

بررسی رابطه عملکرد باغات انجیر دیم و مقادیر بارش مؤثر با استفاده از داده‌های سنجش از دور

فائزه خوشرو¹، بهزاد آزادگان^{2*}، شادمان ویسی³، محمد عبداللهی پور⁴

1. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
2. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
3. موسسه تحقیقات خاک و آب کرج، بخش آبیاری و فیزیک خاک، کرج، ایران.
4. گروه مهندسی آب، دانشکده فناوری کشاورزی، دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران.

چکیده

بارش مناسب می‌تواند در تأمین رطوبت خاک در انجیرستان‌های دیم بسیار مؤثر باشد. با این حال یکی از مشکلات در عمده مناطق دیمکاری کشاورزی، عدم دسترسی بودن داده‌های بارش می‌باشد که پایگاه داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند برای حل این مشکل کمک کند. محدوده جغرافیایی مورد بررسی در این تحقیق انجیرستان‌های شهرستان استهبان بوده و از داده‌های بارش ایستگاه زمینی در مقاطع مختلف زمانی استفاده شد. در این تحقیق ابتدا ارتباط بین میزان عملکرد و توزیع شاخص بارش در مقیاس‌های گوناگون زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه)، تعیین شد. سپس مقدار بارش ماهواره‌ای با استفاده از پایگاه داده‌های بارش شامل CHIRPS، ERA5، ERA5-Land، GPM، PERSIANN و GSMaP تهیه شد و بر اساس این مقادیر میزان بارش مؤثر با استفاده از روش‌های مختلف شامل USDA، ET-Rainfall و بارش قابل اطمینان برای محدوده زمانی بین سال‌های 2005 الی 2021 برآورد شد. بر این اساس بارش در ماه‌های آوریل و سپس ماه می و نوامبر بیشترین تأثیر را بر بهبود عملکرد محصول داشته است. همچنین پیشنهاد می‌گردد در صورت اقدام به عمل آبیاری تکمیلی در ماه ابتدای بهار انجام گیرد. بر اساس معیارهای آماری مورد بررسی، می‌توان گفت که GPM مناسب‌ترین پایگاه داده و روش USDA بهترین روش ارزیابی بارش مؤثر از بین گزینه‌های مورد بررسی می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: استهبان، بارش مؤثر، پایگاه داده بارش GPM، روش USDA، عملکرد.

نسخه آماده انتشار

1. مقدمه

ایران به‌عنوان چهارمین کشور تولیدکننده محصول انجیر دیم و آبی، و شهرستان استهبان با بیش از 20000 هکتار باغ انجیر، بزرگترین انجیرستان دیم دنیا می‌باشد (Abdolahipour et al., 2018; FAOSTAT, 2016). در دوره‌های خشکسالی دهه‌های اخیر، از بین رفتن 10% از درختان منطقه استهبان و کاهش تولید محصول تا 80 درصد در برخی از باغات گزارش شده است (Jafari et al., 2012).

استفاده از آبیاری تکمیلی به‌عنوان یکی از روش‌های مدیریت کارآمد آب می‌تواند یکی از راهکارهای تأمین رطوبت خاک در دوره‌های طولانی خشکی باشد. آبیاری تکمیلی، کاربرد مقدار محدودی آب در زمان توقف بارندگی در دوره رشد است به‌طوری‌که رطوبت کافی برای حفظ درخت، تداوم رشد و افزایش و ثبات عملکرد تأمین شود و در عین حال از هدررفت آب جلوگیری شود (Oweis et al., 2004). آبیاری تکمیلی را می‌توان یک راهکار مفید برای افزایش محصولات کشاورزی و بهبود قابل توجه و پایدار در بهره‌وری آب از طریق مدیریت یکپارچه و هماهنگ منابع مزرعه در نظر گرفت (Yau et al., 2011). استفاده از آبیاری تکمیلی در باغات دیم انجیر منطقه استهبان، در سال‌های گذشته علاوه بر استقبال گسترده توسط باغداران، در تحقیقات مختلف نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Abdolahipour et al., 2022).

در یک مطالعه به‌منظور شناسایی زمان و میزان بهینه آبیاری تکمیلی در فواصل مختلف درختان در باغ انجیر دیم استهبان که توسط Abdolahipour et al., 2018، صورت گرفت بیان شد که در شرایط خشکسالی، استفاده از آبیاری تکمیلی با 2000 لیتر آب به ازای هر درخت در اوایل بهار در نزدیکی تنه درخت می‌تواند شرایط مناسبی با افزایش درصد رطوبت خاک و کاهش تبخیر سطحی فراهم کند. (Khozaie and Sepaskhah (2018، بیان کردند که وجود آبگیر برای جمع‌آوری آب باران در اطراف درختان در تحلیل اقتصادی استفاده از آبیاری تکمیلی انجیر دیم در جنوب ایران تأثیر بسزایی دارد.

(Bagheri and Sepaskhah (2014، با هدف برقراری ارتباط بین توزیع فصلی بارندگی و تولید انجیر دیم در منطقه استهبان به‌منظور تعیین دوره‌های بحرانی بارندگی و استفاده از آبیاری تکمیلی برای تولید انجیر، تأثیر شاخص‌های بارندگی بر عملکرد انجیر دیم بررسی کردند. نتایج نشان داد که می‌توان آبیاری تکمیلی را برای ماه مارس برنامه‌ریزی کرد. بارش اصلی‌ترین پارامتر تأثیرگذار بر میزان محصول در کشت دیم به‌صورت زراعت و حفظ درختان در باغداری دیم می‌باشد. قسمتی از بارش که بر روی رشد گیاه مؤثر است را بارش مؤثر¹ گویند که بنا بر نوع کشت و وضعیت اقلیمی، تعاریف متفاوتی برای آن ارائه شده است. (Dastane et al. (1974 بارش مؤثر را قسمتی از باران سالیانه یا فصلی معرفی می‌کند که در منطقه ریزش به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم (بدون استفاده از پمپاژ) برای تولید محصول مفید واقع می‌شود. (Adnan and Khan (2009، بارش مؤثر را به‌صورت قسمتی از بارش که در منطقه ریشه گیاه ذخیره شده و صرف تأمین بخشی از نیاز آبی گیاه می‌شود، تعریف کردند.

یکی از محدودیت‌های تحقیقات مرتبط با بارش، کمبود داده‌های بارش می‌باشد. اما در سال‌های اخیر، استفاده از سنجش از دور به برآورد پارامترهای اقلیمی از جمله بارش کمک زیادی کرده است. سنجش از دور، علم، فن و هنر یافتن اطلاعات درمورد پدیده‌ها از فاصله دور و بدون تماس با آنها است. اطلاعات پایگاه داده‌های بازتحلیل¹، با دسترسی ساده و مربوط به دوره‌های زمانی طولانی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف موجب شده است که این روش‌ها بخصوص در مناطقی که با کمبود داده‌ها مواجه هستند و یا ایستگاه‌های هواشناسی وجود ندارد، کاربردی باشد (Marchi et al., 2007; Veysi et al., 2024; Barideh et al., 2022).

در این تحقیق، ابتدا اهمیت بارش بر عملکرد محصول انجیر در انجیرستان‌های دیم استهبان با استفاده از معادلات رگرسیونی بررسی شد. در ادامه میزان قابلیت داده‌های سنجش از دوری برای پیش‌بینی این بارش در منطقه بررسی و مقدار بارش مؤثر با روش‌های مختلف به‌منظور فراهم کردن امکان پیش‌بینی و بررسی سناریوهای مختلف در مدیریت آبیاری تکمیلی، برآورد شده است.

بنابراین اهداف این تحقیق شامل تعیین ارتباط بین بارش و عملکرد محصول، تعیین بهترین پایگاه داده بارش و مناسب‌ترین روش برآورد بارش مؤثر در منطقه بر اساس داده‌های طولانی مدت بارش می‌باشد.

2. مواد و روش‌ها

2.1. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، محدوده انجیرستان‌های دیم شهرستان استهبان واقع در استان فارس (E 54°04', N 29°07') و ارتفاع 1749 متر بالاتر از سطح آزاد دریا می‌باشد (شکل 1). در این منطقه کمترین و بیشترین دما، در بازه 7- تا 41 درجه سانتی‌گراد بوده و اقلیم این شهرستان خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. مقدار میانگین بارش سالانه حدود 354 میلی‌متر با حداقل 92 و حداکثر 739 میلی‌متر می‌باشد که بیشتر این بارش‌ها، در اواخر فصل پاییز و نیز زمستان رخ می‌دهد (Abdolahipour et al., 2018). همچنین متوسط رطوبت نسبی هوا، 45 درصد می‌باشد که در زمان رسیدن و برداشت محصول انجیر در فصل تابستان کاهش پیدا می‌کند. اگرچه در انجیرستان‌های استهبان، ارقام مختلف انجیر دیم کشت می‌شود، اما نزدیک به 98 درصد از درختان، از رقم سبز می‌باشد، که که معمولاً دارای سه الی چهار تنه می‌باشد (Jafari et al., 2012).

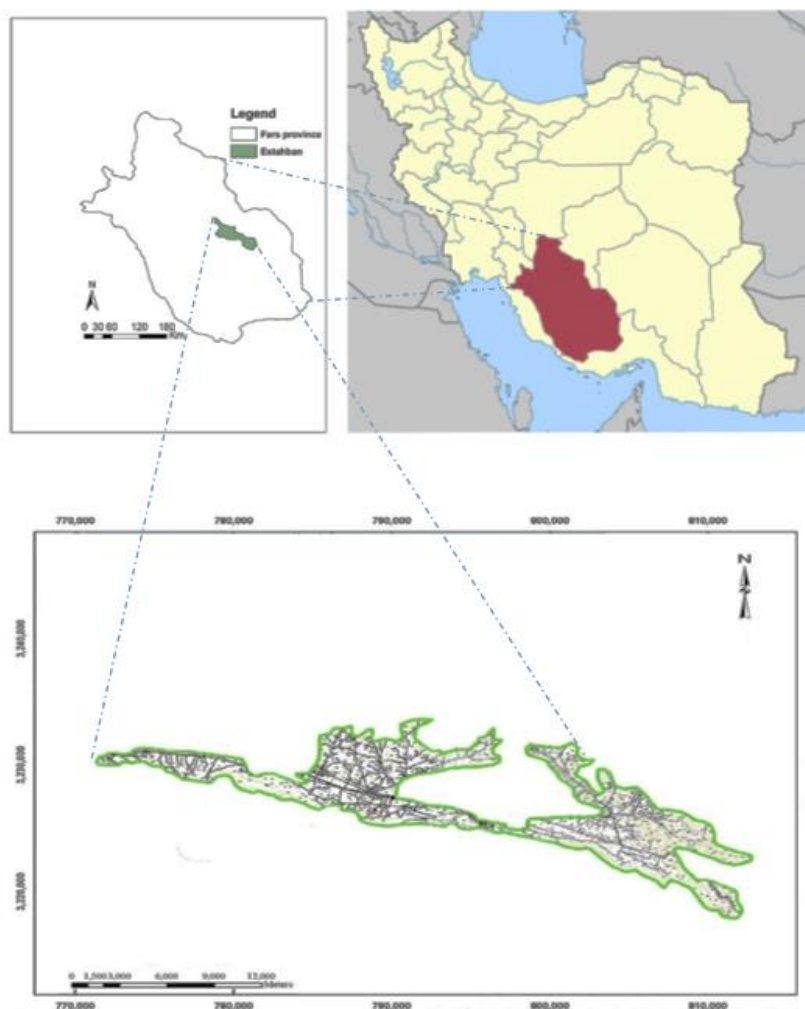


Figure 1. Location of Estahban in Fars province (a) and its rainfed fig orchards (study area) (b)

در این تحقیق، داده‌های مورد استفاده، مربوط به بازه زمانی سال‌های 2005 تا 2021 می‌باشد. این داده‌ها شامل داده‌های بارش، و مقدار محصول و مساحت باغات انجیر دیم می‌باشد. داده‌های ایستگاه‌های زمینی هواشناسی از سامانه سازمان هواشناسی کشور و داده‌های میزان محصول و مساحت باغات انجیر شهرستان از سازمان جهاد کشاورزی دریافت گردید. در ابتدا بررسی تأثیر بارش با در نظر گرفتن میزان عملکرد محصول در سال‌های مختلف به‌عنوان عامل وابسته، انجام شد. میزان عملکرد سالانه باغات با استفاده از رابطه (1) تعیین شد.

$$Y = P/A \quad (1)$$

در این رابطه، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)، P میزان تولید (کیلوگرم) و A مساحت باغات دیم (هکتار) در هر سال در این شهرستان می‌باشد. برای این منظور از توابع رگرسیون خطی چندمتغیره استفاده شد، که در آن از بارندگی سالانه، فصلی یا ماهانه، و تعداد روزهای بارانی به‌عنوان متغیرهای مستقل استفاده گردید. این متغیرها در ارتباط با یکدیگر برای ایجاد یک شاخص ترکیبی به نام "شاخص بارش"، به‌کار گرفته شدند.

شاخص بارش، با در نظر گرفتن تعداد روزهای بارانی، نشان‌دهنده متوسط وزنی بارش در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشد. ویژگی این شاخص در این است که از ترکیب متناسب وزن‌دار بین بارندگی سالانه، فصلی و یا ماهانه، و تعداد روزهای بارانی در آن دوره زمانی برای ایجاد یک معیار جامع در تحلیل بارش استفاده می‌کند. این وزن‌ها نسبت به میانگین تعداد روزهای بارانی سنجیده می‌شود و به‌این ترتیب، اهمیت نسبی هر عامل در تشکیل شاخص مشخص می‌شود. استفاده از چنین شاخصی می‌تواند به بهترین نحو در تعیین تفاوت‌ها و تغییرات الگوی بارش در دوره‌های زمانی مختلف و اطلاعات دقیق‌تر از ارتباط بین بارندگی و عملکرد انجیر دیم در منطقه کمک نماید. شاخص بارش به‌صورت زیر تعریف می‌گردد (Sepaskhah et al., 2003):

$$RI_{ij} = RF_{ij} \left(\frac{RD_{ij}}{RD_j} \right) \quad (2)$$

که در آن RD_{ij} ، شاخص بارندگی و i سال بارندگی و j فصل یا ماه می‌باشد. RF_{ij} ، مقدار بارندگی (میلی‌متر) می‌باشد. همچنین RD_{ij} تعداد روزهای بارانی می‌باشد.

بنابراین شاخص بارش، به مقدار بارش در هر ماه، فصل یا سال به نسبت تعداد روزهای بارانی که آن بارندگی در آن توزیع شده است، وزن می‌دهد. مزیت استفاده از این شاخص به‌جای مقدار بارش این است که در این رویکرد، از شاخص بارش به‌عنوان

یک متغیر کلی استفاده می‌شود که نقش ترکیبی از بارندگی و تعداد روزهای بارانی را ایفا می‌کند. اگر از بارندگی و روزهای بارانی به‌طور جداگانه استفاده کنیم، تعداد متغیرها تعداد ماه‌ها یا فصل‌ها خواهد بود، در حالی که با استفاده از شاخص به‌عنوان یک متغیر، تعداد متغیرها دو برابر تعداد ماه‌ها یا فصل‌ها خواهد بود. سپس با استفاده از این شاخص، و روش رگرسیون خطی چندمتغیره، معادله زیر برای انجام فرآیند برآزش به داده‌ها استفاده شد:

$$Y = a + b_1x_1 + \dots + b_nx_n \quad (3)$$

در این معادله Y عملکرد انجیر دیم (کیلوگرم در هکتار)، x_1 الی x_n شاخص بارندگی ماهانه یا فصلی، a عدد ثابت و b_1 و b_n ضرایب معادله رگرسیون می‌باشد. این معادله می‌تواند بهترین تطبیق را بین داده‌های مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده بر اساس متغیرهای بارندگی و روزهای بارانی انجام دهد.

2.2. انواع پایگاه‌های بارش در سنجش از دور

در ادامه تحقیق، از داده‌های سنجش از دور برای تعیین بارش مؤثر در دوره‌های زمانی مختلف استفاده گردید. سنجش از دور یک فناوری جامع رصد زمین است که در دهه 1960 توسعه یافت و به‌تدریج کاربردهای آن در دهه 1980 گسترده‌تر شد. در سال‌های اخیر استفاده از این علم در مباحث مختلف کشاورزی کاربردهای زیادی داشته است (Fallah et al., 2020). تکنیک‌های سنجش از دور قادر است تخمین بارش را در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی با وضوح مکانی و زمانی بالا ارائه دهد (Zeng et al., 2018)، این تخمین از طریق سنجش و ثبت امواج الکترومغناطیسی بازتاب شده و یا گسیل شده، پردازش، تجزیه و تحلیل و بکارگیری آنها صورت می‌گیرد. برای تخمین بارندگی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تکنیک‌های متفاوتی وجود دارد و به‌طورکلی قابل تقسیم به روش‌های مستقیم، غیر مستقیم و ترکیبی می‌باشد. در روش‌های غیرمستقیم از تصاویر ماکروویو غیرفعال استفاده می‌شود، اما در روش‌های مستقیم از تصاویر مادون قرمز استفاده می‌شود (Tong et al., 2014). از رایج‌ترین پایگاه داده‌های بارش می‌توان از CHIRPS، TRMM، GPM، TERRA Climate، GRIDMET، ERA5، GSMaP و PERSIANN را نام برد. این پایگاه داده‌ها عمدتاً ترکیبی از داده‌های ماکروویو غیر فعال و مادون قرمز حرارتی هستند (Dinku et al., 2010). در این تحقیق از داده‌های بارش موجود در پایگاه داده‌های ارائه شده در جدول (1)، برای بازه زمانی 2010 تا 2020 استفاده شد. این پایگاه‌ها در سامانه Google Earth Engine، موجود و به‌صورت رایگان پس از کدنویسی در این پلتفرم (سکوی) تحت وب، برای مناطق متفاوت و در مقیاس‌های مختلف زمانی، قابل استفاده است (Gorelick, 2017; Nouri and Veysi, 2023). همچنین به‌منظور تعیین دقت و اطمینان از صحت برآورد بارش توسط داده‌های ماهواره‌ای، این داده‌ها برای منطقه مورد مطالعه با کمک داده‌های ایستگاه هواشناسی زمینی صحت‌سنجی شدند.

Table 1. Precipitation database table

Database	Type	Bands	Resolution	Temporal coverage
CHIRPS	Reanalysis	1	5.5 km	1981 to present
GSMaP	Unanalyzed	5	11.1 km	1998 to present
ERA5	Reanalysis	9	27.8 km	1940 to present
GPM	Unanalyzed	5	11.1 km	2014 to present
ERA5-Land	Reanalysis	19	11.1 km	1950 to present
PERSIANN	Reanalysis	1	27.8 km	1983 to present

2.3. برآورد بارش مؤثر

بارش مؤثر به‌عنوان ابزاری مؤثر و کارآمد در برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت منابع آب شناخته می‌شود (Adnan and Khan, 2009). در این پژوهش، پس از تهیه داده‌های بارش از پایگاه‌های مختلف ماهواره‌ای، برای برآورد مقدار بارش مؤثر از سه روش مرسوم در مباحث کشاورزی یعنی روش‌های USDA، ET-Rainfall، و بارندگی قابل اطمینان² استفاده شد. در این تحقیق برای تمامی روش‌های محاسبه بارش مؤثر، مقیاس زمانی ماهانه مورد استفاده قرار گرفته است. روش USDA، به‌دلیل قابلیت بالای خود در تجزیه و تحلیل داده‌ها به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های محاسبه بارش مؤثر در مباحث آبیاری مطرح است:

$$\text{for } P \leq 250 \text{ mm:} \quad P_{eff} = \frac{P * (125 - 0.2 * P)}{125} \quad (4)$$

$$\text{for } P \geq 250 \text{ mm:} \quad P_{eff} = (0.1 * P + 125)$$

از این روش عمدتاً در مطالعات ماهانه استفاده می‌شود و می‌توان آن را برای دوره‌های 10 روزه نیز بکار برد. در این روابط، P_{eff} بارش مؤثر و P کل میزان بارش (میلی‌متر) است. روش ET-Rainfall (نسبت تبخیر- تعرق پتانسیل به بارش)، بر اساس اطلاعات تبخیر- تعرق، به تحلیل بارش مؤثر می‌پردازد. این روش با بهره‌گیری از داده‌های متنوع و جزئیات آبیاری، می‌تواند دقت بالایی در تخمین بارش مؤثر داشته باشد. در این روش، محاسبات بر اساس گروه‌های موجود در جداول مربوطه و بر اساس بافت خاک، میانگین ماهانه تبخیر- تعرق و نوع گیاه، تعیین می‌شود. در واقع، در این روش مقادیر بارش مؤثر بر اساس گروه‌بندی مشخصی از روزهای فصل رشد با توجه به نسبت تبخیر- تعرق پتانسیل (که معمولاً برابر 0/8 تبخیر از طشتک کلاس A است) به کل بارندگی، به‌دست می‌آید. در این محاسبات دوره‌های بدون بارش حذف می‌شود و نسبت‌ها برحسب درصد، برای هر دوره بیان می‌شود. سپس محاسبات مربوط به میانگین ماهانه و کل فصل رشد انجام می‌شود.

روش بارندگی قابل اطمینان بر اساس رابطه (5) می‌باشد:

$$\text{If } P \leq 70 \text{ mm:} \quad P_{eff} = 0.6P - 10 \quad (5)$$

$$\text{If } P \geq 70 \text{ mm:} \quad P_{eff} = 0.8P - 24$$

در این روش P بارش ماهانه و P_{eff} بارش مؤثر ماهیانه با احتمال 80 درصد می‌باشد. این روش را نیز می‌توان برای دوره‌های 10 روزه بکار برد. روش‌های مذکور در منابع مختلف به‌عنوان روش‌های قابل قبول در برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری شناخته شده‌اند (Adnan and Khan, 2009).

3. نتایج و بحث

به منظور تعیین شاخص بارش، در ابتدا داده‌های روزانه بارش ایستگاه هواشناسی به‌حالت ماهانه و سالانه تبدیل و مقدار عملکرد بر اساس رابطه (1) محاسبه گردید (جدول 2). حداکثر مقدار بارش در ماه فوریه و سپس ماه ژانویه در فصل زمستان می‌باشد و حداقل بارش مربوط به ماه‌های ژوئن و سپتامبر یعنی در انتهای بهار و انتهای تابستان می‌باشد. همچنین تعداد روزهای بارانی بر حسب مقیاس‌های ماه و سال مشخص گردید که به‌طور متوسط در هر سال حدود 35 روز بارانی وجود دارد که حداکثر تعداد آن در ماه‌های فوریه و مارچ یعنی در فصل زمستان (تقریباً شش روز) می‌باشد (جدول 3). کمترین تعداد روزهای بارش مربوط به ژوئن می‌باشد. بر اساس رابطه (2)، میزان شاخص بارش برای ماه‌های مختلف، محاسبه و در جدول (4) ارائه گردیده است. همچنین میزان این شاخص به‌صورت فصلی و سالانه در جدول (5) ارائه شده است.

Table 2. Rainfed fig yield (kg/ha) and monthly and annual rainfall (mm)

Year	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Annual rainfall	Yield
2005-2006	0.0	62.7	0.0	53.0	14.8	22.4	0.0	2.0	0.0	2.6	23	0.0	180.5	809.5
2006-2007	0.0	12.0	106.2	29.8	98.9	40.9	56.9	52.0	0.0	0.0	13	0.0	409.7	809.5
2007-2008	3.0	21.4	1.42	42.1	2.0	0.0	6.8	1.0	0.0	0.0	0.0	0.7	78.5	342.2
2008-2009	0.0	24.2	42.8	18.1	18.3	99.5	31.8	0.0	3.13	0.0	10.2	0.0	248.2	511.5
2009-2010	0.0	0.0	0.0	4.0	63.1	6.4	23.2	2.6	0.0	2.6	0.0	1.2	103.1	542.4
2010-2011	0.0	34.2	0.0	107.8	87.9	4.4	12.4	0.0	0.0	0.6	12.8	0.0	260.1	409.5
2011-2012	1.4	49.5	17.1	46.8	106.9	49.2	1.3	0.0	1.6	0.1	0	0.8	274.7	528.7
2012-2013	0.1	47.3	0.0	43.4	3.8	22.3	68.9	8.3	0.0	0.4	27.2	0.1	221.8	535.9
2013-2014	0.1	43.9	0.2	21.8	30.1	73.4	33.1	4.1	0.0	0.2	0.8	0.0	207.7	535.9
2014-2015	0.0	71.6	37.1	51.6	71.0	55.2	0.0	10.7	0.0	0.8	0.0	0.4	298.4	446.4
2015-2016	0.0	14.2	0.0	46.8	0.5	32.9	11.2	1.4	0.0	1.6	0.0	0.0	108.6	402.6
2016-2017	0.0	7.3	0.6	29.4	277.5	126.2	1.2	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	444.2	855.6
2017-2018	10.3	24.6	8.5	4.9	40.8	4.8	23.1	8.8	0.0	0.0	0.0	1.5	127.3	663.9
2018-2019	0.4	11.8	93.8	10.2	37.5	122.5	84.8	7.4	0.0	6.6	0.0	0.3	375.3	935.1
2019-2020	0.0	22.7	42.9	143.9	14.6	106.0	59.1	1.6	0.0	5.1	0.4	0.4	396.7	938.2
2020-2021	0.0	1.2	17.4	0.1	22.4	9.3	12.3	0.5	0.0	72.7	0.2	0.0	136.1	744.5
Average	0.9	26.4	34.4	50.2	58.2	47.7	27.4	6.0	0.3	5.5	5.2	0.3	262.4	647.7

Table 3. Number of rainy days per month for 16 consecutive years

Year	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Rainy days
2005-2006	0	4	0	3	4	4	0	2	0	1	1	0	19
2006-2007	0	1	6	6	9	5	5	3	0	0	2	0	37
2007-2008	2	7	4	9	2	0	5	1	0	1	0	3	34
2008-2009	1	6	6	6	8	10	10	0	4	0	5	0	56
2009-2010	0	0	0	3	7	3	5	3	0	1	0	1	23
2010-2011	0	5	0	9	11	2	3	0	0	1	4	0	35
2011-2012	2	6	5	5	6	4	2	0	1	1	0	3	35
2012-2013	1	7	0	6	2	4	6	3	0	1	5	1	36
2013-2014	1	4	1	5	4	10	2	2	0	1	1	0	31
2014-2015	0	4	7	6	8	10	0	3	0	1	0	1	40
2015-2016	0	5	0	3	1	6	3	1	0	3	0	0	22
2016-2017	0	3	2	6	10	10	1	3	0	0	0	0	35
2017-2018	2	5	4	1	7	3	7	2	0	0	0	1	32
2018-2019	1	4	5	3	8	8	9	6	0	2	0	1	47
2019-2020	0	4	6	12	3	9	8	2	0	3	1	1	49
2020-2021	0	1	3	1	4	3	2	1	0	5	1	0	21
Average	0.6	3.9	3.5	5.5	5.8	5.9	4.2	1.9	0.3	1.2	1.2	0.7	34.6

Table 4. Distribution of monthly rainfall index

Year	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep
2005-2006	0.0	64.6	0.0	29.1	10.2	15.2	0.0	2.1	0.0	2.1	19.6	0.0
2006-2007	0.0	3.1	183.6	32.7	152.8	34.8	68.1	80.4	0.0	0.0	22.1	0.0
2007-2008	10.2	38.6	1.6	69.3	0.7	0.0	8.2	0.5	0.0	0.0	0.0	3.0
2008-2009	0.0	37.4	74.0	19.9	25.2	169.2	76.2	0.0	42.6	0.0	43.4	0.0
2009-2010	0.0	0.0	0.0	2.2	75.8	3.3	27.8	4.0	0.0	2.1	0.0	1.7
2010-2011	0.0	44.0	0.0	177.3	166.0	1.5	8.9	0.0	0.0	0.5	43.5	0.0
2011-2012	4.8	76.5	24.6	42.8	110.1	33.5	0.6	0.0	5.4	0.1	0.0	3.4
2012-2013	0.2	85.3	0.0	47.6	1.3	15.2	99.0	12.8	0.0	0.3	115.6	0.1
2013-2014	0.2	45.2	0.1	19.9	20.7	124.8	15.9	4.2	0.0	0.2	0.7	0.0
2014-2015	0.0	73.8	74.8	56.6	97.5	93.8	0.0	16.5	0.0	0.6	0.0	0.6
2015-2016	0.0	18.3	0.0	25.7	0.1	33.6	8.0	0.7	0.0	3.9	0.0	0.0
2016-2017	0.0	5.6	0.3	32.2	476.5	214.5	0.3	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2017-2018	35.0	31.7	9.8	0.9	49.0	2.4	38.7	9.1	0.0	0.0	0.0	2.1
2018-2019	0.7	12.2	135.1	5.6	51.5	166.6	182.7	22.9	0.0	10.7	0.0	0.4
2019-2020	0.0	23.4	74.2	315.7	7.5	162.2	113.2	1.6	0.0	12.4	0.3	0.6
2020-2021	0.0	0.3	15.0	0.0	15.4	4.7	5.9	0.3	0.0	294.3	0.2	0.0

Table 5. Seasonal and annual rainfall index for 16 years

Year	Fall	Winter	Spring	Summer	Annual
2005-2006	48.5	32.1	12.2	18.9	99.0
2006-2007	2.3	334.1	162.3	9.6	437.5
2007-2008	58.2	46.3	3.9	0.0	77.0
2008-2009	32.8	107.4	218.9	44.3	401.1
2009-2010	0.2	45.4	29.5	1.0	68.4
2010-2011	33.0	265.1	7.0	24.8	262.7
2011-2012	109.9	185.1	25.3	1.3	277.5
2012-2013	82.6	25.6	107.8	61.2	230.5
2013-2014	42.5	35.3	129.0	0.7	185.8
2014-2015	69.5	227.1	71.4	0.3	344.5
2015-2016	13.7	12.8	37.9	1.8	69.0
2016-2017	4.2	374.9	151.0	0.0	448.72
2017-2018	56.3	44.1	36.7	0.0	117.57
2018-2019	14.5	153.3	411.5	4.9	509.11
2019-2020	22.3	286.5	263.9	8.1	561.04
2020-2021	0.2	21.6	11.1	161.6	82.49

در ادامه رابطه میزان عملکرد و شاخص بارش ماهانه طی معادلات رگرسیون چندمتغیره تعیین گردید که رابطه آن به صورت زیر تعیین شد. داده‌ها مربوط به سال 2005-2006 الی 2020-2021 می‌باشند.

$$y = 0.987Nov - 1.711Dec + 0.308Jan + 0.548Feb + 1.446Apr + 1.269May + 0.602Jun + 0.336Jul - 1.185Aug \quad (6)$$

در این رابطه ضرایب ماه‌های مارچ، سپتامبر و اکتبر به علت معنی‌دار نبودن تأثیر این ماه‌ها در رابطه نهایی حذف گردید. با توجه به نتایج می‌توان گفت که ماه‌های آوریل و سپس ماه می و نوامبر بیشترین تأثیر مثبت را بر میزان عملکرد نهایی داشته‌اند. منفی بودن تأثیر بارش در ماه مرداد می‌تواند به علت رسیدگی کامل میوه در این ماه و کاهش عملکرد به علت بارش در این مرحله جمع‌آوری میوه‌ها باشد. بنابراین می‌توان گفت که بارش تنها در اوایل فصل تابستان بر عملکرد درخت تأثیر مثبت دارد. همچنین ارتباط میزان عملکرد و شاخص بارش فصلی به صورت زیر مشخص شد:

$$y = 0.377Spring + 0.258Summer + 0.357Winter \quad (7)$$

بر اساس روابط فوق برای شاخص بارش فصلی می‌توان گفت که فصل بهار و زمستان بیشترین اثر را بر میزان عملکرد دارد.

همچنین رابطه میزان عملکرد و شاخص سالانه در شکل (2) ارائه شده است.

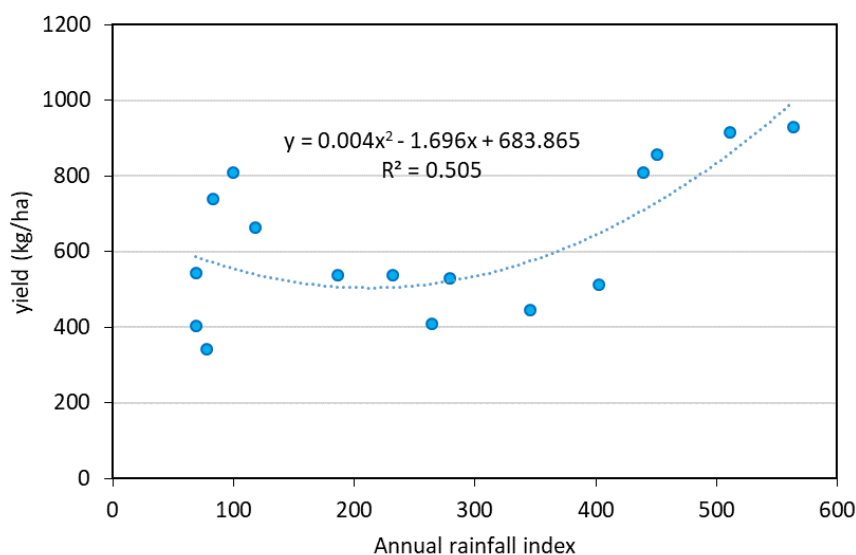


Figure 2. Relationship between fig yield (kg/ha) and annual rainfall index

همانطور که در نمودار شکل (2) دیده می‌شود مقدار عملکرد با افزایش مقدار بارندگی افزایش می‌یابد. این ارتباط برای سالهای 1995 تا 2007 توسط (Bagheri and Sepaskhah, 2014) تعیین شد که معادله نهایی متفاوت می‌باشد و علت آن به میزان بارش‌های متفاوت در نظر گرفته شده در آن دوره مطالعاتی مربوط می‌شود. با در نظر گرفتن کل دوره مطالعاتی به‌صورت مجموع تمامی داده‌ها، نمودار به‌صورت شکل (3) تعیین می‌شود (در این نمودار نقاط توخالی، از معادله نهایی حذف شده است).

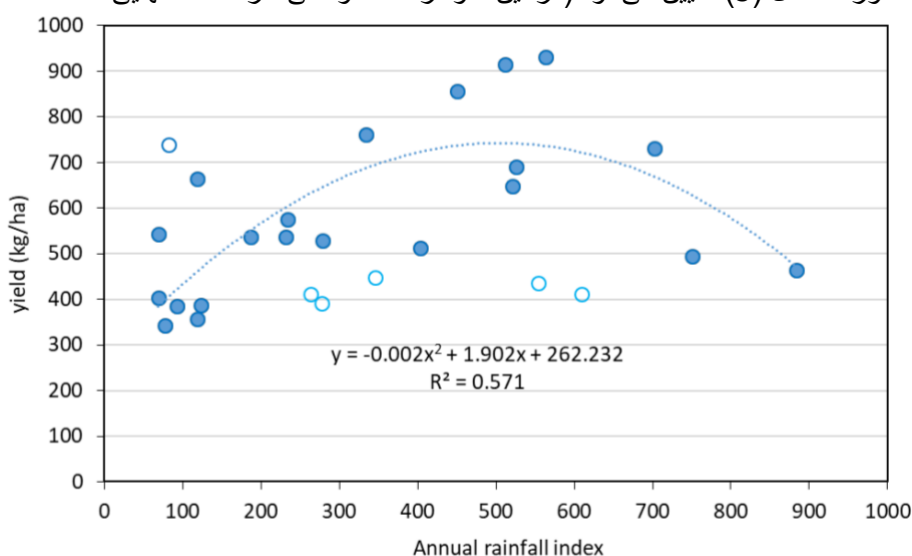


Figure 3. Relationship between fig yield (kg/ha) and annual rainfall index for all data

در شکل (3) چنانچه مشاهده می‌شود تا مقدار برابر با 600 ، نمودار به‌صورت افزایشی و پس از آن مقدار عملکرد کاهش می‌یابد. همچنین در تحقیقی مشابه (Rodrigo-Comino et al. 2021) بیان کردند که شرایط اقتصادی و اقلیمی بر تولیدات اراضی دیم کشاورزی تأثیرگذار است. آنها، با بررسی همبستگی بین تغییرات بارش و تولید کل زیتون نشان دادند که با افزایش بارندگی در اواسط تابستان و انتهای پاییز مقدار تولید نیز افزایش می‌یابد. همچنین تولید زیتون، به‌شدت خشکسالی و توزیع ماهانه بارش بستگی دارد.

3.1. برآورد بارش مؤثر با استفاده از روش‌های مختلف و داده‌های ماهواره ای

با توجه به‌نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که بارش نقش عمده ای در تولید محصول در این منطقه دارد. با توجه به گستردگی انجیرستان‌های این شهرستان و عدم وجود ایستگاه هواشناسی در بسیاری از مناطق دوردست دارای باغات انجیر، داده‌های بارش ماهواره‌ای می‌تواند در تعیین مقدار بارش مؤثر در این نقاط کمک کند.

بر این اساس، داده‌های بارش ماهانه از پایگاه‌های مختلف ماهواره‌ای تهیه شد. میزان دقت (R^2) و معیارهای خطای (RMSE و NRMSE) مربوط به مقایسه داده‌های پایگاه داده‌های بارش در مقایسه با مقادیر ایستگاه زمینی در جدول (6) ارائه شده است. سپس با کمک روش‌های مختلف، میزان بارش مؤثر به‌صورت ماهانه تعیین شد (جدول 7). بر این اساس پایگاه داده GPM

مناسبترین معیارهای RMSE، NRMSE و R^2 ارائه کرد که به ترتیب نشانه کمترین خطا و بیشترین دقت برای این پایگاه داده است.

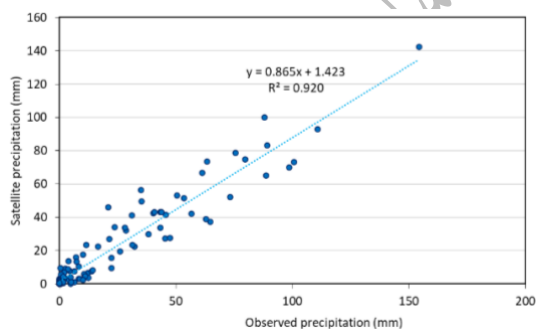
Table 6. Statistical indicators related to Rainfall dataset for a period of time during 2010-2020

Rainfall dataset	RMSE	NRMSE	R^2
CHIRPS	21.54	0.99	0.83
ERA5	17.69	0.82	0.90
ERA5-Land	15.46	0.71	0.88
GPM	11.81	0.55	0.92
PERSIANN	18.64	0.94	0.78
GSMaP	28.27	1.42	0.48

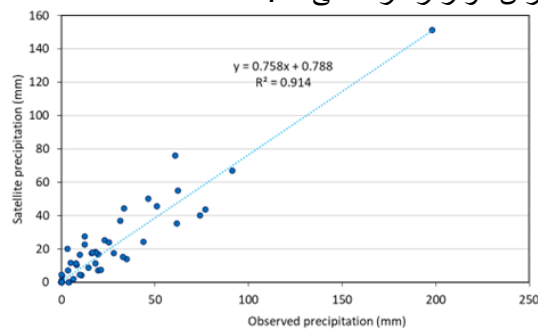
Table 7. The statistical criteria for different effective rainfall methods for a period of time during 2010-2020

USDA				
Rainfall dataset	RMSE	NRMSE	R^2	r
CHIRPS	14.69	0.80	0.83	0.91
ERA5	12.28	0.66	0.89	0.94
ERA5-Land	11.80	0.64	0.86	0.93
GPM	8.41	0.46	0.92	0.96
PERSIANN	14.50	0.78	0.76	0.87
GSMaP	20.60	1.11	0.56	0.75
ET Rainfall				
Rainfall dataset	RMSE	NRMSE	R^2	r
CHIRPS	21.54	0.99	0.84	0.91
ERA5	17.69	0.82	0.91	0.95
ERA5-Land	14.88	0.73	0.88	0.94
GPM	11.81	0.55	0.92	0.96
PERSIANN	19.63	0.91	0.78	0.89
GSMaP	29.45	1.36	0.48	0.70
Dependable				
Rainfall dataset	RMSE	NRMSE	R^2	r
CHIRPS	15.40	1.59	0.84	0.92
ERA5	12.42	1.28	0.91	0.95
ERA5-Land	15.46	0.71	0.88	0.94
GPM	8.31	0.86	0.91	0.96
PERSIANN	14.68	1.51	0.78	0.88
GSMaP	20.39	2.10	0.35	0.59

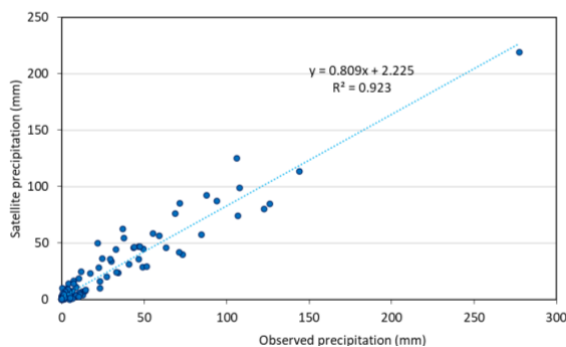
همچنین شکل (4)، نتایج صحت‌سنجی این پایگاه داده با داده‌های زمینی در محاسبه بارش مؤثر به روش‌های مختلف برآورد بارش مؤثر را ارائه می‌دهد.



(a)



(b)



(c)

Figure 4. Comparison of effective rainfall with GPM data and using a) dependable b) ET-Rainfal and c) USDA methods for a period of time during 2010-2020

به‌طور کلی، در میان روش‌های مختلف برای محاسبه بارش مؤثر، روش USDA به‌عنوان بهترین گزینه برای نمایش این پارامترها معرفی شد. این روش دقت بالایی در برآورد بارش مؤثر و توانایی مناسب در تطبیق با داده‌های GPM، نشان داد. پایگاه داده‌های بارش می‌تواند امکان فراهم آوردن اطلاعات دقیق و کاربردی برای برآورد محصول انجیر دیم و همچنین تعیین مکان‌های مناسب برای کشت دیم در منطقه استهبان با توجه به الگوی بارشی آن را فراهم سازد. توجه به پارامترهای اقلیم‌شناسی کشاورزی می‌تواند منطقه مناسب برای تولید انجیر را به‌طور مناسب‌تری تعیین کند (Bagheri and Sepaskhah, 2014). (Amiji et al. (2019). در تحقیقی با بررسی اهمیت پهنه‌بندی باران مؤثر در اراضی تحت کشت گندم دیم در استان خوزستان، مقادیر بارش مؤثر را به روش‌های FAO، USDA، تجربی و حل معکوس برآورد کردند. نتایج نشان داد، که در ماه‌های کم بارش، روش USDA، بهترین روش برای برآورد باران مؤثر است.

Sun et al. (2022) بیان کردند تخمین‌های بارش مبتنی بر ماهواره و تحلیل مجدد²، مکمل و جایگزین مهمی برای داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های زمینی هستند. نتایج آنها با در رابطه با اندازه‌گیری‌های بارش روزانه پایگاه داده‌های GSMaP، PERSIANN، ERA5 و IMERG، Fy-2، CMORPH، GPM، CDR سال بستگی دارد. که عملکرد این محصولات بارش با توجه به اقلیم مناطق و فصول

4. نتیجه‌گیری

در این تحقیق ارتباط بین میزان عملکرد و شاخص بارش در مقیاس‌های مختلف زمانی، تعیین شد. بر این اساس بارش در ماه‌های مختلف بهار و زمستان بیشترین تأثیر را بر بهبود عملکرد دارد. بنابراین، با توجه به توزیع زمانی بارش، محدودیت‌های موجود در منابع آب و همچنین دوره رشد گیاه، توصیه می‌شود در صورت نیاز به انجام آبیاری تکمیلی، این عملیات در ماه ابتدای بهار انجام شود. با توجه به محدودیت در وجود ایستگاه‌های هواشناسی در مناطق دیم‌کاری و بخصوص انجیرستان‌های کشور، مقدار بارش مؤثر بر اساس روش‌های مختلف و با ارزیابی پایگاه داده‌های بارش ماهواره ای تعیین شد. به‌طور کلی بر اساس نتایج به‌دست آمده، می‌توان GPM را مناسب‌ترین پایگاه داده و USDA را مناسب‌ترین روش برآورد بارش مؤثر از میان روش‌های مورد بررسی معرفی کرد. نتایج به‌دست آمده، به‌عنوان پایه‌ای برای بهبود و بهینه‌سازی مدل‌ها و روش‌های محاسبه بارش مؤثر در مناطق دیم‌کاری و بخصوص در انجیرستان‌ها، قابل استفاده می‌باشد.

5. پی‌نوشت‌ها

1. Effective rainfall
2. Dependable rain method
3. Reanalysis datasets

6. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

- Abdolahipour, M., Kamgar-Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2018). Time and amount of supplemental irrigation at different distances from tree trunks influence on soil water distribution, evaporation and evapotranspiration in rainfed fig orchards. *Agricultural Water Management*, 203, 322-332.
- Abdolahipour, M., Kamgar-Haghighi, A. A., Golkar, Gh. R., & Kamali, H. R. (2022). Evaluation of the effect of supplemental irrigation with saline water on quality and quantity of rainfed fig fruit. *Journal of Water and Irrigation Management*, 12(4), 695-711. (In Persian).
- Abdolahipour, M., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., Dalir, N., Shabani, A., Honar, T., & Jafari, M. (2019). Supplemental irrigation and pruning influence on growth characteristics and yield of rainfed fig trees under drought conditions. *Fruits*, 74(6), 282-293.
- Adnan, S., & Khan, A. H. (2009). Effective rainfall for irrigated agriculture plains of Pakistan. *Pakistan Journal of Meteorology*, 6(11), 61-72.
- Amiji, M. P., Hooshmand, M., Raja, O., & Liaghat, A. (2019). Effective Rain Zoning in Khuzestan province under autumn rainfed wheat cultivation. *Journal of Water and Irrigation Management*, 2(9), 211-230.
- Bagheri, E., & Sepaskhah, A. R. (2014). Rain-fed fig yield as affected by rainfall distribution. *Theoretical and applied climatology*, 117, 433-439.
- Barideh, R., Veysi, S., Ebrahimipak, N., & Davatgar, N. (2022). The challenge of reference evapotranspiration between the WaPOR data set and geostatistical methods. *Irrigation and Drainage*, 71(5), 1268-1279.
- Dastane, N. G. (1974). *Effective rainfall in irrigated agriculture*, FAO Irrigation and Drainage Paper 25, FAO, Rome.
- Dinku, T., Ruiz, F., Connor, S. J., & Ceccato, P. (2010). Validation and intercomparison of satellite rainfall estimates over Colombia. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(5), 1004-1014.
- Fallah, A., Rakhshandehroo, G. R., Berg, P., O, S., & Orth, R. (2020). Evaluation of precipitation datasets against local observations in southwestern Iran. *International Journal of Climatology*, 40(9), 4102-4116.
- FAOSTAT, F., Available online: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>. 2016.

- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Honar, T., Shabani, A., Abdolahipour, M., Dalir, N., Sepaskhah, A. R., Haghighi, A. A., & Jafari, M. (2021). Rain-fed fig trees response to supplemental irrigation timing and potassium fertiliser in micro-catchment. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 96(6), 738-749.
- Jafari, M., Haghighi, J. A. P., & Zare, H. (2012). Mulching impact on plant growth and production of rainfed fig orchards under drought conditions. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 10(1), 428-433
- Khozaie, M., & Sepaskhah, A. R. (2018). Economic analysis of the optimal level of supplemental irrigation for rain-fed figs. *Iran Agricultural Research*, 37, 17-26.
- Marchi, C. D., Georgakakos, A., & Peters-Lidard, C. (2007). *Probabilistic estimation of precipitation combining geostationary and TRMM satellite data*. IAHS Press.
- Nouri, M., & Veysi, S. (2023). Drought Monitoring and Trend Analysis by Using Rainfall Products ERA5, CHIRPS, and PERSIANN-CDR Rainfall Products in Iran. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 13(2), 109-123.
- Oweis, T., Hachum, A., & Pala, M. (2004). Lentil production under supplemental irrigation in a Mediterranean environment. *Agricultural water management*, 68(3), 251-265.
- Rodrigo-Comino, J., Senciales-González, J. M., Yu, Y., Salvati, L., Giménez-Morera, A., & Cerdà, A. (2021). Long-term changes in rainfed olive production, rainfall and farmer's income in Bailén (Jaén, Spain). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 6(2), 58.
- Sepaskhah, A., Honar, T., & Rezaee, A. (2003). Effects of rainfall distribution on the dryland wheat yield with an economic analysis in southern provinces of IR Iran. *Iran Agricultural Research*, 22, 89-104.
- Sun, Z., Long, D., Hong, Z., Hamouda, M. A., Mohamed, M. M., & Wang, J. (2022). How China's Fengyun satellite precipitation product compares with other mainstream satellite precipitation products. *Journal of Hydrometeorology*, 23(5), 785-806.
- Tong, K., Su, F., Yang, D., & Hao, Z. (2014). Evaluation of satellite precipitation retrievals and their potential utilities in hydrologic modeling over the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology*, 519, 432-437.
- Veysi, S., Nouri, M., & Jabbari, A. (2024). Reference evapotranspiration estimation using reanalysis and WaPOR products in dryland Croplands. *Heliyon*.
- Yau, S. K., Nimah, M., & Farran, M. (2011). Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 98(12), 1776-1781.
- Zeng, Q., Wang, Y., Chen, L., Wang, Z., Zhu, H., & Li, B. (2018). Inter-comparison and evaluation of remote sensing precipitation products over China from 2005 to 2013. *Remote Sensing*, 10(2), 168.

Evaluation of the Relationship between Rainfed Fig Orchards Yield and Effective Precipitation using Remote Sensing Datasets

Faezeh Khoshrou¹, Behzad Azadegan^{2*}, Shadman Veysi³, Mohammad Abdolahipour⁴

1. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: faezeh.khoshrou@ut.ac.ir

2. Corresponding Author, Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: bazad@ut.ac.ir

3. Shadman Veysi, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: shadman2010@yahoo.com

4. Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Technology, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: m.abdolahipour@gmail.com

Abstract

Appropriate precipitation can play a crucial role in providing soil water content in rainfed fig orchards. Meanwhile, one of the main problems in most rainfed agriculture areas is the unavailability of rainfall data, which satellite rainfall datasets can help to solve this problem. The area investigated in this research is rainfed fig orchards of Estahban and the rainfall data of the meteorological station located in the area was applied for different periods of time. In this research, first, the relationship between yield and distribution of precipitation values in different time scales (monthly, seasonal and annual) was determined. Then the amount of satellite-derived rainfall was found using the rainfall datasets (i.e. CHIRPS, ERA5, ERA5-Land, GPM, PERSIANN and GSMaP) and based on these values, the amount of effective rainfall was calculated using different methods including USDA, ET-Rainfall, and Dependable Rain for the time period range between 2005 and 2021. Results showed, the rainfall in the months of April and then in May and November has had the greatest effect on improving the yield of the crop. Additionally, it is recommended supplemental irrigation events at the beginning of spring to provide higher soil water content for fig orchards in drought conditions. Based on the analyzed statistical criteria, it can be said that GPM was the most suitable dataset and USDA was the best effective rainfall method among the investigated methods in the area.

Keywords: Effective precipitation, Estahban, GPM dataset, USDA method, Yield.

* Email: bazad@ut.ac.ir