وضعیت و مدل‌سازی روی در دانه گندم در رابطه با ویژگی‌های اکوسیستم کشاورزی در برخی مناطق خشک و نیمه‌خشک

مهین کرمی[1*]، مجید افیونی[2]، امیرحسین خوشگفتارمنش[2]، محمدعلی حاج عباسی[2]، حسین خادمی[2] و علی عبدی[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۲/۳ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۳)

چکیده

روی از عناصر کمیاب ضروری است که نقشی مهم در تغذیه موجودات زنده دارد. در هر اکوسیستم، رابطه‌ای معنی‌دار بین وضعیت روی در خاک‌های کشاورزی، گیاهان و انسان‌هاوجود دارد. این پژوهش به منظور شناسایی وضعیت روی در خاک و دانه گندم در سه استان فارس، اصفهان و قم و نیز مدل‌سازی رابطه بین روی در دانه گندم با ویژگی‌های خاک و اکوسیستم کشاورزی انجام گرفت. با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی، ۱۳۷ نمونه خاک و دانه گندم از زمین‌های کشاورزی منطقه جمع‌آوری گردید. تجزیه‌های آزمایشگاهی لازم بر روی نمونه‌های برداشت شده انجام گرفت. مدل‌سازی رابطه بین روی گیاه با ویژگی‌های اکوسیستم زراعی با استفاده از روش‌های تجزیه رگرسیونی کمترین مربعات و روباست صورت پذیرفت. نتایج این پژوهش نشان داد که غلظت‌های اندازه‌گیری شده کل روی در محدوده نرمال (بین $mg\ kg^{-1}$ ۱۴۹ –۲۱ و به طور میانگین $mg\ kg^{-1}$ ۷۵/۲) بوده و غلظت‌های قابل عصاره‌گیری با DTPA روی تنها در ٪۱۶ از خاک‌های مطالعه شده کمتر از حد بحرانی (۰/۸mg kg-1) می‌باشند. غلظت روی دانه‌های گندم نمونه‌برداری‌شده از جنبه تغذیه گیاه غالباً بیشتر از حد کفایت (بیش از $mg\ kg^{-1}$ ۲۴ در ۸۰ درصد از نمونه ها) بود. اما زیاد بودن نسبت مولی فایتیک اسید به روی (بیش از ۱۵) در بیش از ۷۵ درصد نمونه‌های تجزیه شده نشان می‌دهد که قابلیت جذب روی در این نمونه‌ها برای مصرف کنندگان عموماً کم است. روی قابل عصاره‌گیری با DTPA و فسفر قابل جذب خاک به عنوان متغیرهایی مهم و معنی‌دار به بیشتر مدل‌های رگرسیونی وارد شدند. تجزیه‌های رگرسیونی نشان داد که اکثر روابط به‌دست آمده بین غلظت روی گندم با روی خاک و تحت تأثیر سایر ویژگی‌های اکوسیستم زراعی با وجود زیاد بودن ضرایب تبیین، قدرت پیش‌بینی خوبی از خود نشان ندادند. این بدان معناست که عوامل دیگری غیر از موارد بررسی شده در این مطالعه بر جذب روی توسط گندم در این خاک‌ها اثر دارند.

واژه‌های کلیدی: اکوسیستم زراعی، روی، گندم، مدل‌سازی

۱. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲. گروه خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mahinkarami@yahoo.com

مقدمه

روی از عناصر کمیاب ضروری است که نقشی مهم در تغذیه گیاه (از نظر تأثیر بر عملکرد و کیفیت محصولات)، جانوران و انسان دارد. امروزه کمبود روی یکی از نگرانی‌های جدی در تغذیه انسان در عرصه جهانی به ویژه در کشورهای در حال توسعه که رژیم غذایی آنها غنی از غلات و فقیر از پروتئین حیوانی است، می‌باشد (۶ و ۷). اگرچه کمبود روی در جوامعی که غلات غذای اصلی آنهاست و مناطقی که خاک‌هایی فقیر از نظر روی قابل دسترس گیاه دارند از دهه‌های پیش شناسایی شده‌است (۷ و ۲۳)، ارتباط بین کمبود روی در انسان و سطوح کم آن در خاک‌ها و محصولات کشاورزی در سال‌های اخیر روشن شده‌است. کاک مک و همکاران (۷) نشان دادند که بین وضعیت کمبود روی در خاک‌های مرکزی آناتولی، کمبود روی در گندم و سوء تغذیه روی در دانش‌آموزان منطقه مورد مطالعه، ارتباطی روشن برقرار بود.

غلات به‌ویژه گندم از مهم‌ترین منابع غذایی در کشورهای در حال توسعه می‌باشند (۶ و ۱۹). غلات نه تنها دارای روی کمتر از حد مورد نیازند، بلکه سرشار از ترکیبات کاهنده قابلیت استفاده (Superscript) روی برای انسان مانند اسید فیتیک و فیبر می‌باشند (۷). مقدار اسید فیتیک دانه، یکی از عوامل تعیین‌کننده قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن برای انسان است. به همین دلیل، برای مصرف‌کنندگان غلات، علاوه بر غلظت عناصر کم‌مصرف مانند روی و آهن، مقدار اسید فیتیک دانه نیز حائز اهمیت است. در حدود ٪ ۷۵ از کل فسفر دانه غلات به صورت اسید فیتیک به ویژه در رویان و لایه آلورون ذخیره شده‌است که یک عامل کلات‌کننده قوی برای کاتیون‌هایی مانند کلسیم، آهن و روی است (۲۴). نسبت مولی اسید فیتیک به روی در بخش‌های خوراکی گیاهان، به عنوان شاخصی مناسب از قابلیت جذب روی برای مصرف‌کنندگان شناخته می‌شود (۲۷) بنابراین با اندازه‌گیری غلظت روی و نسبت آن با اسید فیتیک در دانه گندم، می‌توان اطلاعاتی مفید از وضعیت روی در انسان به‌دست آورد.

مدل‌سازی فرآیند جذب عناصر کمیاب توسط گیاه، به دلیل عوامل پرشمار تأثیرگذار بر آن و ماهیت پیچیده و غیرخطی روابط موجود در سیستم خاک و ریشه بسیار دشوار است. بسیاری از پژوهش‌گران تلاش کرده‌اند تا ارتباط بین غلظت عناصر در خاک و گیاه را با روابطی تجربی بیان کنند (۳، ۹ و ۲۱). کاباتا پندیاس (۱۲) بر این عقیده است که پاسخ گیاهان به تنش‌های ناشی از کمبود یا بیش‌بود عناصر کمیاب در محیط رشد آنها را نمی‌توان با روابطی دقیق و ثابت بیان کرد، زیرا گیاهان با سازوکارهای بیوشیمیایی برشمار، توانایی سازگاری با محیط‌های نامتعادل از نظر شیمیایی و تحمل شرایط تنش را دارند. بنابراین لازم است پاسخ گیاهان به وضعیت عناصر کمیاب در خاک و محیط پیرامونی برای هر سیستم ویژه خاک-گیاه به صورت اختصاصی بررسی شود.

با این‌که مطالعاتی گوناگون پیرامون تأثیر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک (۹) و ویژگی‌های اقلیمی و مدیریت کشاورزی (۱۸) بر جذب عناصر کمیاب توسط گیاهان زراعی انجام گرفته‌است، به نظر می‌رسد تأثیر ویژگی‌های مختلف اکوسیستم مانند خاک، اقلیم، موقعیت جغرافیایی و مدیریت مزرعه بر جذب عناصر توسط گیاه در مقیاس ناحیه‌ای به صورت همزمان بررسی نشده باشد. بررسی ارتباط ویژگی‌های مختلف اکوسیستم با جذب عناصر کم‌مصرف توسط گیاه در مقیاس منطقه‌ای، می‌تواند به توسعه مدل‌های قابل اعتماد برای پیش‌بینی مقدار انتقال عناصر کم‌مصرف از خاک به گیاهان خوراکی، کمک کند.

اگرچه در برخی مطالعات نشان داده شده است که مقدار عناصر کم‌مصرف در دانه گندم تا اندازه زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های محیطی و ژنوتیپ بوده‌است (۱۹ و ۲۲)، اطلاعاتی کافی درباره انباشتگی عناصر کم‌مصرف در دانه گندم در خاک‌های آهکی مناطق خشک و نیمه‌خشک در شرایط واقعی مزرعه در دسترس نمی‌باشد. بنابراین اهداف این پژوهش عبارتند از: ۱- بررسی غلظت روی دانه گندم ارقام رایج کشت شده در منطقه مورد مطالعه و نیز بررسی نسبت مولی اسید

فیتیک به روی در تعدادی از نمونه‌های گندم و ۲- مطالعه رابطه بین غلظت روی دانه گندم با برخی ویژگی‌های خاک (مانند غلظت قابل جذب روی) و اکوسیستم زراعی (مانند متغیرهای اقلیمی، واحدهای فیزیوگرافیک و سیستم‌های تناوب زراعی).

مواد و روش‌ها

این پژوهش در منطقه‌ای به وسعت بیش از ۷۵۰۰۰ کیلومترمربع در بین عرض‌های جغرافیایی ′۵۱ °۲۸ تا ′۶ °۳۵ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۲۱ °۵۰ تا ′۴ °۵۳ شرقی در بخش‌هایی از استان‌های فارس، اصفهان و قم انجام گرفته است.

نمونه‌برداری از خاک و گندم

در خردادماه و تیرماه سال ۱۳۸۶ هم‌زمان با فصل برداشت گندم، نمونه‌برداری خاک (از لایه صفر تا ۲۰ سانتی‌متری) و دانه گندم از۱۳۷ مزرعه گندم به طور تصادفی و مرکب انجام شد. موقعیت جغرافیایی نمونه‌ها توسط دستگاه GPS تعیین شده و الگوی تناوب زراعی رایج در مکان نمونه‌برداری و نیز، آبی یا دیم بودن کشت ثبت شد. نمونه‌های خاک پس از هوا خشک شدن از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و آماده تجزیه‌های آزمایشگاهی گردیدند. نمونه‌های مرکب دانه گندم نیز از گیاهان رشد یافته در نقاط نمونه‌برداری خاک، برداشت و در آزمایشگاه به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک‌کن تا رسیدن به وزن ثابت قرار داده شده و سپس آسیاب گردیدند.

تجزیه‌های آزمایشگاهی

توزیع اندازه ذرات خاک به روش هیدرومتری، pH در گل اشباع و هدایت الکتریکی در عصاره اشباع (EC_e) با روش‌های استاندارد و مقدار کربن آلی (OC) به روش سوزاندن تر اندازه‌گیری شدند. مقدار قابل جذب عناصر در خاک بر اساس روش لیندسی و نورول (۱۵) با DTPA عصاره‌گیری و با دستگاه جذب اتمی (پرکین – المر ۳۰۳۰) اندازه‌گیری شد. فسفر قابل جذب به روش السن، درصد کربنات کلسیم معادل ($CaCO_3$) به روش انحلال با اسید کلریدریک و تیتراسیون برگشتی با سود، و نیتروژن کل به روش کلدال اندازه‌گیری شدند. برای اندازه‌گیری فسفر کل خاک‌ها از روش ساندرز و ویلیام اصلاح شده توسط والکر و آدامز استفاده شد. غلظت‌های منیزیم، سدیم و پتاسیم در عصاره اشباع خاک‌ها اندازه‌گیری شد. روش‌های مورد استفاده در تجزیه نمونه‌ها و مراجع آنها به تفصیل در مرجع شماره ۱ آمده است.

تعیین غلظت کل عناصر (روی، آهن، مس) در خاک و (یا) دانه‌های گندم با استفاده از فلوروسانس اشعه ایکس (X-Ray Fluorescence; XRF) صورت گرفت (۸). دقت اندازه‌گیری با XRF با تجزیه تعدادی نمونه استاندارد کنترل گردید. همهٔ اندازه‌گیری‌ها برای نمونه‌های استاندارد در محدوده ۹۵ درصد اطمینان اندازه‌گیری‌های تأیید شده واقع گردیدند (نتایج نشان داده نشده‌اند).

از بین نمونه‌های گندم مربوط به استان‌های اصفهان و فارس، تعداد ۴۰ نمونه به صورت تصادفی انتخاب شده و مقدار اسید فیتیک آنها اندازه‌گیری شد (۱۶). نسبت مولی اسید فیتیک به روی (PA/Zn)، با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$MR = \frac{PA / ۶۶۰}{Zn / ۶۵ / ۴} \qquad [۱]$$

که در آن MR نسبت مولی اسید فیتیک به روی، PA مقدار اسید فیتیک بر حسب mg/100g و مقدار Zn دانه نیز برحسب mg/100g می‌باشند.

تخمین مقدار ورود روی به زنجیره غذایی از طریق دانه گندم

میانگین دریافت روزانه (Dietary intake; DI) روی از طریق مصرف گندم با استفاده از نتایج این پژوهش مشخص شد و مقدار قابل جذب آن برای انسان (که با استفاده از نسبت مولی اسید فیتیک به روی تخمین زده شد) با مقادیر جذب روزانه مرجع (Dietary reference intake; DRI) توصیه شده توسط سازمان بهداشت جهانی (World health organization; WHO) مقایسه شد (۳۱). مقدار DI بر حسب میلی‌گرم بر شخص در روز با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$DI = DIW * C \qquad [۲]$$

که DIW دریافت روزانه گندم (کیلوگرم بر شخص در روز) و C غلظت روی در دانه ($mg\ kg^{-1}$) است.

تجزیه و تحلیل نقشه‌ها

داده‌های اقلیمی از نقشه‌های هم‌تراز بارندگی، درجه حرارت و تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه (۱/۲۵۰۰۰۰) سازمان هواشناسی ایران استخراج گردید. بدین ترتیب که عدد مربوط به نزدیک‌ترین خط هم‌تراز به هر نقطه نمونه‌برداری با استفاده از نرم‌افزار ARC GIS 9.2 به نقطه مذکور نسبت داده شد. نوع مواد مادری در نقاط نمونه‌برداری از نقشه‌های زمین‌شناسی و داده‌های شیب و ارتفاع از نقشه‌های توپوگرافی و مدل‌های رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) (سازمان نقشه‌برداری ایران) استخراج گردیدند. نقشه‌های قابلیت اراضی (موسسه خاک و آب) برای تعیین واحدهای فیزیوگرافی و رده‌بندی خاک‌ها در مکان نقاط نمونه‌برداری‌شده استفاده گردیدند. همه نقشه‌های مورد استفاده دارای مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ بوده و تجزیه و تحلیل آنها با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 9.2 و ArcView 3.2a انجام شد.

تحلیل‌های آماری

ویژگی‌های آماری متغیرهای مورد مطالعه مانند میانگین، میانه و انحراف معیار با استفاده از نرم‌افزار SPSS 11.5 محاسبه گردید. برخی متغیرهای خاک، دارای چولگی مثبت بودند که برای تجزیه‌های رگرسیون، لگاریتم طبیعی داده‌های آنها (که توزیع نزدیک به نرمال داشتند) مورد استفاده قرار گرفتند.

تجزیه‌های رگرسیونی

تجزیه رگرسیونی چندمتغیره، یک روش آماری برای بررسی و مدل‌سازی رابطه بین متغیرهاست. در این روش رابطه بین متغیر وابسته y و چند متغیر مستقل x مدل‌سازی می‌شود. یک مدل رگرسیون خطی چندمتغیره به صورت زیر قابل بیان است:

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^{p} \beta_j x_{ij} + e_i \qquad [۳]$$
$$i = 1, 2, \ldots, n$$

که در آن y_i متغیر هدف (وابسته) بوده و تعداد p متغیر مستقل (پیش‌بینی‌کننده) x_{ij} ($j = 1,\ldots,p$) و تعداد p ضرایب رگرسیون (پارامتر β_j) وجود دارند. در این رابطه e_i خطاهای تصادفی (یا مانده‌ها) می‌باشند.

در این مطالعه برای بررسی رابطه بین مقدار روی گیاه و ویژگی‌های اکوسیستم، از روش‌های رگرسیونی چندمتغیره کمترین مربعات و روباست استفاده شد (۱۱ و ۱۷). براساس روش کمترین مربعات، معیارهای مختلفی برای انتخاب مجموعه متغیرهای واردشده به مدل وجود دارد که در این تحقیق از معیارهای AIC (Akaike information criterion)، BIC (Bayesian information criterion) و Mallow`s Cp - (statistic) C_p استفاده شده و با توجه به این معیارها به ترتیب مدل‌های AIC، BIC و Leaps معرفی گردیدند (۱۱ و ۱۷).

در حالت کلی، معیار AIC به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$AIC = 2k - 2\ln(L) \qquad [۴]$$

که در آن k تعداد پارامترهای مدل و L مقدار بیشینه تابع احتمال برای مدل تخمین‌زده‌شده می‌باشند. مدل دارای کمترین مقدار AIC، بهترین مدل از نظر این معیار است و مدل AIC نامیده می‌شود.

شکل عمومی معیار BIC به صورت زیر است:

$$BIC = -2\ln(L) + k\ln(n) \qquad [۵]$$

که در آن n تعداد مشاهده‌ها و k و L همانند رابطه ۴ می‌باشند. مدل دارای کمترین مقدار BIC ، بهترین مدل از نظر این معیار است و مدل BIC نامیده می‌شود.

آماره Cp نیز که از مجموع مربعات خطا استفاده می‌کند، معیار دیگری برای قضاوت درباره انتخاب مدل است.

$$C_p = \frac{SSE}{\sigma} + (2p - n) \qquad [۶]$$

که در آن p تعداد متغیرهای مستقل در معادله (k-1)، n تعداد مشاهدات، SSE مجموع مربعات خطا و $\hat{\sigma}_e^2$ برآورد واریانس

مانده‌هاست. زیرمجموعه‌ای از متغیرها (با کمترین تعداد متغیر) که C_p آنها به p نزدیک باشد، زیرمجموعه‌ای مناسب است (۱۱ و ۱۷). مدل انتخاب شده به این روش مدل Leaps نامیده می‌شود.

تخمین‌های آماری کلاسیک همانند میانگین نمونه و نیز برازش مدل‌های رگرسیونی به روش کمترین مربعات، به شدت تحت تأثیر حضور داده‌های پرت در مجموعه داده‌ها قرار می‌گیرند. از سوی دیگر روش‌های روباست قادر به برازش خوب داده‌ها با و یا بدون داده‌های پرت در مجموعه داده‌ها به ویژه در مورد داده‌های چندمتغیره می‌باشند. به عبارت دیگر، تخمین‌های صورت گرفته از روش روباست تحت تأثیر داده‌های پرت قرار نمی‌گیرد (۱۱ و ۱۷). رگرسیون روباست روش‌های مختلفی دارد که یکی از معمول‌ترین آنها MM-estimates است. در روش‌های MM-estimates پارامترهای رگرسیون β به گونه‌ای برآورد می‌شوند که تابع هدف $h(\beta)$ برای بهینه‌سازی ضرایب، کمینه باشد. این تابع به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$h(\beta) = \sum \rho\left(\frac{e(\beta)}{s}\right) = \min \qquad [۷]$$

که در آن ρ تابع مقادیر مانده‌ها $e_i(\hat{\beta})$ می‌باشد. $e_i(\hat{\beta})$ همان‌گونه که قبلا اشاره شد، خطاهای رگرسیون (مانده‌ها) می‌باشد که وابسته به بردار ستونی β های برآورد شده است.

$$e_i(\beta) = y_i - \hat{y}_i(\beta) \qquad [۸]$$

$\hat{y}_i(\beta)$ مقدار تخمین زده شده برای متغیر پاسخ می‌باشد. s یک پارامتر مقیاس (Scale parameter) بوده که متناسب با انحراف استاندارد مقادیر باقی‌مانده می‌باشد. معادله بالا به روش تکراری با انتخاب مقادیر متفاوت برای β_i حل شده و ثابت می‌شود که مقدار h در هر تکرار افزایش نمی‌یابد و نیز اگر یک نقطه شروع برای β_0 این تابع موجود باشد، به طوری که :

$$h(\beta) = ۰ \qquad [۹]$$

آنگاه این الگوریتم به آن همگرا خواهد بود.

بررسی خطای پیش‌بینی مدل در فرآیند اعتبارسنجی (Cross validation)

روش اعتبارسنجی k-fold از بخشی از داده‌های دردسترس برای برازش مدل و از بخش‌های دیگر برای آزمون قدرت پیش‌بینی استفاده می‌کند. در این روش، داده‌ها به k قسمت با تعداد داده‌های تقریبا" برابر تقسیم می‌شود.

برای k امین قسمت از داده‌ها، مدل را به بقیه k-1 قسمت داده‌ها برازش داده و خطای پیش‌بینی مدل برازش داده‌شده وقتی که فرآیند پیش‌بینی را برای k مین قسمت داده‌ها انجام می‌دهد، محاسبه می‌شود. این عمل را برای k=1, 2,....K انجام داده و خطای پیش‌بینی K تعداد تخمین انجام گرفته ترکیب می‌شوند. به طور معمول، K برابر ۵ یا ۱۰ انتخاب می‌شود.

اگر $\hat{f}^{-k(x)}$ تابع برازش داده شده در غیاب k مین بخش از داده‌ها باشد، آنگاه تخمین اعتبارسنجی از خطای پیش‌بینی مدل عبارت است از:

$$CV(f) = \frac{۱}{N}\sum L(y, f^{-}(x)) \qquad [۱۰]$$

برای تجزیه آماری داده‌ها از نرم‌افزار R (http://www.r-project.org) استفاده شد. گام اول شامل برازش یک مدل رگرسیونی در برگیرنده همه متغیرهای مستقل مورد نظر به مجموعه داده‌ها به روش روباست بود. پس از آن، جستجوی مدل‌های ساده شده روباست، با حذف یا اضافه کردن مرحله‌ای متغیرهای غیر معنی‌دار یا معنی‌دار انجام گرفت. معنی‌داری متغیرهای مستقل توسط نتایج فرآیند اعتبارسنجی ارزیابی گردید. بر پایه نتایج اعتبارسنجی، بهترین زیرمجموعه از متغیرهای مستقل انتخاب شد. با این روش علاوه بر بهترین مدل روباست، داده‌های پرت موجود در سری داده‌ها شناسایی گردیدند. پس از حذف داده‌های پرت شناسایی‌شده، رگرسیون کلاسیک به روش کمترین مربعات با استفاده از همه متغیرهای مستقل مورد نظر، روی داده‌های باقی‌مانده اجرا گردید. در گام بعدی مدل‌های AIC و BIC توسط گزینش گام‌به‌گام متغیرها انتخاب شدند، در حالی که مدل Leaps توسط یک جستجوی جامع بین تمام مدل‌های ممکن و با استفاده از معیار C_p انتخاب

گردید. قدرت پیش‌بینی مدل‌های روباست و کمترین مربعات در فرآیند اعتبارسنجی مقایسه شدند. ضریب تبیین (R^2)، محاسبه شده از همبستگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده‌ای متغیر هدف، و ریشه میانگین مربعات خطاها محاسبه شده به روش روباست (Robustly estimated root mean square error; Rob.RMSE)، برای مقایسه مدل‌های مختلف با یکدیگر مورد استفاده قرار گرفتند. در این‌جا خطا عبارت است از اختلاف مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی متغیر هدف در اعتبارسنجی. در هر یک از این مدل‌ها غلظت روی دانه گندم به عنوان متغیر هدف فرض شده و به عنوان تابعی از متغیرهای مستقل مختلف (گروهی و پیوسته) مدل شد.

بدیهی است که تخمین و نتیجه‌گیری از مدل‌های رگرسیونی خطی به چندین فرضیه بستگی دارد. در این تحقیق برای همه مدل‌های ارائه شده، فرضیات مربوط به توزیع مانده‌ها کنترل شدند. همبستگی درونی بین متغیرهای مدل نیز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها نشان دادند که باقی‌مانده‌ها به صورت نرمال توزیع شده‌اند، شواهدی برای واریانس متغیر وجود ندارد، فرض وجود همراستایی خطی در همه موارد رد شد و متغیرها به طور قابل توجهی مستقل از هم بودند (نمودارها و جداول مربوطه نشان داده نشده‌اند).

نتایج و بحث

آمار توصیفی متغیرهای گروهی و پیوسته

جدول ۱ توزیع مکان‌های نمونه‌برداری بین سطوح مختلف متغیرهای گروهی را نشان می‌دهد. آمار توصیفی ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده خاک و دانه گندم و داده‌های اقلیمی منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ خلاصه شده‌است.

غلظت‌های کل روی، آهن و مس در خاک با دامنه غلظت‌های طبیعی گزارش شده برای این عناصر در کشورهای مختلف قابل مقایسه بودند (۱۲). غلظت‌های قابل عصاره‌گیری با DTPA فلزات هم‌چنان که برای خاک‌های آهکی انتظار می‌رود، کم بودند. در مقایسه با سطح بحرانی گزارش شده توسط لیندسی و نورول (۱۵) و هم‌چنین اگراوال (۲) که برابر $^{-1}$mg kg ۰/۸ برای DTPA-Zn می‌باشد، تنها ۱۶ درصد از خاک‌های مطالعه شده دارای غلظت روی قابل عصاره‌گیری کمتر از حد بحرانی می‌باشند. مقایسه DTPA-Fe و DTPA-Cu نیز با سطوح بحرانی به ترتیب $^{-1}$mg kg ۴/۵ و ۰/۲ بر طبق لیندسی و نورول (۱۵) و $^{-1}$mg kg ۵ و ۰/۷۸ بر طبق اگراوال (۲)، نشان داد که درصد نمونه‌های خاک دارای غلظت قابل عصاره‌گیری کمتر از حدود بحرانی گزارش شده به ترتیب برابر ۱۹ و صفر (طبق نظر لیندسی و نورول)، ۲۶ و ۳ (طبق نظر اگراوال) بودند.

آمار توصیفی دانه گندم

دامنه غلظت عناصر کم‌مصرف در نمونه‌های دانه گندم مشابه با غلظت‌های گزارش شده در سایر نقاط جهان بودند (جدول۲) (۱۲). غلظت بحرانی روی دانه برای تولید ٪۹۵ بیشینه عملکرد گندم دیم در خاک‌های آهکی پاکستان، $^{-1}$mg kg ۲۴ وزن خشک گزارش شده‌است (۲۵). حدود ٪۲۰ از نمونه‌های دانه مورد بررسی در این پژوهش غلظت روی کمتر از $^{-1}$mg kg ۲۴ وزن خشک داشتند. ناهاپتیان و بصیری (۲۰)، غلظت روی و آهن ارقام مختلف گندم استان فارس را در طی دو سال اندازه‌گیری کردند. غلظت‌های میانگین گزارش شده برای ۷ رقم گندم (دیهیم، درخشان، جلگه، کوهرنگ، نوید، امید و روشن) در دامنه $^{-1}$mg kg ۷۰–۱۷ برای روی و $^{-1}$mg kg ۸۷–۲۹ برای آهن قرار داشتند.

جدول ۲ نشان می‌دهد که میانگین نسبت مولی اسید فیتیک به روی در دانه‌های گندم ۳۰/۶ است. این نسبت در ٪۲۵ از نمونه‌ها بیش از ۳۹ و در ٪ ۷۵ از نمونه‌ها بزرگ‌تر از ۱۷ بود. طبق استانداردهای WHO نسبت مولی اسید فیتیک به روی بزرگ‌تر و مساوی ۱۵، ۱۵–۵ و کوچک‌تر از ۵ به ترتیب بیان‌گر قابلیت جذب روی کم (٪۱۰–۱۵)، بینابینی (٪۳۰–۳۵) و زیاد (٪۵۰–۵۵) می‌باشند. بنابراین قابلیت جذب روی در بیشتر این

جدول۱. توزیع نقاط نمونه‌برداری شده بین سطوح مختلف متغیرهای گروهی در زمین‌های زیر کشت گندم. اعداد داخل پرانتز تعداد نقاط نمونه‌برداری که دارای ویژگی مورد نظر هستند را نشان می‌دهند.

†تناوب زراعی	تشکیلات زمین‌شناسی	واحد فیزیوگرافی	رده‌بندی خاک (FAO)	کلاس اقلیمی دومارتن	کاربری زمین
b.m.w.l (۱۹)	کنگلومرا(۴۴)	دشت آبرفتی (۲۵)	آرنوسول (۲)	خشک (۸۱)	دیم (۳۷)
r.v.w.f (۲۴)	سنگ آهک (۱۷)	واریزه بادبزنی (۲۲)	کلکریک کمبی‌سول (۴۳)	مدیترانه‌ای (۴)	آبی (۱۰۰)
w-b.m-c (۱۰)	مارن (۱۸)	دشت سیلابی(۲۵)	کلکریک رگوسول (۵۸)	نیمه‌خشک (۵۲)	
w-b.r.l-p.r (۳۶)	دگرگونی (۳)	تپه(۱۶)	هاپلیک کلسی‌سول (۱۱)		
w.b.cotton.f (۱۷)	سنگ آهک نمکی (۹)	واریزه قدیمی (۱۵)	هاپلیک سولونچاک (۱۱)		
w.m.w.b (۳۱)	رسوبات کواترنری (۴۶)	دشت دامنه‌ای (۱۷)	لیتیک لپتوسول (۱۲)		
		فلات (۱۷)			

†: انواع تناوب زراعی عبارتند از جو- ذرت- گندم- بقولات (b.m.w.l)، برنج- سبزیجات- گندم- آیش (r.v.w.f)، گندم یا جو- ذرت یا کلزا (w-b.m-c)، گندم یا جو-برنج- بقولات یا سیب‌زمینی- برنج (w-b.r.l-p.r)، گندم- جو- پنبه آیش(w.b.cotton.f)، گندم- ذرت- گندم- جو (w.m.w.b)

جدول۲ .آمار توصیفی متغیرهای تعیین شده در این مطالعه (شامل شرایط اقلیمی در نقاط نمونه‌برداری‌شده) برای زمین‌های زیر کشت گندم در منطقه‌ی مورد مطالعه

پارامتر	واحد	بیشینه – کمینه	میانگین	میانه	Std	چولگی
pH	-	۷/۰۷–۸/۸۸	۸/۱	۸/۱۴	۰/۳۸	۰/۵۴
ECe	$dS\ m^{-1}$	۱۰/۲۹-۰/۳۱	۳/۸۳	۲/۳۴	۳/۳۱	۰/۸۶
†Available P	$mg\ kg^{-1}$	۱۶۵/۱-۱۰/۳۸	۴۲/۱	۳۷/۵۹	۲۲/۵۴	۲/۴
‡ln. P. ava	$mg\ kg^{-1}$	۵/۱-۲/۳۴	۳/۶	۳/۶	۰/۹	۰/۰۲
Total N	$g\ kg^{-1}$	۲/۰-۰/۱	۰/۶۶	۰/۷۱	۰/۳۸	۰/۲۹
Clay	$g\ kg^{-1}$	۵۶۰-۱۶۰	۳۸۴	۳۶۶	۹۰	۰/۰۳
Sand	$g\ kg^{-1}$	۶۶۰-۳۰	۲۲۷	۱۶۶	۱۷۹	۰/۷۲
$CaCO_3$	$g\ kg^{-1}$	۶۹۳-۱۱۷	۳۶۵	۳۶۷	۱۲۶	۰/۱۱
OC	$g\ kg^{-1}$	۱۵/۶-۰/۱	۵/۸	۵/۸۴	۳/۲۲	۰/۲۸
Total Zn	$mg\ kg^{-1}$	۱۴۸/۸-۲۰/۷	۷۵/۲	۷۳	۱۹/۹	۰/۴۶
Total Fe	$g\ kg^{-1}$	۵۶/۰-۱۷/۰	۳۲	۳۱/۹	۵/۸	۰/۴۸
Total Cu	$mg\ kg^{-1}$	۴۲/۵-۱/۷	۲۷/۵	۲۸/۱	۵/۶	۰/۶۹
DTPA Zn	$mg\ kg^{-1}$	۲۰/۵-۰/۳	۲/۳۳	۱/۴۹	۲/۹۲	۳
ln.DTPA Zn	$mg\ kg^{-1}$	۳/۰۱-۱/۱-	۰/۴۷	۰/۴	۰/۵	۰/۴
DTPA Fe	$mg\ kg^{-1}$	۴۶-۲/۴	۸/۸	۷/۱۸	۶/۴۴	۳/۱
ln. DTPA Fe	$mg\ kg^{-1}$	۳/۸-۰/۸۹	۲	۲	۰/۵	۰/۰۲
DTPA Cu	$mg\ kg^{-1}$	۵/۷-۰/۲	۱/۹	۱/۶۷	۰/۹۹	۱
بارندگی سالیانه	$mm\ year^{-1}$	۸۰۰-۱۰۰	۲۴۳	۲۰۰	۱۲۸	۱
درجه حرارت سالیانه	ºC	۲۰-۸	۱۴/۹	۱۴	۲/۳۷	۰/۱
تبخیر و تعرق پتانسیل	$mm\ year^{-1}$	۳۵۰۰-۱۵۰۰	۲۲۵۴	۲۰۰۰	۴۳۷	۱
روی دانه	$mg\ kg^{-1}$	۶۴-۱۱/۷	۳۱/۶	۳۰/۷	۹/۴۸	۰/۳۱
آهن دانه	$mg\ kg^{-1}$	۹۶/۶-۲۱/۱	۴۲/۷	۳۸/۹	۱۴/۷۶	۱/۹
مس دانه	$mg\ kg^{-1}$	۹/۳-۲/۴	۵/۵	۵/۶	۱/۱۸	۰/۰۷
PA/Zn	-	۸۴/۴-۴/۳	۳۰/۶	۲۸/۹	۱۶/۲۷	۱/۲۲

†: فسفر قابل جذب خاک، اندازه‌گیری شده به روش السن. ‡: لگاریتم طبیعی فسفر قابل جذب خاک

نمونه‌ها برای مصرف‌کنندگان کم است.

کک مک و همکاران (۷) نسبت مولی اسید فیتیک به روی را در ۵۴ رقم گندم بهاره و زمستانه آناتولی اندازه‌گیری کرده و گزارش کردند که میانگین نسبت مولی اسید فیتیک به روی بین ۳۹ تا ۱۳۷ متغیر بود. بر این اساس، آنها نتیجه گرفتند که قابلیت جذب روی موجود در دانه‌های گندم مورد مطالعه برای انسان بسیار کم است.

مقدار ورود روی به زنجیره غذایی از طریق دانه گندم

میانگین مصرف سالیانه گندم در ایران بین ۱۳۵ تا ۱۵۰ کیلوگرم برای هر شخص است (۲۹). بین ۱۰ تا ۳۰ درصد از این مقدار در طی فرآوری نان هدر می‌رود. بنابراین مصرف سالیانه واقعی گندم بین ۹۴/۵ تا ۱۳۵ کیلوگرم بر شخص (یا ۰/۲۶ تا ۰/۳۷ کیلوگرم بر شخص در روز) می‌باشد. با غلظت روی ۳۱/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم، دریافت روزانه روی بین ۸/۲ تا ۱۱/۷ میلی‌گرم بر شخص است. اما با توجه به نتایج این مطالعه، به دلیل زیاد بودن میزان اسید فیتیک در دانه گندم، همه روی موجود در آن قابل جذب برای انسان نیست. با فرض قابلیت جذب کم تا متوسط برای روی گندم برای مصرف کنندگان (بین ۱۰ تا ۳۵ درصد)، تنها ۰/۸۲ تا ۴/۱ میلی‌گرم از دریافت روزانه محاسبه شده، قابلیت جذب برای انسان را دارا می‌باشد.

مقادیر جذب روزانه مرجع (DRI) روی برای مردان بالغ ۱۱ و برای زنان ۸ میلی‌گرم است. با فرض مصرف برابر گندم توسط زنان و مردان، مصرف روزانه گندم می‌تواند به طور میانگین، ۷ تا ۳۷ درصد نیاز روزانه روی مردان و بین ۱۰ تا ۵۰ درصد نیاز روی زنان را تأمین کند. کک مک (۶) بر این اعتقاد است که غلظت‌های در حدود $mg\ kg^{-1}$ ۲۰ تا ۳۵ که به عنوان میانگین غلظت روی در دانه کامل گندم برای کشورهای مختلف گزارش شده‌است، برای تامین نیاز روزانه روی در جمعیت‌های با رژیم غذایی وابسته به غلات بسیار کم می‌باشد. به منظور جذب مقدار پیشنهاد شده روی که در حدود mg ۱۵ در روز برای یک فرد بالغ می‌باشد، با فرض مصرف نان تهیه شده از آرد کامل گندم به مقدار ۴۰۰ گرم در روز، غلظت روی دانه کامل گندم باید دست کم به مقدار $mg\ kg^{-1}$ ۱۰ برای جمعیت‌های گفته‌شده در بالا افزایش یابد.

تجزیه‌های رگرسیونی برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم

به علت زیاد بودن متغیرهای مستقل یا توضیح‌دهنده روی دانه گندم، به جای برازش یک مدل کلی به داده‌ها به گونه‌ای که همه این متغیرها را در بر بگیرد، ترجیح داده شد که مدل‌های متفاوتی با ترکیبات متفاوت از متغیرهای مستقل ساخته شوند که قابلیت کاربرد در شرایط مختلف را دارا باشند. بدیهی است که بر اساس تعداد و ترکیبی که از این متغیرها می‌توان انتخاب نمود، مدل‌های فراوانی می‌توان برازش داد. در این‌جا تنها به بررسی تعدادی از این مدل‌ها پرداخته می‌شود که با توجه به مجموعه متغیرهای مستقل انتخاب شده، دسته‌بندی شده‌اند. در ابتدا مدل‌هایی ارائه می‌شوند که با استفاده از کل داده‌ها برازش داده شده‌اند. به عبارتی این مدل‌ها عمومی بوده و برای کل منطقه قابلیت کاربرد دارند. سپس مجموعه داده‌ها بر اساس برخی ویژگی‌ها گروه‌بندی شده و مدل‌ها برای هر گروه به صورت جداگانه برازش داده شده‌اند.

الف) مدل‌های به‌دست آمده با استفاده از کل داده‌ها

جدول ۳ مدل‌های روباست و کمترین مربعات را برای حالتی نشان می‌دهد که تعداد زیادی از متغیرهای مستقل برای برازش مدل انتخاب شدند. جدول ۳ نشان می‌دهد که حذف تعدادی از متغیرها از مدل روباست کامل (اقلیم، رده‌بندی خاک، درصد کربنات کلسیم، تبخیر و تعرق، درجه حرارت، درصد شیب، درصد رس، OC، EC، N، K، Na و کاربری زمین)، منجر به مدل ساده‌شده روباست (با R^2 بیشتر و Rob.RMSE کمتر از مدل روباست کامل) گردید. مدل را می‌توان به شکل زیر نشان داد:

جدول ۳. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم.

متغیرهای مستقل♠	روباست ساده‌شده	AIC †R^2= ۰/۵۱	BIC †R^2= ۰/۳۴	Leaps †R^2= ۰/۵۰
	‡β	β	β	β
β_0	۸۴/۵۷***	۱۲۰/۱۹***	۶۵/۹۸***	۸۶/۶۷***
r.v.w.f	−۲/۹۳	−۰/۳۸		−۰/۷۲
w-b.m-c	−۵/۶۷*	−۲/۰۱		−۳/۰۶
w-b.r.l-p.r	−۱/۸۱	−۱/۴۹		−۱/۵۳
w.b.cotton.f	−۱۹/۶۴***	−۱۹/۹۱***		−۱۹/۶۲***
w.m.w.b	−۱۰/۴۹***	−۷/۷۱*		−۷/۹۸*
واریزه بادبزنی	۹/۹۷**	۱۰/۹۶**		۱۰/۳۴**
دشت سیلابی	−۵/۲۸***	−۴/۳۹*		−۴/۹۹*
تپه	۴/۱۹	۴/۵۲		۴/۱۶
واریزه قدیمی	۲/۷۴	۲/۶۱		۱/۹۸
دشت دامنه‌ای	۱/۳۸	۱/۶۷		۱/۷۱
فلات	۷/۰۵*	۴/۶۴		۴/۷۳
ln.DTPA- Zn	۴/۱۶***	۳/۶۸***	۳/۲۶***	۳/۸۷***
ln.available P	−۵/۱۳**	−۵/۹۹***	−۵/۷۲***	−۵/۶۷***
pH		−۳/۶۹*		
بارندگی سالیانه		−۰/۰۲*		−۰/۰۲
ارتفاع	−۰/۰۲***	−۰/۰۲***	−۰/۰۱***	−۰/۰۲***
ln.Mg		−۱/۱		
ln.DTPA-Fe	−۴/۲۷*	−۳/۴۱*		−۳/۶۸*
ln.DTPA-Cu	۳/۵۰*	۳/۷۱*		۳/۸۷*
نتایج اعتبارسنجی				
R^2	۰/۲۹	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۸
Rob.RMSE	۸/۳۶	۸/۶۰	۷/۷۹	۸/۵۷

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند. ‡ : β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

روی دانه = ۸۴/۵۷- ۲/۹۳ I (r.v.w.f) – ۵/۶۷ I (w-b.m-c) - ۱/۸۱ I (w-b.r.l-p.r) – ۱۹/۶۴ I (w.b.cotton.f) – ۱۰/۴۹ I (w.m.w.b) + ۹/۹۷I (واریزه بادبزنی) + ۵/۲۸ I (دشت سیلابی) + ۴/۱۹ I (تپه) + ۲/۷۴ I (واریزه قدیمی) + ۱/۳۸I (دشت) + ۷/۰۵ I (فلات) + ۴/۱۶ (ln DTPA Zn) - ۵/۱۳ (ln available P) – ۰/۰۲(ارتفاع)–۴/۲۷ (ln DTPA Fe)+ ۳/۵۰(ln DTPA Cu) [۱۱]

مقدار ثابت ۸۴/۵۷ تخمینی از β_0 برای نمونه‌هایی است که در سطوح اول متغیرهای گروهی (جو- ذرت-گندم- بقولات، دشت آبرفتی) واقع می‌شوند. I "شاخص عضویت" است که می‌تواند ۰ یا ۱ باشد. برای هر سطح از متغیرهای گروهی، اگر نقطه نمونه‌برداری‌شده در آن سطح یا طبقه واقع باشد، I برابر ۱ است و اگر نقطه نمونه‌برداری شده در آن سطح یا طبقه واقع نشده باشد، مقدار I برابر صفر است. با توجه به نتایج

اعتبارسنجی که برای هر ۴ مدل (AIC، BIC، Leaps و روباست ساده شده) کم و بیش مشابه می‌باشد (جدول ۳)، از هر یک از این مدل‌ها بسته به در دسترس بودن اطلاعات متغیرهای آنها در شرایط مختلف، می‌توان استفاده نمود. اما به نظر می‌رسد که مدل BIC با دارا بودن تنها سه متغیر DTPA Zn، فسفر قابل جذب و ارتفاع، مدلی ساده بوده که در بیشتر شرایط قابل ترجیح بر سایر مدل‌ها می‌باشد. در هر ۴ مدل، تخمین روی دانه با افزایش DTPA Zn زیاد شده و با افزایش فسفر قابل جذب خاک و ارتفاع، کاهش می‌یابد. اثر منفی فسفر قابل جذب خاک (یا کاربرد کودهای فسفره) بر جذب روی توسط گیاه در مطالعات دیگر نیز تأیید شده‌است (۵ و ۲۷). مدل روباست ساده شده نشان می دهد که در صورت ثابت ماندن بقیه متغیرها تفاوت بین سیستم‌های تناوب زراعی از لحاظ تخمین غلظت روی دانه به شکل زیر مشخص می‌شود:

جو- ذرت-گندم- بقولات > گندم یا جو- برنج- بقولات یا سیب‌زمینی- برنج > برنج- سبزیجات-گندم- آیش > گندم یا جو- ذرت یاکلزا > گندم- ذرت-گندم- جو > گندم- جو- پنبه- آیش

این مدل، بیشترین روی دانه را برای واحد فیزیوگرافیک واریزه بادبزنی تخمین می‌زند و ترتیب غلظت روی دانه در واحدهای فیزیوگرافیک را در صورت ثابت ماندن بقیه متغیرها به صورت زیر نشان می‌دهد:

واریزه بادبزنی > فلات >تپه > واریزه قدیمی > دشت دامنه‌ای > دشت آبرفتی> دشت سیلابی

رایان و همکاران گزارش کردند که غلظت روی دانه گندم در کشت گندم بعد از لینولا و شبدر بیش از حالت کشت پس از کلزا و آیش بود. علت افزایش مشاهده شده در غلظت روی دانه به افزایش کلونی‌های AMF (Arbuscular mycorrhizal fungi) در ریشه گندم نسبت داده شد که وجود گیاهان میزبانAMF، همانند بقولات و لینولا در تناوب با گندم عامل ایجاد این کلونی‌ها بود (۲۷).

آرکانا و همکاران غلظت عناصرتغذیه‌ای قابل جذب گیاه را در خاک‌های مربوط به ۹ واحد فیزیوگرافی مختلف در می سی سی پی بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که غلظت‌های قابل جذب فسفر، کلسیم و منیزیم خاک بین نواحی مختلف فیزیوگرافیک متفاوت بود اما تفاوت‌های غلظت روی در این خاک‌ها از نظر آماری معنی‌دار نبود (۴).

از بین بی‌شمار مدل‌هایی که می‌توان به داده‌ها برازش داد و به تعدادی از آنها پیش‌تر اشاره شد، حالت‌هایی نیز انتخاب شد که در آنها متغیرهای مستقل به صورت دلخواه و بیشتر بر اساس قابلیت مدیریت آنها گزینش شدند. برای نمونه در جدول۴ همه متغیرهای مستقل انتخاب شده برای برازش مدل (جز درصد رس) به طور کامل یا تا حدودی قابل‌کنترل توسط زارع می‌باشند. این مدل‌ها با وجود R^2 کم، دارای این برتری می‌باشند که در آنها اثر اقدامات مدیریتی مختلف قابل بررسی می‌باشد. در اینجا مدل‌های گزینش شده به روش کمترین مربعات پس از حذف متغیرهای pH، OC، DTPA-Fe، DTPA-Cu و درصد رس از مدل کامل حاصل شده است.

اثر مثبت نیتروژن و پتاسیم (که هر سال به صورت کودهای اوره و سولفات پتاسیم به زمین‌های کشاورزی منطقه مورد مطالعه افزوده می‌شوند)، بر غلظت روی دانه گندم در برخی از مدل‌ها ظاهر شده‌است. این اثر می‌تواند به رقابت بین یون‌های آمونیوم و پتاسیم با دیگر کاتیون‌ها برای مکان‌های تبادلی نسبت داده‌شود که منجر به آزادسازی کاتیون‌های تغذیه‌ای (از جمله عناصر کم‌مصرف مانند روی) می‌گردد. فروسارد و همکاران (۱۰) نیز به اثر مثبت کاربرد کودهای نیتروژنه آمونیومی بر انتقال عناصری چون روی و آهن از خاک به گیاه در نتیجه اسیدی‌شدن ریزوسفر اشاره کرده‌اند. نتایج مشابهی توسط شی و همکاران (۳۰) و کوتمان و همکاران (۱۴) نیز گزارش شده است.

ب) مدل‌های به‌دست آمده برای گروه‌های ویژه از داده‌ها

اگرچه به‌دست آوردن یک رابطه کلی و عمومی بین متغیرهای خاک و گیاه به‌طوری که برای کل محدوده مطالعاتی معتبر و

جدول۴. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم با انتخاب دلخواه مجموعه متغیرهای مستقل.

متغیرهای مستقل♠	AIC †R^2= ۰/۳۱	BIC †R^2= ۰/۱۳	Leaps †R^2= ۰/۲۹
	‡β	β	β
β_0	۶۰/۹۵***	۵۱/۶۸***	۶۰/۲۷***
r.v.w.f	۳/۶۳		۵/۰۴*
w-b.m-c	−۴/۱۹		−۳/۴۴
w-b.r.l-p.r	۴/۵۴		۴/۵۹
w.b.cotton.f	۱۰/۷۳***		۱۰/۶۵***
w.m.w.b	−۰/۱۹		−۰/۳۱
کاربری آبی	−۷/۹۲**		−۸/۷۴***
ln.DTPA- Zn	۳/۰۴**	۳/۶۴***	۳/۳۴***
ln.available P	−۸/۳۸***	−۶/۳۶***	−۷/۵۰***
Total N	۳۳/۶۴		
log.K	۱/۵۶*		۱/۷۴*
نتایج اعتبارسنجی			
R^2	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۱۶
Rob.RMSE	۸/۱۵	۸/۸۸	۷/۶۷

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند. ‡ : β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

قابل کاربرد باشد در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است، اما با توجه به وسعت زیاد منطقه مورد مطالعه، این امکان نیز دور از نظر نماند که احتمالاً با تقسیم کل منطقه به مناطق کوچک‌تر بر اساس یک سری مشابهت‌ها، بتوان روابط قوی‌تری برای شرایط ویژه حاکم بر هر یک از آن مناطق ارائه نمود. در این راستا نقاط نمونه‌برداری بر اساس ویژگی‌هایی مانند نوع واحد فیزیوگرافیک، مواد مادری یا زمین‌شناسی منطقه، نوع الگوی تناوب زراعی، کاربری زمین و نوع بافت خاک گروه‌بندی شده و آنگاه روابط رگرسیونی بین غلظت روی دانه و متغیرهای مستقل مورد بررسی در هر یک ازگروه‌ها جستجو شد. در بسیاری از گروه‌بندی‌های انجام شده، به علت کمی تعداد داده‌ها در یکی یا بیشتر از گروه‌ها امکان برازش مدل به داده‌ها وجود نداشت. نتایج حاصل تنها در دو مورد از گروه‌بندی‌ها، یکی براساس کاربری زمین و دیگری براساس بافت خاک در اینجا مورد بحث قرار می‌گیرد.

تقسیم‌بندی براساس کاربری زمین

داده‌ها براساس تعلق نقاط نمونه‌برداری شده به مزارع زیر کشت دیم یا آبی به دو گروه تقسیم شده و در هر یک از گروه‌ها رابطه بین غلظت روی دانه گندم و اکوسیستم زراعی مدل شد. تنها ۳۷ نقطه از نقاط نمونه‌برداری شده در گروه کاربری دیم واقع شدند. بنابراین، به علت کم‌بودن تعداد نقاط نمونه‌برداری سعی شد از کمترین تعداد متغیرها برای مدل‌کردن غلظت روی دانه استفاده شود (جدول۵). متغیرهای فسفر قابل جذب، بارندگی سالیانه، درصد رس وDTPA- Fe نیز به عنوان متغیر مستقل جهت برازش مدل انتخاب شدند اما در هیچ یک از مدل‌ها ظاهر نشدند. جدول ۵ نشان می‌دهد که بهترین نتایج اعتبارسنجی متعلق به مدل Leaps می‌باشد. به درصد آهک خاک به عنوان یک عامل محدود کننده جذب روی توسط گیاه در مطالعات دیگر نیز اشاره شده است (۲۶).

تعداد ۱۰۰ نقطه از نقاط نمونه‌برداری شده در مزارع زیر

جدول۵. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم در زمین‌های زیر کشت دیم.

متغیرهای مستقل♠	روباست ساده‌شده ‡β	AIC †R^2=۰/۶۷ β	BIC †R^2=۰/۶۲ β	Leaps †R^2=۰/۴۲ β
β_0	۴۲/۶۷	−۶/۲۷	−۵/۲۲	۶۶/۱۸***
ln.DTPA- Zn		۲/۰۳		
pH		۸/۸۱*	۶/۷۶*	
ارتفاع		−۰/۰۱*		−۰/۰۱**
$CaCO_3$		−۰/۱۶		−۰/۲۲
ln.EC	۱۶/۹۳**	۱۲/۹۳**	۱۵/۵۳***	
OC	−۱۱/۸۴	−۷/۶۲*	−۸/۸۱*	
ln.K		۶/۵۷**	۶/۹۱**	۵/۰۶**
ln.Na	−۸/۳۵**	−۸/۷۹**	−۱۰/۴۲***	
نتایج اعتبارسنجی				
R^2	۰/۰۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۰/۲۴
Rob.RMSE	۸/۷۰	۶/۹۷	۹/۳۱	۸/۲۷

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند.‡ : β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

کشت آبی واقع شدند. جدول۶ برازش مدل‌ها را برای نقاط زیر کشت آبی نشان می‌دهد. ضرایب R^2 مدل‌ها در اینجا کمتر بود اما نتایج اعتبارسنجی آنها در مجموع بهتر است (جدول ۶). در اینجا BIC با دارا بودن کمترین تعداد متغیرهای مستقل وارد شده به مدل، بهترین نتایج را در اعتبارسنجی کسب کرده‌است. در این مدل غلظت روی دانه گندم با افزایش DTPA-Zn افزایش یافته و با افزایش فسفر قابل جذب و ارتفاع، کاهش می‌یابد (جدول۶). متغیرهای OC، K، Na و EC نیز به عنوان متغیر مستقل جهت برازش مدل انتخاب شدند اما در هیچ یک از مدل‌ها ظاهر نشدند.

تقسیم‌بندی براساس بافت خاک

داده‌ها بر اساس تعلق نقاط نمونه‌برداری شده به خاک‌های با بافت ریز یا متوسط به دو گروه تقسیم شده و در هر یک از گروه‌ها رابطه بین روی دانه گندم و اکوسیستم زراعی مدل شد. تعداد ۶۳ نقطه نمونه‌برداری شده متعلق به مزارع دارای بافت ریز (شامل رسی، رس سیلتی و رس شنی) بودند. جدول ۷ مدل‌های برازش یافته به داده‌های مربوط به نقاط دارای بافت ریز را نشان می‌دهد. این مدل‌ها از ضرایب R^2 به نسبت خوبی برخوردارند و از سویی نتایج اعتبارسنجی آنها نیز بهتر از مدل‌های پیشین می‌باشد (جدول ۷). مقادیر R^2 اعتبارسنجی مدل‌های ساده شده در این‌جا کم و بیش مشابه است. بنابراین، مدل BIC با کمترین Rob.RMSE و نیز کمترین تعداد متغیر مستقل، مدلی ساده با قدرت پیش‌بینی بهتر می‌باشد. در این مدل غلظت روی در دانه گندم با افزایش DTPA-Zn افزایش یافته و با افزایش فسفر قابل جذب و ارتفاع، کاهش می‌یابد. از بین متغیرهای انتخاب شده جهت برازش مدل، متغیرهای کاربری زمین، بارندگی سالیانه، درصد رس، pH ، N، OC، K، EC و DTPA-Cu به هیچ یک از مدل‌ها راه نیافتند.

تعداد ۷۴ نقطه نمونه‌برداری شده متعلق به مزارع دارای

جدول ۶. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم در زمین‌های زیر کشت آبی

متغیرهای مستقل♠	روباست ساده‌شده	AIC †R^2= ۰/۴۱	BIC †R^2= ۰/۳۷	Leaps †R^2= ۰/۴۳
	‡β	β	β	β
β_0	۲۲/۹۳*	۶۷/۴۲***	۶۷/۱۶***	۷۲/۶۰***
r.v.w.f				−۱/۰۶
w-b.r.l-p.r				−۱/۵۱
w.b.cotton.f				−۳/۰۱
w.m.w.b				−۵/۶۹
ln.DTPA- Zn	۴/۲۶***	۴/۰۶***	۳/۲۹***	۴/۲۲***
Total N				
ln.available P	−۵/۷۸*	−۵/۹۸***	−۵/۹۴***	−۵/۷۲***
pH				
ارتفاع		−۰/۰۱***	−۰/۰۱***	−۰/۰۱*
$CaCO_3$	۰/۰۱	۰/۱۲		۰/۱۵
Clay	۰/۱۷*	۰/۱۲		
ln.DTPA-Fe	−۳/۷۱*	−۲/۷۵*		−۲/۹۴*
درجه حرارت سالیانه	۱/۷۳***			
نتایج اعتبارسنجی				
R^2	۰/۲۳	۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۲۵
Rob.RMSE	۷/۳۲	۷/۳۱	۷/۵۱	۸/۴۲

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند.‡: β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

بافت متوسط (شامل لوم رس شنی، لوم شنی، لوم رسی، لوم، لوم رس سیلتی و لوم سیلتی) بودند. جدول ۸ نشان می‌دهد که AIC با در برداشتن کاربری زمین، فسفر قابل جذب، پتاسیم عصاره اشباع خاک، ارتفاع و درصد آهک معادل، نتایج بهتری را در اعتبارسنجی کسب کرده است. این مدل غلظت روی دانه را در زمین‌های آبی کمتر از دیم پیش‌بینی کرده و مقدار تخمین‌زده‌شده غلظت روی دانه توسط این مدل، با افزایش فسفر قابل جذب، ارتفاع و درصد آهک معادل، کاهش یافته، اما با افزایش پتاسیم عصاره اشباع، افزایش می‌یابد. ساها و همکاران گزارش کردند که جذب روی توسط دانه و ساقه گندم با افزایش کاربرد کود پتاسیم (از ۳۸ به ۶۶ کیلوگرم در هکتار) حداقل به میزان دو برابر افزایش می یابد. تاثیر مثبت عنصر پتاسیم بر جذب روی توسط گیاه می‌تواند با نقش های مهم و پرشمار این عنصر در گیاه مرتبط باشد. از بین متغیرهای انتخاب شده جهت برازش مدل، متغیرهای درصد رس، OC، EC و DTPA-Cu به هیچ‌یک از مدل‌ها راه نیافتند.

برخی مطالعات روابط معنی‌داری بین غلظت فلزات دانه گندم و فلزات قابل عصاره‌گیری خاک (۱۳) یا بین غلظت فلزات دانه گندم و سایر متغیرهای خاک (۹)گزارش کرده‌اند. در مقابل، نان و همکاران (۲۱) گزارش کردند که برای روی و مس در دانه گندم، هیچ مدل رگرسیونی معنی‌داری با استفاده از ترکیب‌های متفاوتی از متغیرهای خاک (pH، ماده آلی، فسفر قابل جذب و غلظت کل فلزات در خاک) به عنوان متغیرهای مستقل، به‌دست نیامد. آنها پیشنهاد کردند که در شرایط مزرعه جذب و توزیع روی و مس در دانه تا حد زیادی تحت تأثیر ویژگی‌های فیزیولوژیکی گیاه بود.

جدول ۷. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم در زمین‌های دارای بافت ریز.

متغیرهای مستقل♠	روباست ساده‌شده	AIC †R^2= ۰/۶۷	BIC †R^2= ۰/۵۷	Leaps †R^2= ۰/۶۷
	‡β	β	β	β
β_0	۸۹/۸۷***	۷۵/۵۷***	۷۹/۷۱***	۷۵/۵۷***
r.v.w.f	۰/۳۱	۰/۹۷		۰/۹۷
w-b.m-c	۳/۲۸	۳/۳۱		۳/۳۱
w-b.r.l-p.r	−۲/۰۹	−۱/۳۹		−۱/۳۹
w.b.cotton.f	−۲/۷۰	۳/۷۱		۳/۷۱
w.m.w.b	−۴/۷۶*	−۶/۲۴*		−۶/۲۴*
ln.DTPA- Zn	۷/۳۶***	۶/۹۷***	۵/۶۷***	۶/۹۷***
ln.available P	−۷/۵۵***	−۶/۶۰***	−۷/۷۵***	−۶/۶۰***
ln.DTPA-Fe	−۳/۲۷*	−۴/۲۴**		−۴/۲۴**
ارتفاع	−۰/۰۲***	−۰/۰۲***	−۰/۰۲***	−۰/۰۲***
$CaCO_3$		۰/۲۵*		۰/۲۵*
نتایج اعتبارسنجی				
R^2	۰/۴۳	۰/۴۲	۰/۴۱	۰/۴۱
Rob.RMSE	۷/۱۱	۷/۸۲	۶/۵۵	۷/۵۵

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند. ‡: β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

کم بودن نسبی ضرایب تبیین مدل‌های رگرسیون، نشان می‌دهد که ویژگی‌های دیگری علاوه بر موارد بررسی شده بر غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه گندم اثر گذاشته‌است. برخی از این عوامل شامل تنوع ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ژنوتیپی گیاه، فرآیند پیچیده انتقال عناصر کم‌مصرف در گیاه از ریشه به ساقه و نیز از ساقه به دانه و ویژگی‌های مدیریت مزرعه مانند سیستم‌های خاک‌ورزی، کوددهی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کودهای آلی می‌باشد. علت وارد نکردن این عوامل در مدل، در دسترس نبودن اطلاعات دقیق درباره آنها بود. بر اساس نتایج مطالعات مختلف، ژنوتیپ گیاه یک عامل مهم تأثیرگذار بر غلظت روی دانه می‌باشد (۱۹، ۲۰ و ۲۲). به علاوه، لازم است برای پیش‌بینی بهتر غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه، عملکرد را به عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفت. همبستگی منفی بین عملکرد دانه و غلظت عناصر کم‌مصرف در دانه نشان می‌دهد که افزایش عملکرد دانه می‌تواند منجر به کاهش غلظت عناصر در دانه در نتیجه اثر رقت گردد (۱۹ و ۲۲).

نتیجه‌گیری

غلظت روی دانه‌های گندم نمونه‌برداری شده در بیشتر نمونه‌ها (۸۰٪) بیش از حد کفایت گیاه بود. اما زیاد بودن نسبت مولی اسید فیتیک به روی در بیش از ۷۵ درصد نمونه‌های تجزیه شده نشان می‌دهد که قابلیت جذب روی در این نمونه‌ها برای مصرف کنندگان کم است (۱۰ تا ۳۵ درصد). روی قابل عصاره‌گیری با DTPA خاک به عنوان یک متغیر مهم و معنی‌دار به بیشتر مدلهای رگرسیونی برازش داده شده به روی دانه گندم وارد شد. هم‌چنین فسفر قابل جذب خاک به عنوان یک متغیر مهم در بیشتر مدل‌ها ظاهر شد. فسفر قابل جذب خاک بر غلظت روی در دانه گندم اثری منفی داشت. این امر لزوم توجه بیشتر به مدیریت صحیح وضعیت فسفر (در ارتباط با تغذیه سایر عناصر ضروری گیاه مانند روی) در خاک‌های کشاورزی

جدول ۸. مدل‌های رگرسیونی برازش یافته برای پیش‌بینی غلظت روی دانه گندم در زمین‌های دارای بافت متوسط.

متغیرهای مستقل♠	روباست ساده‌شده	AIC †R^2= ۰/۳۴	BIC †R^2= ۰/۲۰	Leaps †R^2= ۰/۴۰
	‡β	β	β	β
β_0	۱۲۵/۱۱***	۶۸/۸۱***	۴۵/۲۱***	۱۱۵/۶۸***
r.v.w.f	۳/۵۸			۳/۷۱
w-b.m-c	۲/۶۶			۱/۸۱
w-b.r.l-p.r	۳/۷۹			۱/۰۶
w.b.cotton.f	−۶/۲۷			−۱۴/۱۳*
w.m.w.b	۱/۸۷			۱/۳۹
کاربری آبی	−۷/۸۹*	−۵/۴۴*		−۶/۵۰
ln.DTPA- Zn	۱/۲۴			
ln.available P	−۶/۰۸*	−۴/۶۵*		
pH	−۴/۴۲			−۵/۱۴*
Total N	۴۷/۷۲			
ln.K	۰/۶۶	۲/۷۹**		
ln.DTPA-Fe	−۳/۸۷			
بارندگی سالیانه	−۰/۰۲			−۰/۰۳
ارتفاع	−۰/۰۱*	−۰/۰۱**	−۰/۰۱***	−۰/۰۱**
$CaCO_3$	−۰/۲۰*	−۰/۱۵*		−۰/۲۹**
نتایج اعتبارسنجی				
R^2	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۱۲
Rob.RMSE	۸/۷۱	۶/۹۸	۶/۷۷	۱۰/۱۵

†: ضرایب تبیین مدل‌ها ضرایب تصحیح شده می‌باشند.‡ : β ضرایب رگرسیون می‌باشند. ♠: سطوح مختلف متغیرهای گروهی در جدول ۱ معرفی شده‌اند. ***: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۰۱، **: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۱ و *: حضور معنی‌دار متغیر در مدل در سطح ۰/۰۵ را نشان می‌دهد.

را نمایان می‌سازد. مدل‌های رگرسیونی مختلف برازش داده شده بر داده‌ها با وجود زیاد بودن ضرایب تبیین، قدرت پیش‌بینی دلخواه را نداشتند. این امر به پیچیدگی زیاد سیستم مورد مطالعه و روشن نبودن برخی عوامل مهم مؤثر بر انتقال روی از خاک به گیاه، اختلاف ارقام مختلف از لحاظ انتقال عناصر کم‌مصرف از ریشه به ساقه و نیز از ساقه به دانه و عوامل مدیریت مزرعه مانند سیستم‌های خاک‌ورزی، کوددهی، مدیریت بقایای گیاهی و کاربرد کودهای آلی بر می‌گردد که بایستی در مطالعات آینده به آن نگریست. به‌علاوه احتمالا لازم است که برای پیش بینی بهتر انباشتگی عنصر روی در دانه، عملکرد را نیز به عنوان یک متغیر مستقل در نظر گرفت.

منابع مورد استفاده

۱. کرمی، م. ۱۳۸۹. مدل‌سازی شارهای انتقال روی از خاک به برخی گیاهان زراعی و تأثیر ویژگی‌های خاک، گیاه و عوامل مدیریت زراعی بر آن در شرایط خشک. پایان‌نامه دکتری خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان.

2. Agrawal, H. P. 1992. Assessing the micronutrient requirement of winter-wheat. Commun Soil Sci. Plant Anal. 23 (17-20): 2555-2568.

3. Alvarez, J. M., L. M. Lopez-Valdivia, J. Novillo, A. Obrador and M. Rico. 2006. Comparison of EDTA and sequential extraction tests for phytoavailability prediction of manganese and zinc in agricultural alkaline soils. Geoderma 132: 450-463.
4. Archana, J. G., V. D. Zheljazkov, V. Maddox, C. L. Cantrell. 2009. Bioprospection of Eastern red cedar from nine physiographic regions in Mississippi. Ind. Crop Prod. 30: 59–64.
5. Ben-Yin, L., H. Shao-Min, W. Ming-Bao, H. L. Zhang, S. A-Lin, X. Jian-Ming and R. Xin-Ling. 2010. Dynamics of Soil and Grain Micronutrients as Affected by Long-Term Fertilization in an Aquic Inceptisol. Pedosphere 20(6): 725–735
6. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with Zn: Agronomic orgenetic biofortification? Plant Soil 302: 1–17.
7. Cakmak, I., M. Kalacyi, H. Ekiz, H. J. Braun, Y. Kilinc and A. Yilmaz. 1999. Zinc deficiency as a practical problem in plant and human nutrition in Turkey: A NATO-science for stability project. Field Crop. Res. 60: 175 - 188.
8. Dittmar, J., A. Voegelin, L. C. Roberts, S. J. Hug, G. C. Saha, M. A. Ali, A. B. M. Badruzzaman and R. Kretzschmar. 2007. Spatial distribution and temporal variability of arsenic in irrigated rice fields in Bangladesh. 2. paddy soil. Environ. Sci. Technol. 41: 5967-5972.
9. François, M., C. Grant, R. Lambert and S. Sauve. 2009. Prediction of cadmium and zinc concentration in wheat grain from soils affected by the application of phosphate fertilizers varying in Cd concentration. Nutr. Cycl. Agroecosys. 83 (2): 125-133.
10. Frossard, E., M. Bucher, F. Mächler, A. Mozafar and R. Hurrell. 2000. Review Potential for increasing the content and bioavailability of Fe, Zn and Ca in plants for human nutrition. J. Sci. Food Agric. 80: 861-879.
11. Hastie, T., R. Tibshirani and J. Friedman. 2009. The elements of Statistical Learning, Springer Series in Statistics, New York.
12. Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. 2001. Trace Elements in Soils and Plants. 3rd ed., CRC Press, Boca Raton, FL, USA.
13. Krauss, M., W. Wilcke, J. Kobza and W. Zech. 2002. Predicting heavy metal transfer from soil to plant: potential use of Freundlich-type functions. J Plant Nutr. Soil Sci. 165: 3-8.
14. Kutman, U. B., B. Yildiz and I. Cakmak. 2011. Improved nitrogen status enhances zinc and iron concentrations both in the whole grain and the endosperm fraction of wheat. J. Cereal Sci. 53 (1): 118- 125
15. Lindsay, W. L. and W. A. Norvell. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
16. Makower, R. U. 1970. Extraction and determination of phytic acid in beabs (phaseolus vulgaris). Cereal Chem. 47:288-295.
17. Maronna, R. A., R. D. Martin and V. J. Yohai. 2006. Robust Statistics, Theory and Methods. John Wiley & Sons, England.
18. Martin-Rueda, I., L. M. Muñoz-Guerra, F. Yunta, E. Esteban, J. L. Tenorio and J. J. Lucena. 2007. Tillage and crop rotation effects on barley yield and soil nutrients on a Calciortidic Haploxeralf. Soil Till. Res. 92: 1-9.
19. Morgounov, A., H. F. Gómez-Becerra, A. Abugalieva, M. Dzhunusova, M. Yessimbekova, H. Muminjanov, Y. Zelenskiy, L. Ozturk and I. Cakmak. 2007. Iron and zinc grain density in common wheat grown in Central Asia. Euphytica 155: 193-203.
20. Nahapetian, A. and A. Bassiri. 1976. Variations in concentrations and interrelationships of phytate, phosphorus, magnesium, calcium, zinc, and iron in wheat varieties during two years. J. Agric. Food Chem. 24 (5): 947-950.
21. Nan, Z., C. Zhao, J. Li, F. Chen and W. Sun. 2002. Relations between soil properties and selected heavy metal concentrations in spring wheat (*Triticum Aestivum* L.) grown in contaminated soils. Water Air Soil Pollut. 133: 205-213.
22. Oury, F. X., F. Leenhardt, C. Rémésy, E. Chanliaud, B. Duperrier, F. Balfourier and G. Charmet. 2006. Genetic variability and stability of grain magnesium, zinc and iron concentrations in bread wheat. Eur. J. Agron. 25: 177-185.
23. Prasad, A. S., J. A. Halsted and M. Nadimi. 1961. Syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, hypogonadism, dwarfism and geophagia. Am. J. Med. 31: 532-546.
24. Raboy, V. 2000. Low-phytic-acid grains. Food Nutr. Bull. 21: 423-427.
25. Rafique, E., A. Rashid, J. Ryan and A. U. Bhatti. 2006. Zinc deficiency in rainfed wheat in Pakistan: magnitude, spatial variability, management and plant analysis diagnostic norms. Commun. Soil. Sci. Plant Anal. 37(1): 181-197.
26. Rashid, A. and J. Ryan. 2004. Micronutrient constraints to crop production in soils with Mediterranean-type characteristics: a review. J. Plant Nutr. 27(6): 959-975.
27. Ryan, M. H., J. K. Mclnerney, L. R. Record and J. F. Angus. 2008. Zinc bioavailability in wheat grain in relation to phosphorus fertilizer, crop sequence and mycorrhizal fungi. J. Sci. Food Agric. 88: 1208-1216.
28. Saha, P. K., A. T. M. S. Hossain and M. A. M. Miah. 2010. Effect of potassium application on wheat (*Triticum aestivum* L.) in old Himalayan piedmont plain. Bangladesh J. Agril. Res. 35(2): 207-216.
29. Scientific Information Database (SID), available at http:// www.sid.ir.

30. Shi, R., Y. Zhang, X. Chen, Q. Sun, F. Zhang, V. Romheld and C. Zou. 2010. Influence of long-term nitrogen fertilization on micronutrient density in grain of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Cereal Sci. 51: 165–170.
31. WHO, World Health Organization (WHO), available at http:// www.who.int/en/.

Status and Modeling of Zn in Wheat Grain in Relation to Agroecosystem Parameters of Some Arid and Semi Arid Regions

M. Karami[1]*, M. Afyuni[2], A. H. Khoshgoftarmanesh[2], M. A. Hajabbasi[2], H. Khademi[2] and A. Abdi[1]

(Received : Apr. 23-2011 ; Accepted : Aug. 13-2012)

Abstract

Zinc (Zn) is an essential trace element for plants as well as for animals and humans. There is a significant relationship between soils, plants and humans Zn status in a certain agro-ecosystem. The objectives of this study were to assess Zn status of soils in 3 arid and semiarid provinces of Iran and to model the relationship between wheat grain Zn and agro-ecosystem parameters. About 137 soil and wheat samples were collected randomly from the agricultural soils of Fars, Isfahan and Qom and were analysed in laboratory. Modeling the relationship between wheat grain Zn and agro-ecosystem parameters was done using least square based and robust methods. The results indicated that total Zn concentration of soils (range, 21-149 mg kg^{-1}; mean, 75.2 mg kg^{-1}) was in normal ranges. The DTPA-extractable Zn concentrations were below the critical level (0.8 mg kg^{-1}) in 16% of the surveyed fields. The Zn concentration in 80% of wheat grains was sufficient (more than 24 mg kg^{-1}) with respect to plant nutrition (range, 11.7-64 mg kg^{-1}; mean, 31.6 mg kg^{-1}). However, Zn bioavailability for consumers was generally low in more than 75% of the samples. This is because of high phytic acid to Zn molar ratio (more than 15). Soil DTPA-extractable Zn and available P were entered in to most of regression models significantly. Regression analysis showed that most of models fitted to wheat grain Zn concentration and soil Zn and influenced by agro-ecosystem parameters had a weak prediction power, despite their high determination coefficient. This means that factors other than those considered here have a strong influence on the uptake of Zn by wheat in these soils.

Keywords: Agro-ecosystem, Zn, Wheat, Modeling.

1. Dept. of Soil Sci., respectively, College of Agric., Razi Univ., Kermanshah, Iran.
2. Dept. of Soil Sci., respectively, College of Agric., Isf. Univ. Technol., Isfahan, Iran.
*: Corresponding Author, Email: mahinkarami@yahoo.com