

## انجام توصیه کودی پتاسیم با استفاده از معادله میچرلیخ-بری در برخی از مزارع گندم آبی استان کرمانشاه

علی عبدالهی<sup>۱</sup>، محمدجعفر ملکوتی<sup>۲\*</sup> و جلال قادری<sup>۳</sup><sup>۱</sup> کارشناس ارشد و <sup>۲</sup> استاد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس <sup>۳</sup> عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۷/۲۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۸۹/۱/۱۹)

## چکیده

به منظور تعیین ضرایب  $C_1$  و  $C_2$ ، حد بحرانی پتاسیم، عملکرد نسبی و توصیه کودی با استفاده از معادله میچرلیخ-بری (MB) برای پتاسیم در ۱۲ مزرعه گندم (*Triticum aestivum* L.)، آزمایشی شامل پنج تیمار کودی، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در مزارع زارعین شهرستان سرپل‌ذهاب استان کرمانشاه در سال زراعی ۱۳۸۶-۸۷ اجرا شد. تیمارهای کودی عبارت بودند از تیمار اول = عرف زارع (NP)؛ تیمار دوم = مصرف تمامی کودها بر مبنای آزمون خاک بدون پتاسیم (شاهد)؛ تیمار سوم = تیمار دوم + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم (MOP) قبل از کاشت؛ تیمار چهارم = تیمار دوم + ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در دو مرحله (قبل از کاشت و زمان پنجه‌دهی) و تیمار پنجم = تیمار دوم + ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در سه مرحله (قبل از کاشت + پنجه‌دهی و ساقه رفتن). میانگین ضرایب به عنوان ضرایب متغیر خاک ( $C_1$ ) و کود ( $C_2$ ) منطقه در نظر گرفته شد. در این تحقیق ضریب  $C_1$  برای ۱۱ مزرعه برابر ۰/۰۰۲۰ و حد بحرانی پتاسیم برای حصول به ۸۵ درصد حداکثر عملکرد تحت شرایط آزاد بودن قیمت کودها برابر ۱۱۵، لیکن در شرایط فعلی که کودهای پتاسیمی یارانه‌ای (ارزان) هستند، برای حصول به ۹۵ درصد حداکثر عملکرد (نیل به تولید پایدار، تأمین امنیت غذایی و اقتصادی بودن تولید گندم) برابر ۱۸۰ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آمد. با عنایت به نتایج حاصله از این آزمایش مزرعه‌ای، پس از تعیین ضریب  $C_1$  می‌توان احتمال وقوع الف) عملکرد هکتاری دانه گندم بدون آنکه گندم کار کودی را مصرف نموده باشد، ب) میزان افزایش عملکرد هکتاری به ازای افزایش مقدار معینی کود و ج) عملکرد اقتصادی کود را پیش‌بینی نمود. بدیهی است با علم به کاربردهای فراوان این معادله، مدیران آزمایشگاه‌های خصوصی برای انجام توصیه بهینه کودی ابزار خوبی را در دست خواهند داشت. انجام تحقیقات بیشتر در این خصوص برای مناطق و محصولات مختلف زراعی، پیشنهاد می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** گندم (*Triticum aestivum* L.)، ضرایب متغیر معادله میچرلیخ-بری، حد بحرانی پتاسیم، توصیه کودی

## مقدمه

غلظت عناصر غذایی در خاک و توصیه بهینه کودی می‌باشد (Black, 1993; Feizi Asl, 2004; Malakouti et al., 2008)

یکی از اهداف اصلی در این مطالعه، ارزیابی حاصلخیزی خاک و ایجاد مبنایی برای انجام صحیح توصیه کودی است. برای نیل به این هدف، از معادله میچرلیخ (Mitscherlich) استفاده گردید. بطور کلی چهار هدف آزمون خاک که در منابع به آن اشاره شده است عبارتند از: الف) گروه‌بندی خاک به چندین کلاس به منظور توصیه کودی، ب) پیش‌بینی احتمال پاسخ مناسب از کاربرد کود، ج) ارزیابی توان تولید و د) تعیین شرایط ویژه خاک که با اضافه کردن اصلاح‌کننده‌ها به خاک یا عملیات کشت و زرع، عملکرد هکتاری افزایش یابد (Malakouti et al., 2008)

آزمون خاک شامل سه مرحله الف) نمونه‌برداری صحیح از خاک، ب) تجزیه صحیح خاک به منظور تعیین دقیق غلظت عناصر غذایی قابل استفاده گیاه در خاک و ج) تفسیر نتایج

تغذیه بهینه گیاه شرط اصلی بهبود کمی و کیفی محصول است. در تغذیه گیاه باید هر عنصر به اندازه کافی در دسترس آن قرار گیرد. زیرا در حالت عدم تعادل تغذیه‌ای، با افزودن مقداری از عناصر غذایی نه تنها افزایش عملکردی رخ نمی‌دهد، بلکه اختلالاتی نیز در رشد گیاه ایجاد شده و در نهایت افت محصول رخ می‌دهد (Black, 1993; Malakouti et al., 2008)

راه‌های مختلفی برای تشخیص کمبودها و تعیین میزان عناصر غذایی قابل استفاده گیاه وجود دارد. از متداول‌ترین این روش‌ها از نشانه‌های ظاهری کمبود، آزمون خاک، تجزیه برگ و آزمایش‌های تطبیقی در گلخانه و در مزرعه را می‌توان نام برد. آزمون خاک شامل نمونه‌برداری صحیح خاک، تعیین دقیق

\*پست الکترونیک نویسنده مسئول: mjmalakouti@modares.ac.ir

وضع حاصلخیزی خاک و نیاز غذایی گیاه مورد کشت، می‌توان به اهداف قابل پیش بینی دست یافت (Feizi Asl, 2004; Black, 1993).

برای محاسبه مقدار اقتصادی کود از معادله (۴) استفاده می‌شود. براساس مقدار تثوریکی، حداکثر تولید A معادله میچرلیخ-بری از معادله (۴) محاسبه گردید (Black, 1993):

$$A = \frac{(y_k - y_0)}{k - 1} \quad (4)$$

در این معادله A؛ مقدار تثوریکی حداکثر تولید؛  $y_0$  تولید در سطح بدون کود؛  $y$  تولید در هر سطح مقدار کودی داده شده؛  $k$  مقدار آنتی لگاریتم  $cx$ ؛  $x$  مقدار کود؛  $c$  متوسط محاسبه شده از معادله (۲) می‌باشد. با داشتن مقدار تثوریکی تولید حداکثر (A) و متوسط مقدار  $C_1$  و  $C$ ، می‌توان عملکرد کل و افزایش عملکرد را برای مقادیر مختلف کود و برای مقادیر مختلف آزمون خاک بدست آورد. هم‌چنین می‌توان با استفاده از این معادله افزایش عملکردها و آخرین افزایش عملکرد اقتصادی را بدست آورد.

با استفاده از معادله میچرلیخ-بری، علاوه بر تعیین غلظت بحرانی عناصر غذایی در خاک، می‌توان پس از تجزیه نمونه خاکی از یک مزرعه که در نظر است کشت خاصی با قابلیت تولید معین انجام گیرد، ضرایب  $c_1$  و  $c$  را در هر منطقه مشخص و مقدار کود را محاسبه نمود (Black, 1993; Feizi Asl, 2004). در کوددهی، اقتصادی بودن مصرف کود باید رعایت شود؛ بدین معنی که هزینه‌های خرید کود، کود پاشی و قیمت محصول مشخص گردد. تا بتوان محاسبه اقتصادی انجام داد. بهتر است مصرف کودها بخاطر رعایت مسائل زیست محیطی و ارتقاء کیفیت محصولات تولیدی در حداقل، منتهی بهینه باشد (Malakouti et al., 2008).

مطالعات خوبی در مناطق دیم ایران (Eskandanian and Sayyadian, 1992)؛ ترکیه (Yurtsever, 1987)؛ سوریه (Pala and Matar, 1987) and هندوستان (Srivastava, et al., 2006) و افغانستان (Swaminathan et al., 1979) بر روی گندم برای تعیین نیاز فسفوری مزارع انجام گرفته است.

در مطالعه‌ای به مدت دو سال در ۲۶ مزرعه در منطقه‌ای از ترکیه بر روی گندم دیم صورت گرفت در این آزمایش از کود فسفاتی با پنج سطح در چهار تکرار در مزارع استفاده گردید. با استفاده از معادله میچرلیخ-بری ضریب  $c_1$  برای ارقام مختلف گندم دیم از ۰/۱۴ تا ۰/۱۶ متغیر بود (Yurtsever and Gedikoglu, 1990). در ارزیابی عکس‌العمل گندم، برنج و سویا در چهار منطقه هندوستان نسبت به مصرف کودهای فسفاتی که با استفاده از معادله تغییر شکل یافته میچرلیخ-بری صورت

آزمایشگاهی و انجام توصیه کودی برای افزایش تولید می‌باشد. پژوهشگران برای تفسیر و گروه‌بندی مقادیر آزمون خاک از روش‌های مختلفی از جمله روش‌های تصویری کیت-نلسون (Cate-Nelson)، تجزیه واریانس کیت-نلسون، معادله میچرلیخ-بری، روش ستونی، مربع کای و سایر روش‌های آماری استفاده می‌نمایند. تعیین حد بحرانی غلظت عناصر غذایی پرمصرف با استفاده از معادله میچرلیخ و یا روش تصویری کیت-نلسون امکان پذیر بوده و برای تعیین حد بحرانی عناصر غذایی کم مصرف استفاده از روش ستونی (چشمی) توصیه می‌گردد (Black, 1993; Feizi Asl, 2004; Assadi et al., 2004; Assadi et al., 2006).

تعیین یک مدل ریاضی که عملکرد را بعنوان تابع و غلظت عناصر غذایی قابل جذب را بعنوان متغیر بدانند، از اهمیت زیادی برخوردار است. معروف‌ترین این روابط معادله میچرلیخ است که در سال ۱۹۵۸ توسط بری (Bray) اصلاح و ارائه گردید (Cate and Nelson, 1971; Black, 1993; Srivastava, et al., 2006). براساس این معادله، تغییر در عملکرد نسبت به تغییر در میزان عنصر غذایی در خاک، به طور نزولی متناسب با تفاضل عملکرد و عملکرد حداکثر می‌باشد (Black, 1993; Feizi Asl, 2004).

$$\log(A - Y_0) = \log A - c_1 b \quad (1)$$

$$\log(A - Y_0) = \log A - c_1 b - cx \quad (2)$$

یا  $\log(100 - Ry) = \log 100 - c_1 b - cx$  در این معادلات A عملکرد حداکثر (۱۰۰)؛  $Y_0$  = عملکرد در تیمار شاهد؛  $Ry$  = عملکرد نسبی؛  $b$  = مقدار عنصر غذایی در خاک بر حسب کیلوگرم در هکتار؛  $x$  = مقدار کود داده شده بر حسب کیلوگرم در هکتار؛  $c_1$  = ضریب متغیر برای عنصر غذایی در خاک (b)،  $c$  = ضریب متغیر برای کود (x) می‌باشد. در عمل از معادله یک برای هنگامی که کودی مصرف نشده و از معادله دو برای زمانی که کود مصرف شده باشد، استفاده می‌شود. میچرلیخ بار اول معادله (۱) و (۲) را مطرح و سپس فاکتور کاهش محصول (k) را بیان کرد. این تقریب در معادله (۳) مشهود است:

$$y = A(1 - 10^{-cx})10^{-kx^2} \quad (3)$$

این معادله برای چند فاکتور توسط بال (Baule) بکار گرفته شد. در عمل معادله (۲) برای ارتباط بین میزان ماده غذایی قابل استفاده در خاک، عملکرد و نیاز کودی قابل استفاده می‌باشد. هم‌چنین از معادله میچرلیخ-بری برای تعیین عملکرد نسبی و پیش بینی نیاز کودی استفاده می‌گردد. تصمیم‌گیری در مورد مقدار کود مصرفی، تابعی از نیاز کودی و مقدار عناصر غذایی قابل استفاده گیاه است که انتظار می‌رود خاک در طول فصل رشد آن را تامین نماید. از طرف دیگر باید از مصرف نامعقول کودهای شیمیائی نیز اجتناب نمود. بنابراین، با ارزیابی صحیح از

## مواد و روش‌ها

به منظور تعیین ضرائب معادله میچرلیخ-بری، تعیین حد بحرانی و توصیه کودی با استفاده معادله میچرلیخ-بری برای پتاسیم در اراضی گندم در مزارع استان کرمانشاه، آزمایشی شامل پنج تیمار کودی، در سه تکرار و در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در ۱۲ مزرعه زارعین شهرستان سرپل ذهاب استان کرمانشاه با توجه به خصوصیات خاکشناسی در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ اجرا شد. تیمارهای کودی عبارت بودند از تیمار اول= عرف زارع (NP)؛ تیمار دوم= مصرف تمامی کودها بر مبنای آزمون خاک بدون پتاسیم (شاهد)؛ تیمار سوم= تیمار دوم + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم (Muriate of Potash, MOP) قبل از کاشت؛ تیمار چهارم= تیمار دوم + ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در دو مرحله (قبل از کاشت و زمان پنجه‌دهی) و تیمار پنجم= تیمار دوم + ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در سه مرحله (قبل از کاشت + پنجه‌دهی و ساقه رفتن). قبل از کاشت یک نمونه آب و یک نمونه خاک مرکب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتیمتری از خاکها و آبهای آبیاری محل اجرای طرح برای انجام تجزیه‌های فیزیکوشیمیایی لازم تهیه گردید. خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاکها و خصوصیات شیمیایی آبهای آبیاری با استفاده از روش‌های متداول آزمایشگاهی در آزمایشگاه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمانشاه تجزیه گردید (Alihyaei and Behbahanzadeh, 1993). یک سوم کود اوره، تمام کودهای محتوی عناصر کم مصرف (سولفات روی و سولفات آهن) و سوپر فسفات تریپل بر اساس آزمون خاک قبل از کاشت و مابقی اوره در دو مرحله همراه با اعمال تیمارهای کلرید پتاسیم مصرف گردید. اندازه کرت‌ها ۲۰ متر مربع (۴×۵ متر)، فاصله تیمارها و تکرارها به ترتیب ۱ و ۱/۵ متر و رقم گندم کاشته شده چمران (غالب منطقه) بود. آبیاری به روش کرتی (غرقایی) و منطبق با مراحل رشد گندم (عرف آبیاری منطقه) صورت گرفت. در مرحله داشت نسبت به وجین علفهای هرز و مبارزه شیمیایی علیه آفات از جمله سن گندم اقدام شد. برداشت محصول از سطح ۲ متر مربع بصورت کفبر انجام و عملکرد دانه در تمامی قطعات آزمایش اندازه‌گیری گردید.

## نتایج و بحث

جدول‌های یک و دو مشخصات جغرافیایی خاک‌های ۱۲ مزرعه که با استفاده از دستگاه GPS تعیین مشخصات شده و نیز نتایج خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک‌های مناطق مختلف نشان داده شده است. خاک‌های مورد بررسی تماماً آهکی، دامنه تغییرات کربن آلی آنها از مقدار بسیار کم (کمتر از ۰/۴۰) تا ۱/۱۲ درصد، فسفر و پتاسیم از ۲/۵ و ۵۰ تا ۱۷/۲ و ۲۶۰ میلی‌گرم

گرفت، محققین به این نتیجه رسیدند که با استفاده از این معادله می‌توان علاوه بر تعیین نیاز کود فسفاتی مزارع، میزان اقتصادی کود فسفاتی مصرفی را نیز تعیین نمود (Srivastava, et al., 2006).

Malakouti et al. (2008) حد بحرانی پتاسیم به روش ترسیمی کیت-نلسون برای ارقام پر محصول برنج در مازندران برابر با ۱۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم و این حد را با همین روش برای برنج رقم خزر در استان گیلان برابر ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش نمودند (Kavousi, and Malakouti, 2006). در هر دو تحقیق نقش بسیار مثبت کلرید پتاسیم در افزایش عملکرد شالیزارها در هر دو استان مورد تایید قرار گرفت. در تحقیق دیگری Assadi et al. (2004) و Assadi et al. (2006) حد بحرانی منگنز (Mn) را تحت شرایط گلخانه و تاثیر آن بر رشد و عملکرد سویا در مزارع مختلف سویا در شرق استان مازندران را بررسی نمودند. در این مطالعه با استفاده از روش‌های نموداری کیت-نلسون و میچرلیخ-بری، حد بحرانی منگنز در خاک‌های زیر کشت سویا برای دستیابی به ۸۵ درصد حداکثر عملکرد نسبی ماده به ترتیب ۴/۱۰، ۳/۸۹ و با ۹۰ درصد عملکرد نسبی ماده خشک به ترتیب ۴/۹۰ و ۴/۷۰ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک تعیین نمودند. مقایسه روش‌های میچرلیخ-بری و کیت-نلسون برای تخمین حد بحرانی منگنز در خاک نشان داد که نتایج به دست آمده از هر دو روش بسیار به هم نزدیک بودند.

Feizi Asl (2008) در مطالعه‌ای روش‌های مختلف تعیین حد بحرانی روی (Zn) در خاک‌های زیر کشت گندم دیم در غرب کشور را بررسی و با استفاده از روش‌های مختلف تفسیر نتایج آزمون، حد بحرانی روی برابر ۰/۵۵ میلی‌گرم در کیلوگرم تعیین گردید. در مجموع می‌توان چنین استنباط نمود که با استفاده از روش‌های مختلف، حد بحرانی روی در اراضی گندم دیم غرب کشور تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند.

استفاده از حد بحرانی عناصر غذایی به منظور توصیه کودی در کشور سابقه اندک دارد و عمدتاً در مزارع گندم، برنج و سویا با استفاده از روش تصویری کیت-نلسون انجام گرفته است (Olfati, et al., 1999; Assadi et al., 2004; Assadi et al., 2006; Kavousi, and Malakouti, 2006). لیکن، در مزارع گندم آبی از این معادله چندان استفاده‌ای به عمل نیامده است. بنابراین این طرح برای اولین بار در مزارع گندم آبی استان کرمانشاه اجرا گردید.

کودهای محتوی عناصر کم مصرف + ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم) برابر ۳۸۲۵؛ در تیمار چهارم (NP + کودهای محتوی عناصر کم مصرف + ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در دو محله) برابر ۳۹۱۸ و در تیمار پنجم (NP + کودهای محتوی عناصر کم مصرف + ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار MOP در سه مرحله (قبل از کاشت + پنجه‌دهی و ساقه رفتن) برابر ۴۰۳۷ کیلوگرم در هکتار گردید. لیکن، اختلاف بین آنها به دلایل شرایط اقلیمی نامساعد در فصل کشت ( زمستان بسیار سرد و بهار خشک و نسبتاً کم باران) اقتصادی نبود. اثربخشی پتاسیم مخصوصاً مصرف سرک کلرید پتاسیم در مزارعی که غلظت پتاسیم آنها کمتر از حد بحرانی باشد، سبب افزایش عملکرد گندم می‌گردد (Olfati, et al., 1999; Malakouti et al., 2001; Kavousi, and Malakouti, 2006; Malakouti et al., 2010)

در کیلوگرم متغیر بوده و عموماً مزارع گندم این منطقه دارای عملکرد پایینی بودند. رده‌بندی خاک‌های منطقه طبق Soil Taxonomy USDA در حد فامیل خاک Typic Fine Mixed Thermic Calcixerepts بود. عملکرد هکتاری دانه گندم در تیمارهای مختلف کودی در تمام ۱۲ مزرعه در جدول (۳) نشان داده شده است. در جدول (۴)، میزان تغییرات اجزای معادله میچرلیخ-بری در تیمارهای مختلف مخصوصاً تحت شرایط عرف زارعین (تیمار اول)، شاهد (تیمار دوم) و مصرف و مصرف بهینه کود (تیمارهای سوم، چهارم و پنجم) نشان داده شده است.

**الف- نقش مصرف کلرید پتاسیم در عملکرد هکتاری**

میانگین عملکرد در تیمار اول (عرف گندم کاران منطقه) برابر ۳۶۱۹؛ در تیمار دوم (مصرف تمامی کودها بر مبنای آزمون خاک بدون پتاسیم- شاهد) برابر ۳۷۷۹؛ در تیمار سوم (NP +

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی و خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های مزارع سر پل ذهاب

شماره مزرعه	مشخصات جغرافیایی	کربن آلی (درصد)	فسفر				مگنیز (میلی گرم در کیلوگرم)	روی
			پتاسیم	آهن	مگنیز	روی		
۱	E 45°50'98" N 34°25'79"	۱/۱۲	۱۱/۰	۲۳/۰	۶/۵	۸/۱	۰/۱۸۰	
۲	E 45°56'54" N 34°33'34"	۰/۱۶۰	۲/۵	۱۰/۰	۴/۰	۵/۱	۰/۱۵۰	
۳	E 45°54'22" N 34°26'80"	۱/۳۶	۱۲/۶	۲۶/۰	۵/۲	۶/۵	۰/۱۸۰	
۴	E 45°48'67" N 34°26'36"	۱/۱۷	۱۴/۴	۱۶/۰	۷/۲	۸/۴	۰/۱۷۵	
۵	E 45°51'24" N 34°29'02"	< ۰/۴۰	۱۷/۲	۵/۰	۷/۰	۹/۰	۰/۱۸۱	
۶	E 45°52'05" N 34°28'08"	۱/۶۳	۱۳/۰	۱۶/۰	۷/۶	۸/۵	۰/۱۷۲	
۷	E 45°52'60" N 34°28'73"	۱/۱۱	۹/۰	۱۴/۰	۷/۶	۹/۰	۰/۱۷۶	
۸	E 45°52'53" N 34°28'70"	۰/۱۷۶	۸/۸	۱۴/۰	۵/۷	۵/۴	۰/۱۶۶	
۹	E 45°55'27" N 34°23'18"	۱/۲۴	۵/۰	۱۴/۰	۹/۸	۱۰/۰	۰/۱۴۲	
۱۰	E 45°54'79" N 34°23'15"	< ۰/۴۰	۵/۰	۱۷/۰	۳/۰	۲/۰	۰/۱۲۲	
۱۱	E 45°51'79" N 34°28'18"	۰/۱۴۲	۴/۲	۱۴/۰	۶/۳	۶/۴	۰/۱۵۸	
۱۲	E 45°56'78" N 34°22'03"	۱/۰۱	۱۰/۶	۲۰/۰	۸/۰	۸/۴	۰/۱۹۲	

جدول ۲- برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک‌های مزارع سر پل ذهاب

شماره مزرعه	کربنات کلسیم معادل (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (dS m <sup>-1</sup> )	درجه اسیدیته	درصد			ظرفیت تبادل کاتیونی (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> soil)
				شن	سیلت	رس	
۱	۴۳	۱/۴	۷/۸	۵۲	۲۸	۲۰	۲۴/۶
۲	۴۱	۱/۴	۷/۸	۴۷	۳۱	۲۲	۲۳/۸
۳	۴۲	۱/۳	۷/۹	۴۴	۳۸	۱۸	۲۴/۴
۴	۴۱	۱/۳	۷/۹	۴۷	۳۶	۱۷	۲۱/۰
۵	۴۲	۱/۲	۷/۹	۴۷	۴۴	۹	۱۲/۴
۶	۴۳	۱/۱	۷/۷	۴۶	۴۱	۱۳	۱۵/۰
۷	۳۸	۱/۱	۷/۸	۴۵	۴۰	۱۵	۱۴/۶
۸	۴۳	۱/۵	۷/۸	۴۳	۴۴	۱۳	۱۸/۶
۹	۴۸	۱/۲	۷/۷	۴۸	۳۶	۱۴	۲۱/۶
۱۰	۴۴	۱/۴	۷/۸	۴۶	۳۲	۲۲	۲۱/۲
۱۱	۴۳	۱/۱	۷/۸	۴۷	۴۲	۱۱	۱۵/۰
۱۲	۴۲	۱/۲	۷/۹	۴۹	۳۶	۱۵	۱۹/۶

جدول ۳- عملکرد هکتاری دانه گندم در ۱۲ مزرعه سرپل ذهاب

شماره مزرعه	پتاسیم قابل استفاده خاک ( میلی گرم در کیلوگرم)	تیمار اول (عرف زارع)	تیمار دوم (شاهد)	تیمار سوم (۱۰۰ کیلوگرم در هکتار) (MOP)	تیمار چهارم (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) (MOP)	تیمار پنجم (۳۰۰ کیلوگرم در هکتار) (MOP)
۱	۲۳۰	۴۲۹۰	۴۴۹۰	۴۵۲۶	۴۵۲۳	۴۶۶۰
۲	۱۰۰	۳۵۴۰	۳۷۱۳	۳۷۳۳	۳۷۹۰	۳۸۶۶
۳	۲۶۰	۳۷۱۶	۳۹۴۰	۳۸۱۶	۳۹۷۶	۴۰۶۶
۴	۱۶۰	۳۵۱۶	۳۷۱۳	۳۷۰۰	۳۸۳۶	۳۹۵۶
۵	۵۰	۳۴۸۳	۳۷۳۳	۳۸۱۶	۳۸۵۰	۳۸۹۰*
۶	۱۶۰	۳۵۵۰	۳۶۶۶	۳۷۵۰	۳۸۳۳	۳۸۵۰
۷	۱۴۰	۳۶۸۳	۳۸۶۶	۳۸۷۳	۴۰۱۶	۴۱۲۶
۸	۱۴۰	۳۴۸۳	۳۶۳۳	۳۶۶۶	۳۸۱۶	۳۹۳۳
۹	۱۴۰	۳۴۵۶	۳۶۰۰	۳۷۱۳	۳۸۰۰	۴۰۰۰
۱۰	۱۷۰	۳۵۷۶	۳۷۱۶	۳۸۶۶	۳۹۱۶	۴۰۵۰
۱۱	۱۴۰	۳۵۱۶	۳۶۲۳	۳۷۱۶	۳۸۰۰	۳۹۵۶
۱۲	۲۰۰	۳۴۸۳	۳۶۰۶	۳۷۱۶	۳۷۹۰	۳۹۴۳
میانگین	۱۶۸	۳۶۱۹	۳۷۷۹	۳۸۲۵	۳۹۱۸	۴۰۳۷

\* ارقام مزرعه ۵ به دلیل پراکندگی حذف گردیده است.

$$\log(A - Ry) = \log A - c_1(b) - c(x)$$

$$0.81 = 2 - 0.002 \times (602) - c(x) \quad (۵)$$

$$c(x) = 2 - 2.05$$

$$c = -0.050$$

**د- محاسبه حد بحرانی پتاسیم در مزارع گندم آبی:**

چنانچه ضریب  $c_1$  کل منطقه بدست آمده باشد، برای هر سطح از حداکثر عملکرد می توان یک حد بحرانی بدست آورد. در این تحقیق ضریب  $c_1$  برای ۱۱ مزرعه برابر  $0.002$  و حد بحرانی پتاسیم برای حصول به ۸۵ درصد حداکثر عملکرد تحت شرایط آزاد بودن قیمت کودها برابر ۱۱۵، لیکن در شرایط فعلی که کودهای پتاسیمی یارانه‌ای (ارزان) هستند، برای حصول به ۹۵ درصد حداکثر عملکرد (نیل به تولید پایدار، تأمین امنیت غذایی و اقتصادی بودن تولید گندم) برابر ۱۸۰ میلی گرم در کیلوگرم بدست آمد.

بر اساس این نتایج، مدیر آزمایشگاه می تواند به کشاورز پس از تعیین مقدار پتاسیم قابل استفاده خاک زراعی ایشان اعلام نماید که بدون مصرف کودهای پتاسیمی به چند درصد عملکرد نسبی دست خواهد یافت. چون در مزارع تحت بررسی حد بحرانی پتاسیم بیشتر از مقدار تعیین شده بود بنابراین، بدون مصرف کود می توان حداقل به ۸۵ درصد عملکرد نسبی دست یافت.

این هم توسط محققین متعددی به اثبات رسیده است. لیکن، این اثر بخشی به دو دلیل الف) غلظت بالای پتاسیم قابل استفاده خاک‌های تحت بررسی و ب) شرایط اقلیمی نامساعد، در مزارع گندم آبی حتی در مقایسه با تیمار اول (عرف زارع) بسیار ناچیز بود.

**ب- محاسبه ضریب متغیر میچرلیخ-بری خاک ( $c_1$ ):**

برای محاسبه ضریب  $c_1$ ، از معادله (۱)  $[\log(100 - Ry) = \log 100 - c_1 b]$  تحت شرایطی که کود پتاسیمی مصرف نشده باشد، استفاده می گردد. بدین ترتیب که برای تک تک مزارع و با استفاده از ارقام جدول (۳)، ضریب  $c_1$  جداگانه محاسبه و سپس میانگین آنها برای ۱۱ مزرعه تعیین گردید (جدول ۴).

**ج- محاسبه ضریب کود (c)**

پس از آنکه ضریب  $c_1$  تعیین گردید، با استفاده از معادله (۲)  $[\log(100 - Ry) = \log 100 - c_1 b - cx]$  ضریب  $c$  محاسبه می گردد. در دو حالت اندازه گیری ضریب  $c$  بی اعتبار خواهد بود. الف) در حالتی که عملکرد نسبی بیش از ۹۹٪ باشد. زیرا که لگاریتم  $\log(100 - Ry)$  منفی شده و از میانگین گیری حذف می شود. ب) در حالتی که عملکرد تیمار بهینه کودی از عملکرد تیمار شاهد (سطح کودی صفر) کمتر باشد. با عنایت به ارقام جدول های (۳) و (۴) چون ضریب  $c$  طبق محاسبه زیر منفی گردید، لذا حذف شد.

جدول ۴- مقادیر ضریب متغیر میچرلیخ (C<sub>1</sub>) با رعایت اصول مصرف بهینه کودی (مصرف عناصر کم مصرف)

شماره مزرعه	میزان پتاسیم (K <sub>2</sub> O) خاک* (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد نسبی** (Ry)	log(100-Ry)	ضریب متغیر خاک*** (c <sub>1</sub> )
۱	۸۲۸	۹۶/۳۵	۰/۵۶	۰/۰۰۱۷
۲	۳۶۰	۹۶/۰۳	۰/۵۹	۰/۰۰۲۸
۳	۹۳۶	۹۶/۸۶	۰/۴۹	۰/۰۰۱۶
۴	۵۷۶	۹۳/۸۵	۰/۷۸	۰/۰۰۲۱
۵	۱۸۰	۹۵/۹۷	۰/۶۰	۰/۰۰۷۸****
۶	۵۷۶	۹۵/۲۳	۰/۶۷	۰/۰۰۲۴
۷	۵۰۴	۹۳/۶۹	۰/۷۹	۰/۰۰۲۴
۸	۵۰۴	۹۲/۳۷	۰/۸۸	۰/۰۰۲۲
۹	۵۰۴	۹۰/۰۰	۱/۰۰	۰/۰۰۲۰
۱۰	۶۱۲	۹۱/۷۶	۰/۹۱	۰/۰۰۱۸
۱۱	۵۰۴	۹۱/۵۷	۰/۹۲	۰/۰۰۲۱
۱۲	۷۲۰	۹۱/۴۶	۰/۹۳	۰/۰۰۱۵
میانگین	۶۰۲	۹۳/۶۰	۰/۸۱	۰/۰۰۲۰

\* برای محاسبه مقدار پتاسیم در یک هکتار، غلظت پتاسیم خاک ابتدا در ۱/۲۰ و سپس در وزن یک هکتار خاک (۳ میلیون کیلوگرم) ضرب شده است.  
 \*\* برای محاسبه عملکرد نسبی، عملکردهای تیمار دوم (شاهد) بر تیمار پنجم (تیمار بهینه کودی) تقسیم و حاصل در ۱۰۰ ضرب شده است.  
 \*\*\* ضریب متغیر میچرلیخ با استفاده از معادله یک، برای تک تک مزارع محاسبه گردیده است.  
 \*\*\*\* ارقام مزرعه ۵ به دلیل پراکندگی حذف و ارقام میانگین برای ۱۱ مزرعه می‌باشد.

#### ه- محاسبه مصرف اقتصادی کود

از معادله میچرلیخ-بری می‌توان مصرف اقتصادی کود را با توجه به میزان عنصر مورد نظر در خاک تعیین کرد. لذا می‌توان در هر مقداری از پتاسیم خاک با و بدون مصرف کود مقدار هزینه و سود ناشی از مصرف کود را پیش‌بینی نمود (اگر تنها هزینه متغیر کود باشد). با عنایت به نتایج حاصله از این آزمایش مزرعه‌ای، پس از تعیین ضریب c<sub>1</sub>، می‌توان نسبت به محاسبه الف) عملکرد هکتاری دانه گندم بدون آنکه گندم‌کار کودی را مصرف نموده باشد، ب) میزان افزایش عملکرد هکتاری به ازای افزایش مقدار معینی کود و ج) عملکرد اقتصادی کود پی‌برد. تحت شرایط آزمایش حاضر، چون نیازی به مصرف کودهای پتاسیمی نبود، بنابراین، محاسبه مصرف اقتصادی کود بی‌معنی خواهد بود. لیکن در صورتی که در سال زراعی تحت بررسی، شرایط اقلیمی مناسبی می‌بود و عملکرد حداکثر به جای ۴۰۳۷ کیلوگرم در هکتار بالغ بر ۶ تن در هکتار می‌شد، با استفاده از معادله (۴)، محاسبه اقتصادی مصرف کلرید پتاسیم امکان‌پذیر می‌گردید.

#### بحث

میانگین بارندگی ۲۰ سال گذشته استان کرمانشاه ۴۳۹ میلی‌متر در سال بوده لیکن در سال زراعی ۸۷-۱۳۸۶ فقط ۲۸۴ میلی‌متر در سال بوده و بسیار کمتر از متوسط ۲۰ سال گذشته بوده و حاکی از شرایط خشکسالی در این سال بود. به رغم آبیاری مزارع، چون درجه حرارت نسبی هوا در منطقه بالاتر از

حد میانگین بوده و رطوبت نسبی نیز پایین‌تر از حد نرمال بود، بنابراین در فواصل آبیاری که به روش سنتی (غرقابی) انجام می‌گرفت، غالب مزارع گندم در فواصل بین آبیاری با تنش رطوبتی مواجه بودند. در صورتی که شرایط اقلیمی مناسب می‌بود، حداکثر عملکرد در تیمار مصرف بهینه کودی تا ۶۰۰۰ کیلوگرم در هکتار می‌رسید. مسلماً ارقام مندرج در جدول (۴) و در نهایت مقدار کود پتاسیمی مورد نیاز مزارع گندم متفاوت می‌بود (Olfati, et al., 1999; Malakouti et al., 2001; Kavousi, and Malakouti, 2006; Malakouti et al., 2010) بدیهی است عملکرد گندم تحت تاثیر شرایط خشکسالی قرار گرفته و حداکثر عملکردی که در معادله میچرلیخ-بری قرار گرفته، کمتر از حداکثر عملکرد واقعی بوده، بنابراین، حد بحرانی پتاسیم که با توجه به ضرایب متغیر بدست آمده است کمتر از حد بحرانی واقعی است. لازم به یادآوری است که حد بحرانی پتاسیم با عواملی از قبیل درصد رس و ظرفیت تبادل کاتیونی خاک رابطه مستقیمی دارد و عوامل دیگری مانند نوع کانی، رطوبت خاک، نحوه مدیریت، شرایط آب و هوایی و خصوصیات خاک نیز می‌توانند بر روی حد بحرانی تاثیر بگذارند. معمولاً با افزایش درصد رس و CEC خاک، حد بحرانی پتاسیم افزایش می‌یابد نتایج محققین دیگر نیز این موضوع را تایید می‌نماید (Olfati, et al., 1999; Malakouti et al., 2001; Kavousi, and Malakouti, 2006; Malakouti et al., 2010) از طرف دیگر مصرف کودهای محتوی عناصر کم مصرف مخصوصاً سولفات روی نیز چندان نتوانست عملکرد هکتاری مزارع گندم آبی را افزایش دهد. در صورتی که تحت شرایط

نمودند (Olfati, et al., 1999; Malakouti et al., 2001; Kavousi, et al., 2006; Malakouti et al., 2010) از معادله میچرلیخ-بری علاوه بر تعیین حد بحرانی غلظت عناصر غذایی پرمصرف، می‌توان برای تعیین ضریب متغیر میچرلیخ-بری (C<sub>1</sub>)، تخمین میزان عملکرد محصول بدون آنکه کود عنصر غذایی مربوطه را مصرف نمود، افزایش عملکرد به ازای اضافه کردن هر مقدار کود و تعیین ضریب متغیر کود (C) و نیاز کودی اغلب محصولات استفاده نمود. بطور خلاصه با عنایت به مطالب فوق با استفاده از معادله میچرلیخ-بری می‌توان به صاحبان آزمایشگاه‌های تجزیه خاک و گیاه بخش خصوصی، اطلاعات الف) تعیین حد بحرانی غلظت یک عنصر غذایی پرمصرف؛ ب) تعیین پتانسیل تولید (عملکرد هکتاری) منطقه و ج) تعیین میزان درآمد را در اختیارشان گذاشت تا بتوانند در توصیه بهینه کودی، مولدین کشاورزی را یاری نمایند. تکرار آزمایش فوق در شرایط اقلیمی طبیعی (بدون حاکمیت خشکسالی) برای مزارع گندم آبی و سایر محصولات زراعی توصیه می‌گردد.

معمول، مصرف چنین کودهایی حداقل ۱۰ درصد عملکرد هکتاری گندم افزایش می‌یافت (Malakouti, et al., 2008). هم چنین مصرف ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کلرید پتاسیم حتی بصورت تقسیط فقط توانست عملکرد هکتاری گندم را به ترتیب ۴۶، ۱۳۹ و ۲۵۸ کیلوگرم در هکتار افزایش دهد که اقتصادی نبود. افزایش عملکرد در اثر مصرف کودهای پتاسیمی یک امر بدیهی است (Malakouti, 2008). لیکن، به دو دلیل در مزارع گندم آبی تحت بررسی، این امر تحقق نیافت: دلیل اول حاکمیت شرایط اقلیمی غیرطبیعی (زمستان بسیار سرد و بهار خیلی گرم با رطوبت نسبی کمتر) و دلیل دوم زیادی پتاسیم قابل استفاده در مزارع تحت بررسی بود.

در تحقیقات وسیعی که در مورد حد بحرانی پتاسیم در مزارع گندم آبی و برنج در سطح کشور انجام دادند، میانگین آن را برای گندم در مناطق گرم و خشک مشابه مناطق تحت بررسی، ۱۷۲ میلی‌گرم در کیلوگرم بدست آوردند. این محققین حد بحرانی پتاسیم برای شالیزارها در استان مازندران ۱۵۰ و در استان گیلان ۱۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم گزارش

## REFERENCES

- Alihyaei, M. and Behbahanzadeh, A. (1993). *Soil analysis methods*. First edition. Soil and Water Research Institute. Ministry of Agriculture. Bulletin No. 893. Tehran, Iran (In Farsi).
- Assadi, A. and Malakouti, M. J. (2004). Zinc calibration in the field and its effects on yield soybean. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*, 17, 115-122 (In Farsi).
- Assadi, A., Cherati A. and Malakouti, M. J. (2004). Determination of manganese critical level and its effects on yield of soybean in greenhouse. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*, 18, 152-160 (In Farsi).
- Assadi, A., Malakouti, M. J. and Cherati, A. (2006). Calibration of soil Mn and its effects on the yield of soybean in Mazandaran province. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*, 37, 839-848 (In Farsi).
- Black, C. A. (1993). *Soil fertility evaluation and control*. Lewis Publishers, London. 746 Pp.
- Cate, R. B. and Nelson, L. A. (1971). A simple statistical procedure for partitioning soil test calibration data into two classes. *Soil Science Society of American Journal*, 33, 658-660.
- Eskandarian, H. and Sayyadian, K. (1992). *Soil test calibration with P for wheat under dry land condition in Western Iran*. In: J. Ryan and A. Matar (Eds.). *Fertilizer use efficiency under rainfed agriculture in West Asia and North Africa*. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo, Syria.
- Feizi Asl, V. (2004). *Determination of micronutrients critical levels on yield under dry land wheat farming conditions in the West part of the country*. Research Institute for Dry Land. Final report. Maragheh, Iran. 36 pp. (In Farsi).
- Feizi Asl, V. (2008). Comparison between various methods of micronutrient critical level determination on under dry land wheat farming conditions in the West part of the country. Research Institute for Dry Land. *Journal of Technology and Agricultural Sciences (Soil and Water)*, 22, 133-148 (In Farsi).
- Kavousi, M. and Malakouti, M. J. (2006). Determination of potassium critical level with ammonium acetate extractant in Gilan rice fields. *Journal of Science & Technology of Agriculture & Natural Resources*, 10, 113-123 (In Farsi).
- Malakouti, M. J. (2008). The effect of micronutrients in ensuring efficient use of macronutrients. *Turkish Journal of Agriculture For.*, 32, 215-220
- Malakouti, M. J., Keshavarz, P., Ghaderi, J. and Maafpourian, M. R. (2010). The roles of K-fertilizers' top dressing on the yield of wheat and corn. The 8<sup>th</sup> *International Wheat Conference*. St. Petersburg, Russia.
- Malakouti, M. J., Davoudi, M. H., Saadati, N., Valinejad, M., Ramazanpour, M. R., Mahmoudi, M. and Mohammadian, M. (2001). Determination of the critical level for potassium and an investigation on the response of rice to potassium chloride in the rice paddies of Mazandaran province. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*. (Special Issue: Balanced Fertilization): 12 (14), 54-62 (In Farsi).
- Malakouti, M. J., Keshavarz, P. and Karimian, N. (2008). *A comprehensive approach towards*

- identification of nutrients deficiencies and optimal fertilization for sustainable agriculture.* Tarbiat Modares University Press. Tehran, Iran. 755 pp. (In Farsi).
- Olfati, M., M. R. Balali, and M. J. Malakouti (1999). Determination of potassium critical level in the wheat farms on the calcareous soils of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Sciences*. (Special issue: Wheat), 12 (6), 46-53 (In Farsi).
- Pala, M. and Matar, A. (1987). Soil test calibration with N and P for wheat under dry land condition in Syria. In: *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> Regional Workshop*. Ankara, Turkey.
- Srivastava, S., Subba Rao, A., Aivelu, K., Singh, K. N., Raju, N. S. and Rathore, A. (2006). Evaluation of crop response to applied P-fertilizer and deviation of optimum recommendations using the Mitscherlich-Bray equation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37, 847-858.
- Swaminathan, K., Rudwal, R. H. and Nashebi, N. (1979). Fertilizer requirement of wheat in Afghanistan in relation to the fertility of the soils. *Soil Sciences*, 127, 321-329.
- Yurtsever, N. (1987). Two soil test for phosphorus calibration with barley responses to fertilizer in rainfed condition of Turkey. Pp. 36-43. In: Matar, A., Soltanpour, P. N. and Chouinard, A. (Eds.). *Soil Test Calibration in West Asia and North Africa*. ICARDA, Aleppo, Syria.
- Yurtsever, N. and Gedikoglu, I. (1990). Soil test calibration with phosphorus for three different wheat varieties cropped under Turkish rainfed conditions. Pp. 124-137. In: J. Ryan, and A. Matar, (Eds). Fertilizer use efficiency under rainfed agriculture in West Asia and North Africa. In: *Proceedings of 4<sup>th</sup> Regional Workshop*. Agadir, Morocco.