، جهت، درصد پوشش گیاهی و ...) و عوامل اقلیمی (بارندگی سالیانه، دما و تبخیر) نیز بر خشکسالی تاثیرگذار است.

بر این اساس هدف از تحقیق حاضر پهنه بندی شدت خشکسالی حوضه شیطان در استان یزد با تلفیق داده های محیطی، ماهواره ای و هواشناسی با استفاده از روش های دانش مینا در محیط GIS و انتخاب روش مناسب تلفیق می باشد.

#### محدوده مورد مطالعه

ناحیه مطالعاتی از نظر جغرافیایی بین عرضهای  $25^{\circ} 31'$  و  $31^{\circ} 15'$  و  $45^{\circ} 31'$  شمالی و طولهای  $46^{\circ} 45'$  و  $55^{\circ} 22' 03''$  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 شماره ۱).

مساحت کل محدوده شیطان برابر ۴۱۶ کیلومترمربع می باشد. بلندترین نقطه ارتفاعی با ۲۹۸۹ متر و پست ترین آن ۱۸۴۴ متر می باشد. متوسط بارندگی محدوده ی مورد مطالعه ۱۷۱ میلیمتر، دمای متوسط سالانه ۱۴.۱ درجه سانتی گراد و اقلیم منطقه به روش دومارتن اصلاح شده از نوع خشک سرد می باشد و جزو مناطق خشک مرکزی ایران محسوب می شود.

پوشش گیاهی حوزه از ۴ تیپ گیاهی اصلی شامل درمنه زار دشتی، درمنه زار کوهی، هزار خار دشتی و گون تشکیل شده است.

محاسبه می شود.

از آنجایی که رطوبت و پوشش گیاهی از جمله عوامل مهم در بررسی خشکسالی می باشند، غلام و همکاران در سال ۲۰۰۷ شاخص PDI با عنوان شاخص خشکسالی عمودی اصلاح شده (MPDI)<sup>۱</sup> بهبود بخشیدند.

این شاخص علاوه بر رفتار طیفی رطوبت در باند قرمز و مادون قرمز، درصد پوشش گیاهی (FV)<sup>۲</sup> را نیز در نظر می گیرد.

نتایج نشان داد که این شاخص نسبت به شاخص PDI، از درصد همبستگی بیشتری با شاخص خشکسالی محاسبه شده از طریق داده های زمینی برخوردار است.

در ایران مطالعات متعددی به منظور بررسی وضعیت خشکسالی با استفاده از داده های ماهواره ای صورت گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعه چنار در سال ۱۳۸۰ در استان های شمال غرب کشور، صفری در سال ۱۳۸۲ در منطقه زابل و باعقیده در سال ۱۳۸۶ اشاره نمود.

در مطالعات انجام شده مذکور عمدتاً روند تغییرات پوشش گیاهی را با استفاده از شاخص NDVI و بوسیله داده های ماهواره ای AVHRR<sup>۳</sup> که دارای دقت مکانی پایین (یک کیلومتر) هستند، بررسی نموده اند.

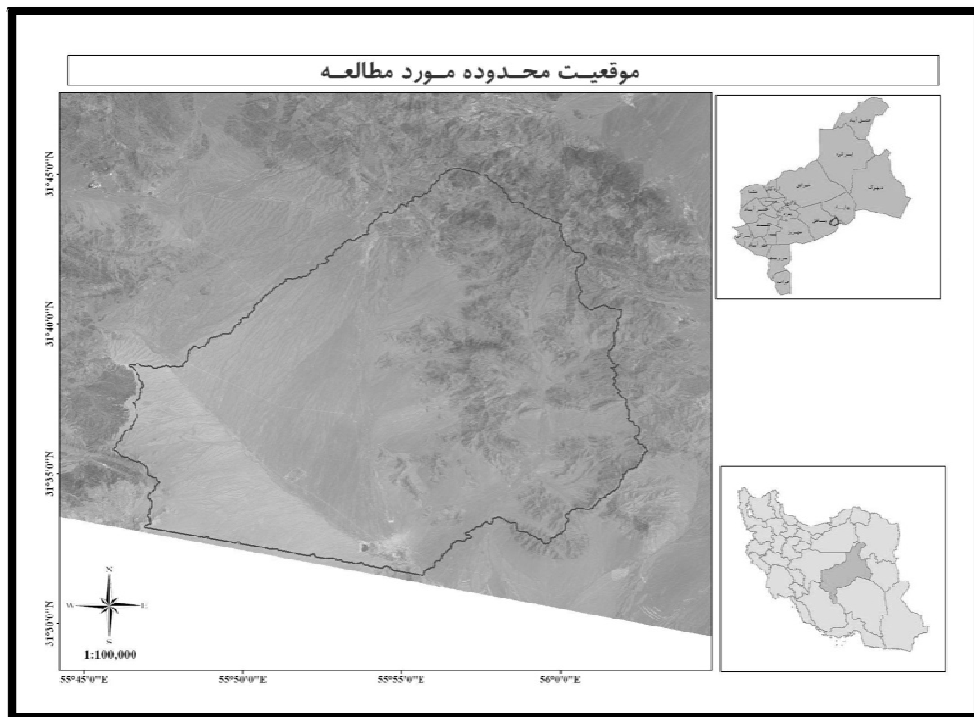
این داده ها علی رغم اینکه قدرت تفکیک زمانی بالایی دارند ولی می توانند به علت تفکیک مکانی پایین محدودیت هایی را ایجاد نمایند.

نکته قابل توجه دیگر این است که در تحقیقات انجام گرفته در زمینه خشکسالی با استفاده از سنجش از دور، عمدتاً به بررسی خشکسالی با استفاده از شاخص های خشکسالی مبتنی بر تصویر پرداخته شده است که این شاخص ها تنها درصد پوشش گیاهی و دمای سطحی

<sup>۱</sup>. Modified Perpendicular Drought Index

<sup>۳</sup>. Advanced Very High Resolution Radiometer

<sup>۲</sup>. Fraction of Vegetation



شکل (۱)- موقعیت محدوده ی مورد مطالعه

پارامترهای موثر که در ادامه به آن اشاره خواهد شد ثابت باقی بماند.

**شیب:** شیب زمین بر مقدار آب نفوذی و پایداری سطح خاک تاثیر گذار است. هرچه شیب بیشتر باشد، آب با سرعت بیشتری از منطقه خارج شده و کمتر نفوذ می کند. لذا با توجه به اینکه با افزایش شیب، آب در دسترس گیاهان کاهش پیدا می کند و خاک رطوبت کمتری دارد، نواحی با شیب بیشتر (با ثابت در نظر گرفتن سایر عوامل) نسبت به خشکسالی حساسیت بیشتری دارند.

**جهت:** جهت قرار گرفتن عوارض سطح زمین بر میزان دریافت نور تاثیر گذار است. در نیمکره شمالی شیبهای رو به جنوب گرمتر و خشکتر از شیبهای رو به شمال است. جهت و زاویه ی شیب تغییر محسوسی در شدت نور و مدت آفتاب روزانه ایجاد می کند که این امر به اختلافات فاحش دمای موثر بر پوشش گیاهی می انجامد. بنابراین به ترتیب شیب های جنوبی، غربی، شرقی و شمالی

## داده های مورد استفاده

به منظور انجام تحقیق حاضر، از تصاویر سنجنده AVNIR2<sup>1</sup> ماهواره ALOS<sup>2</sup> مربوط به تاریخ ۲۷ تیر ۱۳۸۸ (با قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر و ۴ باند طیفی)، نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ جهت زمین مرجع نمودن تصاویر و همچنین داده های اقلیمی و هواشناسی ایستگاههای موجود در محدوده منطقه مورد مطالعه استفاده شده است.

## عوامل موثر بر خشکسالی

از عوامل موثر بر خشکسالی می توان به موارد زیر اشاره نمود (شایگان، ۱۳۸۱):

**ارتفاع:** تغییرات ارتفاعی بر درجه حرارت و مقدار رطوبت تاثیر مستقیم دارد. لذا هر چه ارتفاع یک منطقه بیشتر باشد شدت خشکسالی کمتر خواهد بود. لازم به ذکر است این حالت زمانی درست است که سایر

<sup>1</sup>. Advanced Visible and Near Infrared Radiometer type 2

<sup>2</sup>. Advanced Land Observing Satellite

دارد یعنی هرچه شدت خشکسالی بیشتر باشد، کاهش پوشش گیاهی بیشتر است. همچنین می توان گفت هرچه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد نیاز آبی منطقه بیشتر و در نتیجه حساسیت به خشکسالی بیشتر است. بنابراین پوشش گیاهی متراکم تر آسیب پذیری بیشتری به شرایط کم آبی خواهد داشت.

**کاربری اراضی:** بطور کلی اکوسیستم های مصنوعی نسبت به اکوسیستم های طبیعی از حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی برخوردارند. بنابراین اراضی باغی- زراعی حساسیت بیشتری به خشکسالی نسبت به اراضی مرتعی دارند.

### روش تحقیق

#### • پیش پردازش تصاویر

با توجه به اینکه هدف از این تحقیق محاسبه درصد پوشش گیاهی با استفاده از میزان بازتاب<sup>۱</sup> می باشد، بنابراین عدد رقومی ثبت شده توسط سنجنده، ابتدا به رادیانس<sup>۲</sup> تبدیل شد. به منظور محاسبه رادیانس برای تصاویر سنجنده AVNIR از رابطه زیر استفاده می شود:

$$L_i = Gain * DN_i \quad i = 1_4$$

که  $L_i$  رادیانس در باند  $i$ ، Gain عدد ثابتی است که مقدار

به خشکسالی حساس می باشند.

**تراکم شبکه آبراهه ها:** تراکم شبکه ی آبراهه ها بر میزان در دسترس بودن آب در یک منطقه تاثیر گذار است، هر چه تراکم آبراهه ها بیشتر باشد، سرعت تخلیه ی آب بیشتر بوده و آب زمان کمتری برای نفوذ دارد و در نتیجه میزان رطوبت خاک کمتر خواهد بود. بنابراین با افزایش تراکم زهکشی میزان حساسیت به خشکسالی بیشتر خواهد بود.

**بارندگی:** با توجه به شرایط وقوع خشکسالی، باران مهمترین پارامتر موثر در ایجاد خشکسالی است. مناطق با بارندگی بیشتر حساسیت کمتری به خشکسالی دارند.

**دما:** دما به صورت غیر مستقیم بر مقدار آب قابل دسترس تاثیر گذار است. لذا هر چه دما بیشتر باشد حساسیت به خشکسالی بیشتر خواهد بود.

**تبخیر:** تبخیر باعث از دسترس خارج شدن آب قابل دسترس در یک منطقه می شود. این پدیده باعث کاهش آب سطحی، رطوبت خاک و حتی آب زیرزمینی می شود. بنابراین مناطق با تبخیر بیشتر حساسیت بیشتری نسبت به خشکسالی دارند.

**پوشش گیاهی:** خشکسالی اثر مستقیم بر پوشش گیاهی

جدول (۱) پارامترهای تنظیم شده به منظور تصحیح اتمسفری تصویر مورد استفاده

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

<sup>۱</sup>. Reflectance

<sup>۳</sup>. FLAASH

<sup>۲</sup>. Radiance

گردید. پس از محاسبه ی شیب برحسب درصد، نقشه ی حاصله با توجه به طبقه بندی کارپنتر به ۶ کلاس و نقشه ی جهت حاصله نیز، به نقشه ی با چهار جهت اصلی طبقه بندی گردید.

در نهایت به منظور حذف مجموعه پیکسل های آمیخته، نواحی با مساحت کمتر از چهار هکتار با طبقات بزرگتر ترکیب گردید. به منظور استخراج اتوماتیک شبکه ی آبراهه ها و زیرحوضه ها، ابتدا چاله های هیدرولوژیکی<sup>۲</sup>، با استفاده از اعمال فیلتر روی مدل رقومی ارتفاع حذف گردید.

سپس مدل رستری جهت جریان<sup>۳</sup> و مدل جریان تجمعی<sup>۴</sup> تهیه گردید. در نهایت به منظور استخراج اتوماتیک آبراهه ها، پیکسل های با جریان تجمعی بیشتر از ۱۰۰۰ به عنوان آبراهه در نظر گرفته شد و بر اساس آن زیرحوضه های موجود در حوضه استخراج گردید.

به منظور محاسبه ی تراکم شبکه ی آبراهه ها، مجموع طول آبراهه های هر زیرحوضه بر مساحت آن زیرحوضه تقسیم و برای هر زیر حوضه تراکم شبکه ی آبراهه ها محاسبه شد. به منظور تهیه لایه بارندگی از رابطه رگرسیون بدست آمده بین ارتفاع ایستگاههای هواشناسی و میزان بارندگی سالیانه بدست آمد (شکل ۲).

به منظور تهیه لایه اطلاعاتی متوسط دمای سالانه، پس از بازسازی آمار ناقص، جهت تبدیل داده های نقطه ای به سطح پیوسته از روش درونیابی عکس فاصله با توان ۲ استفاده شد به منظور تهیه ی لایه ی تبخیر نیز مانند لایه ی دما عمل شد و از روش IDW استفاده شد.

ابراهیمی خوسفی در سال ۱۳۸۹ در تحقیقی که با استفاده از شاخص های گیاهی انجام داد به این نتیجه رسید که شاخص MSAVI در مقایسه با سایر شاخص ها با

آن برای هر باند تعریف شده است و DNI عدد رقومی ثبت شده توسط سنجنده می باشد. جهت دستیابی به بازتاب واقعی زمینی و همچنین تصحیح اتمسفری تصاویر، از الگوریتم فلش<sup>۳</sup> در نرم افزار ENVI4.7 استفاده شد. پارامترهای مورد نیاز تصحیح تصاویر AVNIR2 و مقادیر تنظیم شده در جدول شماره (۱) آمده است. به منظور تصحیح هندسی تصاویر، تعداد ۱۷ نقطه به صورت پراکنده در تمام تصویر (۹۴۲ کیلومتر مربع) و از روی نقشه های ۱/۲۵۰۰۰ انتخاب شد، سپس با استفاده از معادلات پلی نومیال درجه دو با دقت ۰.۶۵ پیکسل و روش نمونه برداری نزدیکترین همسایه، بازنویسی<sup>۱</sup> شد.

### تهیه لایه های اطلاعاتی پارامترهای موثر بر خشکسالی

با توجه به اینکه هدف این تحقیق، بررسی میزان تاثیر عوامل موثر بر خشکسالی و در نهایت رسیدن به یک نقشه ی حساسیت خشکسالی است، بنابراین لازم است تا هر یک از پارامترهای موثر بر خشکسالی وارد تحلیل گردند و سپس با استفاده از این تحلیل ها به نقشه ی نهایی دست پیدا کرد.

بدین منظور مدل رقومی ارتفاع با استفاده از لایه های اطلاعاتی منحنی میزان، نقاط ارتفاعی و آبراهه نقشه های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ با دقت ۱۰ متر تهیه گردید. لازم به ذکر است که دقت اسمی مسطحاتی نقشه های ۱:۲۵۰۰۰، ۵ متر می باشد ولی از آنجایی که قدرت تفکیک مکانی تصاویر استفاده شده ۱۰ متر می باشد، بنابراین ابعاد ۱۰ متر به عنوان اندازه ی پایه برای تمامی لایه های اطلاعاتی در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، لایه های اطلاعاتی شیب و جهت از مدل رقومی ارتفاع تهیه

<sup>1</sup>. Resample

<sup>3</sup>. Flow direction

<sup>2</sup>. Sink

<sup>4</sup>. Flow accumulation

تهیه و محدوده مورد مطالعه به دو بخش مرتع و اراضی زراعی-باغی تقسیم گردید.

#### • استاندارد سازی لایه های اطلاعاتی

پس از تعیین نوع تاثیر هر یک از پارامترهای موثر بر خشکسالی، به منظور قابل مقایسه کردن لایه های مختلف اطلاعاتی، بایستی لایه ها استاندارد سازی شوند. در تحقیق حاضر به منظور استاندارد سازی لایه ها از روش منطق فازی خطی استفاده شد. نحوه ی استاندارد سازی برای هر لایه در ادامه آمده است:

**ارتفاع:** افزایش ارتفاع باعث کاهش حساسیت به خشکسالی می شود بنابراین به نواحی با ارتفاع ماکزیمم در لایه ی حساسیت به خشکسالی برحسب ارتفاع، ارزش صفر و به نواحی با کمترین ارتفاع ارزش یک تعلق گرفت.

**شیب:** افزایش شیب باعث می شود تا آب سریع از دسترس گیاهان خارج شود، در نتیجه در این تحقیق، به

دقت بالاتری بیانگر درصد پوشش گیاهی منطقه می باشد. لذا به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی در این تحقیق از شاخص  $MSAVI1$  استفاده شد. این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود:

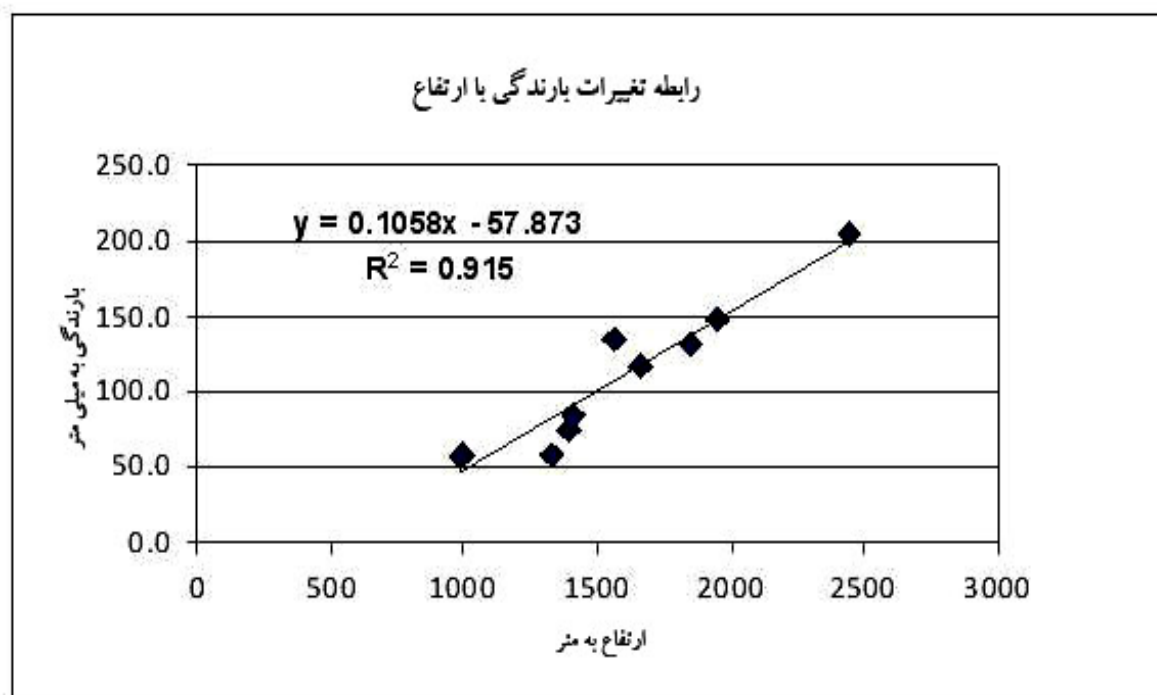
$$L = 1 - 2 \alpha NDVI * W DVI$$

$R_{RED}$  بازتاب در ناحیه قرمز،  $R_{NIR}$  بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک،  $NDVI$  و  $WDVI$  دو شاخص رایج پوشش گیاهی و  $L$ : ضریب کاهش دهنده اثر خاک می باشد که بسته به نوع پوشش بین ۰ تا ۱ تغییر می کند.

پس از محاسبه ی شاخص فوق، با استفاده از رابطه ی زیر، درصد پوشش گیاهی در محدوده ی مورد مطالعه محاسبه شد.

$$F_V = 1 - \left( \frac{MSAVI1 - MSAVI1_{Max}}{MSAVI1_{Min} - MSAVI1_{Max}} \right)^{0.6715}$$

تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای



شکل (۲). رابطه ارتفاع - بارندگی ایستگاههای موجود در محدوده مورد مطالعه

در این روش با تشکیل ماتریس مقایسه ی زوجی، وزن عوامل مختلف نسبت به یکدیگر با نظر کارشناسان تعیین می گردد.

با تشکیل ماتریس مقایسه ی زوجی، ضرایب برداری هر یک از عوامل محاسبه و اوزان مربوط به عوامل موثر تعیین گردیدند. در نهایت شاخص سازگاری به منظور تایید درستی اوزان محاسبه شده، محاسبه گردید.

#### • ترکیب لایه ها، تهیه نقشه نهایی و ارزیابی نتایج

به منظور ترکیب لایه های مختلف، از روش شاخص وزنی<sup>۲</sup> و اپراتورهای مختلف منطق فازی (OR، AND، ضرب و جمع) استفاده گردید و نقشه ی خطر پذیری به ازای هر روش تهیه گردید.

پس از تهیه ی نقشه ی نهایی خطر پذیر خشکسالی، به منظور ارزیابی نتایج حاصله از شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده (MPDI) استفاده گردید. این شاخص از رابطه زیر محاسبه می شود:

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

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

که  $\alpha$ : شیب خط خاک،  $R_{NIR}$ : بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک،  $R_{RED}$ : بازتاب در باند قرمز،  $F_V$ : درصد پوشش گیاهی،  $R_{V,NIR}$  و  $R_{V,RED}$  بازتاب پوشش گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز می باشند که به ترتیب ضرایب ثابت ۰/۵ و ۰/۰۵ در نظر گرفته می شوند (غلام و همکاران، ۲۰۰۷).

پس از ارزیابی نقشه های حاصل از دور روش شاخص وزنی و اپراتورهای مختلف فازی، روشی که بیشتری همبستگی را با شاخص MPDI داشت انتخاب گردید و

نواحی با شیب بیشتر، ارزش وزنی بیشتر اختصاص یافت. جهت: در نقشه تحلیلی خشکسالی براساس پارامتر جهت، بیشترین وزن به ترتیب به شیبهای جنوبی، غربی، شرقی و شمالی اختصاص یافت.

**تراکم آبراهه ها:** هر چه تراکم آبراهه بیشتر باشد آب زودتر از دسترس خارج می شود، لذا به مناطقی که تراکم شبکه ی آبراهه ها در آنجا بیشتر بود، ارزش وزنی بیشتری اختصاص یافته است.

**بارندگی:** افزایش بارندگی باعث کاهش شدت خشکسالی می شود، بنابراین مناطق با بارندگی بیشتر، دارای ارزش وزنی کمتری خواهند بود.

**دما:** افزایش دما باعث افزایش حساسیت به خشکسالی می شود، بر این اساس حداکثر ارزش وزنی به نواحی با حداکثر دما و کمترین ارزش وزنی به نواحی با حداقل دما اختصاص یافت.

**تبخیر:** اختلاف میزان تبخیر و بارندگی می تواند عاملی در بررسی خشکسالی مورد توجه قرار بگیرد. هر چه این اختلاف بیشتر باشد حساسیت به خشکسالی نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین مناطق با اختلاف بیشتر، وزن بیشتری به خود اختصاص دادند.

**پوشش گیاهی:** در تحقیق حاضر به منظور تعیین درصد پوشش گیاهی، از شاخص های پوشش گیاهی مبتنی بر تصاویر ماهواره ای استفاده شد و به مناطق با پوشش متراکم تر، ارزش وزنی بیشتری اختصاص یافت.

**کاربری اراضی:** بیشترین وزن به مناطق با کشت آبی و کمترین وزن به مراتع داده شد.

#### • تعیین وزن پارامترهای موثر بر خشکسالی

در تحقیق حاضر، به منظور تعیین وزن عوامل موثر بر خشکسالی، از روش سلسله مراتبی (AHP)<sup>۱</sup> استفاده شد.

<sup>۱</sup>. Analytic Hierarchy Process

2. Index Overlay



این دو پارامتر اگرچه می توانند بر روی خشکسالی تاثیر داشته باشند ولی نسبت به پارامترهایی مانند باران و کاربری اراضی تاثیر بسیار کمتری دارند.

در نهایت نرخ سازگاری وزن های محاسبه شده برابر ۰.۰۸۲ محاسبه شد و از آنجا که این مقدار کمتر از آستانه ی قابل قبول (۰.۱) می باشد بنابراین صحت وزن های حاصله تایید می گردد.

نتایج حاصل از همبستگی روشهای مختلف ترکیب با شاخص MPDI در جدول شماره (۴) آمده است. نتایج حاصله نشان داد که از بین روش شاخص وزنی و اپراتورهای مختلف منطق فازی، روش شاخص وزنی دارای بیشترین همبستگی ( $R^2=0.81$ ) با شاخص خشکسالی محاسبه شده دارد. با توجه به این جدول، اپراتورهای ضرب فازی و اپراتور حداقل، دارای کمترین همبستگی با

براساس آن نقشه ی نهایی خطرپذیری خشکسالی تهیه گردید.

## نتایج و بحث

جدول شماره (۲) ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شده و جدول شماره (۳) وزن های اختصاص یافته به هر پارامتر را نشان می دهد.

همان گونه که در جدول شماره ی (۳) مشاهده می شود، بیشترین وزن به پارامتر کاربری اراضی اختصاص داده شده است چرا که انسان با دخالت در اکوسیستم های طبیعی بیشترین تاثیر را بر روی خشکسالی می گذارد. در واقع اراضی باغی و زراعی در مواقع خشکسالی نسبت به اراضی مرتعی حساسیت بیشتری دارند. کمترین وزن به تراکم زهکشی و جهت داده شده است.

جدول (۲). ماتریس مقایسه ی زوجی پارامترهای موثر بر خشکسالی

	تبخیر	ارتفاع	تراکم زهکشی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	شیب	جهت	باران	دما
تبخیر	۱	۱	۳	۰/۳۳	۰/۲	۱	۳	۰/۲	۱
ارتفاع	۱	۱	۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۳	۰/۳۳	۳
تراکم زهکشی	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۱۴	۰/۱۱	۰/۳۳	۱	۰/۱۱	۰/۳۳
پوشش گیاهی	۳	۳	۷	۱	۰/۱۴	۳	۵	۰/۳۳	۵
کاربری اراضی	۵	۳	۹	۷	۱	۳	۷	۱	۷
شیب	۱	۳	۳	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۳	۰/۲	۱
جهت	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۰/۲	۰/۱۴	۰/۳۳	۱	۰/۱۴	۰/۳۳
باران	۵	۳	۹	۳	۱	۵	۷	۱	۷
دما	۱	۰/۳۳	۳	۰/۲	۰/۱۴	۱	۳	۰/۱۴	۱

جدول (۳). وزن های تعیین شده به روش سلسله مراتبی برای پارامترهای موثر بر خشکسالی

تبخیر	ارتفاع	تراکم زهکشی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	شیب	جهت	باران	دما	وزن
۰/۰۵۶۱	۰/۰۶۸۳	۰/۰۲۱۸	۰/۱۴۱۸	۰/۳۰۵۱	۰/۰۷۴۴	۰/۰۲۴۵	۰/۲۶۱۹	۰/۰۴۶۱	

جدول شماره ۴- ضریب همبستگی بین روش های مختلف تلفیق و شاخص MPDI

ردیف	روش تلفیق	ضریب همبستگی با شاخص PDI
۱	شاخص وزنی	۰.۸۱
۲	Fuzzy And	۰.۱۷
۳	Fuzzy Or	۰.۴۲
۴	Fuzzy Sum (جمع)	۰.۳۲
۵	Fuzzy Product (ضرب)	۰.۲۱

اپراتورها حداکثرها را در نظر می گیرند. به عبارت دیگر این اپراتورها دارای بالاترین ریسک می باشد و تنها براساس حداکثر حساسیت مربوط به یک پارامتر خاص عمل می نمایند. لذا شاخص وزنی به عنوان مناسبترین شاخص جهت تلفیق لایه های اطلاعاتی شناخته شد که نقشه ی نهایی حاصل از آن در شکل شماره (۳) آمده است.

با توجه به شکل شماره (۳)، اراضی باغی-زراعی که در مناطق مرکزی و جنوبی حوضه واقع شده اند (منطقه شماره ۱) دارای بیشترین خطر در برابر وقوع خشکسالی می باشند. در واقع این مناطق از نظر پارامترهای دما، بارندگی، تبخیر، کاربری اراضی و ارتفاع حساسیت نسبتا بالایی به پدیده ی خشکسالی دارند و به همین دلیل پس از ترکیب عوامل فوق، این مناطق به عنوان مناطق با ریسک

شاخص MPDI می باشند چرا که این اپراتورها دارای بیشترین حساسیت و کمترین ریسک می باشند و حداقلها را در نظر می گیرند ولی در دنیای واقعی، پدیده ی خشکسالی پدیده ای بسیار حساس به یک پارامتر خاص نمی باشد.

به عنوان مثال اگر در منطقه ای بارندگی از حداقل آستانه ی وقوع خشکسالی کمتر باشد ولی سایر پارامترها در حد مناسبی باشند، خشکسالی اتفاق نمی افتد. اپراتورهای حداقل و ضرب، براساس پایین ترین مقدار پارامترهای وارد شده در مدل عمل می نمایند و این باعث شده است تا نتوانند به خوبی جهت تعیین مناطق در معرض خشکسالی عمل نمایند. اپراتورهای جمع و حداکثر نیز نسبت به روش شاخص وزنی از همبستگی خوبی با شاخص عمودی خشکسالی برخوردار نیستند زیرا این

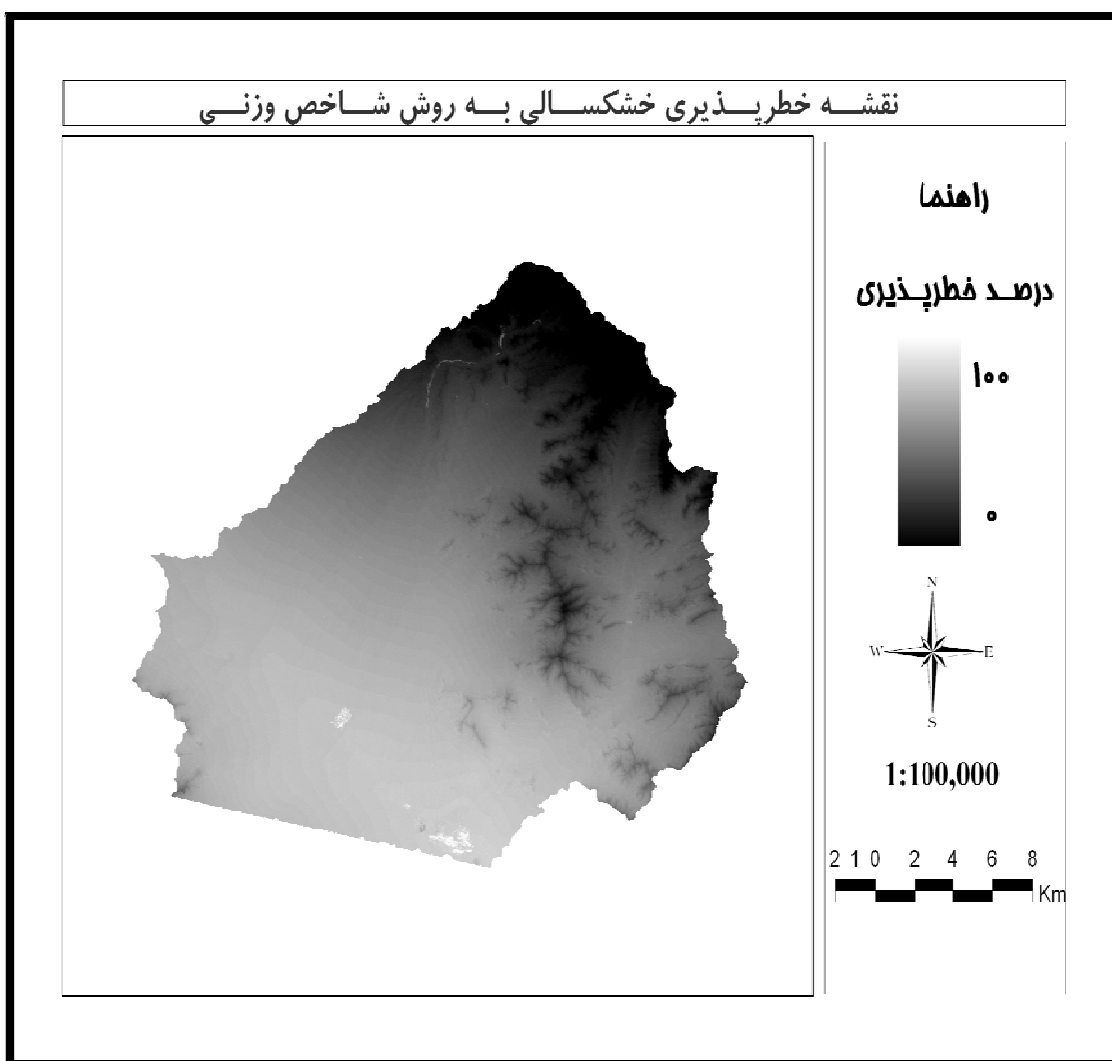
کمتری نسبت به نواحی با پوشش گیاهی بیشتر دارد.  
**کاربری مرتعی:** که نسبت به کاربری باغی - زراعی حساسیت کمتری به خشکسالی دارد.

مناطق شمالی حوضه که در برگیرنده ی ارتفاعات می باشد و با رنگ تیره (منطقه شماره ۲) نمایش داده شده اند، دارای کمترین حساسیت به پدیده ی خشکسالی می باشند زیرا در این مناطق ارتفاع و بارندگی نسبتا زیاد و دما و تبخیر نسبتا کم می باشد. ولی پارامترهایی نظیر شیب و پوشش گیاهی باعث شده اند تا این بخش از حوضه نیز تا حدی حساسیت به پدیده خشکسالی داشته باشد و در

بالا معرفی شده اند. سایر مناطق مرکزی و جنوبی حوضه، دارای خطر پذیری بین ۴۰ تا ۶۰ درصد نسبت به سایر مناطق حوضه می باشند.

در این مناطق از حوضه، بارندگی حداقل، دما حداکثر، تبخیر حداکثر، ارتفاع حداقل و تراکم زهکشی حداکثر می باشد که باعث شده است تا این منطقه نسبت به مناطق شمالی و شرقی حوضه حساسیت بیشتری به خشکسالی نشان دهد. پارامترهایی تعدیل کننده ی این منطقه نسبت به نواحی با حساسیت بیش از ۶۰ درصد، عبارتند از:

**درصد پوشش گیاهی:** که نسبتا کم است و حساسیت



شکل (۳). نقشه ی هایی خطر پذیری حوضه ی شیطان به روش شاخص وزنی

وضعیت ایده آل و بدون ریسک قرار نگیرد.

به دو روش کریتیک و AHP پرداخت و در نهایت به این نتیجه رسید که روش AHP دقت بیشتری در تعیین وزن ها دارد.

### نتیجه گیری

در عمده تحقیقات صورت گرفته در زمینه خشکسالی در ایران از شاخص های خشکسالی مبتنی بر تصاویر ماهواره ای به منظور تهیه نقشه شدت خشکسالی استفاده شده است.

چنان در سال ۱۳۸۰ در مطالعه ای در استان های شمال غرب کشور به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر ماهواره ای NOAA و شاخص NDVI در طول سال های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۰ پرداخت و نتایج حاصله بیانگر وقوع خشکسالی در سال های مورد مطالعه می باشد.

صفری در سال ۱۳۸۲ نیز به بررسی خشکسالی با استفاده از تصاویر AVHRR در منطقه زابل پرداخت که نتایج حاصله بیانگر کاهش سطح آب هامون، دبی رودخانه هیرمند و کاهش شاخص های گیاهی در طی شرایط خشکسالی می باشد. حاصل نتایج تحقیقات فوق یک نقشه خشکسالی مربوط به یک زمان خاص می باشد که می تواند در زمینه مدیریت بحران خشکسالی کمک شایانی به مدیران و برنامه ریزان نماید.

همچنین در مطالعات مذکور، تنها از تصاویر ماهواره ای به منظور بررسی خشکسالی استفاده شده و تاثیر عوامل اقلیمی و محیطی در تهیه نقشه خروجی لحاظ نشده است. شایگان در سال ۱۳۸۱، در مطالعه ای به بررسی عوامل موثر بر خشکسالی و نحوه وزن دهی به این عوامل به منظور تجزیه و تحلیل ریسک پذیری خشکسالی پرداخت.

ایشان در تحقیق خود پس از تعیین عوامل موثر بر خشکسالی، به مقایسه وزنهای اختصاص یافته به هر پارامتر

با توجه به بررسی های نگارنده، تاکنون مطالعه ای در زمینه بررسی دقت روش های مختلف تلفیق پارامترهای موثر بر خشکسالی صورت نگرفته است.

لذا در این تحقیق سعی گردید تا دقت روش های مختلف دانش مینا در محیط GIS به منظور ترکیب عوامل موثر بر خشکسالی بررسی گردد.

نتایج تحقیق حاضر در مقایسه با نتایج حاصل از شاخص های مبتنی بر تصاویر ماهواره ای، نشان می دهد که نقشه حاصل از این تحقیق تنها بیانگر شدت خشکسالی در یک زمان خاص نمی باشد بلکه از آنجا که عوامل متعدد محیطی و اقلیمی در تهیه این نقشه دخیل داده شده است، لذا نواحی ای که در معرض خطر بیشتر خشکسالی قرار دارند در زمان وقوع خشکسالی آسیب بیشتری می بینند و لازم است با توجه به نقشه حاصله برنامه ریزی های مناسبی به منظور کاهش اثرات خشکسالی بخصوص در مناطق با ریسک بالا صورت پذیرد.

به عبارت دیگر، نقشه حاصله می تواند به مدیریت ریسک خشکسالی کمک نماید و آمادگی مقابله با آن قبل از وقوع و گسترش آن را فراهم نماید، بطوریکه با آگاهی از شرایط فعلی منطقه، تصمیمات لازم و از قبل طراحی شده برای مقابله با آن اعمال گردد.

### منابع فارسی

۱. ابراهیمی خوسفی، م.، ۱۳۸۹، محاسبه درصد پوشش گیاهی با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی و

- Environmen*, No. 9, pp. 161-173.
7. Chen, W., Q. Xiao and Y. Sheng, 1994, Application of the anomaly vegetation index to monitoring heavy drought in 1992. *Remote Sensing of Environment*, No. 9, pp. 106-112.
  8. Ghulam, A., Q. Qiming, T. Tashpolat and L. Zhao-Liang, 2007, Modified perpendicular drought index (MPDI): a real-time drought monitoring method. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, No. 62, pp. 150-164.
  9. Ghulam, A., Q. Qin and Z. Zhan, 2006, Designing of the perpendicular drought index. *Environmental Geology*, No. 10, pp. 171-186.
  10. Goddard, S., S. Harms, S. Reichenbach, T. Tadesse and W.J. Waltman, 2003, Geospatial decision support for drought risk management. *Communication of the ACM* 46, No. 1, pp. 35-37.
  11. Hunt, E.R., B.N. Rock and P.S. Nobel, 1987, Measurement of leaf relative water content by infrared reflectance. *Remote Sensing of Environment*, No. 22, pp. 429-435.
  12. Kogan., F.N , 1995, Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, No. 76, pp. 655-668.
  13. Liang, S , 2003, A direct algorithm for شاخص های گیاهی به منظور بهبود شاخص عمودی خشکسالی اصلاح شده (مطالعه موردی: شیطان، یزد). پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
  ۲. با عقیده، م.، ۱۳۸۶، بررسی و پایش خشکسالی های استان اصفهان با استفاده از تصاویر چند زمانه ای NOAA/AVHRR و شاخص NDVI و سیستم اطلاعات جغرافیایی. پایان نامه دوره دکتری، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
  ۳. چنار، ع.، ۱۳۸۰، ارزیابی و نظارت بر خشکسالی در استانهای آذربایجان شرقی، غربی و اردبیل با استفاده از تصاویر AVHRR. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
  ۴. شایگان، م.، ۱۳۸۱، تجزیه و تحلیل ریسک پذیری خشکسالی با استفاده از تکنیک های سنجش از دور و GIS در حوضه قوچان- شیروان. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، گروه جغرافیا دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
  ۵. صفری، ه.، ۱۳۸۲، ارزیابی خشکسالی با استفاده از تصاویر ANHRR در منطقه زابل. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

#### منابع لاتین

6. Carlson, T.N., R. Gillies, and E.M. Perry, 1994, A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurement to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote Sensing*

14. Zhao, W., M. Tamura and H. Takahashi, 2000, Atmospheric and spectral corrections for estimating surface albedo from satellite data using 6S code. *Remote Sensing of Environment*, No. 76, pp. 202-212
- estimating land surface broadband albedos from MODIS imagery. *IEEE Trans Geosci Remote Sensing of Environment*, No. 41, pp. 136-145.