نشریه بوم شناسی کشاورزی
جلد 6، شماره 3، پاییز 1393، ص. 621-607

Journal of Agroecology
Vol. 6, No. 3, Fall 2014, p. 607-621

ارزیابی روند دراز مدت ثبات عملکرد در غلات اصلی کشور

مهدی نصیری محلاتی[1*] و علیرضا کوچکی[1]

تاریخ دریافت: 1392/07/20
تاریخ پذیرش: 1392/12/05

چکیده

با وجود این‌که عملکرد غلات کشور در طی چند دهه اخیر به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته، اطلاعات در مورد ثبات عملکرد یا مقاومت آن در مقابل تغییرات سالانه محیطی، بسیار اندک است. در این تحقیق روند درازمدت ثبات عملکرد گندم، جو، ذرت و برنج به عنوان غلات اصلی ایران در یک دوره 40 ساله (1390-1350) به دو روش مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در روش اول باقیمانده رگرسیون بین عملکرد هر یک از غلات و زمان (سال) بعنوان شاخص ثبات عملکرد محاسبه شد. به این منظور، ابتدا مدل‌های رگرسیون قطعه‌ای خطی، دو و سه قطعه‌ای به داده‌های روند عملکرد برازش داده شد و پس از انتخاب بهترین مدل، مقادیر مطلق باقیمانده عملکرد از طریق تفاضل عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده و نیز مقدار نسبی باقیمانده‌ها بر حسب درصد از عملکرد پیش‌بینی شده هر سال برآورد گردید. در روش دوم از شاخص محیطی استفاده شد که در آن شیب خط رگرسیون بین میانگین عملکرد همه غلات در یک سال معین (شاخص محیطی) و عملکرد هر یک از غلات در همان سال معیار ارزیابی ثبات عملکرد می‌باشد. نتایج نشان داد که در گندم و جو باقیمانده‌های مطلق و نسبی در طی دوره مطالعه در حال افزایش بوده و بنابراین، علیرغم افزایش عملکرد، ثبات عملکرد این دو محصول در حال کاهش است. در حالی‌که در مورد برنج و ذرت باقیمانده‌ها روندی کاهشی را دنبال کرده لذا ثبات عملکرد این گونه‌های زراعی طی 40 سال گذشته افزایش یافته است. روش شاخص محیطی نیز نتایج مشابهی را مبنی بر کاهش ثبات عملکرد در گندم و جو و افزایش آن برنج و ذرت نشان داد. البته بر اساس این روش ثبات عملکرد جو در مقایسه با گندم کاهش کمتری داشته است. نتایج این مطالعه حاکی از آن است که در طی 40 سال گذشته در مجموع ثبات عملکرد غلات در کشور بهبود یافته ولی درصد افزایش ثبات کمتر از درصد افزایش عملکرد می‌باشد. در طی دوره مطالعه، مصرف کودهای نیتروژنی باعث کاهش ثبات و در مقابل، افزایش سطح زیر کشت گندم، جو، برنج، ذرت و مجموع غلات، ثبات عملکرد آنها را افزایش داده است.

واژه‌های کلیدی: روند عملکرد، باقیمانده رگرسیون، شاخص محیطی، سطح زیر کشت، کود نیتروژنی

مقدمه

از نیمه دوم قرن گذشته و با شروع انقلاب سبز، عملکرد گیاهان زراعی و به تبع آن تولید غذا و علوفه در سراسر جهان به طور چشمگیری افزایش یافته و در مورد برخی محصولات میانگین افزایش عملکرد در مقیاس جهانی دو برابر یا حتی بیشتر نیز بوده است (Fischer & Edmeades, 2010). این افزایش عملکرد که حاصل پیشرفت‌های حاصل در دو بعد ژنتیکی (اصلاح ارقام پر محصول) و تکنولوژیکی (نهاده‌های شیمیایی، مکانیزاسیون و سیستم‌های آبیاری) بوده، امنیت غذایی جهان را تا حد زیادی تضمین کرده است (Bell et al., 1995). برای مثال، تولنار و لی (Tollenaar & Lee, 2002) نشان دادند که میانگین عملکرد ذرت در آمریکا طی 60 سال آخر قرن گذشته از یک تن به هفت تن در هکتار رسیده است که هیبریدهای جدید و کودهای نیتروژنی بیشترین سهم را در این افزایش داشته‌اند. چنین وضعیتی در ایران نیز مشهود است. زارع و همکاران (Zare et al., 2007) با تجزیه و تحلیل روند 30 ساله (82-1350) تولید غلات در کشور نشان دادند که متوسط افزایش عملکرد گندم در طی این دوره در حدود 62 کیلوگرم در هکتار در سال بوده و عملکرد سایر غلات نیز به میزان قابل ملاحظه‌ای رشد کرده است. البته این مطالعات تنها بر افزایش عملکرد متمرکز بوده و ثبات عملکرد[2] بندرت مورد بررسی قرار گرفته است.

1- استاد گروه زراعت دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: mnassiri@ferdowsi.um.ac.ir)

2- Yield stability

ثبات عملکرد بیان‌کننده شدت نوسان عملکرد در مواجهه با تغییرات کوتاه‌مدت محیطی بوده و معیاری از نوسانات سال به سال عملکرد در شرایط آب و هوایی متغیر می‌باشد (Evans, 1993). وقتی یک ژنوتیپ در چند محیط مختلف یا در یک محیط طی چند سال متوالی کشت می‌شود، نوسانات عملکرد بین محیط یا سال‌های متوالی بروز خواهد کرد که علت آن اثر متقابل ژنوتیپ × محیط بوده و شدت این نوسان ثبات عملکرد را توصیف می‌کند (Duvick et al., 2004). بنابراین، ثبات با پایداری[1] که شاخص مقاومت درازمدت عملکرد می‌باشد متفاوت است و در واقع ثبات خود یکی از مولفه‌های پایداری بوم نظام‌های زراعی محسوب می‌شود (Conway & Toenniessen, 1999).

به طور کلی، شواهد موجود حاکی از وجود نوعی رابطه منفی بین عملکرد بالا و ثبات است (Calderini & Slafer, 1998). کالدرینی و سلافر (Calderini & Slafer, 1998) در مطالعه‌ای در مقیاس جهانی روی گندم نشان دادند که در 14 کشور از 21 کشور بررسی شده توسط ایشان، علی‌رغم افزایش عملکرد نوسانات آن تشدید شده است. این محققین با محاسبه ثبات عملکرد نتیجه‌گیری کردند که ارقام اصلاح شده و پر محصول گندم در مقایسه با ارقام قدیمی از ثبات عملکرد کمتری برخوردار می‌باشند. به علاوه، با گسترش فشرده‌سازی[2] در بوم‌نظام‌های زراعی، روش‌های مدیریت (Berzsenyi et al., 2000) به ویژه مصرف کودهای شیمیایی (Reid, 2002) نیز بر ثبات عملکرد تأثیر خواهند گذاشت. با توجه به رابطه بین تنوع زیستی و ثبات، کاهش تدریجی تنوع زیستی (Donini, 2003) نیز از عوامل موثر بر نوسان عملکرد می‌باشند. در همین ارتباط، کوچکی و همکاران (Koocheki et al., 2006) با بررسی ابعاد مختلف تنوع در محصولات زراعی کشور بیان داشتند که نظام‌های زراعی موجود در ایران از تنوع اندکی برخوردار بوده و این امر بتدریج ثبات آنها را کاهش خواهد داد.

از سوی دیگر، اطلاعات بدست آمده در مورد واکنش عملکرد گیاهان زراعی به تغییرات اقلیمی[3] (Lobell & Anser, 2003; Andresen et al., 2001; Pidgeon et al., 2001) که تأثیر آن بر محصولات زراعی ایران نیز به تأیید رسیده (Koocheki et al., 2006) تردیدهایی در مورد تداوم عملکرد بالا ایجاد شده است (Olesen & Bindi, 2002). به علاوه افزایش فراوانی پدیده‌های حدی[4] نظیر خشکسالی، موج‌های گرما و سرما که از پیامدهای قطعی تغییر اقلیم می‌باشند، تهدیدی جدی برای ثبات عملکرد محصولات زراعی بشمار می‌رود. بر این اساس و با توجه به نیازهای غذایی رو به رشد جهان، حفظ عملکرد بالا در محصولات زراعی تنها از طریق بالابردن ثبات عملکرد با بهبود بخشیدن به عوامل تنظیم‌کننده آن میسر خواهد بود (Calvino & Sadras, 2002).

مجموعه این شواهد مؤید آن است که نظام‌های فعلی تولید علیرغم روند افزایشی عملکرد، به دلیل فشرده سازی و از دست دادن تنوع از ثبات کافی برای سازگاری در مقابل تغییرات سالانه آب و هوایی برخوردار نمی‌باشند. با این حال، معدود پژوهش‌های علمی منتشر شده در کشور بر روند افزایش عملکرد غلات تأکید داشته و به ثبات عملکرد توجه جدی نشده است. بنابراین، هدف از اجرای این تحقیق، بررسی کمی روند درازمدت ثبات عملکرد غلات اصلی کشور در طی 40 سال گذشته و ارتباط آن با نوسانات عملکرد در پاسخ به تغییرات آب و هوایی بود.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها: آمار مربوط به سطح زیر کشت و عملکرد غلات اصلی کشور (گندم، جو، برنج و ذرت) مربوط به سال‌های 1389-1350 از بانک اطلاعات وزارت کشاورزی استخراج و جهت انجام محاسبات مورد استفاده قرار گرفت، لازم به ذکر است که داده‌های موجود برای ذرت مربوط به بازه 89-1363 می‌باشد.

ارزیابی ثبات عملکرد: در این مطالعه ثبات عملکرد غلات در کشور با دو روش مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت:

- ارزیابی ثبات بر اساس باقیمانده[5] معادله روند عملکرد: معادله رگرسیون عملکرد هر محصول در سال‌های متوالی نشان‌دهنده روند تغییرات عملکرد در طی زمان است و شیب آن تغییرات سالانه عملکرد را در طی دوره زمانی تحت بررسی مشخص می‌سازد که حاصل انواع روش‌های مدیریت (به‌زراعی و به‌نژادی) می‌باشد (Cassman et al., 2009). باقیمانده این معادله رگرسیون یعنی اختلاف بین عملکردهای واقعی و پیش‌بینی شده در هر سال، نشان-

1- Sustainability
2- Intensification
3- Climate change
4- Extreme events
5- Residual

دهنده تأثیر شرایط محیطی (آب و هوایی) بر عملکرد بوده و بنابراین، شاخصی از ثبات محسوب می‌شود (Calderini & Slafer, 1998). بر این اساس، پایین بودن مقادیر باقیمانده حاکی از ثبات بیشتر و بالا بودن آن نشانه ثبات کمتر عملکرد در طی زمان است. جهت محاسبه دقیق باقیمانده لازم است که ابتدا بهترین مدل رگرسیون برای توصیف روند عملکرد هر محصول بدست آید، زیرا پایین بودن ضریب تبیین (R^2) معادله روند باعث افزایش باقیمانده رگرسیون شده و در نتیجه نتایج غیر واقعی خواهد بود. در این مطالعه مدل‌های رگرسیون خطی[1] (معادله 1)، خطی دو قطعه‌ای[2] (معادله 2) و خطی سه قطعه-ای[3] (معادله 3) برای توصیف روند عملکرد هر یک از چهار محصول تحت بررسی مورد مقایسه قرار گرفت (Calderini & Slafer, 1999، Verón et al., 2004).

معادله (1) مدل خطی $Y = a + bx$

مدل خطی دو قطعه‌ای $Y = a + bx$ if $x \le c$

معادله (2) $Y = a + bc + d(x-c)$ if $x < c$

مدل خطی سه قطعه‌ای $Y = a + bx$ if $x \le c$

$Y = a + bc + d(x-c)$ if $e \le x < c$

معادله (3) $Y = a + bc + d(e-c) + f(x-c)$ if $x < e$

که در این معادلات، Y: عملکرد، x سال از 1350 تا 1389، a: عرض از مبداء، b: سرعت افزایش عملکرد طی اولین مرحله خطی، c: سالی که در آن اولین نقطه عطف بروز می‌کند، d: سرعت افزایش عملکرد در طی دومین مرحله خطی، e: سالی که در آن دومین نقطه عطف معادله روند قرار دارد و f: سرعت افزایش عملکرد در طی سومین مرحله خطی می‌باشند. کالدرینی و سلافر (Calderini & Slafer, 1999) بیان داشتند که در انتخاب بهترین مدل رگرسیون برای توصیف روند عملکرد دو شرط باید احراز شود، بالا بودن ضریب تبیین معادله و نرمال بودن مقادیر باقیمانده رگرسیون در طی دوره زمانی بررسی، البته ورون و همکاران (Verón et al., 2004) معیارهای آماری دیگری را نیز برای انتخاب مدل رگرسیون به موارد فوق اضافه کردند. در این مطالعه مدل مطلوب برای هر محصول بر اساس دو معیار توصیه شده توسط کالدرینی و سلافر (Calderini & Slafer, 1999) تعیین گردید. پس از انتخاب مدل، اختلاف بین عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده بوسیله مدل رگرسیون بعنوان "باقیمانده عملکرد" که شاخصی از ثبات عملکرد می‌باشد برای هر محصول محاسبه شد. به علاوه «باقیمانده نسبی عملکرد[4]» نیز با تقسیم باقیمانده عملکرد بر عملکرد پیش‌بینی شده بوسیله مدل رگرسیون محاسبه گردید تا مشخص شود که باقیمانده عملکرد در هر سال چه درصدی از عمل کرد آن سال می‌باشد (Calderini & Slafer, 1998). از آنجا که در ارزیابی ثبات میزان مطلق تغییرات عملکرد حائز اهمیت بوده و نه جهت آن، مقادیر منفی باقیمانده عملکرد در سال‌هایی که عملکرد واقعی کمتر از عملکرد پیش‌بینی شده بود، در عدد 1- ضرب شد. در نهایت، با رسم نمودار باقیمانده عملکرد و مقادیر نسبی آن در سال‌های تحت بررسی، روند ثبات عملکرد برای هر محصول بدست آمد.

- ارزیابی ثبات عملکرد بر اساس شاخص محیطی[5]: این روش نخستین بار توسط فینالی و ویکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963) برای ارزیابی ثبات عملکرد در ژنوتیپ‌های یک گونه زراعی ارائه شد. اساس این روش مقابسه عملکرد یک ژنوتیپ یا گونه زراعی با سایر ژنوتیپ‌ها یا گونه‌ها در دامنه‌ای از محیط‌های مختلف می‌باشد. ثبات عملکرد از طریق شیب خط رگرسیون (b) بین عملکرد یک گونه یا ژنوتیپ (Y) و میانگین عملکرد همه گونه‌ها یا ژنوتیپ‌های تحت بررسی (X) در محیطهای مختلف که اصطلاحاً شاخص محیطی نامیده می‌شود، بدست می‌آید. $b>1$ نشان‌دهنده ثبات کم عملکرد، $b=1$ معرف ثبات نسبی و $b<1$ بیان کننده ثبات بالای عملکرد می‌باشند (Finlay & Wilkinson, 1963). در این مطالعه هر یک از سال‌های دوره مطالعه به عنوان یک محیط در نظر گرفته شد و میانگین عملکرد چهار محصول زراعی در هر سال یا همان شاخص محیطی تعیین گردید. معادله رگرسیون بین عملکرد هر محصول در هر سال و میانگین عملکرد همه محصولات در همان سال دارای شیبی معادل b می‌باشد که بر اساس آن می‌توان ثبات عملکرد هر محصول را در مقایسه با سایر محصولات مورد ارزیابی قرار داد. برازش کلیه معادلات رگرسیون و تعیین مقادیر باقیمانده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Sigma Stat ver.1.0 انجام شد.

نتایج و بحث

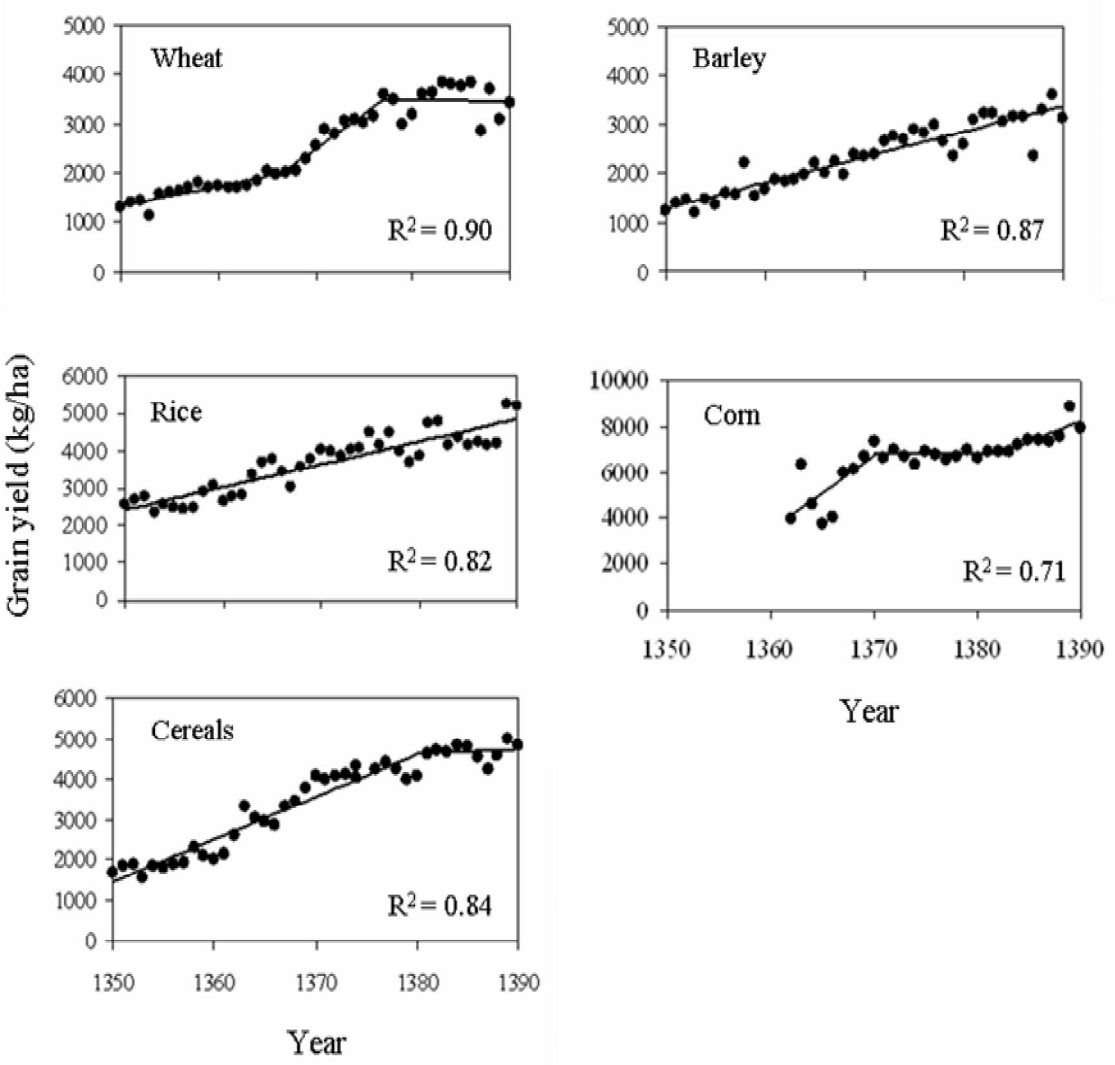
مدل‌های رگرسیون روند تغییرات عملکرد محصولات تحت

1- Linear
2- Bi-linear
3- Tri-linear

4- Relative yield residuals
5- Environmental index

بررسی را به خوبی توصیف کردند و ضریب تبیین مدل‌های انتخاب شده در محدوده 0/70 تا 0/90 قرار گرفت. در گندم مدل سه قطعه‌ای بهترین برازش را داشت (شکل 1)، در طی دوره 16 ساله نخست (1365-1350)، رشد عملکرد (39/5 کیلوگرم در هکتار در سال) نسبتاً کند بود، ولی در فاصله سال‌های 1366 تا 1379 به طور چشمگیری افزایش یافته و به 142/5 کیلوگرم در هکتار رسیده است. البته نتایج نشان می‌دهد که در 10 سال پایانی دوره عملکرد گندم تقریباً ثابت مانده است (شکل 1).

روند عملکرد جو و برنج بهترین برازش را به مدل خطی داشت و عملکرد این دو محصول در طی 40 سال اخیر با شیب ثابتی به ترتیب معادل53/3 و 59/7 کیلوگرم در هکتار در سال در حال افزایش بوده است (شکل 1). روند تغییرات عملکرد ذرت نیز از الگوی سه قطعه‌ای تبعیت کرد، بالاترین شیب افزایش عملکرد ذرت مربوط به سال‌های 70-1363 (333 کیلوگرم در هکتار در سال) است که پس از یک دوره رکود از سال 1383 مجدداً با شیب 223 کیلوگرم در هکتار در سال در حال افزایش بوده است (شکل 1).



شکل 1- روند 40 ساله تغییرات عملکرد گندم، جو، ذرت، برنج و کل غلات در کشور

Fig. 1- Yield trend of wheat, barley, rice, corn and total cereals over the country

جهت تعیین بهترین معادله روند مدل‌های رگرسیونی خطی و خطی دو یا سه قطعه‌ای به داده‌ها برازش شده است، در مورد ذرت روند عملکرد مربوط به دوره 90-1363 می‌باشد.

To select the best trend equation data were fitted to linear, bi-linear and tri-linear regression models. For corn, available data of the period 1984-2011 was used.

به طور کلی، میانگین عملکرد غلات اصلی کشور در فاصله سال-های 80-1350 رشدی در حدود 100 کیلوگرم در هکتار در سال داشته و در طی 10 سال اخیر تقریباً بدون تغییر مانده است (شکل 1).

زارع و همکاران (Zare et al., 2007) رشد عملکرد گندم، جو، برنج و کل غلات آبی ایران را در فاصله سال‌های 82-1350 به ترتیب 62/5، 56/4، و 69/7 و 62/9 کیلوگرم در هکتار در سال گزارش کردند. در حالی‌که بر اساس نتایج تحقیق حاضر میانگین رشد عملکرد طی دوره زمانی 90-1350 (یعنی حدود یک دهه طولانی‌تر از مطالعه فوق) برای گندم، جو و برنج به ترتیب 60، 53 و 59 و برای کل غلات (با احتساب ذرت) 54/5 کیلوگرم در هکتار در سال بوده است. مقایسه نتایج این دو مطالعه نشان می‌دهد که سرعت رشد عملکرد غلات کشور در طی ده سال گذشته کاهش یافته است. البته میانگین جهانی افزایش سالانه عملکرد گندم و غلات (شامل گندم، ذرت و برنج) در فاصله سال‌های 2010-1970 میلادی یعنی دوره‌ای تقریباً مشابه با این تحقیق، به ترتیب 39 و 43 کیلوگرم در هکتار در سال بوده (Fischer & Edmeades, 2010) که حاکی بالاتر بودن نرخ رشد عملکرد غلات ایران نسبت به متوسط جهانی است. باید توجه داشت که تفاوت سرعت رشد عملکرد بین مناطق مختلف در واقع نشان‌دهنده تفاوت در برنامه‌های به‌نژادی، منابع محیطی، مدیریت زراعی و سطح تکنولوژی می‌باشد (Calderini & Slafer, 1998). برای مثال، در آمریکا در طی نیمه دوم قرن گذشته روند افزایش عملکرد ذرت در شرایط مطلوب اقلیمی به طور متوسط 100 کیلوگرم در هکتار در سال بوده (Tollenaar & Lee, 2002) درحالی‌که در جمهوری چک که شرایط برای کشت ذرت کاملاً مناسب نیست، میانگین رشد عملکرد در 75 سال گذشته از 50 کیلوگرم در هکتار در سال تجاوز نکرده است (Chloupeka et al., 2003).

عدم افزایش عملکرد غلات و به ویژه گندم در دهه پایانی قرن گذشته و دهه نخست قرن حاضر توسط برخی محققین گزارش شده است (Cassman,1999; Hafner, 2003; Fischer et al., 2009). محققین معتقدند که این امر به دلیل عدم وجود پتانسیل ژنتیکی نبوده بلکه ناشی از عدم کارآیی نظام‌های تولید در مهار منابع و رسیدن به عملکرد پتانسیل است (Fischer & Edmeades, 2010).

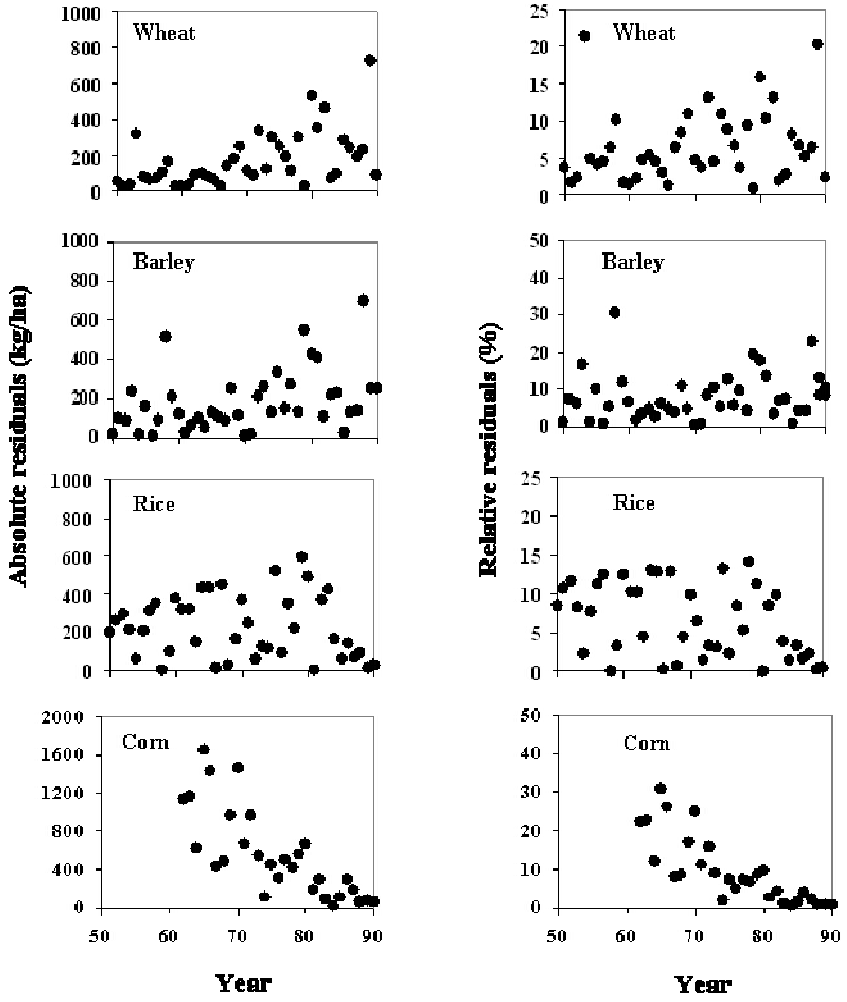
ارزیابی ثبات عملکرد

روش باقیمانده رگرسیون

در گندم مقادیر مطلق باقیمانده رگرسیون برای این محصول در طی 40 سال گذشته به دلیل نوسان عملکرد، پراکندگی نسبتاً زیادی داشته و بین صفر تا 720 کیلوگرم در هکتار در تغییر بود، با این وجود روند افزایشی آن کاملاً مشهود است (شکل 2). تبدیل باقیمانده مطلق به نسبی نیز نشان داد که تغییرات سال به سال عملکرد گندم در محدوده صفر تا 20 درصد عملکرد پیش‌بینی شده قرار دارد (شکل 2). بر اساس، این نتایج ثبات عملکرد گندم در طی چهار دهه گذشته در حال کاهش بوده است.

در مورد جو نیز مشابه گندم مقادیر مطلق باقیمانده رگرسیون روندی افزایشی داشته و بین صفر تا 700 کیلوگرم در هکتار در تغییر بوده است. با وجودی که مقادیر مطلق باقیمانده‌ها در گندم و جو در دامنه یکسانی قرار داشت، ولی به علت عملکرد کمتر جو نسبت به گندم، مقادیر نسبی باقیمانده‌ها برای این محصول بین صفر تا 30 درصد بود. البته میزان پراکندگی باقیمانده‌ها به ویژه باقیمانده نسبی در جو کمتر از گندم می‌باشد (شکل 2). بنابراین، ثبات عملکرد جو نیز در طی 40 سال گذشته در حال کاهش می‌باشد. در ذرت مقادیر مطلق و نسبی باقیمانده رگرسیون به ترتیب در دامنه صفر تا 1600 کیلوگرم در هکتار و صفر تا 32 درصد عملکرد پیش‌بینی شده قرار داشتند (شکل 2). البته با وجود این پراکندگی نسبتاً زیاد در مقایسه با سایر غلات، روندی کاهشی را دنبال کردند. بنابراین، به نظر می‌رسد که افزایش عملکرد ذرت در طی 40 سال گذشته با افزایش ثبات آن همراه بوده است.

پراکندگی داده‌های ارائه شده در شکل 2 تصویر واضحی از روند تغییرات باقیمانده‌ها را آشکار نمی‌سازد و لذا نتیجه‌گیری در مورد ثبات عملکرد و تغییرات زمانی آن دشوار می‌باشد. برای حل این مشکل و حذف داده‌های مربوط به سال‌های غیر عادی، میانگین متحرک پنج ساله مقادیر باقیمانده مطلق و نسبی برای هر محصول محاسبه شد تا روند موجود در سری زمانی مشخص شود. نتایج نشان داد که میانگین متحرک باقیمانده مطلق و تسبی رگرسیون برای گندم در طی 40 سال گذشته روند مثبت و معنی‌داری ($p\leq 0/05$) را دنبال کرد (شکل 3).



شکل 2- روند تغییرات مقادیر مطلق و نسبی باقیمانده رگرسیون عملکرد برای گندم، جو، برنج و ذرت در طی چهار دهه گذشته در کشور

Fig. 2- Time trend of the values of absolute and relative regression residuals for wheat, barley, rice and corn over the country

در مورد ذرت باقیمانده‌ها مربوط به سالهای 90-1363 است (شکل‌های سمت راست باقیمانده مطلق و سمت چپ باقیمانده نسبی می‌باشند).

For corn, available data of the period 1984-2011 was used (left: absolute residuals; right: relative residuals).

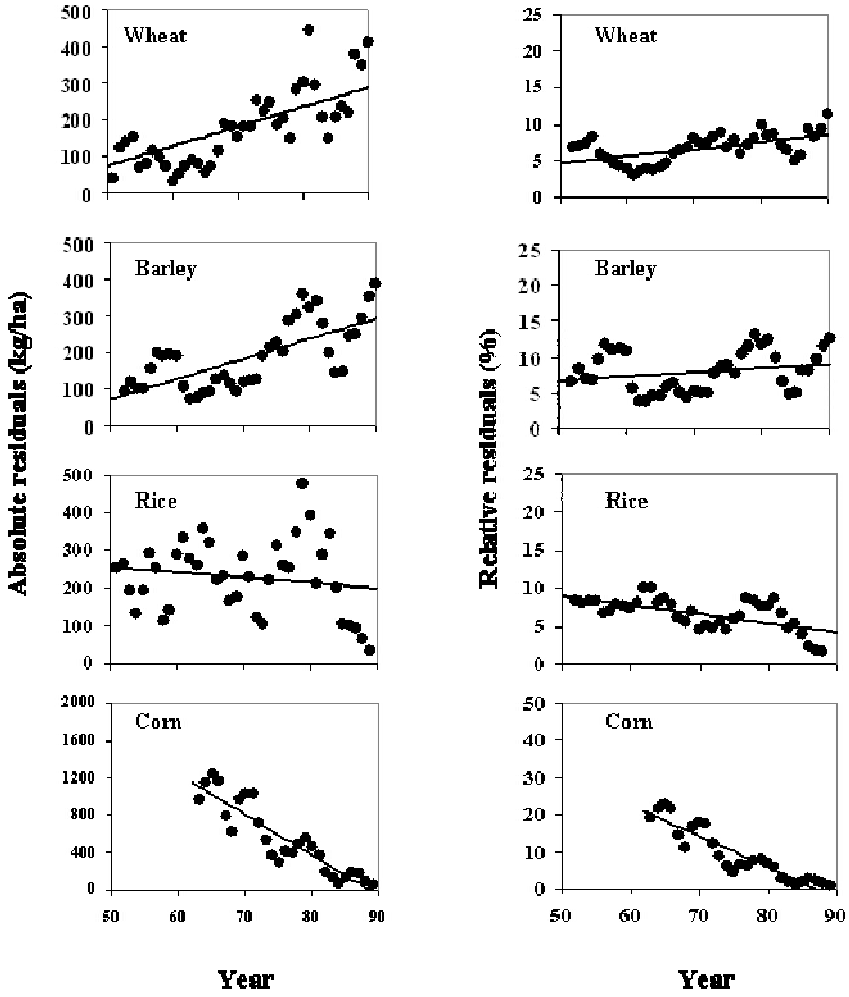
به عبارت دیگر، در طی این دوره علیرغم افزایش عملکرد گندم ثبات عملکرد آن در حال کاهش بوده است. در جو نیز نتایج مشابه گندم بود و هر دو باقیمانده با شیب مثبت و معنی‌داری در طی زمان افزایش یافتند. البته شیب خط رگرسیون برای میانگین متحرک باقیمانده‌های نسبی در جو کمتر از گندم بود (شکل 3). بر این اساس ثبات عملکرد جو نیز در طی دوره مطالعه به طور معنی‌داری کاهش یافته ولی شدت این کاهش کمتر از گندم است. در برنج و ذرت بر خلاف دو محصول قبلی میانگین متحرک مقادیر باقیمانده‌های مطلق و نسبی با شیب منفی در طی زمان کاهش یافتند (شکل 3).

در برنج کاهش شیب رگرسیون در باقیمانده نسبی بارزتر بود درحالی‌که در ذرت شیب خط برای باقیمانده مطلق و نسبی به طور مشابهی کاهش یافت. بنابراین، با وجودی که ثبات عملکرد هر دو محصول در طی 40 سال گذشته افزایش داشت، ولی ذرت از ثبات بیشتری برخوردار است.

نتایج حاصل از تلفیق داده‌ها برای کل غلات در شکل 4 ارائه شده است. مقادیر باقیمانده مطلق (شکل 4-a) برای غلات در دامنه

صفر تا 650 کیلوگرم در هکتار و باقیمانده نسبی (شکل 4-b) بین صفر تا 20 درصد عملکرد پیش‌بینی شده قرار داشت. به علاوه روند مشخصی در آنها مشاهده نشد.

محاسبه میانگین‌های متحرک وجود شیب کاهشی در باقیمانده مطلق (شکل 4-c) و نسبی (شکل 4-d) غلات آشکار ساخت. بر اساس این یافته‌ها می‌توان بیان داشت که ثبات عملکرد غلات کشور در طی 40 سال گذشته در حال افزایش می‌باشد و این امر عمدتاً بدلیل افزایش ثبات در برنج و ذرت است.

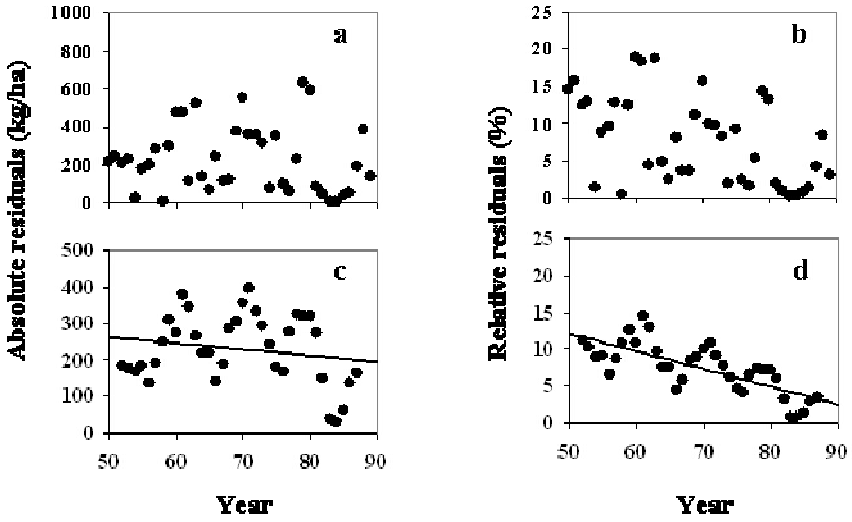


شکل 3- میانگین‌های متحرک پنج ساله مقادیر مطلق و نسبی باقیمانده‌ها برای گندم، جو، برنج و ذرت در طی چهار دهه گذشته در کشور همراه با خط رگرسیون برازش شده

Fig. 3- Five-year moving average of the values of absolute and relative residuals for wheat, barley, rice and corn over the country with the fitted regression line

در مورد ذرت باقیمانده‌ها مربوط به سال‌های 90-1363 است. شکل‌های سمت راست باقیمانده مطلق و سمت چپ باقیمانده نسبی می‌باشند).

For corn, available data of the period 1984-2011 was used (left: absolute residuals; right: relative residuals).



شکل 4- مقادیر باقیمانده مطلق (a) و نسبی (b) و میانگین‌های متحرک پنج ساله مقادیر مطلق (c) و نسبی (d) باقیمانده‌ها برای غلات در طی چهار دهه گذشته در کشور همراه با خط رگرسیون برازش شده به میانگین‌های متحرک (شکل‌های سمت راست باقیمانده مطلق و سمت چپ باقیمانده نسبی می‌باشند).

Fig. 4- The values if absolute (a) and relative (b) residuals and five-year moving average for absolute (c) and relative (d) residuals for cereal crops over the country with the fitted regression line to the moving averages (left: absolute residuals; right: relative residuals).

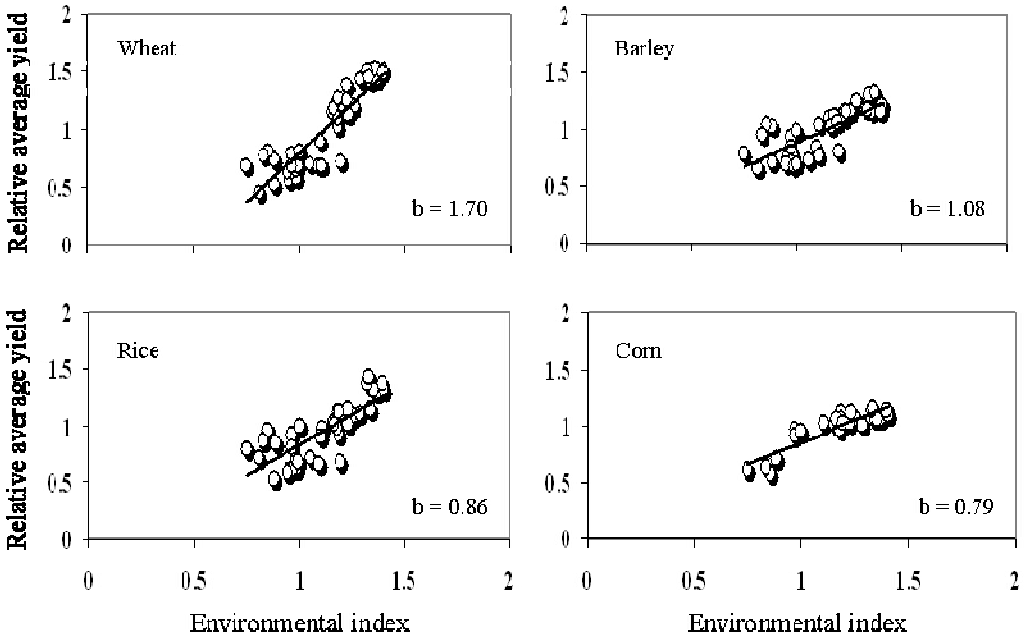
روش شاخص محیطی

نتایج نشان داد که شیب خط رگرسیون بین عملکرد نسبی گندم و شاخص محیطی یعنی عملکرد نسبی همه غلات (گندم، جو، برنج و ذرت) در طی 40 سال معادل 1/7 می‌باشد (شکل 5) که به طور معنی‌داری ($p\leq0/01$) بیشتر از یک بوده و مؤید پایین بودن ثبات عملکرد گندم کشور علیرغم افزایش عملکرد آن است. به عبارت دیگر، میزان نوسانات عملکرد گندم در طی سال‌های مختلف که معیاری از تغییرات محیطی می‌باشد، در حدود 70 درصد بیشتر از سایر غلات تحت بررسی بوده است. در مورد جو شیب خط رگرسیون معادل 1/08 برآورد گردید که با 1 تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل 5). بنابراین، عملکرد این محصول از ثبات متوسطی برخوردار است و میزان نوسان عملکرد آن در طی سال‌های مطالعه تقریباً مشابه میانگین همه غلات می‌باشد.

شیب خط رگرسیون برای برنج به طور معنی‌داری کمتر از 1 ($b = 0/86$) می‌باشد (شکل 5) که حاکی از ثبات بالای عملکرد آن در مقایسه با سایر غلات است، در واقع نوسان عملکرد برنج در مواجهه با تغییرات سالانه محیطی در حدود 14 درصد کمتر از میانگین تغییرات عملکرد همه غلات می‌باشد. در ذرت نیز مشابه برنج شیب خط رگرسیون بین عملکرد و شاخص محیطی (شکل 5) به طور معنی‌داری کمتر از 1 بود ($b = 0/79$) لذا این محصول نیز از ثبات عملکرد بالایی برخوردار بوده و تغییرات شرایط محیطی در طی سال-های مختلف را در حدود 20 درصد بهتر از سایر غلات تحمل کرده است.

نتایج حاصل از ارزیابی ثبات عملکرد به روش شاخص محیطی با روش باقیمانده رگرسیون انطباق داشت. البته باید توجه داشت که با استفاده از روش باقیمانده‌ها علاوه بر ارزیابی ثبات عملکرد می‌توان تغییرات زمانی آن را نیز مورد بررسی قرار داد.

نتایج اغلب مطالعات انجام شده در خصوص ثبات عملکرد حاکی از آن است که با افزایش عملکرد، ثبات آن کاهش می‌یابد. اندرسن و همکاران (Andresen et al., 1988) از نخستین محققینی بودند که رابطه منفی بین افزایش عملکرد غلات و ثبات را طی یک دوره زمانی گزارش کردند. مطالعات بعدی نشان داد که در مورد گندم و جو ژنوتیپ‌های با عملکرد بالاً معمولا دارای ثبات کمی می‌باشند (Slafer Calderini & Slafer, 1999; García del & Andrade, 1993 (Calderini & Slafer, 1999) کالدرینی و سلافر (Moral, 2003; با استفاده از روش باقیمانده رگرسیون ثبات عملکرد گندم را در 21 کشور جهان در طی قرن بیستم بررسی کرده و نشان دادند که در دو دهه آخر قرن گذشته ثبات عملکرد در 14 کشور به شدت کاهش یافته، در دو کشور (آمریکا و ایتالیا) بدون تغییر مانده و تنها در کانادا افزایش داشته است.



شکل 5- رابطه بین شاخص محیطی (میانگین نسبی عملکرد همه غلات در هر سال) و عملکرد نسبی هر محصول در هر سال برای گندم، جو، برنج و ذرت در طی چهار دهه گذشته

Fig. 5- Relation between environmental index (relative mean yield of all cereals in each year) and relative yield of each crop for wheat, barley, rice and corn during the last 4 decades

شیب خط رگرسیون (b) معیاری از ثبات عملکرد هر محصول می‌باشد.

Slope of the regression line (b) is criteria of yield stability for each crop.

این وضعیت در سایر محصولات زراعی نیز به تأیید رسیده است. برای مثال، روندانینی و همکاران (Rondanini et al., 2012) روند جهانی عملکرد کلزا و ثبات آن را طی چهار دهه گذشته (طی سال‌های 2010-1970 میلادی) در 12 کشور تولیدکننده این محصول بررسی کردند و نشان دادند که عملکرد کلزا در طی این دوره 27 کیلوگرم در هکتار در سال افزایش یافته در حالی‌که ثبات عملکرد در هیچ یک از این کشورها افزایش نیافته بطوری‌که باقیمانده عملکرد بین 500-0 و باقیمانده نسبی بین 60-0 درصد در تغییر بوده است. نتایج تحقیق حاصر نیز وجود چنین روندی را درکشور تأیید می‌کند. بنابراین، کاهش ثبات عملکرد گندم و جو در ایران نیز تا حد زیادی به دلیل معرفی ارقام پر محصول این گونه‌های زراعی است. مکانیزم بروز سازگاری در جریان اصلاح گیاهان به درستی مشخص نمی‌باشد، ولی به نظر می‌رسد که ژنوتیپ‌های جدید غلات (به ویژه گندم و جو) نسبت به تغییرات محیطی حساسیت بیشتری داشته و در نتیجه علی‌رغم عملکرد بالا از ثبات کمتری برخوردارند (Slafer & Kernich, 1996; Fufa, 2005).

شیب خط رگرسیون بین عملکرد یک گونه و شاخص محیطی (شکل 5) در واقع، نشان‌دهنده «قدرت واکنش»[1] به شرایط محیطی است (De Vita et al., 2010). هنگامی‌که این شیب بیشتر از 1 باشد، گونه تحت بررسی به محیط‌های پربازده سازگار بوده و در نتیجه ثبات عملکرد آن پایین می‌باشد. در مقابل، شیب کمتر از یک نشان‌دهنده سازگاری گونه به شرایط محیطی کم‌بازده و ثبات بالاتر است. کالدرینی و سلافر (Calderini & Slafer, 1999) بیان داشتند که شیب خط رگرسیون بین عملکرد و شاخص محیطی که بر اساس روش فاینالی و ویکینسون (Finlay & Wilkinson, 1963) محاسبه شده بود، در ارقام جدید گندم به طور معنی‌داری بیشتر از ارقام قدیمی آن است. چون شیب بیشتر خط نشان‌دهنده کاهش ثبات می‌باشد، نتیجه‌گیری شد که ارقام گندم در جریان اصلاح برای عملکرد، ثبات خود را از دست داده‌اند. به عبارت دیگر، ارقام پر محصول گندم

1- Responsiveness

پتانسیل ژنتیکی خود را در شرایط مطلوب محیطی آشکار می‌کنند و با تغییر شرایط محیطی از سالی به سال دیگر شدت نوسان عملکرد آنها زیاد است. وجود همبستگی منفی بین عملکرد و ثبات آن در ارقام جدید نسبت به ارقام قدیمی در سایر غلات نیز گزارش شده است (Calderini & Slafer, 1998). سینبو (Sinebo, 2005) با ارزیابی ارقام اصلاح شده جو در اتیوپی بیان داشت که اصلاح ارقام پرمحصول باعث کاهش مقاومت و در نتیجه ثبات آنها در مناطق تحت تنش شده است. بنابراین، به نظر می‌رسد که کاهش ثبات عملکرد گندم و جو در ایرن نیز به دلیل بروز تنش‌های خشکی و گرما به ویژه در دهه پایانی دوره مطالعه بوده است، زیرا تأثیر منفی به‌نژادی بر کاهش ثبات در مناطق تحت تنش و کم‌بازده شدیدتر خواهد بود (Verón et al., 2004). در مقابل ثبات بیشتر عملکرد در برنج ناشی از یکنواختی نسبی شرایط محیطی در مناطق کشت این محصول و نیز تنوع واریته‌ای بیشتر آن در مقایسه با گندم و جو و حضور ارقام محلی آن در نظام‌های کشت می‌باشد (Koocheki et al., 2006).

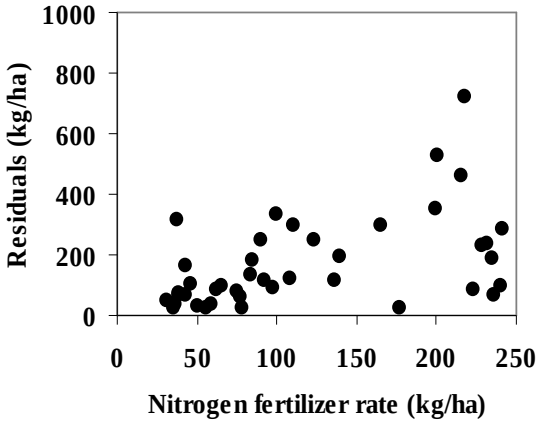
تولنار و لی (Tollenaar & Lee, 2002) با ارزیابی هیبریدهای ذرت اصلاح شده در آمریکا بیان داشتند که در ذرت عملکرد بالا می‌تواند با ثبات همراه باشد. نتایج تحقیق حاضر چنین وضعیتی را در مورد ثبات عملکرد ذرت در ایران نیز تایید می‌کند. البته به درستی مشخص نیست که ثبات عملکرد ذرت در کشور به دلیل موفقیت برنامه‌های اصلاحی بوده یا ناشی از مقاومت این گونه چهارکربنه به تنش‌های محیطی است. در واقع بالا بردن پتانسیل ژنتیکی عملکرد از طریق به‌نژادی تقاضای گیاه برای منابع را نیز افزایش خواهد داد که خود باعث افزایش احتمال دفعات تنش و در نتیجه کاهش ثبات می‌شود، مگر اینکه همراه با افزایش عملکرد مقاومت به تنش‌ها نیز اصلاح شده باشد. بنابراین، ثبات و مقاومت به تنش با هم رابطه‌ای نزدیک دارند و چنانچه عملیات به‌نژادی برای بهبود عملکرد در محیط‌های دارای تنش انجام شود، افزایش پتانسیل عملکرد باعث کاهش ثبات نخواهد شد (Tollenaar & Lee, 2002; Duvick et al., 2004 Sinebo, 2005).

کشت ممتد و عدم بکارگیری تناوب‌های صحیح زراعی یکی از ویژگی‌های بوم‌نظام‌های تولید غلات در ایران است (Koocheki et al., 2006). این در حالی است که برخی بررسی‌ها نشان می‌دهد کشت ممتد محصولات زراعی نسبت به کشت متناوب باعث کاهش عملکرد خواهد شد (Huang et al., 2003 Gan et al., 2003; Bahrani et al., 2002; Nielsen et al., 2002). البته عدم کاهش عملکرد غلات در کشت متوالی نیز در برخی مطالعات از جمله جونز و سینک (Jones & Singh, 2000) و فیشر و همکاران (Fisher et al., 2002) گزارش شده است، ولی حفظ عملکرد در این بررسی‌ها مستلزم کوددهی کافی بوده است. لیتورجیدیس و همکاران (Lithourgidis et al., 2006) در مطالعه‌ای بر روی کشت ممتد گندم دیم به مدت 25 سال در چهار نوع خاک که در یونان انجام شد، نشان دادند که در صورت کوددهی مناسب و کنترل مطلوب علف‌های هرز، عملکرد گندم کاهش چندانی نخواهد داشت و میانگین درازمدت آن حفظ می‌شود، ولی نوسانات سالانه آن نسبت به کشت‌های متناوب افزایش یافته و در نتیجه ثبات عملکرد کاهش خواهد یافت. این محققین نشان دادند که حداکثر کاهش ثبات مربوط به خاک‌های سبک است، زیرا در این خاک‌ها عملکرد گندم بیشترین همبستگی را با میزان بارندگی فروردین و اردیبهشت داشت و تغییرات سالانه بارندگی در این ماه‌ها عملکرد را بشدت نوسان داد. بر این اساس به نظر می‌رسد حفظ عملکرد گندم و مجموع غلات کشور (شکل 1) تا حد زیادی به دلیل مصرف نهاده‌ها به ویژه کودهای شیمیایی بوده و این امر به نوبه خود ثبات عملکرد را تحت تأثیر قرار داده است (شکل‌های 2 و 3).

ثبات عملکرد و کودهای نیتروژنی

در گندم رابطه مثبت و معنی‌داری (r^2=0/25 ، p≤0/05) بین میزان مصرف کودهای نیتروژنی و مقادیر باقیمانده مطلق بدست آمد (شکل 6). شیب این خط معادل 1/02 بود که نشان می‌دهد به ازای هر کیلوگرم نیتروژن مصرف شده در هکتار باقیمانده مطلق گندم نیز در حدود یک کیلوگرم افزایش یافته و در نتیجه ثبات عملکرد آن کاهش می‌یابد. به علاوه، ضریب تبیین رگرسیون موید آن است که در حدود 25 درصد از کاهش ثبات عملکرد گندم در طی دوره مطالعه ناشی از مصرف کودهای نیتروژنی می‌باشد. از آنجا که داده‌های 40 ساله مربوط به مصرف کودهای نیتروژنی در مورد سایر محصولات در دسترس نمی‌باشد، ارزیابی دقیق‌تر تأثیر منفی مصرف کودهای شیمیایی بر ثبات عملکرد غلات امکان‌پذیر نیست. برخی محققین معتقدند اصلاح در جهت عملکرد باعث کاهش ثبات شده در حالی‌که روش‌های به‌زراعی از جمله مصرف کودهای شیمیایی ثبات عملکرد را افزایش می‌دهند (Calderini & Slafer, 1999)، ولی شواهد

آزمایشی تأثیر مثبت مدیریت زراعی بر ثبات را بصورت قطعی تأیید نمی‌کند. برای مثال، برزسنی (Berzsenyi, 2000) با مطالعه داده‌های 40 ساله از آزمایشات کود و تناوب بر روی گندم و ذرت نشان دادند که کودهای آلی و انواع تناوب باعث افزایش ثبات عملکرد در هر دو محصول شد، در حالی‌که کودهای شیمیایی عملکرد را افزایش ولی ثبات را کاهش دادند.



شکل 6- رابطه بین میزان مصرف کودهای نیتروژنی و میزان باقیمانده مطلق عملکرد گندم (b= 1/02، r^2= 0/25*)

Fig. 6- Relation between nitrogen fertilizer application rate and absolute residuals in wheat (b=1.02, r^2 = 0.25*)

کسمن (Cassman, 1998) نشان داد که در نظام‌های کشت برنج آسیا با مدیریت صحیح نیتروژن نوسان سالانه عملکرد کاهش و ثبات افزایش می‌یابد. هائو و همکاران (Hao et al., 2007) نیز بر اساس داده‌های 20 ساله مربوط به کشور چین گزارش کردند که مصرف کودهای نیتروژنی و فسفری به طور تلفیقی باعث افزایش ثبات و عملکرد دانه گندم شده است.

به طور کلی، به نظر می‌رسد که مدیریت بوم‌نظام‌های زرعی بر مبنای روش‌های اکولوژیک نظیر تناوب، مصرف کودهای آلی و یا تلفیق نهاده‌های شیمیایی و آلی تأثیر بیشتری بر بهبود ثبات عملکرد دارند. در همین ارتباط پن و همکاران (Pan et al., 2009) همبستگی مثبت و معنی‌داری را بین میزان مواد آلی خاک و ثبات عملکرد غلات بدست آوردند و نشان دادند که در منطقه مورد مطالعه ایشان 60 تا 70 درصد از نوسانات عملکرد غلات تابع مقدار ماده آلی خاک بود.

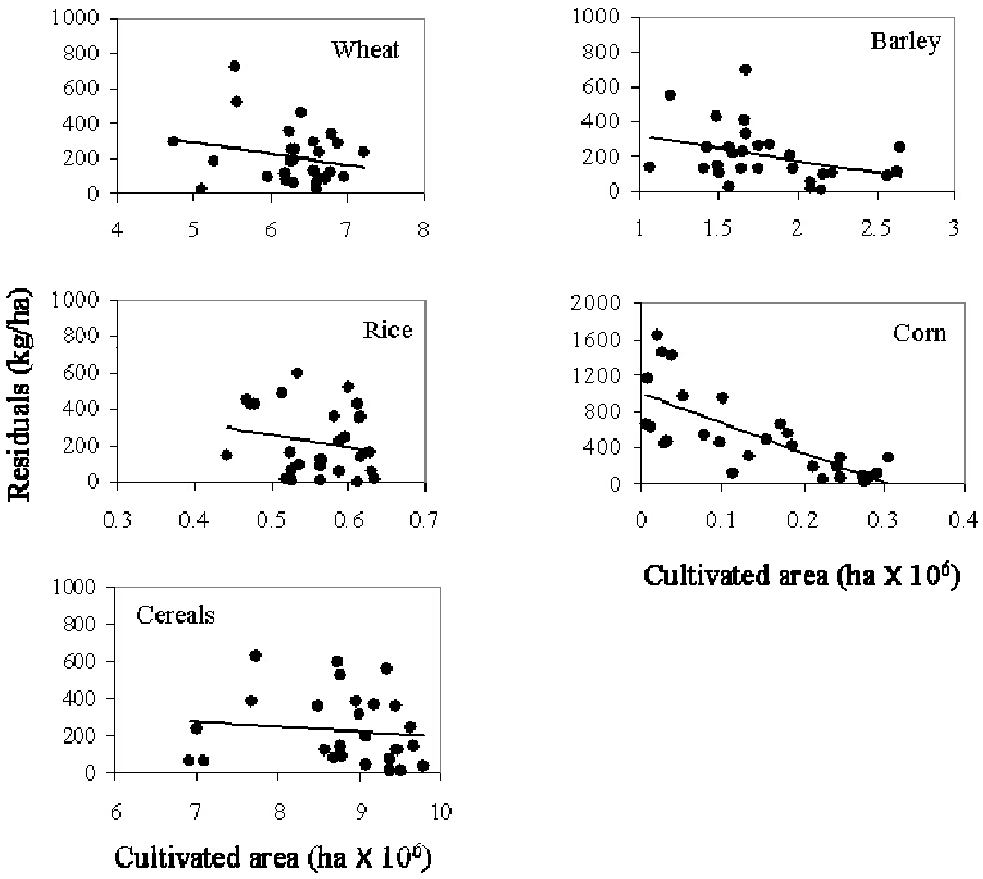
پارولو و همکاران (Paruelo et al., 2001) با مطالعه‌ای در دشت‌های مرکزی آمریکا بیان داشتند که بهبود روش‌های آبیاری باعث افزایش عملکرد گندم شده و ثبات آن را نیز بهبود بخشیده است. اصلاح روش‌های آبیاری نه تنها عملکرد را افزایش داده بلکه سیستم تولید را از نوسانات بارندگی که باعث کاهش ثبات عملکرد می‌شود، تا حد زیادی مستقل می‌سازد. بنابراین، نتیجه‌گیری درباره تأثیر به‌زراعی بر ثبات تا حد زیادی به نوع نهاده نیز بستگی خواهد داشت.

ثبات عملکرد و سطح زیر کشت

یافته‌های این تحقیق نشان داد که ثبات عملکرد در محصولات تحت بررسی تا حدودی تابع سطح زیر کشت آنها می‌باشد. در شکل 7 رابطه رگرسیون بین سطح زیر کشت و مقادیر مطلق باقیمانده‌ها برای هر محصول و نیز مجموع غلات ارائه شده است. با وجودی‌که این رابطه تنها در مورد جو و ذرت از نظر آماری معنی‌دار بود، ولی شیب منفی خطوط رگرسیون موید کاهش مقادیر باقیمانده با افزایش سطح زیر کشت است. بنابراین، به نظر می‌رسد با افزایش سطح زیر کشت ثبات عملکرد غلات افزایش یافته است.

رابطه بین ثبات و سطح کشت در سایر مطالعات نیز به تأیید رسیده است. روندانینی (Rondanini et al., 2012) بر اساس داده‌های 40 ساله که در کشورهای مختلف انجام شد، ثبات عملکرد کلزا را به روش باقیمانده رگرسیون برآورد کرده و نشان دادند که با افزایش سطح زیر کشت این محصول مقدار باقیمانده کاهش و در نتیجه ثبات عملکرد افزایش یافته است. این محققین بیان داشتند که به نظر می‌رسد هنگام ارزیابی در مقیاس بزرگ چون اراضی کم‌بازده و پر بازده هر دو در محاسبه وارد شده‌اند، بصورت نوعی بافر یا تعدیل کننده عمل کرده و ثبات افزایش می‌یابد. بنابراین، علیرغم اینکه در این تحقیق رابطه بین سطح زیر کشت و ثبات از لحاظ آماری فقط برای دو محصول معنی‌دار بود ولی با توجه به منفی بودن رابطه (شکل 7) به نظر می‌رسد که افزایش سطح زیر کشت به نوبه خود یکی از عوامل موثر بر ثبات عملکرد است.

البته باید توجه داشت که بزرگ شدن مقیاس ممکن است بر مقدار ثبات موثر باشد. نصیری محلاتی و کوچکی (Nassiri Mahallati & Koocheki, 2010) با ارزیابی ریسک تولید گندم در استان خراسان نشان دادند که ضریب تغییرات (CV) عملکرد گندم در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی به ترتیب 20، 25 و 35 درصد می‌باشد، در حالی‌که مقدار این ضریب برای مجموع سه استان در حدود 26 درصد است.



شکل 7- رابطه بین سطح زیر کشت و مقادیر مطلق باقیمانده‌های عملکرد در گندم، جو، برنج، ذرت و مجموع غلات

Fig. 7- Relation between cultivated area and absolute yield residuals for wheat, barley, rice, corn and overall cereals

رابطه رگرسیون تنها در مورد جو و ذرت معنی‌دار است ($p\leq 0/05$).

Regression was significant ($p\leq 0.05$) only for barley and corn.

بر این اساس، گندم در مناطق جنوبی این استان که در مقایسه با مناطق شمالی دارای آب و هوایی گرم‌تر و خشک‌تر می‌باشند، نوسان عملکرد بیشتر و ثبات کمتری دارد. کالدرینی و سلافر (Calderini & Slafer, 1998) با ارزیابی روند عملکرد گندم در آرژانتین بیان داشتند که در طی قرن بیستم ثبات در مقایسه با میزان افزایش عملکرد بهبود یافته است. در حالی‌که ورون و همکاران (Verón et al., 2004) با ارزیابی ثبات عملکرد گندم در 97 منطقه مختلف در آرژانتین نشان دادند که در مناطق حاشیه‌ای و کم‌بازده افزایش عملکرد بیشتر از کاهش ثبات بوده در حالی‌که در مناطق پربازده حالت عکس مشاهده شد و میزان کاهش ثبات بیش از افزایش عملکرد است. بنابراین، به نظر می‌رسد که آنالیز ثبات در مقیاس استانی یا به طور دقیق‌تر در پهنه‌های اگرواکولوژیکی تصویر بهتری از وضعیت ثبات عملکرد غلات را ارائه خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

با وجود این که افزایش عملکرد مهمترین چالش برنامه‌های بهنژادی و بهزراعی در کشور می باشد، ولی این افزایش در صورتی تضمین‌کننده امنیت غذایی خواهد بود که با ثبات عملکرد نیز همراه باشد زیرا در اغلب گیاهان زراعی پایین بودن ثبات یکی از عوامل اصلی ایجاد خلاء بین عملکرد واقعی و پتانسیل محسوب می‌شود و این خلاء به ویژه در محیطهای با تنش خشکی، شدیدتر است (Cattivelli et al., 2008; Tollenaar et al., 2002). نتایج این

تحقیق نشان داد که عملکرد گندم و مجموع غلات کشور در طی دهه گذشته بدون تغییر مانده در حالی‌که ثبات آن به ویژه در مورد گندم و جو در حال کاهش می‌باشد. اصلاح واریته‌های جدید غلات با هدف افزایش عملکرد همراه با توسعه فشرده‌سازی موجب کاهش خصوصیات کارکردی نظام‌های تولید در کشور شده و در نتیجه تأثیر نوسانات سالانه آب و هوایی بر عملکرد غلات افزایش یافته است. با وجودی که بر اساس یافته‌های این تحقیق برنج و ذرت از ثبات عملکرد قابل قبولی برخوردارند، ولی زوال تدریجی تنوع ریستی در بوم‌نظام‌های کشاورزی کشور و پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم جهانی ثبات عملکرد غلات را تهدید می‌کند. باید توجه داشت که کشاورزان به ویژه در مناطق کم‌بازده و حاشیه‌ای از نظر اقتصادی فناوری‌هایی را می‌پذیرند که بالاترین سطح ثبات عملکرد را به همراه داشته و خطر از بین رفتن محصول را به حداقل برساند (Fikere et al., 2008). بنابراین، بازنگری برنامه‌های به‌نژادی، بهره‌گیری صحیح از تناوب زراعی، جایگزینی کودهای شیمیایی با آلی و حفاظت از تنوع زیستی و افزایش آن در نظام‌های زراعی، مهمترین راهکارهای موثر بر بهبود ثبات عملکرد محسوب می‌شوند و مطالعه تأثیر آنها بر ثبات عملکرد حائز اهمیت است.

سپاسگزاری

هزینه‌های مورد نیاز جهت انجام این طرح توسط معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی و در قالب طرح تحقیقاتی مصوب با کد 1357پ مورخ 1387/12/12 تأمین شده است که بدین وسیله از حمایت‌های مالی دانشگاه سپاس‌گزاری می‌گردد.

منابع

Anderson, J.R., Dillon, J.L., Hazell, P.B.R., Cowie, A.J., and Wang, G.H. 1988. Changing variability in cereal production in Australia. Review of Marketing and Agricultural Economics 56: 270–286.

Andresen, J.A., Alagarswamy, G., Rotz, C.A., Ritchie, J.T., and LeBaron, A.W. 2001. Weather impacts on maize, soybean, and alfalfa production in the Great Lakes region 1895–1996. Agronomy Journal 93: 1059–1070.

Bahrani, M.J., Kheradnam, M., Emam, Y., Ghadiri, H., and Assad, M.T. 2002. Effects of tillage methods on wheat yield and yield components in continuous wheat cropping. Experimental Agriculture 38: 389–395.

Bell, M.A., Fischer, R.A., Byerlee, D., and Sayre, K. 1995. Genetic and agronomic contributions to yield gains: a case study for wheat. Field Crops Research 44: 55–65.

Berzsenyi, Z., Gyonrffy, B., and Lap, D. 2000. Effect of crop rotation and fertilization on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. European Journal of Agronomy 13: 225–244.

Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 1998. Changes in yield and yield stability in wheat during the 20th century. Field Crops Research 57: 335–347.

Calderini, D.F., and Slafer, G.A. 1999. Has yield stability changed with genetic improvement of wheat yield? Euphytica 107: 51–59.

Calvino, P., and Sadras, V. 2002. On-farm assessment of constraints to wheat yield in the south-eastern Pampas. Field Crop Research 74: 1–11.

Cassman, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proceeding of the National Academy of Sciences of the United States of America 96: 5952–5959.

Cassman, K.G., Peng, S., Olk, D.C., Ladha, J.K., Reichardt, W., Dobermann, A., and Singh, U. 1998. Opportunities for increased nitrogen-use efficiency from improved resource management in irrigated rice systems. Field Crops Research 56: 7–39.

Cattivelli, L., Rizza, F., Badeck, F.-W., Mazzucotelli, E., Mastrangelo, A.M., Francia, E., Marè, C., Tondelli, A., and Stanca, A.M. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: an integrated view from breeding to genomic. Field Crop Research 15: 1–14.

Chloupeka, O., Hrstkova, P., and Schweigert, P. 2003. Yield and its stability, crop diversity, adaptability and response to climate change, weather and fertilization over 75 years in the Czech Republic in comparison to some European countries. Field Crops Research 85: 167-190.

Conway, G., and Toenniessen, G. 1999. Feeding the world in the twenty-first century. Nature 402: C55–C58.

De Vita, P., Mastrangelo, A.M., Matteu, L., Mazzucotelli, E., Virzì, N., Palumbo, M., Lo Storto, M., Rizza, F., and

Cattivelli, L. 2010. Genetic improvement effects on yield stability in durum wheat genotypes grown in Italy. Field Crops Research 119: 68–77.

Donini, P., Law, J.R., Koebner, R.M.D., Reeves, J.C., and Cooke, R.J. 2000. Temporal trends in the diversity of UK wheat. Theoretical and Applied Genetics 100: 912–917.

Duvick, D.N., Smith, J.S.C., and Cooper, M. 2004. Changes in performance, parentage, and genetic diversity of successful corn hybrids, 1930 to 2000. In: Smith, C.W., Betrˇıan, J., Runge, E.C.A. (Eds.), Corn: Origin, History, Technology and Production. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, pp. 65–97.

Evans, L.T. 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press, New York.

Fikere, M., Tadesse, T., and Letta, T. 2008. Genotype–environment interactions and stability parameters for grain yield of faba bean (*Vacia faba* L.) genotypes grown in South Eastern Ethiopia. International Journal of Sustainable Crop Production 3: 80–87.

Finlay, K.W., Wilkinson, G.N., 1963. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. Australian Journal of Agricultural Research 14: 742–754.

Fischer, R.A., Santiveri, F., and Vidal, I.R. 2002. Crop rotation, tillage and crop residue management for wheat and maize in the sub-humid tropical highlands I. Wheat and legume performance. Field Crops Research 79: 107–122.

Fischer, R.A., Byerlee, D., and Edmeades, G.O. 2009. Can technology deliver on the yield challenge to 2050? In: FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, Rome, June 24–26.

Fischer, R.A., and Edmeades, G.O. 2010. Breeding and cereal yield progress. Crop Science 50: S85–S98.

Fufa, H., Baenziger, P.S., Beecher, B.S., Graybosch, R.A., and Eskridge, K.M. 2005. Genetic improvement trends in agronomic performances and end-use quality characteristics among hard red winter wheat cultivars in Nebraska. Euphytica 144: 187–198.

Gan,Y.T., Miller, P.R., McConkey, B.G., Zentner, R.P., Stevenson, F.C., and McDonald, C.L. 2003. Influence of diverse cropping sequences on durum wheat yield and protein in the semiarid northern Great Plains. Agronomy Journal 9: 245–252.

García del Moral, L.F., Rharrabti, Y., Villegas, D., and Royo, C. 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach. Agronomy Journal 95: 266–274.

Hao, M., Fan, J.U., Wang, Q., Dang, T., Guo, S.L. and Wang, J. 2007. Wheat grain yield and yield stability in a long-term fertilization experiment on the Loess plateau. Pedosphere 17(2): 257-264.

Hafner, S. 2003. Trends in maize, rice, and wheat yields for 188 nations over the past 40 years: a prevalence of linear growth. Agriculture, Ecosystems and Environment 97: 275–283.

Huang, M., Shao, M., Zhang, L., and Li, Y., 2003.Water use efficiency and sustainability of different long-term crop rotation systems in the Loess Plateau of China. Soil and Tillage Research 72: 95–104.

Jones, M.J., Singh, M. 2000. Long-term yield patterns in barley-based cropping systems in Northern Syria. 3. Barley monocropping. The Journal of Agricultural Science 135: 251–259.

Koocheki, A., Nassiri, M., Gliesman S.R., and Zarea, A. 2008. Agrobiodiversity of field crops: A case study for Iran. Journal of Sustainable Agriculture 32(1): 95-122.

Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., Kamali, G.A., and Shahandeh, H. 2006. Potential impacts of climate change on agroclimatic indicators in Iran. Arid Lands Research and Management 20: 245-259.

Lithourgidis, A.S., Damalas C.A., and Gagianas, A.A. 2006. Long-term yield patterns for continuous winter wheat cropping in northern Greece. European Journal of Agronomy 25: 208–214.

Lobell, D., and Asner, G. 2003. Climate and management contributions to recent trends in US agricultural yields. Science 299, 1032.

Nassiri M., and Koocheki, A. 2010. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. Iranian Journal of Field Crops Research 8(2): 1-11 (In Persian with English Summary)

Nielsen, D.C., Vigil, M.F., Anderson, R.L., Bowman, R.A., Benjamin, J.G., and Halvorson, A.D. 2002. Cropping system influence on planting water content and yield of winter wheat. Agronomy Journal 94: 962–967.

Olesen, J.E., and Bindi, M. 2002. Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. European Journal of Agronomy 16: 239–262.

Pan, G., Smith, P., and Pan, W. 2009. The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China. Agriculture, Ecosystems and Environment 129: 344–348

Paruelo, J.M., Burke, I.C., and Lauenroth, W.K. 2001. Land-use impact on ecosystem functioning in eastern Colorado,

USA. Global Change Biology 7: 631–639.

Pidgeon, J.D., Werker, A.R., Jaggard, K.W., Richter, G.M., Lister, D.H., and Jones, P.D. 2001. Climatic impact on the productivity of sugar beet in Europe, 1961–1995. Agricultural and Forest Meteorology 109: 27–37.

Reid, J.B. 2002. Yield response to nutrient supply across a wide range of conditions. 1. Model derivation. Field Crops Research 77: 161–171.

Rondanini, D.P., Gomez, N.V., Agosti, M.B., and Miralles, D.J. 2012. Global trends of rapeseed grain yield stability and rapeseed-to-wheat yield ratio in the last four decades. European Journal of Agronomy 37: 56– 65.

Sinebo, W. 2005. Trade off between yield increase and yield stability in three decades of barley breeding in a tropical highland environment. Field Crops Research 92: 35–52.

Slafer, G.A., and Andrade, F.H. 1993. Physiological attributes related to the generation of grain yield in bread wheat cultivars released at different eras. Field Crops Research 31, 351–367.

Slafer, G.A., and Kernich, G. 1996. Have changes in yield (1900–1992) been accompanied by a decreased yield stability in Australian cereal production? The Australian Journal of Agricultural Research 478: 323– 334.

Tollenaar, M., and Lee, E.A. 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. Field Crops Research 75: 161–169.

Verón, S.R., Paruelo, J.M. and G.A. Slafer.2004. Interannual variability of wheat yield in the Argentine Pampas during the 20th century. Agriculture, Ecosystems and Environment 103: 177-190.

Zare, A., Koocheki, A., and Nassiri Mahallati, M. 2006. Trend analysis of yield, production and cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. Iranian Journal of Field Crops Research 4(1): 49-71. (In Persian with English Summary)