

## ارزیابی شاخص خشکسالی رطوبت محصول (CMI) بر عملگر دگندم دیوم

### مطالعه موردی (حوضه آبریز سیمینه رود دریاچه ارومیه)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۴

عادل نبی زاده بلخکانلو<sup>۱</sup> - دکتری رشته اقلیم کشاورزی دانشگاه خوارزمی تهران

زهرا حجازی زاده - استاد آب و هواشناسی دانشگاه خوارزمی تهران

علی خدمت زاده - کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه تبریز

### چکیده:

خشکسالی یک نوع مخاطره طبیعی است که اثرات سوء اقتصادی آن در کشاورزی دیوم، سریع تر از سایر بخش های کشاورزی است. این مطالعه با هدف بررسی وضعیت خشکسالی در حوضه آبریز سیمینه رود در چهار ایستگاه سینوپتیک بوکان، مهاباد، میاندوآب و سقز انجام شده و از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفته است. در این تحقیق میزان تنش خشکی بر عملکرد محصول گندم دیوم با استفاده از شاخص رطوبت محصول پالمر بصورت هفتگی به دست آمد. نتایج این شاخص نشان داد که در بازه زمانی پر شدن دانه تقریباً بین ۲۰ اردیبهشت تا ۱۵ خرداد مقدار شاخص رطوبت محصول منفی می باشد که نشان از تأثیر خشکسالی بر عملکرد محصول گندم دیوم داشته است. ایستگاه سقز در شرایط رطوبتی مطلوب ولی ایستگاه های بوکان، مهاباد و میاندوآب در وضعیت تنش بوده و مقدار رطوبت در ۲۰۱۰ در همه ایستگاه ها منفی بوده و منطقه در معرض خشکسالی شدید قرار داشته است.

واژگان کلیدی: خشکسالی کشاورزی، شاخص CMI، گندم، SC-PDSI، حوضه سیمینه رود

<sup>1</sup> E-mail - ade150khu@gmail.com

## مقدمه

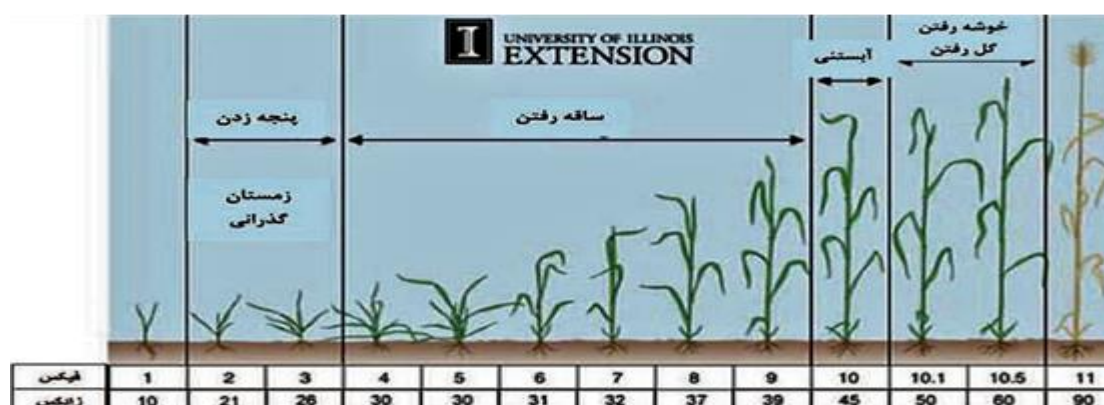
شناخت روابط بین مقدار عملکرد محصول و پارامترهای اقلیمی به منظور پیشبینی تولید ضروری می‌باشد. عملکرد محصولات کشاورزی به ویژه در شرایط دیم به شدت تحت تاثیر عوامل آب و هوایی و نوسانات آنها می‌باشد. خشکسالی یک رویداد آب و هوایی دشوار و یک بلای «خزنده» است چرا که خشکسالی به آرامی توسعه می‌یابد. برای تحلیل خشکسالی وجود یک شاخص برای تعیین دقیق و مطمئن دوره های تر و خشک بسیار ضروری است. یکی از شاخص هایی که در زمینه پالایش خشکسالی بسیار پیچیده و دقیق است، شاخص خشکسالی پالم (PDSI) و نمونه تکامل یافته آن شاخص رطوبت محصول (CMI) است. این شاخص ها زبان گویای اطلاعات اقلیمی می باشند و چگونگی تغییرات آنها را در گذشته و آینده بیان می دارند. شاخص های خشکسالی به وسیله نسل های مختلفی از پژوهشگران رشته های اقلیم شناسی، هواشناسی، هیدرولوژی، مدیریت منابع آب و کشاورزی در طی سالهای مختلف قرن بیستم تولید و ارائه گردیده است. بیش از ۱۵۰ شاخص خشکسالی تاکنون معرفی و مورد استفاده قرار گرفته است.

شاخص های خشکسالی که در ایالات متحده استفاده می شوند معمولاً شامل شاخص شدت خشکسالی پالم (PDSI)، شاخص رطوبت محصول (CMI) و شاخص بارش استاندارد (SPI) می باشد. هر یک از این شاخص ها نقاط قوت و ضعف شناخته شده ای دارند. شاخص PDSI، بعنوان یک شاخص خشکسالی هواشناسی، اولین شاخص خشکسالی جامع در ایالات متحده بود. شاخص PDSI یک خروجی مناسب از عرضه نرمال رطوبت فراهم می کند (Jakson et al . 1997). شاخص رطوبت محصول (CMI) شاخص بررسی رطوبت در لایه سطحی خاک در مقیاس زمانی هفتگی است. SPI تنها یک محاسبه ساده بارش با انعطاف پذیری زمانی است که به لحاظ نظری تناسب بسیار بهتر برای پاسخ سریعتر شرایط پوشش گیاهی براساس تصاویر ماهواره ای است. این شاخص یک اندازه گیری آماری در مورد افزایش یا کمبود بارش در یک دوره خاص به عنوان تابعی از میانگین بلند مدت بارش است (Gillies and Carlson . 1995). شاخص های خشکسالی هواشناسی، به اطلاعات جمع آوری شده در ایستگاه های هواشناسی وابسته می باشند. در بعضی از مناطق ایستگاهها بسیار پراکنده هستند و این بر قابلیت اطمینان از شاخص خشکسالی تأثیر می گذارد. اخیراً، روشن شده است که هیچ یک از شاخصهای پایش خشکسالی در مقیاس منطقه ای کافی نیستند. به جای آن، ترکیبی از ابزارهای پایش یکپارچه برای تولید نقشه های خشکسالی منطقه ای یا ملی ارجحیت دارد (Sharma . 2006).

بررسی پیشینه مطالعات انجام شده در زمینه خشکسالی کشاورزی در کشور نشان می‌دهد که برای پایش خشکسالی کشاورزی عمدتاً از شاخص های مبتنی بر بارندگی در دوره رشد و غیر رشد، نسبت بارندگی به تبخیر- تعرق در سال زراعی (PDSI) و در برخی موارد شاخص شدت خشکسالی پالم (RDI) استفاده شده و این مطالعات، کمتر در ارتباط با رشد و نمو و یا عملکرد محصول خاص بوده است (حجازی زاده و همکاران، ۲۰۱۰)، (بذرافشان و همکاران، ۲۰۱۲)، (خلیلی و همکاران، ۲۰۰۰)، (رمضانی اعتدالی و همکاران، ۲۰۱۲)، (شعفی و همکاران، ۲۰۱۱)، (شکوهی، ۲۰۱۲)، (زندلی لک و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به اینکه حوضه آبریز سیمینه رود از زیرحوضه های حوضه آبریز دریاچه ارومیه از سالهای گذشته از نظر تأمین بخشی از مایحتاج گندم کشور نقش اساسی داشته است در این پژوهش سعی شده براساس داده های ایستگاههای هواشناسی و شاخص رطوبت محصول تأثیر خشکسالی بر عملکرد محصول گندم دیم این منطقه از استان آذربایجان غربی مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته شود.

## مبانی نظری

تشخیص درست مراحل رشد گندم در هر منطقه برای انجام اقدام های مهم مدیریتی در هر مرحله لازم و ضروری است. یکی از مقیاس های عمده که برای تشخیص مراحل توسعه و رشد غلات مورد استفاده قرار می گیرند، مقیاس های فیکس و زادکس می باشد (Rajaram and Van Ginkle . 2001).



شکل ۱: مراحل رشد گندم بر اساس مقیاس های فیکس و زادکس

دوره زمانی رشد گندم براساس اطلاعات میدانی و تحقیقات کتابخانه ای در منطقه مورد مطالعه حدود ۳۶ هفته (هفته دوم مهر تا هفته اول تیرماه) است. دوره رشد محصول بشرح جدول ذیل آمده است.

جدول ۱: مراحل رشد گندم در بازه زمانی ۱۰ مهر تا ۱۰ تیرماه در حوضه آبریز سیمینه رود

مرحله	بازه زمانی
to grow سبز شدن	هفته دوم (۱۷ تا ۲۵ مهر)
Leaf پنجه دهی	هفته پنجم تا هفتم (۱۵ تا ۳۰ آبان)
Product Sleep Period دوره خواب محصول	هفته هشتم تا بیست و پنجم (۱ آذر تا ۱۵ فروردین)
Stem growth رشد ساقه	هفته ۲۶
Heading سنبله دهی	هفته ۲۷ تا ۲۸
Formation of seeds تشکیل دانه	هفته ۲۹ تا ۳۰
Milky Filling پر شدن دانه شیری	هفته ۳۱ تا ۳۳
Soft dough خمیری نرم	هفته ۳۴
Harsh paste خمیری سفت	هفته ۳۵
Puberty (رسیدگی فیزیولوژیکی) بلوغ	هفته ۳۶
Removal برداشت	هفته ۳۷

اثر تنش رطوبت بر روی گندم بسته به اینکه در کدام مرحله رشد گیاه رخ دهد متفاوت بوده و اثرات آن بر روی عملکرد و سایر صفات فیزیولوژیکی توسط محققین متعددی مورد آزمون قرار گرفته است (Ebraimzadeh et al. 2013). اثر تنش در طول دوره رویشی منجر به کوچک شدن برگها گردیده، شاخص سطح برگ را در دوره رسیدن محصول و میزان جذب نور توسط گیاه نیز کاهش می دهد. سنتز کلروفیل در تنش های شدیدتر آب متوقف می شود (Khalili. 2010). در مرحله پنجه زنی گیاه، بدلیل دربرگرفتن حجم زیاد خاک در مقایسه با سطح سبز برگ، تنش، با سرعت کمی رخ داده ولی سبب کاهش فتوسنتز، پتانسیل آب برگ افزایش مقاومت روزنه ها، کاهش تعداد پنجه ها و در نهایت کاهش عملکرد می گردد. در گندم ساقه حامل گل آذین تا زمانی که میان گره ها و گل آذین افتراق نیافته است طویل نمی شود. کمبود آب در مرحله طویل شدن یا به ساقه رفتن اثر بازدارندگی شدیدی بر روی رشد طولی این گیاه و عملکرد آن دارد (Ashraf. 1987).

مرحله زایشی رشد گیاه حساسیت خاصی نسبت به تنش آب دارد و گندم نیز از این قاعده مستثنی نمی باشد. وسعت کاهش عملکرد ناشی از تنش خشکی از مرحله زایشی به طرف رسیدگی افزایش می یابد. اگرچه کمبود رطوبت در تمام مراحل رشد زیاد آور است ولی کمبود در مرحله زایشی اجزاء عملکرد گیاه را بیشتر از سایر مراحل تحت تاثیر شدید خود قرار می دهد. اثر تنش در طول

نمو تولید مثلی نیز بسیار زیان آور است زیرا رشد دانه‌ها را کاهش و از نتایج آن می‌توان تقلیل مقدار آب موجود به هنگام تشکیل دانه‌ها در غلات ذکر کرد (Smal & Alizadeh, 1986).

ایران یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین است که همواره با مشکل کم آبی، خشکسالی های متناوب مواجه می باشد. رشد فزاینده جمعیت، تخریبهای ناشی از آن و نیاز روزافزون به محصولات کشاورزی، دامی و محدودیت آب و خاک بعنوان بستر اصلی تولیدات کشاورزی، مسئله کم آبی را به گونه ای جدی در تمامی حوضه ها، فرا روی کشورمان قرار داده است. در این پژوهش با نظر گرفتن کلیه تحقیقات صورت گرفته، با توجه به نقش ۱۱ درصدی حوضه آبریز سیمینه رود در تامین آب دریاچه ارومیه و نقش این حوضه در تامین بخشی از گندم دیم استان آذربایجان غربی، وضعیت رطوبت لایه بالایی خاک و تنش خشکی بر اساس شاخص رطوبت محصول پالمر (CMI) بر اساس داده های ایستگاه های سینوپتیک منطقه، مورد مطالعه قرار گرفته است.

## پیشینه پژوهش

(بنیان و همکاران، ۲۰۱۰) ارتباط بین شاخص خشکی و عملکرد محصولات گندم و جو در شرایط دیم را برای ۱۱ ایستگاه واقع در استانهای خراسان شمالی، رضوی و جنوبی در مقیاسهای زمانی مختلف بررسی و اثر شاخصهای اقلیمی نوسانات شمالی (AO)، نوسانات اطلس شمالی (NAO) و NINO3.4 بر این ارتباط را نیز بررسی نمودند. بر اساس نتایج آنها ارتباط معنی داری بین شاخص خشکی و عملکرد گندم و جو در مناطق مورد بررسی مشاهده شد به طوری که این ارتباط برای جو شدیدتر بوده است. همچنین نتایج آنها نشان داد که ارتباط معنی داری بین شاخصهای اقلیمی NAO و NINO3.4 با شاخص خشکی وجود دارد.

جایانتي و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۳: با بررسی ارتباط بین مقدار تولید سه وارسته‌ی ذرت و شاخص SPI در مناطق جنوب مالاوی نشان دادند که خشکسالی بر اساس شاخص SPI در ماههای فوریه و اوایل ماه مارس بیشترین آسیب را به عملکرد ذرت در این مناطق وارد می‌کند. (مایر و همکاران، ۱۹۹۰) با نگاهی به واکنش عملکرد سورگوم، سویا و ذرت نتیجه گرفت که هر گیاه تحت شرایط یکسان هواشناسی نتیجه متفاوتی ارائه می‌دهد.

مایر و همکاران<sup>۲</sup>، ۱۹۹۱: از روش تجزیه به مؤلفه‌های اصلی برای بررسی ارتباط بین متغیرهای هواشناسی، شاخصهای (PCA<sup>۴</sup>)، خشکسالی پالمر (PDSI) و شاخص رطوبت محصول (CMI) با عملکرد ذرت در دشتهای نیمه غربی آمریکا استفاده نمودند. نتایج آنها نشان داد که روش PCA ابزار آماری قدرتمند برای ارزیابی ارتباط بین متغیرهای اقلیمی با عملکرد محصول می‌باشد.

محمدی مقدم و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۳: در بررسی رابطه عوامل آب و هوایی (بارندگی، دما، تبخیر و تعرق) و شاخصهای خشکسالی (RDI, SPI) با تولید مرتع در مناطق اراک، رودشور و قم نشان دادند که مدل‌های ساخته شده در این مناطق دارای ضرایب همبستگی بیش از ۹۰ درصد می‌باشند.

سبزیپور و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۲: در تحقیقی بهترین شاخصها و متغیرهای آگروکلیمایی موثر در تولید گندم دیم و آبی را برای ۷ شهر در استان همدان تعیین نمودند. بر اساس نتایج آنها شاخصهای کمبود بارش مرجع و گیاهی همبستگی قویتری با عملکرد گندم در مقایسه با سایر شاخصها دارند در حالی که شاخصهای درجه-روز رشد همبستگیهای معنی داری را نشان ندادند.

شامپاین و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۹: سه مجموعه داده های رطوبت خاک را ارزیابی کردند: (SMOS<sup>۶</sup>)، (ESA-CCI<sup>۷</sup>) و (RDPS<sup>۲</sup>) (CMC<sup>۱</sup>). با استفاده از یک رویکرد آماری به ارزیابی حساسیت هر مجموعه داده برای عملکرد کلزا در

<sup>1</sup> Bannayan et al

<sup>2</sup> Jayanthi et al

<sup>3</sup> Meyer et al

<sup>4</sup> Principal components analysis

<sup>5</sup> Champagne et al

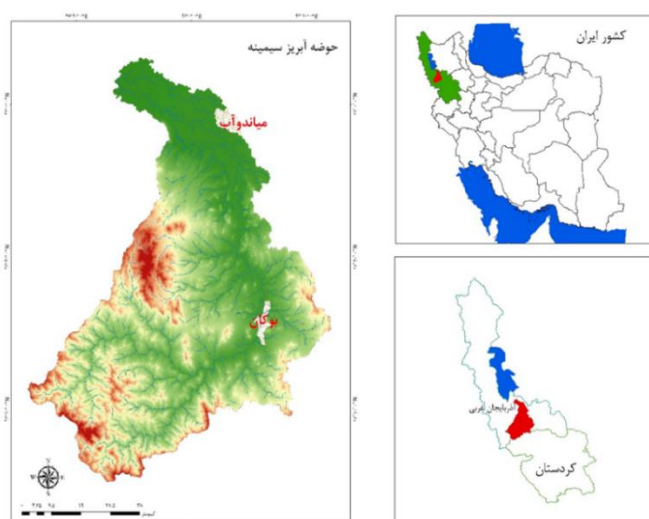
<sup>6</sup> Soil Moisture and Ocean Salinity

<sup>7</sup> European Space Agency Climate Change Initiative

ساسکاچوان، کانادا پرداختند. نتایج رطوبت خاک سطحی از هر سه مجموعه داده نشان داد که روند مشابهی در رابطه با عملکرد محصول وجود دارد و اثرات منفی روی عملکرد کلزا را نشان می‌دهد که رطوبت خاک در ماه‌های مه و ژوئن بیش از حد آستانه است.

## معرفی محدوده مورد مطالعه

حوضه سیمینه رود (شکل ۲) یکی از زیر حوضه‌های، حوضه آبریز دریاچه ارومیه است، این زیرحوضه در موقعیت جغرافیایی  $32^{\circ}45'$  تا  $24^{\circ}46'$  طول شرقی و  $10^{\circ}36'$  تا  $3^{\circ}37'$  عرض شمالی، با وسعتی معادل ۳۹۰۰ کیلومتر مربع، در جنوب دریاچه ارومیه قرار گرفته و رودخانه اصلی آن سیمینه رود است. این رود از دامنه‌های شمالی کوه‌های دوسر، خسرو، نیستان، ابراهیم جلال و مام‌سوار سرچشمه می‌گیرد و پس از دریافت شاخه‌های متعدد از غرب بوکان عبور می‌کند و در جنوب غربی میاندوآب در نواحی ساحلی دریاچه پخش می‌شود.



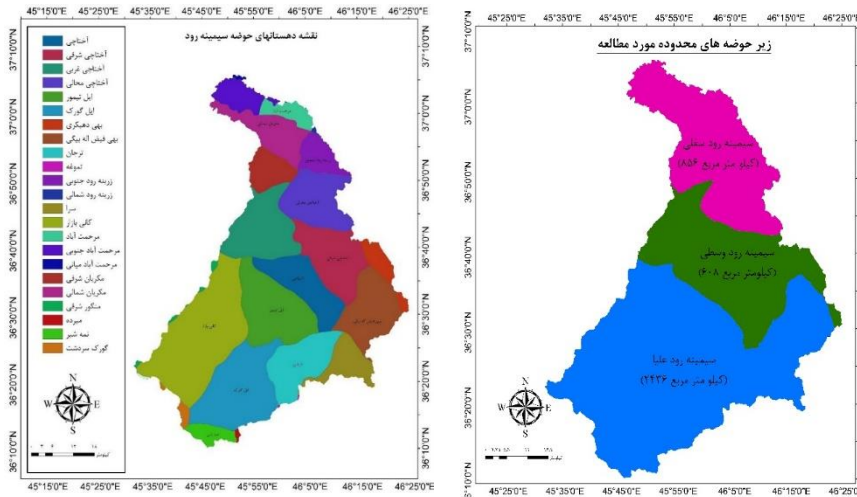
شکل ۲. حوضه آبریز سیمینه رود (ترسیم: نگارندگان)

این زیرحوضه جزء کوچکترین زیرحوضه‌های حوضه دریاچه ارومیه است و از سه واحد هیدرولوژیک (شکل ۳) سیمینه رود علیا، سیمینه رود وسطی و سیمینه رود سفلی تشکیل شده است. جدول ۴ نشان دهنده‌ی مشخصات زیر حوضه‌های، حوضه آبریز سیمینه رود است

<sup>1</sup> Canadian Meteorology Centre

<sup>2</sup> Regional Deterministic Prediction System

شکل ۳: بخش های اصلی و فرعی حوضه آبریز سیمینه رود (ترسیم: نگارندگان)



جدول ۴: مشخصات زیر حوضه های، حوضه آبریز سیمینه رود

حوضه	واحد مطالعاتی	مختصات جغرافیایی	دشت	مساحت
سیمینه رود	سیمینه رود علیا	۴۵°۳۳' تا ۴۶°۲۴' طول شرقی ۳۶°۱۰' تا ۳۶°۴۴' عرض شمالی	بوکان	۲۴۳۶
	سیمینه رود وسطی	۴۵°۲۵' تا ۴۶°۲۰' طول شرقی ۳۶°۳۳' تا ۳۶°۵۰' عرض شمالی	حاجی آباد	۶۰۸
	سیمینه رود سفلی	۴۵°۴۶' تا ۴۶°۱۸' طول شرقی ۳۶°۴۳' تا ۳۷°۰۳' عرض شمالی	میاندوآب غربی	۸۵۶

منبع (شرکت آب منطقه ای استان)

### مواد روش پژوهش

برای انجام این مطالعه از رویکرد هواشناسی استفاده شد و متغیرهای هواشناسی برای ۴ ایستگاه سینوپتیک (بوکان، مهاباد، میاندوآب و سقز) (جدول ۲) شامل بارش، حداکثر دما، حداقل دما، ساعات آفتابی، و تبخیر و تعرق برای دوره ای ۳۰ ساله از ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴ که کل حوضه آبریز سیمینه رود را تحت پوشش قرار داده اند جمع آوری شد.

- آمار تولید محصول گندم دیم در سطح منطقه مورد مطالعه برای دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ جمع آوری شد.

- نرم افزارهایی که در تحقیق مورد استفاده قرار می گیرند:

EXCEL ، SPSS ، ARC GIS ۱۰.۳ ، SC-PDSI

جدول ۲: مشخصات جغرافیایی ایستگاههای سینوپتیک منطقه مورد مطالعه

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
بوکان	N '۳۳°۳۷	E '۴°۴۵	۱۳۶۳ متر
مهاباد	N '۷°۳۸	E '۲۰°۴۶	۱۳۴۵ متر
میاندوآب	N '۷°۳۸	E '۲۰°۴۶	۱۳۴۵ متر
سقز	N '۱۴°۳۶	E '۱۶°۴۶	۱۵۰۰ متر

منبع (سازمان هواشناسی)

کار میدانی در بازه زمانی بین ۱۵ فروردین تا اول تیر ۱۳۹۷ انجام شد. داده‌های مورد نیاز از منابع و اداره‌های مختلف استانهای آذربایجان غربی و کردستان تهیه و جمع‌آوری گردید. که عمدتاً شامل: سازمان جهاد کشاورزی و هواشناسی استان، شرکت آب منطقه‌ای استان و اداره جهاد کشاورزی شهرستانهای بوکان، مهاباد، میاندوآب و سقز، مرکز تحقیقات کشاورزی ارومیه و دانشگاه ارومیه بود کار کتابخانه‌ای نیز برای جمع‌آوری پارمترهای رشد محصول گندم دیبم انجام شد.

### شاخص رطوبت محصول (CMI)

شاخص رطوبت محصول (CMI) که توسط پالمیر (۱۹۶۸) گسترش یافته است، مکمل PDSI است، بیانگر شرایط رطوبت مؤثر بر محصولات زراعی در یک دوره زمانی کوتاه است. در این روش از راهبردهای هواشناسی جهت پایش هفته به هفته شرایط محصولات زراعی استفاده می‌شود و به کمک آن تغییرات کوتاه مدت شرایط رطوبت در مناطق عمده کشت برآورد می‌گردد. این شاخص سریعاً به تغییر شرایط پاسخ می‌دهد بطوریکه با تغییر مکان و زمان دارای ضرایب وزنی است. این شاخص همچنین می‌تواند جهت زمانهای بارش در ابتدای فصل رشد یک محصول مورد استفاده قرار گیرد. این شاخص برای ارزیابی خشکسالی‌های بلند مدت در نظر گرفته نشده است. CMI به طور معمول با یک گام زمانی هفتگی، براساس میانگین دما، بارش کلی در هر هفته و مقدار CMI هفته قبل محاسبه می‌شود. در هر فصل رشد، CMI معمولاً نزدیک به صفر شروع و پایان می‌یابد. در اصل، ممکن است ترکیبی از PDSI و CMI ابزاری برای نظارت بر خشکسالی استفاده شود، که PDSI به عنوان یک ابزار نظارت بر خشکسالی درازمدت عمل می‌کند، در حالیکه CMI ممکن است پیشرفت کمبود آب فصلی را در طی مرحله رشد محصول نشان دهد. CMI وضعیت کوتاه مدت یا فعلی خشکسالی و رطوبت خالص کشاورزی را نشان می‌دهد و می‌تواند هفته به هفته به سرعت تغییر کند. محدوده شاخص رطوبت محصول به شرح زیر است:

جدول ۳: متغیرهای شاخص رطوبت محصول

طبقه بندی شاخص CMI		
۳ و بیشتر	ترسالی بسیار شدید	Very terrible
۲ تا ۹/۲	ترسالی	Timid
۱ تا ۹/۱	رطوبت غیرمعمول	Unusual humidity
۹/۰ تا -۹/۰	خشکسالی خفیف	Mild drought
-۱ تا -۹/۱	خشکسالی غیرمعمول	Unusual drought
-۲ تا -۹/۱	خشکسالی شدید	Severe drought
-۳ و کمتر	خشکسالی بسیار شدید	Drought is tense

منبع (مرکز پیش بینی اقلیمی، NOAA)

### محاسبات شاخص رطوبت محصول (CMI)

با وارد نمودن داده‌های هواشناسی (مجموع بارش و میانگین دمای هر هفته یا ماه از هر سال و میانگین دمای تمام هفته‌ها) و اجرای برنامه sc-pdsi.exe شاخص CMI به دست می‌آید که در آن مجموع بارش و میانگین دمای ۵۲ هفته هر سال، در

طول ۳۰ سال گذشته (۱۹۸۴-۲۰۱۴) به عنوان یک فایل ورودی برای هر ایستگاه بصورت مجزا داده شد. علاوه بر آن، پارامتر ثابت ظرفیت آب موجود (AWC) و عرض جغرافیایی هر ایستگاه نیز به عنوان یک ورودی به برنامه PDSI داده شد. محاسبات CMI پس از اتمام محاسبه پتانسیل ها و مقادیر واقعی برداشته می شوند. که اجازه می دهد تا سطح رطوبت محاسبه شود. اولین گام، محاسبه درصدی از ظرفیت زمین است. یعنی اندازه گیری میزان غنی بودن خاک است (Parida. 2006).

محاسبه CMI پس از به دست آمدن تمام مقادیر واقعی و بالقوه متغیرهای زیر انجام می شود:

AWC : ظرفیت موجود نگهداری، ET : محاسبه تبخیر و تعرق واقعی، Alpha : ضریب تبخیر و تعرق، CET : شرایط آب وهوایی برای ایجاد تبخیر و تعرق، R : محاسبه کلی تخلیه، RO : محاسبه کلی رواناب، Ss : مقدار رطوبتی سطح بالایی خاک، Su : مقدار رطوبتی لایه پایین خاک، M : درصد ظرفیت اشباع، DE : نسبت آنومالی تبخیر برای هر هفته، Yi : شاخص کسری موازنه تبخیر و تعرق در طول هفته i، H : شرایط برگشت به دوره نرمال رطوبتی

$$M = (Ss + Su) / AWC \quad \text{اولین گام محاسبه درصد ظرفیت اشباع است. (رابطه ۱)}$$

$$CET = Alpha * PE \quad \text{بعد آنومالی تبخیر و تعرق مربوطه محاسبه می شود. (رابطه ۲)}$$

$$DE = (ET - CET) / \sqrt{Alpha} \quad \text{می تواند محاسبه گردد. (رابطه ۳)}$$

$$Y^i = 0.67 * Y^{i-1} + 1.8 * DE$$

$$Y^i < 0, Y = Y^i \quad Y = M * Y^i \quad \text{حالا بر اساس } Y^i, \text{ محاسبه می شود. (رابطه ۴)}$$

$$H = 0, \text{ مقدار } H \text{ بوسیله مقداری از } Gi-1 \text{ تعیین می گردد}$$

$$H = Gi-1, \text{ else if } (Gi-1 < 1.0)$$

$$H = 0.5, \text{ else } H = 0.5 * Gi-1 \quad \text{حالا مقدار } Gi \text{ می تواند محاسبه گردد. (رابطه ۵)}$$

$$Gi = Gi-1 - H + (M * R) + RO \quad \text{بعد، انحراف تبخیر نسبی محاسبه می شود. (رابطه ۶)}$$

$$CMI = Y + G \quad \text{و در نهایت CMI محاسبه می شود. (رابطه ۷)}$$

## بحث و یافته ها

این مطالعه با هدف بررسی وضعیت خشکسالی در زیرحوضه آبریز سیمینه رود حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از داده های هواشناسی (بارش، حداکثر دما، حداقل دما، ساعات آفتابی، و تبخیر و تعرق برای دوره ای ۳۰ ساله از ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۴) چهار ایستگاه سینوپتیک بوکان، مهاباد، میاندوآب و سقز شرایط رطوبت محصول گندم دیم را در چهار سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار می دهد تا میزان تنش خشکی بر عملکرد محصول گندم دیم را از هفته ۲۲ تا هفته ۴۳ با توجه به دوره رشد و تکامل گندم دیم در منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص رطوبت محصول پالم (CMI) بصورت هفتگی به دست آورد. در مرحله آماده سازی داده های هواشناسی مجموع بارش هفتگی، میانگین دمای هفتگی، عرض جغرافیایی ایستگاهها به همراه ظرفیت موجود نگهداری آب (AWC) و میانگین دمای هفتگی تمام ایستگاهها در بازه زمانی مورد مطالعه بعنوان پارامترهای ورودی به نرم افزار داده می شود.

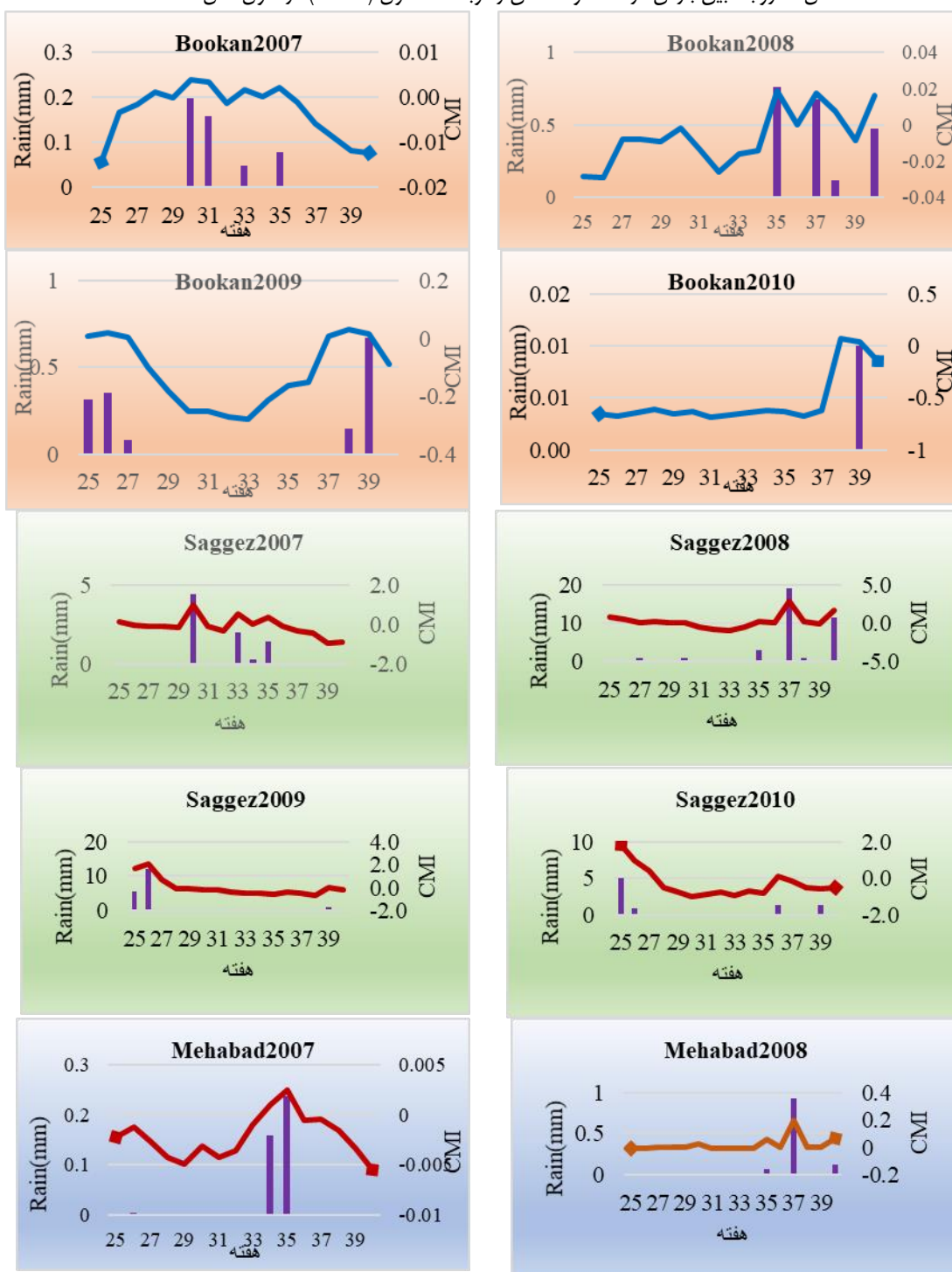
## بارش هفتگی و وضعیت رطوبت

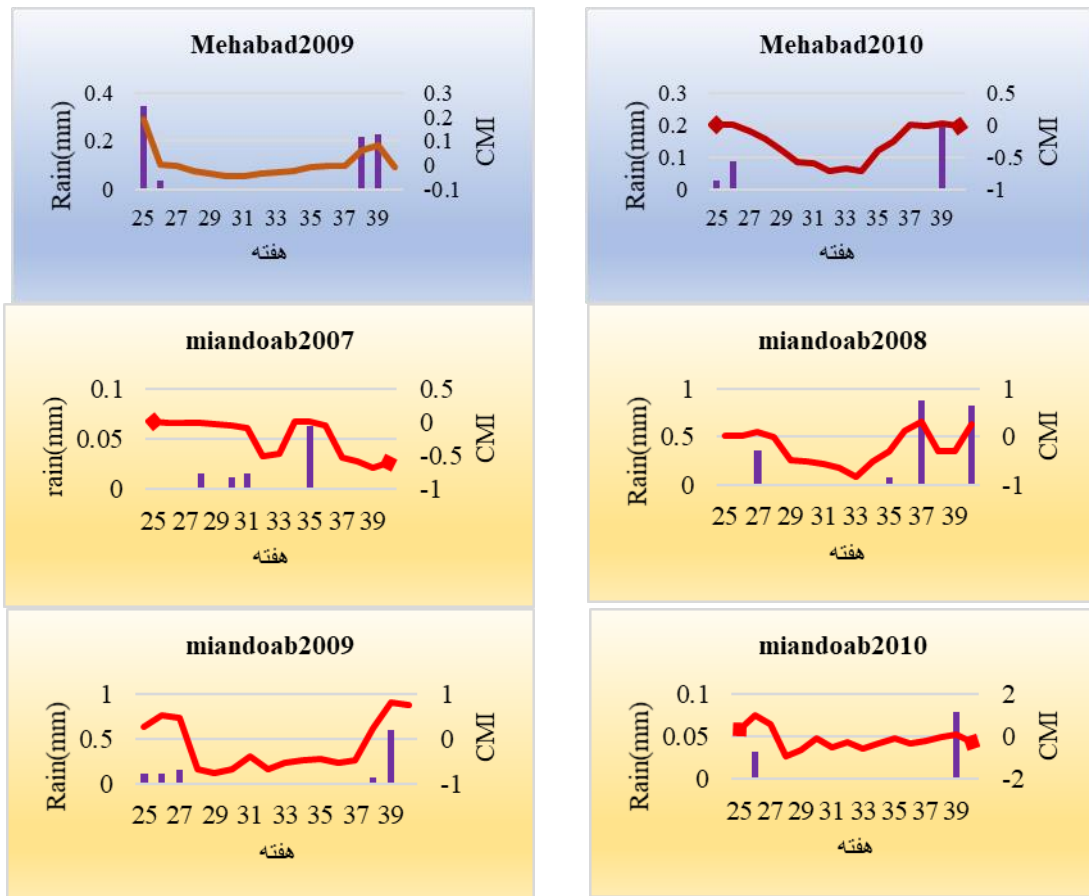
رابطه بارش هفتگی باران و شاخص رطوبت محصول در حوضه آبریز سیمینه رود برای سالهای مورد مطالعه، مورد بحث و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. داده های چهار ایستگاه سینوپتیک (سقز، مهاباد، بوکان و میاندوآب) در منطقه برای تجزیه و تحلیل روابط بین بارش هفتگی و وضعیت رطوبت انتخاب شده اند. سالهای مورد مطالعه بر اساس وضعیت تنش خشکی تجزیه و تحلیل شده اند و بر این اساس ارتباط بارش و شاخص CMI از هفته ۲۵ تا ۴۰ در هر سال در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ (هفته دوم فروردین ماه تا هفته اول مردادماه) به لحاظ دوره رشد محصول گندم دیم در حوضه آبریز سیمینه رود بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد شاخص CMI با وضعیت بارش هفتگی در هر نمودار همخوانی دارد یعنی مقدار CMI در همه ایستگاه ها به غیر ایستگاه سقز منفی می باشد. از سال ۲۰۰۷ خشکسالی بصورت خفیف در منطقه وجود داشته و تا سال ۲۰۱۰ خشکسالی بسیار شدید شده است. بطور کلی سال ۲۰۰۷ در هفته ۲۵ تا ۳۰ که مرحله پرشدن دانه شیری گندم بوده است از رطوبت بسیار کمی



برخوردار بوده و هرچه به هفته (۳۶) رشد فیزیولوژیکی دانه می‌رسیم به لحاظ دمای بالای منطقه و عدم بارش مقدار شاخص رطوبت محصول منفی می‌شود. در مقابل سال ۲۰۱۰ در همه ایستگاهها تحت تاثیر خشکسالی شدید قرار داشته است. مجموع بارش هفتگی بصورت نمودار میله ای و وضعیت هفتگی شاخص CMI بصورت منحنی در ۴ ایستگاه نشان داده شده است. (شکل ۴)

شکل ۴: روابط بین بارش در هفته و شاخص رطوبت محصول (CMI) در طول سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰





باتوجه به آغاز دوره خشکسالی در سال ۲۰۰۷ و شدت آن در سال ۲۰۱۰، فقط این دو سال تجزیه و تحلیل شده اند.

### سال ۲۰۰۷

در سال ۲۰۰۷ ایستگاه سینوپتیک بوکان مجموع بارش هفتگی این ایستگاه اندک است و تنها هفته ۴۰، حدود ۰/۲۵ میلی متر بارندگی دارد این نشان می دهد به خصوص از هفته ۲۳ تا هفته ۳۱ که محصول گندم در مرحله زایشی قرار دارد بارش اندک بوده است. با توجه به بارش اندک وضعیت رطوبتی نیز در سراسر منطقه کم است. به طور کلی شاخص رطوبت محصول کمتر از ۱ نشان دهنده نقطه شروع خشکی و در مقدار CMI کمتر از ۱ تنش خشکی افزایش می یابد. نتیجه نشان می دهد که به جز هفته ۴۰ در ایستگاه بوکان و مهباد و هفته ۲۲ و ۳۲ در ایستگاه میاندوآب و سقز در طول ۲۰۰۷ وضعیت رطوبت بسیار کم است. این نشان می دهد این منطقه بسیار مستعد ابتلا به خشکی است.

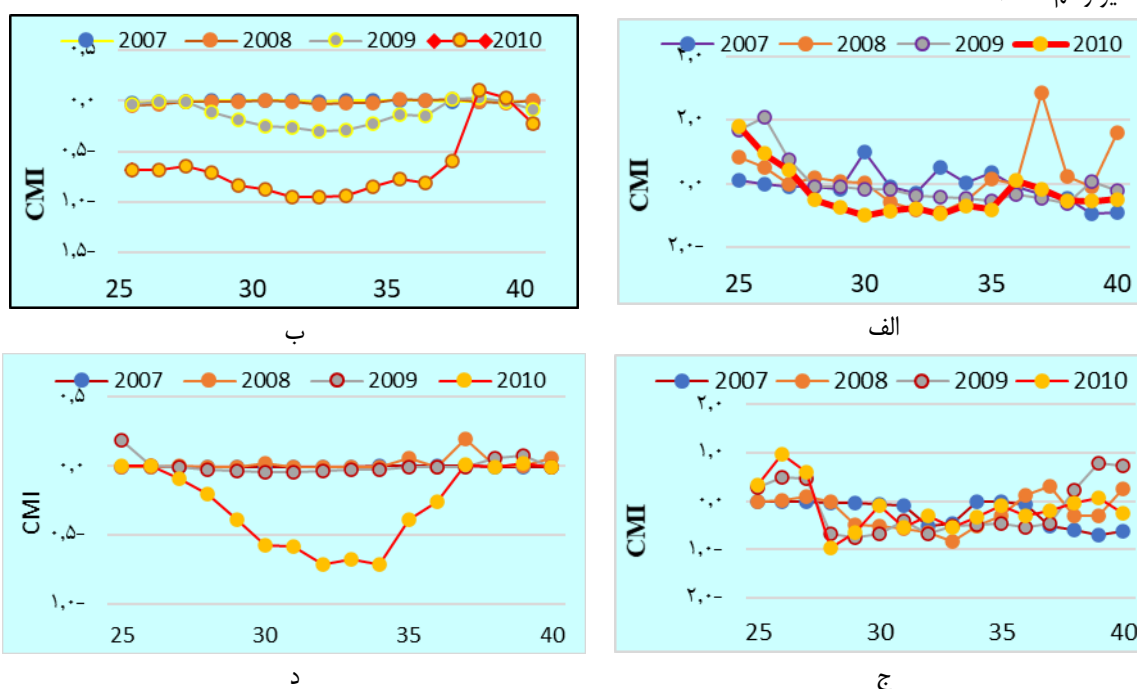
در ایستگاه سقز مقدار CMI از هفته ۲۲ تا ۳۳ منفی می باشد، که نشان می دهد این بازه زمانی دوره شروع تنش است. در اوایل دوره بارش بسیار کمی دریافت شده است اما در مرحله بعد هیچ بارندگی وجود ندارد. در آختاچی، کانی بازار، ایل تیمور، ترجان و ایل گورک که بخشی از سیمینه علیا هستند، مشاهده می شود که وضعیت رطوبت در دوره باروی تا برداشت محصول گندم کمتر از ۱ در هفته بوده است، که نشان دهنده خشکسالی مداوم هفته به هفته در این منطقه می باشد. فقط در هفته ۲۳ مقدار بارش و رطوبت در بخش آختاچی غربی تا حدودی مطلوب بوده است. در ناحیه مرحمت آباد و مکریان شمالی ایستگاه سینوپتیک میاندوآب مقدار رطوبت مساعد بوده است، البته باتوجه به امکانات آبیاری در منطقه طبیعی می باشد. یعنی مقدار CMI در هفته ۲۲ مثبت است که بیانگر عدم وجود تنش در بخش سیمینه سفلی در سال ۲۰۰۷ می باشد.

در بخش سیمینه وسطی، نواحی آختاچی شمالی و شرقی فاقد رطوبت بوده اند، فقط بخش آختاچی غربی واقع در ارتفاعات طرغه رطوبت تا حدودی مطلوب بوده است. ولی بطور کلی در سال ۲۰۰۷ به لحاظ بارش کم بالاخص در دوره باروری محصول خشکسالی شروع شده و به تبع آن منطقه مستعد تنش بوده و عملکرد محصول هم سیر نزولی داشته است (شکل ۴).

## سال ۲۰۱۰

وضعیت رطوبت در سه ایستگاه سینوپتیک بوکان، مهاباد و میانداوآب بسیار وخیم است. و مقدار CMI در هر سه ایستگاه منفی است و بارش بصورت بسیار سبک حدود ۱۰/ میلی متر در بعضی از هفته ها دیده می شود که نشان می دهد خشکسالی بسیار شدید است. فقط در مناطق فیض اله بیگی، دهبکری و گورک بخش سیمینه علیا، شرایط حداقلی رطوبت دیده می شود و تمام دوره نشان از مقدار CMI منفی است، که نشان دهنده این است مناطق یاد شده نیز مستعد ابتلا به تنش خشکی هستند (شکل ۴). نتایج به دست آمده نشان می دهد که به طور کلی حوضه آبریز سیمینه رود در طول سال های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ تنش خشکی به تدریج افزایش داشته است. بیشترین تنش خشکی در سال ۲۰۱۰ دیده می شود بطوریکه در بیش از ۸۰ درصد از زمینهای کشاورزی منطقه تنش خشکی روی داده است. به تبع آن خشکسالی کشاورزی رخ داده و محصول گندم در منطقه دچار افت تراز شده است.

در شکل ۵ شاخص CMI در چهار ایستگاه منتخب الگوی تنش خشکی در سال های مختلف و در مناطق مختلف منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. در نمودار CMI هفته استاندارد هواشناسی در محور X ارائه شده که از هفته ۲۵ تا هفته ۴۰ بصورت متغیر رسم شده است.



شکل ۵: شاخص رطوبت محصول در ایستگاه های الف) سقز ب) بوکان ج) میانداوآب د) مهاباد

مقدار CMI کمتر از ۱ در هر ۴ ایستگاه بیانگر تنش خشکی است و در دو ایستگاه بوکان و مهاباد از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ روند کاهشی دارد و مشاهده می شود که اکثریت هفته ها در سال ۲۰۰۷ و بالاخص ۲۰۰۸ تحت تنش خشکی قرار دارند. این ثابت می کند که به طور ویژه این دو سال تحت تنش خشکی شدید بوده اند و در مقابل سال های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ تنش کمتری داشته اند. CMI مشاهده شده در بوکان نتیجه بسیار شفافی از تنش خشکی و یا الگویی برای تمام مدت خشکسالی ارائه می دهد. اکثریت ایستگاه ها الگوی کم و بیش مشابه در سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ دارند. بطور کلی سیمینه علیا بسیار مستعد ابتلا به تنش خشکی می باشد و در این زمینه، ایستگاه بوکان تمایل به خشکسالی را بهتر توصیف می کند. بنابراین سطح پوشش گیاهی این منطقه همیشه

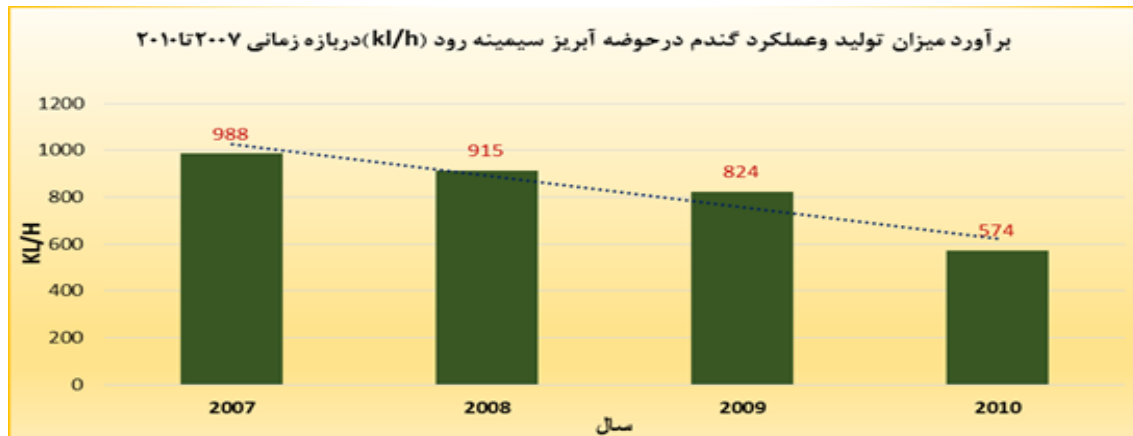
در معرض خشکسالی مداوم است. تولید و عملکرد گندم دیم در بازه زمانی مورد مطالعه در حوضه آبریز سیمینه رود بشرح ذیل می باشد:

جدول ۶: آمار تولید محصول گندم دیم در حوضه سیمینه رود

عملکرد (کیلوگرم/هکتار)	تولید - تن	نام محصول	منطقه	سال	سال زراعی	
۹۸۸	۳۶۴۱۷	گندم دیم	سیمینه	۲۰۰۷	۸۶	۸۷
۹۱۵	۳۲۱۳۸	گندم دیم	سیمینه	۲۰۰۸	۸۷	۸۸
۸۲۴	۲۳۷۶۸	گندم دیم	سیمینه	۲۰۰۹	۸۸	۸۹
۵۷۴	۱۵۸۸۹	گندم دیم	سیمینه	۲۰۱۰	۸۹	۹۰

منبع (مرکز تحقیقات کشاورزی ارومیه)

شکل ۶: عملکرد محصول گندم دیم در بازه زمانی مورد مطالعه در حوضه آبریز سیمینه رود



## نتیجه گیری

شاخص رطوبت محصول پالم (CMI) می تواند ابزار بسیار مهمی برای مطالعه تغییرات زمانی خشکسالی باشد. تغییرات زمانی خشکسالی و تغییر الگوی خشکسالی در طول دوره در حوضه سیمینه رود مشاهده می شود و تنش خشکی منطقه نیز در هر سال در حال تغییر است. پتانسیل بیشتری برای نظارت زمان واقعی خشکسالی کشاورزی با استفاده از داده های هواشناسی وجود دارد. لذا پیشنهاد می گردد جهت دست یافتن به نتیجه ای دقیق تر استفاده همزمان از تصاویر ماهواره و تلفیق آن با داده های هواشناسی برای پایش خشکسالی در مقیاس منطقه ای پیشنهاد می شود چراکه می تواند بطور منطقی نتیجه ای دهد که پژوهش حاضر از داده های هواشناسی ارائه می دهد، و اجازه می دهد، نقشه برداری دقیقی از میزان توسعه فضایی شرایط خشکسالی و تغییرات زمانی تنش خشکی در طول زمان صورت پذیرد.

## منابع :

- Ashraf, C.M. and Abu-sharks. (1987). **Wheat seed germination under low temperature and moisture stress**. Agronomy Journal. Vol:70-135-139.
- Bannayan M., Sanjani S., Alizadeh A., Sadeghi Lofabadi S., and Mohamadian A. 2010. **Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran**. Field Crops Research, 118: 105–114.
- Champagne, C., White, J., Berg, A., Belair, S., & Carrera, M. (2019). **Impact of Soil Moisture Data Characteristics on the Sensitivity to Crop Yields Under Drought and Excess Moisture Conditions**. Remote Sensing, 11(4), 372.
- Ebrahimzadeh, Sajjad, Bazrfshan, Javad, Gharbani, Khalil (2013). **Assessment of vegetation changes based on land and satellite indicators of drought (Kermanshah)**, Journal of Agricultural Meteorology, Vol. 1, No. 1, pp. 48-37.
- French, A.N., Schmugge, T. J. and Kustas, W. P., (2009). **Discrimination of senescent vegetation using thermal emissivity contrast**. Remote Sensing of Environment, 74(2): 249-254
- Gillies, R.R., and Carlson, T. N., 1995. **Thermal remote sensing of surface soil water content with partial vegetation cover for incorporating into climate models**. Journal of Applied Meteorology, 34: 745-756.84
- HejaziZadeh Z., JaviZadeh S., and Musavi M. 2010. **Survey of climatic drought and its effects on wheat production in the province**. Geography. Spring. 8(24), p. 27-45.
- Jackson, R.D., Reginato, R. J. and Idso, S. B., (1997). **Wheat canopy temperature: a practical tool for evaluating water requirements**. Water Resources Research, 13: 651–656.
- Jayanthi H., Gregory J., Husak Funk C., Magadzire T., Chavula, A., and Verdin J.P. 2013. **Modeling rain-fed maize vulnerability to droughts using the standardized precipitation index from satellite estimated rainfall Southern Malawi case study**. International Journal of Disaster Risk Reduction, 4: 71–81.
- Khalili N., Davari K., Ansari H., and Alizadeh, A. 2000. **The Management of Supplementary Irrigation for Rain-fed Wheat during the Drought Periods Using Crop Moisture Index (The Case Study: Bojnurd)**. Journal of Water and Soil. Vol. 24, No. 6, Jan-Feb 2011, p. 1254-1264.
- Khalili, Najmeh Dari, Kamran Ansari, Hossein Alizadeh, Amin (2010). **Irrigation management of wheat during the recovery period using a product moisture index (CMI) (Bojnourd)**, Vol. 24, No. 6
- Meyer S.J., Hubbard K.G., and Wilhite D.A. 1990. **The development of a crop-specific drought index for corn**. High Plains Climate Center Report, 90-1. University of Nebraska-Lincoln.
- Meyer S.J., Hubbard K.G., and Wilhite D.A. 1991. **The relationship of climatic indices and variables to corn (maize) yields: a principal components analysis**. Agriculture and Forest Meteorology, 55: 59–84.
- Mohammadi Moghaddam S., Mosaedi A., Jankju M., and Mesdaghi M. 2013. **Modeling plants yield based on climatic factors and drought indices in selected sites of the provinces of Central and Qom in Iran**. Journal water & soil, 27(6): 1190 –1206. (in Persian with English abstract).

- NoghanKar H., Bazrafshan J., and Hejabi S. 2012. **Risk analysis of agricultural drought characteristics undercurrent climate and changing climate conditions in various climates of Iran** Iranian Water Research Journal, 2013(Issue 11). No: 11, p. 175.
- Parida,R.B,(2006) **Analysing the effect of severity and duration of Agricultural drought on crop performance** using Terra/MODIS Satellite data and Meteorological data
- Rajaram. S. and Van Ginkle, M. 2001. **Mexico, 50 years of international wheat breeding**. In: Bonjean, A.P., Angus, W.J. (Eds.) the World Wheat Book: A History of Wheat breeding. Lavoisier pub., Paris, France, pp: 579-604.
- RamezaniEtedali H., liaghat A., ParsiNejad M., and RamezaniEtedali M .2012. **Assessment of agricultural drought based on soil moisture in Qazvin station**. Journal of Water Research in Agriculture. No:1, p. 83-93.
- Sabziparvar A.A., Torkaman M., and Maryanaji Z. 2012. **Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance** (Case study: Hamedan Province). Journal of Water and Soil, 26(6): 1554–1567.
- Shafiei M., Ghahreman B., Ansari H., and Sharifi M.B. 2011. **Stochastic simulation of Drought Severity Based on the Palmer Index**.Journal of Water and Irrigation Management. No: 1, p. 1-13.
- Sharma, A (2006). **Spatial data mining for drought monitoring: An approach using temporal NDVI and relationship**, Thesis Geo-Information Science and Earth Observation,India
- Shokoohi A.R. 2012. **RDI and SPI indices Comparison for drought analysis in station scale with an emphasis on agricultural drought** (Case Study: Qazvin and Takestan). Journal of Irrigation & Water Engineering, No:3, p. 111-122.
- Small, AS And Alizade, Amin. (1986) **principles of agriculture in arid regions**. (Translation). Astan Quds Razavi Publishing House.
- ZandiLak H., Fooladvand H.R., and Boostani F. 2014. **Evaluate of the return period of agricultural drought for in Fars province using RDI index**. Quarterly of Water Resources Engineering. No:22, p.1-10.