نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار/ جلد ۲۷ شماره ۲/ تابستان ۱۳۹۶

تعیین بهره‌وری بهینه مصرف آب در پایداری تولید گندم

سحر شیبانی[۱*]، احمد قنبری[۲]، محمدرضا اصغری‌پور[۲]، بهروز ابول‌پور[۲]

تاریخ دریافت: ۹۵/٤/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹٦/۳/۷

۱-دانشجوی دکتری اگرواکولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل
۲-استاد و دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زابل و استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس
*مسئول مکاتبه: Email- sheibani.sahar@gmail.com

.

چکیده

منابع در اختیار انسان محدود است و مفهوم کارآمدی منابع در واقع پاسخ و تدبیر انسان برای استفاده صحیح از منابع در برابر این محدودیت است. تحلیل پایداری مبنایی برای تعیین استانداردهای محیطی است که میزان بهره‌برداری از منابع را تعیین و کنترل می‌کند و بیان کننده فاصله بین شرایط بهینه و وضعیت موجود می‌باشد. در کشاورزی، پایداری منابع بیش از هر چیز به نوع بهره‌برداری و الگوی کشت وابسته است. تعیین کارآیی تولید در مزارع مختلف و تعریف مقدار پتانسیل آن در منطقه می‌تواند برای ارزیابی پایداری تولید مورد استفاده قرار گیرد. در تحقیق حاضر روشی برای دستیابی به مقادیر پتانسیل کارآیی تولید محصول (PCWP) در شرایط عدم قطعیت تعریف شد و با مقادیر واقعی آن که از اندازه‌گیری‌های میدانی بدست آمد، مقایسه گردید. از این فرآیند شاخصی جهت ارزیابی پایداری منابع آب و معرفی مزارع برتر حاصل گردید. علاوه براین برای ارزیابی اعتبار کارآئی تولید درون مزرعه نیز استفاده گردید. نتایج نشان داد که میزان هیدرومدول بهینه تأمین آب در منطقه برابر با ۰/٤٤لیتربرثانیه‌برهکتار بود که در شرایط فعلی میزان برداشت آب بطور متوسط بیش از دوبرابر این مقدار می‌باشد. میزان متوسط ریسک پایداری تولید گندم برابر با ۳۸درصد برآورد گردید. با بهره‌گیری از روش‌های عدم‌قطعیت مزارع برتر شناسایی شدند که می‌توانند به عنوان الگوهای مناسبی در افزایش ضریب مدیریتی و در نتیجه افزایش CWP نقش داشته باشند. متوسط CWP در مزارع برتر یک و در کل منطقه ٥٤٪ بود اما انتخاب مزارع برتر صرفاً به دلیل CWP بالا نبود و احتمال دستیابی به آن نیز مدنظر بود.

واژه‌های کلیدی: پایداری، ریسک، عدم‌قطعیت، کارآیی، مدل‌سازی، منابع آب

Determining the Optimal Water Use Efficiency in Wheat Production Sustainability

Sahar Sheibani[1], Ahmad Ghanbari[2], Mohammad Reza Asghari Pourchaman[2], Behrouz Abolpour[2]

Received: July 13, 2016 Accepted: May 28, 2017
1-PhD Student, Dept. of Agroecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, Iran.
2-Prof., Dept. of Agroecology, Faculty of Agriculture, Zabol University, and Dept of Agricultural Engineering Research, Agricultural & Natural Resources Research & Education Center, Fars, Iran.
Corresponding Author: Email: sheibani.sahar@gmail.com.

Abstract

Environmental resources that available for human are limited and the concept of resource efficiency is the human response and management for the correct use of resources against this limitation. Sustainability analysis is the basis for setting environmental standards that define and control the level of resource utilization that express the distance between the optimum conditions and the current situation. Impermanence of resources, especially water resources is one of the main challenges that the whole world including our country, Iran is facing severely. In agriculture, sustainability of this resource depends to type of utilization methods and cropping pattern more than anything else. Therefore, determining and comparing the crop production efficiency of different fields and its potential value could be used for determining the sustainability in the region. Therefore, in this study potential crop water productivity (PCWP) defined and compared with actual values that were obtained from field measurements. Moreover, a method for evaluating the validity of farm production efficiency was introduced that is essential for identifying the key issues of water resources management. Results showed that an optimum value of water supplying hydro-module is equal to 0.44 (Lit/sec-ha) that current water harvesting are more than two times of it and the average production sustainability risk is about 38%. By using uncertainty method superior farms identified which could be applied as models that contributed in increasing management factor and consequently CWP. The average values of CWP in superior farm was 1and 54% in other parts of the region. High CWP was not the reason for selecting the farm as a superior but its probability was also considered.

Keywords: Modeling, Performance, Risk, Sustainability, Uncertainty, Water Resource

مقدمه

در دنیای کنونی کمبود منابع طبیعی در کنار تقاضای روزافزون برای نهاده‌های تولید، ضرورت توجه به پایداری منابع را پیش از پیش مشخص می‌کند. پایداری یکی از مؤلفه‌های اصلی تولید محصولات کشاورزی به شمار می‌رود که امنیت غذایی و بهره‌مندی از منابع تولیدی را برای نسل‌های کنونی و آینده در پی خواهد داشت (تشکری ۱۹۹۸، سرتوی ۲۰۰۵، باچیو ۲۰۰۸). کارآیی مصرف آب می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های ارزیابی پایداری کشاورزی خصوصاً در

مناطق خشک و نیمه‌خشک استفاده گردد. چرا که در تعریف کارایی مصرف آب، میزان تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی بررسی می‌شود. از آنجایی که میزان آب مصرفی تحت تأثیر نحوه مدیریت و ظرفیت منابع آب بوده، می‌تواند نقش کلیدی در پایداری منابع آب داشته باشد.

هدف از ارائه مفهوم بهره‌وری آب آن است که پشتیبان نتایج آزمایش‌های زراعی مرتبط با آب و تمهیدات مدیریت آبیاری بوده و همچنین فرصت‌ها برای صرفه‌جویی در مصرف آب و بهبود بهره‌وری آب، به همراه پشتیبانی فرایندهای تصمیم‌سازی برای تخصیص آب را مشخص سازد (بسیم باندر و همکاران ۲۰۰۵). استفاده از مفهوم بهره‌وری آب بستگی به مقیاس کار و استفاده از آن دارد. این چالش' کدام محصول و کدام قطره آب 'نامیده شده است (مولدن ۱۹۹۷).

برخی نیز ارزش اقتصادی محصول تولیدی را به ازای واحد آب مصرفی به عنوان کارآیی مصرف آب تعریف نموده‌اند. میزان عملکرد و نیاز آبی از پارامترهای اصلی جهت محاسبه شاخص کارآیی مصرف آب با هرکدام از روابط مطرح شده در منابع می‌باشند. عملکرد گیاه علاوه بر خصوصیات گیاه زراعی به شرایط آب و هوایی، خصوصیات خاک، مقدار و زمان آبیاری بستگی دارد (فرهادی بانسوله ۲۰۰۹). با توجه به اینکه شرایط آب وهوایی و خصوصیات خاک در مناطق مختلف یک دشت متغیر می‌باشند می‌توان انتظار داشت که عملکرد محصول نیز در مناطق مختلف متفاوت باشد. نیاز آبی محصولات نیز علاوه بر نوع محصول به شرایط آب و هوایی بستگی دارد و بنا به همان استدلال قبلی در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که کارآیی مصرف آب در مناطق مختلف یک دشت دارای تغییرات مکانی باشد (فرهادی بانسوله ۲۰۰۹).

با توجه به اینکه عوامل مؤثر در کارآئی مصرف آب یعنی میزان عملکرد و میزان آب در دسترس دارای تغییرات زمانی و مکانی می‌باشند در نتیجه کارآئی مصرف آب نیز یک مقدار نامطمئن است که دامنه تغییرات آن تحت تأثیر عوامل فوق قرار می گیرد. در این صورت، اگر کارآئی مصرف آب به عنوان شاخص ارزیابی مورد استفاده قرار گیرد، نیاز است عدم‌قطعیت آن نیز مورد توجه قرار گرفته و دامنه تغییرات آن نیز مدل گردد. همچنین از نظر فنی نیز، مقایسه میزان بهره‌وری مصرف آب در مزرعه با مقدار جهانی آن به منظور تعیین فاصله بین بهره‌وری بالقوه و بالفعل ضروری می‌باشد (شکیر و همکاران ۲۰۱۰).

کارآئی مصرف آب [1]، تابعی از عوامل مختلف مانند کمبود فشار بخار آب اتمسفر، حاصلخیزی خاک، آبیاری، و کنترل آفات و بیماری‌ها است. به عنوان یک قاعده کلی، هر عامل مدیریتی که سبب افزایش عملکرد محصول گردد سبب افزایش میزان کارآئی مصرف آب نیز می‌گردد. به طور کلی کارآئی مصرف آب نسبت به عملکرد، به تغییرات در این عوامل، حساسیت کمتری نشان می‌دهد (لیو و همکاران ۲۰۰۷). این شاخص بسیار گسترده بوده و جنبه‌های اقتصادی، زراعی، هیدرولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی را نیز پوشش می‌دهد (دیهیم‌فرد و همکاران ۲۰۰۷). مشابه تعریف منیچی و روساتی در خصوص پایداری، کارآئی تولید نیز می‌تواند شاخص مناسبی برای تعیین پایداری تولید در حال و آینده باشد (منیچی و روساتی ۲۰۱۳).

گندم به عنوان یک محصول استراتژیک، نقش بسیار مهمی در امنیت غذایی کشور دارا می‌باشد. این نکته خود باعث شده کشت سایر محصولات زراعی را تحت الشعاع قرار دهد بنابراین رقابت بین این محصول با سایر محصولات در اکثر دشت‌های کشور همراه با تغییرات اقلیمی سال‌های اخیر از جمله خشکسالی‌ها، الگوی کشت اکثر مناطق کشور را تحت تأثیر قرار داده

[1] Crop water productivity

است. در این شرایط نه تنها تغییر در الگوی کشت خود به تنهایی باعث عدم پایداری بخش کشاورزی گردیده، بلکه بحران‌های شدیدی در تأمین آب مصرفی محصولات و عدم پایداری منابع آب را به دنبال داشته است.

بیات و همکاران (۲۰۱۰) به منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی بهره‌وری مصرف آب گندم، تحقیقی در محدوده جغرافیایی استان همدان انجام دادند. نتایج این پژوهش که با هدف شناسایی بهترین مکان و زمان برای کشت گندم برای دستیابی به حداکثر محصول در ازای واحد آب مصرفی بود نشان داد محدوده‌های غرب وجنوب‌غربی استان دارای بیشترین بهره‌وری آب در تولید گندم می‌باشند.

کار و ورما (۲۰۰۵) و منتجبی (۲۰۰٤) بیان کردند که گرچه آب عامل بسیار مؤثر بر عملکرد محصول می‌باشد ولی کارآیی مصرف آن با افزایش آب آبیاری رابطه مستقیم و خطی نداشته و حداکثر عملکرد، همواره عملکرد اقتصادی نمی‌باشد.

آبسالان و همکاران (۲۰۱۰)، کارایی مصرف آب مزارع گندم حوضه آبریز کرخه را تعیین کردند، کارایی مصرف آب در این منطقه از ۰,۱ تا ۱,۲ کیلوگرم بر مترمکعب متغیر بود ولی٦۰ درصد مزارع دارای تغییرات از ۰,۳ تا ۰,٦ کیلوگرم بر مترمکعب بودند، در آن تحقیق متوسط کارایی مصرف آب حدود ۰,٤٥ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید.

حیدری (۲۰۱۱)، به تعیین شاخص کارایی برای محصولات مختلف زراعی در مصرف آب مناطق مختلف کشور پرداختند. بر اساس نتایج مطالعه مذکور، میانگین شاخص کارایی برای کلیه محصولات ۱,۳۸ کیلوگرم بر مترمکعب در تمامی مناطق انتخاب شده بدست آمد. نتایج آن بررسی همچنین نشان داد که مهمترین فاکتور در بالا بودن کارایی مصرف آب، مدیریت زراعی بوده و مهارت و دانش فنی کشاورزی نقش کلیدی، در این زمینه ایفا می‌نماید.

اولین مرحله در شکل‌گیری مسائل و تحلیل عدم‌قطعیت‌های مختلف، کمی‌سازی ریسک است که عواملی چون شکست و ریسک را به دنبال دارد. کمی‌سازی ریسک اهمیت زیادی در علوم مهندسی و کشاورزی دارد. چرا که اساس شبیه‌سازی در تخمین و طراحی مهندسی، هرچه بهتر کمی شدن عوامل مختلف اثرگذار می‌باشد.دو روش تئوری کلی در این خصوص وجود دارند: ۱-روش‌های احتمالاتی۲-روش‌های حاصله از تئوری مجموعه‌ای فازی (گانولیس ۲۰۰۹).

از این رو در تحقیق حاضر مقادیر پتانسیل بهره‌وری تولید محصول (CWP) تعریف شد و مقادیر واقعی آن که از اندازه‌گیری‌های میدانی بدست آمده مقایسه شدند. از این مقایسه ضریب مدیریتی مصرف آب تعیین و اعتبار میزان تولید گندم در منطقه پاسارگاد استان فارس، ایران محاسبه شد. با کمی‌سازی اعتبار و ریسک تولید این محصول در شرایط عدم اطمینان، مزارع برتر در انطباق بهتر با شرایط تغییر اقلیم و میزان آب در دسترس شناسایی شدند. داده‌های مزارع گندم آبی واقع در این منطقه برای توسعه مدل‌های شبیه‌سازی برای نمایش پراکندگی مکانی عملکرد و کمی کردن ریسک مقدار آب در دسترس مورد استفاده قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه دشت کمین واقع در شهرستان پاسارگاد استان فارس با وسعت ۱۷٥٤کیلومتر و اقلیم خشک می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه۲۸۰میلی‌متر با حداکثر۵۱۹و حداقل۱۵۲/۵میلی‌متر می‌باشد. کل اراضی منطقه ٤۰۰۰۰هکتار می‌باشد که۲۲۰۰۰هکتار آن اراضی زراعی و٦۰۰هکتار باغ آبی می‌باشد. بیش از۹۵درصد از منابع آب زیرزمینی منطقه برای کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد (شکل۱).

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

در این تحقیق ۲۰ ناحیه آبیاری (مناطق داده‌ای) که در مجموع در حدود ۳ هزار هکتار را شامل می‌شود بطور تصادفی در منطقه انتخاب شدند. این نواحی آبیاری خود شامل تعدادی قطعات زراعی و باغی بود. در هر ناحیه آبیاری ۳ تا ۷ مکان داده‌برداری و اندازه‌گیری مستقیم انتخاب گردید.این مکان‌های داده‌برداری که مزارع پایش نامیده می‌شوند، شامل یک یا چند مزرعه یا باغ نزدیک به هم بوده و غالباً در فاکتورهای مهم مخصوصاً نوع کشت یا منابع تأمین آب شرایط مشابه‌ای دارند. تناسب اراضی، کمیت و کیفیت آب، میزان عملکرد گندم و نسبت سود به هزینه فعالیت‌های کشاورزی در مناطق پایش در طول مدت یک سال اندازه‌گیری شدند.

در منطقه ۷۴۹ حلقه چاه عمیق و نیمه‌عمیق وجود داشته که تأمین آب کل اراضی منطقه را به عهده دارند. در سال ۱۳۹۰ سازمان آب منطقه‌ای استان فارس مطالعات جامعی در ثبت مشخصات و ویژگی‌های چاه‌های منطقه انجام داده بود که نتایج آن در فایل‌های پایگاه داده‌ای GIS ذخیره‌سازی شده بود. برای اندازه‌گیری دبی برداشت آب از چاه‌های منطقه از بین چاه‌های موجود در منطقه۲۰۰حلقه چاه به صورت تصادفی انتخاب و میزان برداشت آنان به روش گونیا، مولینه و غیره اندازه‌گیری شدند. با بهره‌گیری از روش شبکه عصبی استنتاج فازی[2] روند تغییرات سایر چاه‌هایی که اندازه‌گیری نشده بودند تخمین زده شد و دبی‌های برداشت از چاه‌های منطقه به روزرسانی شدند.

با توجه به اینکه انواع گوناگونی از انتقال آب از ایستگاه پمپاژ به مزارع یا باغ‌های مصرف کننده آب در منطقه وجود داشت فرض تأمین آب اراضی اطراف از طریق چاه (مربوط به همان مزرعه) همواره صادق نبوده و اصلاحاتی در این خصوص نیاز بود. لذا به منظور افزایش دقت تخمین هیدرومدول از داده‌های میدانی دیگری به جز سطح و میزان برداشت آب از چاه نیز استفاده گردید. در این راستا اطلاعاتی در خصوص منابع تأمین آب هر قطعه از طریق پرسشنامه از زارعین منطقه جمع‌آوری گردید. اطلاعاتی مانند نوع منبع تأمین آب، موقعیت مکانی منبع تأمین آب، زمان و مدت تأمین پس از جمع‌آوری از طریق پرسشنامه در پایگاه اطلاعاتی موجود در نرم‌افزارArcMap بر روی پلی‌گون‌های مربوط به قطعات زراعی ذخیره‌سازی شدند. سپس بر اساس میزان دبی در دسترس هر قطعه و سطح آن، هیدرومدول منبع تأمین آب محاسبه و در

[2] ANFIS

پایگاه داده‌ای پلی‌گونی قطعات زراعی ذخیره‌سازی گردید.

فاکتورهای کیفی آب مانند pH و هدایت الکتریکی EC بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر اندازه‌گیری شدند. این اندازه‌گیری‌ها مشابه مباحث تعمیم داده‌ها در بخش تعمیم داده‌های بروز رسانی داده‌های دبی برداشت آب از چاه بروزرسانی شدند. مشابه حالت قبل، این داده‌ها به صورت پلی‌گونی کلاس شوری آب در محیط ArcMap ذخیره‌سازی شدند. سپس با استفاده از ابزار هم‌پوشانی Union در نرم‌افزار ArcMap انتقال اطلاعات کلاس‌های شوری در پلی‌گون پهنه‌بندی به پلی‌گون‌های قطعات زراعی صورت گرفت. در این تحقیق بر اساس آستانه تحمل گیاهان به شوری و نتایج پهنه بندی سه کلاس ۱- کیفیت آب آبیاری بد: شوری آب بیش از آستانه تحمل، ۲- کیفیت آب آبیاری متوسط: شوری آب در محدوده آستانه تحمل و ۳- کیفیت آب آبیاری خوب: شوری آب کمتر از آستانه تحمل تعریف گردید. کلاس منابع تأمین آب آبیاری – هیدرومدول نیز بر اساس نتایج اولیه پهنه بندی در سه کلاس: ۱- هیدرومدول کمتر از ۰/۷ (آب در دسترس کم)،۲- هیدرومدول بین ۰/۷ تا یک (آب در دسترس متوسط) و ۳- هیدرومدول بیشتر از یک (آب در دسترس زیاد) قرار گرفت.

بر اساس مدل مام‌دینی روش استنتاج فازی محاسبات اقتصادی در هر قطعه زراعی و شرایط بازار و میزان تولید در واحد سطح، نسبت منفعت به هزینه حاصل شد. بر اساس نتایج این محاسبات و طبقه‌بندی زیر، کلاس شاخص اقتصادی برای هر مزرعه به دست آمد. ۱-سود خالص بد- تولید مضر ۲- سود خالص متوسط- تولید نرمال ۳- سود خالص خوب- تولید سودآور

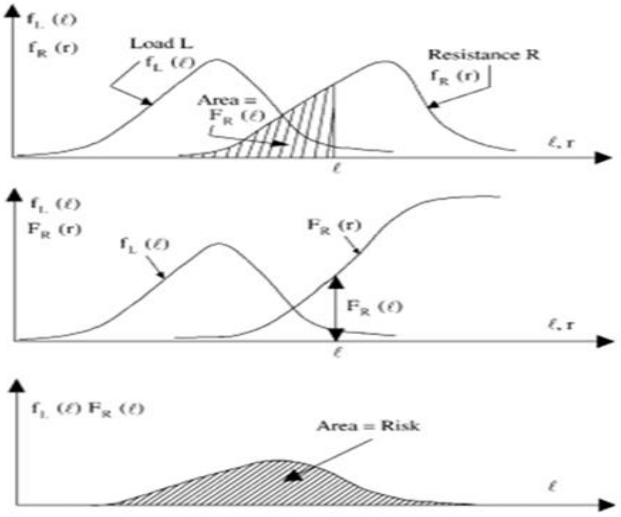
بر اساس مطالعات خاکشناسی که توسط سازمان جهاد کشاورزی استان انجام شده بود، در منطقه ۲ گروه خاکشناسی و ۸ سری خاکشناسی در دو محدوده زمین‌شناسی شناسایی گردید. عوامل محدود کننده تولید در منطقه شامل خصوصیات فیزیکی خاک، میزان ماده آلی خاک، شوری خاک، و زهکشی همراه با متغیرهای اقلیمی می‌باشند. جهت ارزیابی تناسب اراضی از روش پارامتریک (ریشه دوم) استفاده گردید. دامنه تغییرات از صفر تا صد نشان دهنده مقدار هر پارامتر و شاخص تناسب اراضی با ضرب کردن متغیرها برای گندم به صورت:۱۰۰-۷۰ مناسب (S1)، ۷۵-۵۰ نسبتاً مناسب (S2)، ۵۰-۲۵ کمی مناسب (S3)، ۲۵-۰ نامناسب که خود به دو کلاس دارای پتانسیل (N1) و بدون پتانسیل (N2) محاسبه گردید. ولی با توجه به اینکه سایر عوامل اثرگذار در سه کلاس مختلف گروه‌بندی شده بودند، این فاکتور نیز با وجود آنکه از نتایج مطالعات قابلیت اراضی به صورت کلاس‌های معرف تقسیم‌بندی شده بود، مجدداً در قالب سه کلاس: قابلیت‌های N2fn – N1t – S3fn – S3s– خاک بد –نا مناسب، قابلیت‌های S2sfn – S2t – S2s – S2sf – S2f – S2fn– خاک متوسط -معمول و قابلیت‌های S1– خاک خوب – مناسب گروه‌بندی گردید. برای هر قطعه رتبه حاصله از هر کلاس از داده‌های مربوطه به این فاکتور و با استفاده از ابزار هم‌پوشانی Union در نرم‌افزار ArcMap اطلاعات کلاس‌ها در پلی‌گون پهنه‌بندی به پلی‌گون‌های قطعات زراعی انتقال یافت.

اولین مرحله در شکل‌گیری مسائل و تحلیل عدم‌قطعیت‌های مختلف، کمی‌سازی ریسک است که عواملی چون شکست و ریسک را به دنبال دارد. در مطالعه حاضر بار وارده (مدیریت مصرف آب) و مقاومت (ظرفیت منابع) به عنوان مقادیر مثبت در نظر گرفته شدند که بر یک جزء سیستم وارد می‌شود و مستقل از زمان می‌باشد. فرض دوم برای اندازه‌گیری مقدار ریسک ضروری می‌باشد. روش فوق به عنوان تجزیه و تحلیل قابلیت اطمینان معروف می‌باشد. اعتبار ناپایدار سیستم‌ها اجزاء متفاوتی دارند که در شرایطی

که بردارهای بار وارده و مقاومت دارای چندین جزء می‌باشند بایستی مدنظر قرار گیرند.

تولید درون یک مزرعه با منابع ناپایدار نیز مانند سیستم‌های چندجزئی می‌باشد. بنابراین اعتبار سیستم‌های کشاورزی در شرایط ریسک بایستی از طریق روش‌های تصادفی محاسبه گردد. بار وارده یعنی نحوه مدیریت مصرف آب به عنوان متغیر تصادفی L در نظر گرفته شد. در این مورد عدم قطعیت با برآورد L با استفاده از روش احتمالاتی کمی همراه است.

مقاومت و یا ظرفیت منبع r دارای واحد مشابه با بار وارده می‌باشد. به دلیل اینکه در موارد متعدد مقاومت یا به عبارتی میزان ظرفیت منبع هم نامشخص می‌باشد، روش‌های احتمالاتی برای توصیف مقاومت به صورت متغیر تصادفی R نیز بکار می‌رود. حال با فرض اینکه و r متغیرهای تصادفی مثبت می‌باشند و روش‌های احتمالاتی برای اندازه‌گیری ریسک بکار رفته (شکل ۲) میزان ریسک pF بر اساس مطالعات گالونیس (۲۰۰۹) به صورت زیر محاسبه گردید:



شکل۲: محاسبه ریسک با استفاده از روش احتمالاتی

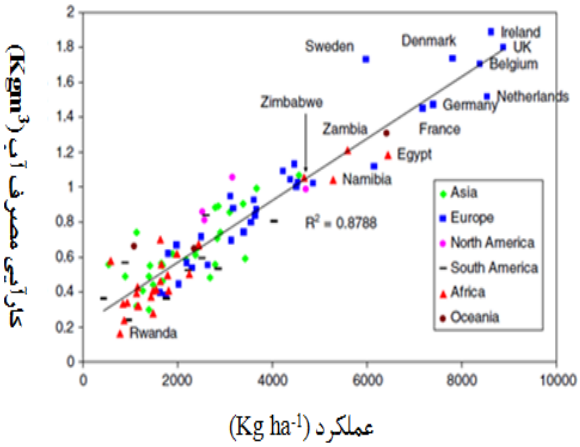
$$pF = p(L \geq R) = \int_0^{\infty} F_R(l) f_L(l) dl \quad \text{[رابطه ۱]}$$

بهره‌وری مصرف آب اصول فیزیکی آب را با عملکرد یا سود اقتصادی برای نشان دادن ارزش هر واحد آب ترکیب می‌نماید.

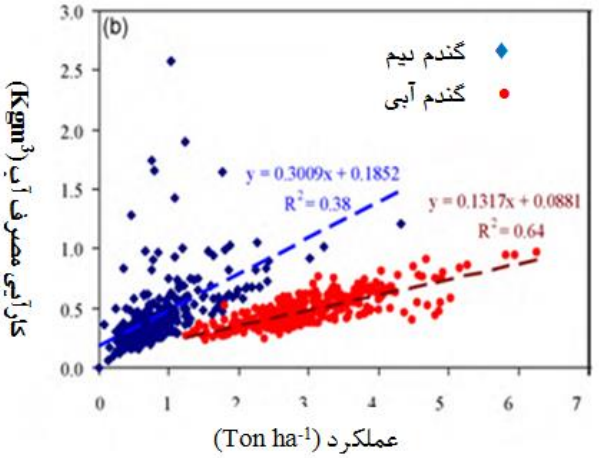
[رابطه ۲] بهره‌وری آب =عملکرد/ تبخیر تعرق گیاه

در این رابطه بهره‌وری مصرف آب، کیلوگرم بر مترمکعب، عملکرد گیاه کیلوگرم بر هکتار، تبخیرتعرق در طول فصل مترمکعب در هکتار می‌باشد. در بعضی از مطالعات از میزان آب مصرفی به جای تبخیرتعرق استفاده می‌شود. روش‌های قدیمی برای تخمین بهره‌وری آب مصرفی گیاهان در مقیاس جهانی با توجه به تغییرات گسترده زمانی و مکانی مناطق جغرافیایی کافی نیستند. لیو و همکاران (۲۰۰۷) نتایج خوبی از مقایسه عملکرد تخمینی و عملکرد واقعی در ۱۰۲ کشور دنیا در طی ۱۰ سال بدست آوردند (شکل٤). آنان بهره‌وری مصرف آب را با عملکرد به صورت رابطه خطی زیر گزارش کردند.

$$CWP = ۰/۱٦ \times \text{عملکرد} + ۰/٤ \qquad R^2 = ۰/۸۸ \qquad P < 0.01 \quad \text{[رابطه ۳]}$$



شکل۳: بهره‌وری مصرف آب گندم در کشورهای مختلف



شکل۴: بهره‌وری مصرف آب گندم در نقاط مختلف ایران

در تحقیقات آنان مشخص شد که دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب از حدود ۰/۱۶کیلوگرم بر مترمکعب در روآندا تا ۱/۸۸ کیلوگرم برمترمکعب در ایرلند می‌باشد. این تفاوت درنتیجه تعداد زیادی از عوامل مؤثر در رشد گیاه مانند کمبود فشار بخار آب اتمسفر در طول دوره رشد گیاه، تأمین آب در زمان حداکثر نیاز، حاصلخیزی خاک، کاربرد کود، شرایط

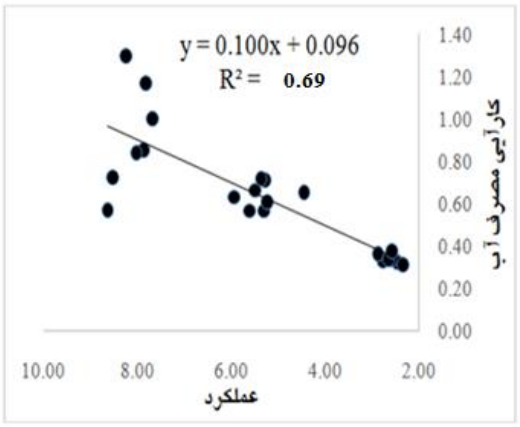
R^2 =۰/۷۸ $P < 0.01$ [رابطه ٤]

مشابه این مطالعه و بر اساس کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی، فرامرزی و همکاران (۲۰۱۰) عملکرد گندم آبی (Y) و میزان آب مصرفی (ET) بر اساس آنالیز اقلیمی و غیرو می‌باشد. در کل بهره‌وری مصرف آب در شرایط محیطی و زراعی مختلف متفاوت می‌باشد. میزان بهره‌وری در زمان غیاب عوامل محدود کننده تولید مانند کمبود عناصر غذایی، هجوم علف‌های هرز، آفات و بیماری‌ها به حداکثر مقدار خود نزدیک می‌گردد. در آن تحقیق بهره‌وری مصرف آب در شرایط تولید پتانسیل به صورت رابطه زیر گزارش شد:

CWP = ۰/۱۸× عملکرد +۰/۲

عدم قطعیت در مناطق مختلف ایران را مدل کردند (شکل۵). میزان عملکرد و تبخیر تعرق تخمینی برای محاسبه بهره‌وری آب بر اساس رابطه زیر بکار رفت:

CWP =۰/۱۳× عملکرد +۰/۰۹ R^2 =۰/٦٤ $P < 0.01$ [رابطه ٥]



شکل۵: بهره‌وری مصرف آب گندم در مزارع مختلف پاسارگاد

اختلاف در مقادیر بدست آمده برای بهره‌وری مصرف آب به ازاء یک مقدار مشخص از عملکرد بر اساس روابط مطالعات لیو در مقیاس جهانی و فرامرزی در ایران نشان می‌دهد که مقدار بهره‌وری مصرف آب برای یک مقدار معین از عملکرد عددی قطعی نبوده و دارای تغییرات می‌باشد. به عبارت دیگر تعریف مطمئن و قطعی از یک مقدار مرجع و پتانسیل از بهره‌وری مصرف آب به ازاء یک مقدار معین از عملکرد امکان‌پذیر نبوده و در محاسبات بایستی از روش‌های عدم‌قطعیت استفاده نمود. در این صورت میزان بهره‌وری مصرف آب مزارع با یک مقدار معین عملکرد می‌تواند بر اساس یکی از روابط زیر محاسبه گردد:

r_1=۰/۱۸y_k+۰/۲ r_2=۰/۱٦y_k+۰/٤ r_3=۰/۱۳y_k+۰/۰۹

در اینجا y_k = عملکرد در هکتارمزرعه Kام می‌باشد. در نتیجه، برای یک مقدار مشخص از عملکرد مقادیر متفاوتی از بهره‌وری مصرف آب با میانگین($\bar{r}_k$) و انحراف معیار (σ_k) بدست می‌آید.

$$(CWP)_k = \bar{r}_k = \frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r} r_i \qquad \text{[رابطه ٦]}$$

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{n_r}\sum_{i=1}^{n_r}(r_i - \bar{r}_k)^2} \qquad \text{[رابطه ۷]}$$

در رابطه فوق r_i= میزان بهره‌وری مصرف آب بر اساس روابط فوق (N_r=۳ وn_r=۱ ,…,N_r) برای مزرعه Kام(N_k=٦٦٦ ,…,۱=k) از کل مزراع (N_k=٦٦٦) می‌باشد. بنابراین یک تابع احتمالاتی برای مجموعه مقادیر بهره‌وری مصرف آب برای هر مزرعه بدست می‌آید که به عنوان تابع مقاومت در رابطه۱ در نظر گرفته می‌شود. اگر فرض شود که هر مجموعه دارای توزیع نرمال می‌باشد، نحوه توزیع و تابع آن به صورت زیر توسعه یافت:

$$f_{R,k}(r) = \frac{1}{\sigma_k\sqrt{2\pi}} e^{-(r-\bar{r}_k)^2/2\sigma_k^2} \qquad \text{[رابطه ۸]}$$

$$F_{R,k}(r) = \int_{-\infty}^{r} f_{R,k}(z)dz \qquad \text{[رابطه ۹]}$$

مقدار بهره‌وری مصرف آب پتانسیل به ازاء یک مقدار معین از عملکرد در این محدوده قرار می‌گیرد که با بهره‌وری مصرف آب که از طریق تقسیم میزان عملکرد بر میزان آب قابل دسترس (بهره‌وری مصرف آب واقعی) مقایسه گردید. بر اساس میزان عملکر در هر مزرعه یک مقدار بهره‌وری مصرف آب پتانسیل ($\bar{r}_k$) با دامنه عدم‌قطعیت (σ_k) حاصل شد که برای محاسبه ریسک و اعتماد (1-pF) بکار رفت.

میزان کارآیی تولید حقیقی بر اساس میزان عملکرد در هر مزرعه و میزان آب در دسترس با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید. این مقدار مقداری قطعی نبوده و به عنوان شاخص مهمی برای ارزیابی

پایداری تولید در مزارع مورد استفاده قرار گرفت. جهت آنالیز عدم‌قطعیت دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب بر اساس نقش عوامل مؤثر در تولید تعریف گردید. از آنجائی که هیدرومدول مصرف آب، عملکرد و در نتیجه بهره‌وری مصرف آب به وسیله میزان تولید، نوع خاک، و شوری آب آبیاری و میزان آب در دسترس تحت تأثیر قرار می‌گیرد، بنابراین این عوامل جهت محاسبه کارآیی تولید در مزارع مورد اندازه‌گیری و پایش قرار گرفتند. هیدرومدول (h_k) از طریق تقسیم آب در دسترس به سطح هر مزرعه (Lit/sec-ha)، عملکرد (y_k) از طریق تقسیم عملکرد به سطح مزرعه (Ton/ha)، بهره‌وری مصرف آب (l_J) از طریق تقسیم میزان محصول به میزان آب در دسترس (Kg/M^3) محاسبه شد و N_j ,..., j=۱, شماره مربوط به هر کلاس از عوامل مؤثر فوق‌الذکر می‌باشد. هدایت الکتریکی، نوع خاک، و عملکرد در هر مزرعه بر اساس روش مونت‌کارلو کلاس‌بندی شدند که هر کدام از آنها در سه کلاس کم، نرمال و زیاد بر اساس دامنه تغییراتشان قرار گرفتند. در این مطالعه ۲۷ کلاس تشکیل گردید و دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب در هر کلاس مشخص شد (N_j=۲۷). هر کلاس(j) از مجموعه‌ای از مزارع تشکیل شده که مقدار بهره‌وری مصرف آب در هر مزرعه محاسبه شده است.

مقدار عملکرد مشاهده شده و میزان آب در دسترس برای محاسبه بهره‌وری مصرف آب در هر مزرعه (l_k) مورد استفاده قرار گرفت. مقدار بهره‌وری مصرف آب به وسیله نوع خاک، هدایت الکتریکی آب آبیاری، و عملکرد تحت تأثیر قرار می‌گیرد. حداقل، حداکثر و میانگین دامنه تغییرات بهره‌وری مصرف آب مزارع در هر کلاس مشخص می‌باشد. به دلیل اثر عوامل عدم‌قطعیت بر تولید، دامنه تغییرات هر کلاس بر اساس نوع خاک، میزان عملکرد و شوری آب آبیاری تعیین می‌گردد. با فرض اینکه تابع احتمالاتی هر کلاس بهره‌وری مصرف آب دارای توزیع نرمال می‌باشد، به عنوان مقدار بار وارده در نظر گرفته شده و در رابطه۱ به صورت زیر استفاده گردید:

$$f_{L,j}(l) = \frac{1}{\sigma_j\sqrt{2\pi}} e^{-(l_k-\bar{l}_j)^2/2\sigma_j^2} \quad \text{[رابطه ۱۰]}$$

در این رابطه $\bar{l}_j$=CWP محاسبه شده در هر مزرعه، σ_j=دامنه تغییرات کلاس که آنها را از طریق روابط زیر محاسبه گردید:

$$(CWP)_j = \bar{l}_j = \frac{1}{n_j}\sum_{k=n_{j-1}+1}^{n_j} l_k$$

[رابطه ۱۱]

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{1}{n_j}\sum_{k=n_{j-1}+1}^{n_j}(l_k - \bar{l}_j)^2}$$

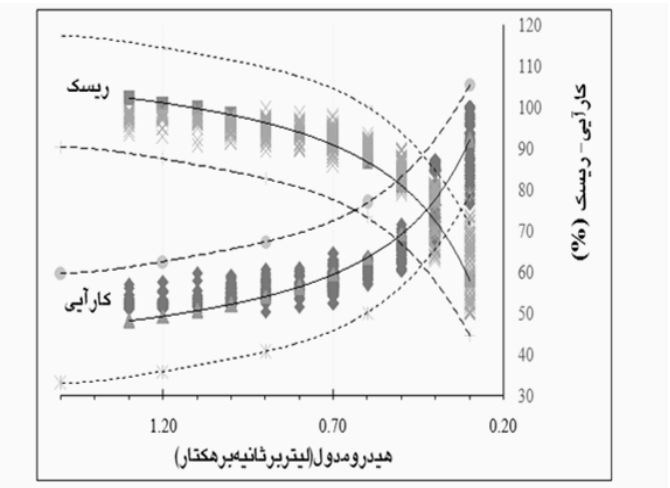
[رابطه ۱۲]

جهت ارزیابی پایداری تولید در هر مزرعه بایستی حداکثر میزان بهره‌وری مصرف آب تعیین گردد. این مقدار ممکن است به عنوان کارآیی تولید پتانسیل و یا مرجع معرفی شود که برای هر کشاورز با میزان عملکرد در شرایط آب و خاک مشابه قابل دست‌یابی می‌باشد. بطور معمول بهره‌وری مصرف آب به صورت میزان عملکرد در هر واحد مصرف آب تعریف می‌گردد و تحت تأثیر خاک، آب، اقلیم و مدیریت در هر مزرعه قرار دارد.

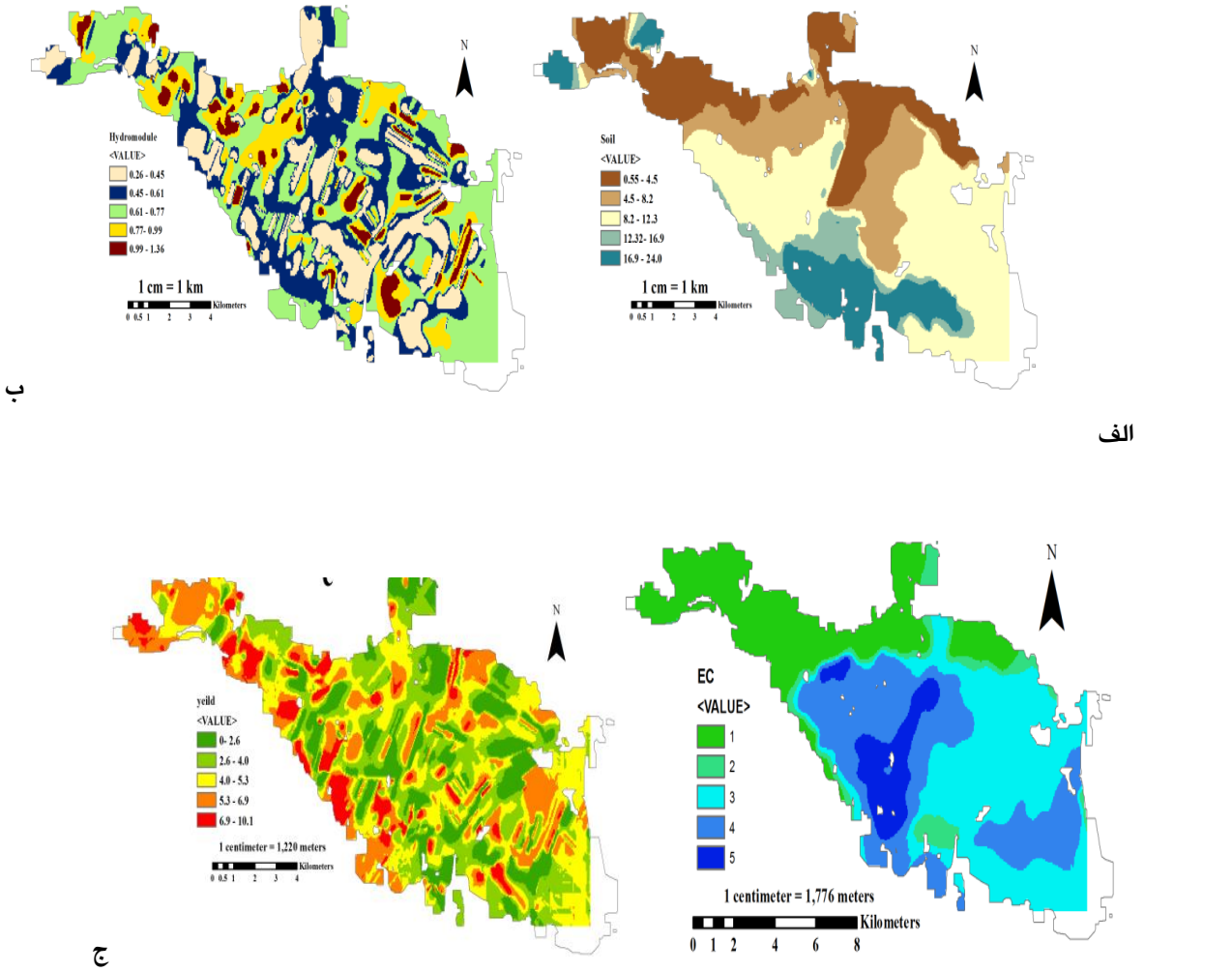
نتایج و بحث

نتایج پهنه‌بندی خاک اراضی در خصوص گندم در شکل٦-الف نمایش داده شده است. مناطق جنوبی به سمت مرکز دشت در کلاس نامناسب قرار گرفته و می‌بایست عملکرد تولیدی در مزارع آن منطقه نیز کم باشد. اما مناطق شمالی به سمت مرکز دشت در کلاس مناسب تولید گندم قرار داشته و می‌بایست عملکرد گندم در مزارع آن منطقه بهتر از سایر نقاط دشت باشد. تغییرات مکانی، کمیت و کیفیت آب پهنه‌بندی گردید که نتایج آن در شکل‌های ۷-ب ود نمایش داده شده است. بر اساس الگوی کشت موجود، هیدرومدول مصرف آب سالیانه از طریق تقسیم آب مورد استفاده به اندازه مزرعه در طول فصل رشد به صورت (lit/sec-ha)

محاسبه گردید. هیدرومدول مصرف آب در مزارع از ۰/۲۶ تا ۱/۳۶ تغییر داشت که تغییرات مکانی آن پهنه‌بندی گردید که نتایج آن در شکل۷-ب نمایش داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تنها بخش کوچکی از منطقه هیدرومدول تأمین آب بیشتر از یک لیتربرثانیه‌برهکتار می‌باشد. در بیشتر مناطق دشت هیدرومدول تأمین کمتر از ۰/۸می‌باشد. علاوه بر این هیدرومدول ماهانه نیز محاسبه گردید که حداکثر میزان آن مربوط به تیرماه به میزان ۱/۳ می‌باشد. همچنین بر اساس مقادیر اندازه‌گیری هدایت الکتریکی آب ورودی به مزارع، تغییرات مکانی آن در کل منطقه پهنه‌بندی گردید (شکل۷-د). تغییرات این فاکتور از ۰/۵ تا ۵/۲ میکروموس بر سانتی‌مترمربع بود. نتایج پهنه‌بندی عملکرد در شکل۷-ج نشان داده شده است. میزان عملکرد در قسمت‌های مختلف دشت بین یک تا ده تن در هکتار تغییر نشان داد. نتایج نشان داد که برخلاف انتظار تغییرات مکانی عملکرد در واحد سطح با نتایج تناسب اراضی مطابقت خوبی نداشته و در مکان‌هایی که انتظار می‌رفت به دلیل مناسب بودن شرایط خاک (مناطق شمالی و قسمتی از مرکز منطقه) عملکرد خوبی حاصل شود، این امر محقق نشده است. همچنین در قسمت‌های جنوبی منطقه که خاک تناسب خوبی در تولید گندم ندارد عملکرد در واحد سطح به۱۰تن در هکتار هم رسیده است. این مسأله نقش سایر عوامل در میزان تأثیر عوامل پایه تولید مانند خاک و آب در میزان عملکرد را قوت می‌بخشد و نشان دهنده نقش تعیین کتنده مدیریت کشاورز در میزان عملکرد می‌باشد. که نقش مهمی در پایداری کشاورزی در منطه را نیز داراست.



شکل۶: مقدار بهینه مصرف آب در شرایط عدم‌قطعیت بر اساس ریسک و کارآیی



شکل۷: تغییرات مکانی شاخص تناسب اراضی (الف)، هیدرومدول (ب)، عملکرد (ج)، و هدایت الکتریکی آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه (د) بر اساس زمین‌آمار و داده‌های اندازه‌گیری

با استفاده از آزمون‌های همبستگی خطی و غیر خطی که اصطلاحا" معروف به روش منحنی تطبقی[3] می‌باشند، ارتباط مناسبی نیز بین شاخص تناسب اراضی و عملکرد در واحد سطح برقرار نگردید. بنابراین فرض گردید که اختلاف مشاهده شده بین نتایج تناسب اراضی و عملکرد ممکن است به دلیل میزان آب در دسترس کشاورزان منطقه باشد. از مقایسه روند تغییرات عملکرد با تغییرات مکانی هیدرومدول نیز مشاهده گردید که ارتباط بسیار کمی بین این دو فاکتور وجود دارد. لذا برای بررسی ارتباط بین این دو متغیر از همبستگی چند متغیره و منحنی تطبقی استفاده شد. نتایج حاصله نشان داد که هرچند ارتباط بین عملکرد با آب در دسترس (هیدرومدول) بهتر از ارتباط عملکرد با تناسب اراضی می‌باشد اما همچنان همبستگی معنی‌داری بین آنان وجود ندارد. از طرفی نتایج روش‌های زمین‌آمار از جمله کرجینگ دوگانه توصیفی[4] نشان داد که تغییرات مکانی عملکرد با تغییرات مکانی هیدرومدول آب مصرفی مطابقت معنی‌داری ندارند (جدول۲).

[3] Curve fitting

[4] Disjunctive Co-kiriging

جدول۱- نتایج تجزیه و تحلیل زمین‌آماری برای تعیین پراکندگی مکانی عوامل مؤثر در تولید

خطای پیش‌بینی	تناسب اراضی	هیدرومدول	هدایت الکتریکی	عملکرد
تعداد نمونه‌ها	٦٦٦	٦٦٦	٦٦٦	٦٦٦
میانگین	-۰/۰۱٤	-۰/۰۲	-۰/۰۱	-۰/۰۲
مجموع مربعات خطا	۲/۱۰	۲/۰۷	۲/۱۳	۲/۰۸
میانگین استاندارد	-۰/۰۰٤	-۰/۰۱	-۰/۰۰۱	-۰/۰۱
مجموع مربعات خطای استاندارد	۰/۹۷	۱/۰۱	۰/۹۷	۱/۰۲
متوسط خطای استاندارد	۲/۱٤	۲/۰۲	۲/۱۷	۲/۰۲

علیرغم اینکه روند تغییرات مکانی هدایت الکتریکی آب آبیاری با نتایج تناسب اراضی در تعریف مناطق مناسب کشت گندم مطابقت دارد اما با روند تغییرات عملکرد در واحد سطح مطابقت معنی‌داری مشاهده نگردید. بعبارتی، بخشی از اراضی منطقه که فاقد ویژگی‌های لازم برای تولید گندم می‌باشند به دلیل شور شدن آب آبیاری در آن مناطق می‌باشد. به همین دلیل در تناسب اراضی این مناطق، نامناسب کشت گندم بصورت مشروط معرفی گردیدند که با بهبود کیفیت آب آبیاری در آنان این مناطق می‌توانند برای کشت این محصول مورد استفاده قرار گیرند. نتایج حاصل از روش‌های شبیه‌سازی زمین‌آمار بخصوص کریجینگ دوگانه و رگرسیون چندمتغیره و روش منحنی تطبیقی نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین این دو متغیر وجود ندارد. بطور کلی می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد نه تنها بطور معنی‌داری ارتباط مناسبی با هر کدام از متغیرهای شوری، هیدرومدول و شاخص تناسب اراضی ندارد، بلکه به صورت دو یا سه متغیره هم ارتباط معنی‌داری بین آنها مشاهده نگردید (جدول۲). بنابراین می‌توان مشابه نتایج بدست آمده توسط ابول‌پور و همکاران ۲۰۰۷، این گونه نتیجه گرفت که عملکرد در واحد سطح عکس‌العمل معنی‌داری به نهاده‌های اولیه‌ای چون آب و خاک نداشته و بخش عمده‌ای از تغییرات آن می‌تواند به عوامل گنگ و نامشخصی چون مدیریت زراعی کشاورزان باز گردد.

جدول۲- نمونه‌ای از نتایج مدل‌سازی عمکرد با پارامترهای اثر گذار بر تولید با استفاده از روش زمین آماری کرجینگ دوگانه توصیفی

خطای پیش‌بینی	مدل چهارمتغیره	مدل دومتغیره
میانگین	۰/۰۰۷۷	-۰/۰۰۸۷
مجموع مربعات خطا	۱/٤۹٦٤	۰/۹۹۷۹
میانگین استاندارد	۰/۰۰۳۹	-۰/۰۰۵۸
مجموع مربعات خطای استاندارد	۰/۷۲۷۰	۰/۷۷۳۰
متوسط خطای استاندارد	۲/۰۵۷٤	۱/۲۹۱۳

از شاخص بهره‌وری مصرف آب به منظور بررسی تأثیر این فاکتور بر عملکرد استفاده گردید. زمانی که بهره‌وری مصرف آب به عنوان یک شاخص در رتبه‌بندی و ارزیابی پایداری مزارع مختلف استفاده می‌گردد علاوه بر اینکه یک شاخص کارآیی تولید می باشد، باید حدود دامنه تغییرات آن مشخص گردد. به

این منظور می‌توان مقادیر حداکثر و حداقل مشاهده شده در منطقه را به عنوان دامنه تغییرات آن تعریف نمود و عملکرد هر مزرعه را نسبت به این دامنه تغییرات مقایسه و رتبه‌بندی نمود. براساس روش مونت‌کارلو دامنه تغییرات عملکرد، شاخص تناسب اراضی و شوری آب آبیاری در منطقه مورد مطالعه هرکدام در سه کلاس طبقه‌بندی گردیدند که در مجموع ۲۷ کلاس از تغییرات آنها تشکیل گردید. میزان کارآیی تولید حقیقی و پتانسیل در هر مزرعه از طریق معادلات ٦ و ۱۱ محاسبه گردید که در محاسبه ریسک و اعتبار بر اساس معادلات ۸ تا ۱۰ مورد استفاده قرار می‌گیرند.

کارآیی تولید، تحت تأثیر عواملی چون تغییرات اقلیمی، مدیریت زراعی و میزان آب تغییر می‌نماید و حتی در سطح یک مزرعه نیز در زمان‌های مختلف ثابت نمی‌باشد. در نتیجه مقادیر حداکثر و حداقل مشاهده شده در منطقه مقادیر قطعی و مطمئنی نبوده و نسبت به

هرچند مصرف آب بیشتر سبب افزایش عملکرد می‌گردد اما می‌تواند سبب کاهش کارآئی تولید گردد. برای افزایش عملکرد هر گیاه بدون کاهش کارآئی تولید به یک میزان مشخصی آب نیاز است. تعیین میزان عملکرد مورد انتظار و حجم آب مورد نیاز آن در واحد سطح در سال‌های اخیر اهمیت یافته است. از طرفی بدلیل وجود نقش سایر عوامل تولید بر عملکرد و شرایط ناپایدار و نامطمئن در تعیین ظرفیت منابع آبی، تعیین مقادیر دقیق و مطمئن هر دو مشکل است. بنابراین تعیین میزان بهینه مصرف آب در این شرایط امری ضروری

شرایط فوق متغیر می‌باشند. از طرفی زمانی که میزان کارآیی تولید واقعی یک مزرعه کمتر از میزان کارآیی تولید پتانسیل آن باشد به این مفهوم می‌باشد که کشاورزان جهت دستیابی به تولید بیشتر، حداکثر فشار را بر منابع تولید بخصوص منابع آبی وارد می‌کنند که باعث عدم پایداری تولید در سال‌های آینده خواهد شد. بنابراین مقدار کارآیی تولید پتانسیل و دامنه تغییرات آن می‌تواند جهت ارزیابی پایداری تولید بکار رود. دراین شرایط مقایسه نتایج بدست آمده در منطقه با مقادیر متعارف جهانی قابل دست یافت، به نوعی ارزیابی پایداری تولید خواهد بود. مشابه مطالعات لیو و همکاران ۲۰۰۷ و فرامرزی و همکاران ۲۰۱۰ معادلات زیر در این تحقیق برای محاسبه تعیین دامنه عدم‌قطعیت کارآیی تولید بدست آمد (شکل۵). این معادله بر اساس مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد و آب مصرفی در هر مزرعه بدست آمده است:

R^2=۰/٦۹ $P < 0.01$ [رابطه ١٤]

CWP =۰/۱×عملکرد+۰/۱

است. نقطه بهینه مصرف آب در محل تلاقی نمودار ریسک و کارآئی واقع گردیده که در شکل٦ نشان داده شده است. علاوه‌براین حد بالا و پائین ریسک و کارآئی نیز در این شکل نشان داده شده است ($\alpha=\pm$۰/۰۱). شرایط بهینه در دامنه ۰/۳۳ تا ۰/٦۳ قرار گرفته و میزان هیدرومدول بهینه آن برابر با ۰/٤٤ لیتربرثانیه‌برهکتار می‌باشد. دامنه تغییرات ریسک در محدوده بهینه از ۱۲ تا ۳۸٪ و دامنه تغییرات کارآئی از ٦۲ تا ۸۸٪ می‌باشد. همانطور که در شکل٦ دیده می‌شود با افزایش میزان هیدرومدول ریسک افزایش و کارآئی کاهش می‌یابد.

$$Risk = \alpha_r - \left(\frac{\beta_r}{H}\right) \quad [۱۵]$$ [رابطه ۱۵]

$$Perf = \alpha_p + \left(\frac{\beta_p}{H}\right)$$ [رابطه ١٦]

جدول۳- نتایج آنالیز همبستگی داده‌های ریسک و کارآیی

رابطه	ریسک	کارآئی
ضریب همبستگی	-۰/۹۵	۰/۹۵
ضریب رگرسیون	۸۹/۹۹	۸۹/۹۹
ضریب رگرسیون تصیح شده بر اساس درجه آزادی	۸۹/۹۸	۸۹/۹۸
انحراف معیار خطای مقادیر تخمینی	۵/۱۸	۵/۱۸
متوسط خطای مطلق	٤/١٦	٤/١٦
پارامتر آماری دوبرین واتسن	١/٤٠	١/٤٠
مقدارp	۰/۰۰	۰/۰۰
لگاریتم درجه یک خودهمبستگی مقادیر باقیمانده	۰/۳۰	/۳۰

جدول۴- مقایسه مزارع برتر با سایر مزارع

مشخصات	کل مزارع				مزارع برتر			
	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار	حداکثر	حداقل	میانگین	انحراف معیار
اندازه مزارع (هکتار)	۷۰/۰۱	۰/۷٤	٤/۰۱	٦/۳۰	۱۷/۲۱	۰/۷٤	۳/۸٤	٤/۹۱
دور آبیاری (روز)	٢٦/٠٠	١/٠٠	٥/٥٧	٦/١٨	١٠/٠٠	١/٠٠	٥/٠٤	٢/٧٨
عمق چاه (متر)	١٢٥/٠٠	٢٠/٠٠	٥٥/٠٠	٣٦/١٠	٩٠/٠٠	٢٠/٠٠	٥٠/٠٠	٢١/٠٠
برداشت از چاه (لیتر بر ثانیه)	٣٠/٠٠	٣/٠٠	١٢/٤١	٧/٩٥	٢٠/٠٠	٣/٠٠	١١/١٤	٨/٣٢
بهره‌وری آبیاری	٠/٦٧	٠/٣٠	٠/٣٥	٠/٠٧	٠/٥٧	٠/٣٠	٠/٣٦	٠/٠٨
هیدرومدول (لیتر/ثانیه-هکتار)	١/٣٠	٠/٣٠	٠/٦٤	٠/٢٩	٠/٥٠	٠/٤٥	٠/٤٧	٠/٠٢
نسبت سود به هزینه	٢/١٩	١/٠١	١/٣٢	٠/١٥	٢/١٩	١/١٥	١/٤١	٠/٢٢
عملکرد (تن/هکتار)	٩/٩٩	١/٠٠	٤/٤٨	٢/٣٦	٨/٩٦	١/٠٥	٤/٥١	٢/٦٧
بهره‌وری تولید (کیلوگرم/مترمکعب)	٢/١٤	٠/٣٠	٠/٥٤	٠/٣٨	١/٥٠	٠/٧٠	١/٠٠	٠/٢٠

در اینجا هیدرومدول بر H= حسب لیتربرثانیه‌برهکتار و$\alpha r=٦٥$ و$\beta p=٣٥$ و$\alpha p=١٧, \beta r=$ می‌باشند. این معادله بر اساس نتایج حاصل از منحنی تطبقی بدست آمده که نتایج آن در جدول۳ آمده است. در مجموع می‌توان بیان کرد که به ازاء یک مقدار معین عملکرد، مقادیر کارآیی تولید محاسبه شده از روابط ٤،٣، ٥ و ١٤ به ترتیب کاهش می‌یابد. به عنوان مثال متوسط عملکرد در منطقه حدود ٥ تن در هکتار می‌باشد، مقادیر کارآیی تولید به ترتیب ١/٢، ١/١، ٠/٧٤ و ٠/٦ از این روابط به دست می‌آید. از مقایسه این مقادیر نتیجه می‌شود که میزان کارآیی تولید در این منطقه نصف مقدار متعارف جهانی می‌باشد. با توجه به اینکه مقادیر محاسبه شده کارآیی به ازا یک مقدار واحد عملکرد حاصل گردید لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که کاهش ٥٠درصدی کارآیی تولید تنها به دلیل مصرف آب بیشتر می‌باشد. لازم به ذکر است که بخشی از اختلاف بین کارآیی تولید محاسبه شده از طریق رابطه محلی و جهانی می‌تواند به دلیل تغییرات اقلیمی چندساله اخیر باشد. به دلیل وقوع خشکسالی حجم آب مصرفی برای حفظ میزان تولید افزایش یافته است. بنابراین نقش

مدیریت در سال‌های اخیر در تولید شدت می‌یابد. با بهره‌گیری از روش‌های عدم‌قطعیت مزارعی که CWP خوبی به همراه عملکرد مناسب داشتند شناسایی شدند که می‌توانند به عنوان الگوهای مناسبی در افزایش ضریب مدیریتی و در نتیجه افزایش CWP مد نظر قرار گیرند.

در مزارع برتر حداکثر راندمان آبیاری ۵۷ درصد می‌باشد در صورتیکه راندمان آبیاری ٦٧ درصدی هم در منطقه مشاهده گردید. بنابراین صرف اینکه افزایش راندمان آبیاری می‌تواند ملاک انتخاب مزارع برتر باشد صحیح نمی‌باشد. حداکثر تولید در منطقه ۱۰تن در هکتار بود اما در مزارع برتر حداکثر تولید ۹ تن در هکتار می‌باشد. بنابراین مشاهده می‌گردد که انتخاب مزارع برتر صرفاً به دلیل میزان افزایش تولید هم نمی‌باشد چرا که بعضاً به منظور افزایش تولید میزان مصرف آب افزایش یافته است. این مطلب در مقایسه CWP مزارع برتر و کل مزارع تأیید می‌گردد. متوسط CWP در مزارع برتر یک و در کل منطقه ٥٤٪ می‌باشد. بنابراین در مزارع برتر در حدود ۱۰۰ درصد افزایش در CWP مشاهده می‌گردد.

اما مطلب قابل توجه این است که انتخاب مزارع برتر صرفاً به دلیل افزایش در CWP درست نمی‌باشد. بعنوان مثال در منطقه CWP معادل ۲/۱٤ هم مشاهده شده است اما این مزارع در گروه مزارع برتر انتخاب شده توسط مدل ارائه شده در این تحقیق نمی‌باشند. دلیل این مطلب آن است که این میزان CWP دارای اعتبار کافی در مقایسه با مقادیر CWP پتانسیل منطقه نبوده و صرفاً در یک شرایط خاص و احتمالاً برای یکسال اتفاق افتاده است. بنابراین به دلیل ریسک زیاد دست‌یابی به این CWP، مدل از انتخاب این مزارع صرف نظر کرده است. البته در مقایسه حداقل‌ها و انحراف معیار مزارع برتر و کل منطقه این مطلب مشاهده می‌گردد. بعنوان مثال در مزارع برتر دامنه تغییرات CWP بین ۰/۷ تا ۱/۵ با انحراف معیار ۰/۲می‌باشد در صورتیکه در کل منطقه CWP از ۰/۳ تا ۲/۱٤ با انحراف معیار ۰/٤ تغییرات داشته است. بنابراین مشاهده می‌گردد که در مزارع برتر CWP دارای مقادیر قابل دست یافتنی خوبی بوده و اعتبار بیشتر همراه با ریسک کمتر دارند و در نهایت نکته بسیار مهم در مقایسه نسبت سود به منفعت در مزارع برتر و کل منطقه می‌باشد. بطور کلی دامنه تغییرات این متغیر در مزارع برتر نسبت به کل منطقه اختلاف معنی داری نداشته و نشان می‌دهد که انتخاب نوع مدیریت مصرف آب و نحوه تولید در این مزارع برتر باعث تغییر در درآمد زارع شده و بنابراین پذیرش این نتایج برای آنان بهتر خواهد بود. مقایسه هیدرومدول در مزارع برتر و کل منطقه نشان می‌دهد که بطور متوسط در مزارع برتر هیدرومدول ۰/٤۷ و در منطقه ۰/٦٤ می‌باشد. لذا مصرف آب در مزارع برتر نسبت به منطقه ۰/۲۷ کاهش دارد. بر اساس نتایج بدست آمده این مطلب تأیید می‌گردد که پایداری دارای جنبه‌های مختلفی بوده و بدون توجه به تمامی جنبه‌ها اعم از عوامل تولید، مسائل اقتصادی و اجتماعی دستیابی به پایداری امری محال خواهد بود.

منابع مورد استفاده

Abolpour B and Javan, M, 2007. Optimization model for allocating water in a river Basin 509 during a drought. Journal of Irrigation. Drain Enginering, 133(6): 559–572.

Absalan Sh, Karimi M, hidari N, Dehghan A, Abasi F, Rahimian MH, 2010. Determine and evaluate the water use efficiency in saline lands of Karkhe catchment area. Research Report Number 89/1267. Research Institute of Agricultural Engineering. (In Persian).

Ahmadi M, Farhadi Bansouleh B, Ghobadi M, 2014. Spatial distribution of water use efficiency in barley under different deficit irrigation. Water Research in Agriculture, 28(1): 201-211.

Bachev H, 2008. Management of Environmental Challenges and Sustainability of Bulgarian Agriculture, In P. Liota, D. Mouat, W. Kepner, and J. Lancaster (editors), Environmental Challenges and Human Security: Recognizing and Acting on Hazard Impacts (pp.117–142). The Netherlands: Springer.

Bayat MA, Babazadeh H and Manshouri M, 2010. Temporal and spatial study of water use efficiency of strategic crops in regional scale (Case study: Hamadan province), Journal of Water Sciences Research, 2(1): 31-37.

Bessembinder JJE, Leffelaar PA, Dhindwal AS and Ponsioen TC, 2005. Which crop and which drop, and the scope for improvement of water productivity. Agricultural Water Management, 73(2): 113-130.

Bhadra A, Bandyopadhyay A, Singh R, Raghuwanshi SR, 2010. An alternative rotational delivery schedule for improved performance of reservoir-based canal irrigation system. Water Resource Management, 24: 3679–3700.

Clemmens AJ, Molden DJ, 2007. Water uses and productivity of irrigation system. Irrigation System. 25: 247-261.

Deihimfard R, Zand E, MahdaviDamghani A, Soufizadeh S, 2007. Herbicide risk assessment during the wheat self-sufficiency project in Iran. Pest Management Science, 63 (10): 1036–1045.

Farhadi Bansouleh, B. 2009. Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar & Meymeh district, Iran. Ph.D. Thesis, ITC/Wageningen University,The Netherlands, 267 pp.

Ganoulis J, 2009. Risk Analysis of Water Pollution: Second, Revised and Expanded Edition. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim .301pp.

Heydari N, 2011. Determination and evaluation of crop water use efficiency under agricultural management in Iran. Journal of water and irrigation management. 1(2): 43-57. (In Persian).

Kar G and Verma HN, 2005. Phonology based irrigation scheduling and determination of crop coefficient of winter maize in rice fallow of eastern India. Agricultural Water Management, 75:169-183.

Liu CM, Yu JJ, Kendy E, 2001. Ground water exploitation and its impact on the environment in the North China Plain. Water Int, 26: 265–272.

Liu J, Williams JR, Zehnder AJB, Yang H, 2007. GEPIC – modeling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale. Agricultural System, 94(2): 478–493.

Menichini T and Rosati F, 2013. A Managerial Tool for Environmental Sustainability. APCBEE Procedia, 5: 551 – 556.

Molden D (1997) Accounting for water use and productivity. In: SWIM Paper 1. IIMI. Colombo.

Montajebi N, and Vaziri ZH, 2004. Irrigation effect on wheat yield and water use efficiency in Golpayegan. Journal of Soil and Water Sciences. 18(1): 56-62. (In Persian).

Pereira LS, Cordery I, Iacovides I, 2012. Improved indicators of water use performance and productivity for sustainable water conservation and saving. Agricultural Water Manage, 108: 39– 51.

Sartori L, Basso B, Bertocco M, Oliviero G, 2005. Energy use and economic evaluation of a three year crop rotation for conservation and organic farming in Italy. Biosystems Engineering, 91(2): 245-256.

Shakir AS, Khan NM, Qureshi MM, 2010. Canal Water Management: Case Study of Upper Chenab Canal, In Pakistan. Irrigation Drain, 59: 76-91.

Tashakori M, 1998. Agricultural sustainability, defined and its implications for agricultural trade policy, Tehran. Ministry of Agriculture, Department of Planning and Budget Planning and Research Institute of Agricultural Economics. 112pp. (In Persian).

Wang DL, Lou X, 2001. Strategies on development of efficient agriculture with water saving in China. Chinese population. Resources Environ, 11: 31–35.