نشریه پژوهش‌های زعفران (دو فصلنامه)
جلد چهارم، شماره دوم، پاییز وزمستان ۱۳۹۵
شماره صفحه: ۲۷۸-۲۶۶

کاربرد روش تاگوچی در ارزیابی سبز شدن زعفران (*Crocus sativus*L.) تحت تأثیر زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری

عباس خاشعی سیوکی*[۱]، سیدرضا هاشمی[۲] و محسن احمدی[۳]
۱-دانشیار گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
۲- استادیارگروه علوم و مهندسی آب دانشگاه بیرجند
۳- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی دانشگاه شهید چمران اهواز
* نویسنده مسئول: Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۵/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۳۰

چکیده

با توجه به اینکه امروزه روش تاگوچی به عنوان جایگزین مناسبی برای طرح‌های آزمایشات پیشنهاد شده است،این روش با طرح آزمایشات برای سبز شدن گیاه زعفران (*Crocus sativus* L.) تحت تأثیر سطوح مختلف زئولیت و برنامه ریزی آبیاری مقایسه شد. بدین منظورآزمایشی به صورتفاکتوریل و در قالب طرح کاملتصادفی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند با سهتکرار انجام شد. در این آزمایش زئولیت در سه سطح (صفر: Z_0، ۱: Z_2 و ۲: Z_3 درصد وزنی)و تیمار آبیاری در سه سطح (آبیاری سنتی: I_1، آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی: I_2 و آبیاری کامل: I_3) در نظر گرفته شد. سپس این آزمایش توسط روش تاگوچی (طرح L9) طراحیشد. پارامترهای مورد بررسی در این تحقیق شامل: سرعت سبز شدن (R_{50})، یکنواختی سبز شدن (GU)، زمان برای سبز شدن ۵ تا ۹۵ درصد بنه‌ها (D05، D50، D90 و D95) بود. نتایج نشان داد که سطح زئولیت اثری بر هیچکدام از شاخص‌های سبز شدن نداشت ولی برنامه‌ریزی آبیاری سبب کاهش معنی‌دار D90 و D95 شد ($P\leq0.05$). این کاهش برای پارامتر D90 به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۶ درصد در تیمارهای I2 و I3 نسبت به عدم آبیاری (I1) بود. پارامتر D95 نیز در تیمارهای I2 و I3 نسبت به I1به ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد کاهش داشت. برهمکنش سطح زئولیت و مدیریت آبیاری نیز بر D90 و D95 اثر معنی‌داری داشتند ($P\leq0.05$) به طوری که کمترین مقدار برای این دو پارامتر در تیمار Z3I3 مشاهده شد. براساس روش تاگوچی تیمار Z3I3 به عنوان مناسب‌ترین تیمار تعیین شد به طوری که بیشترین مقدار R50 و کمترین مقادیر GU، D50 و D95 را داشت. حداکثر خطای روش تاگوچی (RMSE) برابر ۰/۹۹ روز تعیین شد. همچنین حداکثر خطای اریبی(MBE) نیز برابر ۰/۸۹۴۵ روز به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان به منظور صرفه‌جویی در وقت و هزینه‌ها، از روش تاگوچی در اجرای طرح‌های آزمایشات به منظور بررسی سبز شدن گیاهان زراعی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی:آبیاری، آزمایش فاکتوریل، سرعت سبز شدن،یکنواختی سبز شدن

مقدمه

از مهم‌ترین مراحل فنولوژیک گیاه می‌توان به سبز شدن اشاره کرد که تعیین کننده موفقیت یا شکست نسبی زراعت می‌باشد (Forcella et al., 2000). این مرحله در چرخه‌ی زندگی گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و استقرار مطلوب و عملکرد نهایی گیاه زراعی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hadas, 1976). استقرار به موقع گیاهچه موجب افزایش توان آن برای مقابله با شرایط نامساعد محیطی و مشکلات ناشی از آفات و بیماری‌ها می‌شود (Nascimento, 2003). همچنین سبز شدن سریع و یکنواخت سبب مدیریت بهتر محصول تا زمان برداشت می‌گردد (Ahmadee, 2014).

عوامل مختلفی سبز شدن را تحت تأثیر قرار می‌دهند که از جمله می‌توان به کیفیت بذر (Harper, 1977)، کیفیت نور (Buhler, 1997)، دما و پتانسیل آب خاک (Spandl, 1998)، بافت خاک (Benvenutiet al., 2001) و فشردگی خاک (Boyd and Van Acker, 2004) اشاره کرد.تنش آبی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر سبز شدن و استقرار گیاه است (Falleri, 1994) که مطالعات بسیاری در این خصوص انجام شده است (Yavari*et al*., 2002; Murungu, 2003; Soltani et al., 2006).

استفاده از زئولیت یکی از روش‌های مؤثر در کاهش تنش آبی است (Gholizadeh et al., 2010). زئولیت‌ها آلومینوسیلیکات‌هایی هستند که کاربرد آن‌ها در کشاورزی به علت نگهداشت رطوبت (Kazemian, 2004; KhasheiSiuki and Ahmadee, 2015) و فراهمی مواد غذایی (Polite et al, 2004; Shiranirad et al., 2011; Ahmadee et al., 2014a ; Ahmadee et al., 2014c) رو به افزایش است. علاوه بر این اقلیم خشک ایران (JazaeriNushabadi and Rezaei, 2007) و فراوانی منابع زئولیت در کشور (KhasheiSiuki and Ahmadee, 2015) نیز سبب تقویت این رویه می‌گردد.

با توجه به اینکه اجرای تحقیقات در قالب طرح آزمایشات، به دلیل در نظر گرفتن اثر همه عوامل، سبب صرف وقت و هزینه زیاد در انجام آزمایش‌ها می‌شود؛ کاربرد روشی ساده‌تر و با عوامل کمتر مورد نیاز می‌باشد (Zhang et al., 2015). از جمله این روش‌ها می‌توان به تاگوچی اشاره کرد (Taguchi, 1990) که از آرایه‌های متعامد[فاکتوریل جزئی] برای طراحی آزمایش‌ها استفاده می‌کند (Ranjit, 1990). این روش در ابتدا برای ارزیابی محصولات تولیدی کارخانه‌ها استفاده شد (Taguchi, 1990; Jeyapaul et al., 2005). اما امروزه در بسیاری از علوم رواج یافته است (Sadeghi et al., 2012). از جمله تحقیقات انجام شده با استفاده از این روش می‌توان به مطالعات تان و همکاران (Tan et al., 2005)، چاولیا و داس (Chaulia and Das, 2005)، ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2015) و پندی و پاندا (Pandey and Panda, 2015) اشاره کرد.

زعفران (*Crocussativus* L.) یکی از گیاهان زراعی با ارزش(Rashed et al., 2006) و بومی ایران (Mollafilabi, 2004) است که گرچه این گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشت می‌شود ولی تنش آبی سبب کاهش شاخص‌های رشدی آن می‌گردد (Goliaris, 1999; Aitoubahou and El-Otmani, 1999; Hassan and Shah, 2002; Munshi et al., 2002; AziziZehan et al., 2006). با توجه به اینکه زعفران یک گیاه چند ساله است؛ اثر تنش آبی در طول فصل رشد، بر سبز شدن بنه‌های آن در سال بعد اثر می گذارد. بنابراین تحقیق حاضر به منظور بررسی اهداف زیر انجام شد:

الف) اثر تنش خشکی و کاربرد زئولیت بر سبز شدن زعفران

ب) ارزیابی روش تاگوچی در سبز شدن زعفران تحت تیمار زئولیت و تنش آبی

مواد و روش‌ها

این تحقیق به صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند واقع در طول جغرافیایی ´۲۱ °۵۹ شرقی و عرض جغرافیایی ´۸۷ °۳۲ شمالی و با ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا انجام شد. بدین منظور ۳ سطح زئولیت (صفر: Z_0، ۱: Z_2 و ۲: Z_3 درصد وزنی) و ۳ سطح

آبیاری (آبیاری سنتی: I_1، آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی: I_2 و آبیاری کامل: I_3) با سه تکرار در نظر گرفته شد. از گلدان‌های پلاستیکی به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر به منظور بستر کشت استفاده شد. خاک آزمایش توسط آزمایشگاه خاور خاک بیرجند آنالیز (جدول ۱) و پس از یکنواخت‌سازی با الک ۵ میلی‌متری براساس درصد وزنی مورد نظر با زئولیت (جدول ۲) مخلوط و در گلدان‌ها ریخته شد. دو سانتی‌متر شن با قطر ۵ تا ۲۰ میلی‌متر در کف گلدان‌ها ریخته شد. همچنین به منظور زهکشی، سوراخ‌هایی در کف هر گلدان تعبیه شد. سپس در هر گلدان، ۱۰ بنه زعفران در بازه وزنی ۸-۶ گرم در روز بیست و هشتم شهریور کاشته شد. پس از کشت بنه‌ها، آبیاری به صورت یکسان انجام شد. پس از ظهور گل، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. در تیمار آبیاری کامل میزان رطوبت در حد ظرفیت زراعی (۵%±) نگه‌داشته شد. به منظور اعمال تیمار آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی از روش وزنی استفاده شد. تیمار آبیاری سنتی نیز براساس آبیاری سنتی رایج در محل صورت گرفت؛ بدین صورت که تنها در سه نوبت (ابتدای فصل، پس از سبز شدن بنه‌ها و انتهای زمستان) آبیاری صورت گرفت. مشخصات آب آبیاری در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکوشیمیایی خاک مورد استفاده

Table 1.Physico-chemical charasteristics of the soil

بافت خاک Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	رطوبت قابل استفاده FC-PWP (%W)	جرم مخصوص ظاهری Bulk Density ($g.cm^{-3}$)	هدایت الکتریکی EC ($dS.m^{-1}$)	اسیدیته pH	کل کلسیم Total Ca ($mg.l^{-1}$)	کربن آلی Organic carbon (%)	ماده آلی Organic Matter (%)
لومی Loam	10	42	48	20.9	1.52	0.46	7.98	15	0.17	0.29

جدول ۲. مشخصات زئولیت پتاسیک

Table 2.Properties of Potasic Zeolite

نوع زئولیت Type of Zeolite	SiO_2 (%)	Al_2O_3 (%)	Fe_2O_3 (%)	CaO (%)	Na_2O (%)	K_2O (%)	MgO (%)	TiO_2 (%)	MnO (%)	P_2O_5 (%)
زئولیت پتاسیکPotasic Zeolite	70.25	7.68	0.91	1.12	3.10	3.43	0.39	0.153	0.017	0.006
نوع زئولیت Type of Zeolite	L.O.I (%)	SO_3 (%)	Cl (ppm)	Ba (ppm)	Sr (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ni (ppm)	Cr (ppm)
زئولیت پتاسیکPotasic Zeolite	11.84	0.600	2049	1158	666	56	2	27	5	6

جدول ۳.خصوصیاتشیمیایی آب آبیاری

Table 3.Chemical properties of irrigated water

SO_4	Cl	HCO_3	CO_3	K	Na	Mg	Ca	TDS	SAR	pH	EC
$meq.l^{-1}$								$mg.l^{-1}$	-	-	$dS.m^{-1}$
4.25	2.2	4.75	0.00	0.01	4.19	5.3	1.7	68.48	2.24	7.26	0.991

در اردیبهشت‌ماه بنه‌ها به خواب تابستانه رفته و تا اواخر شهریور سال ۱۳۹۳ عملیات داشت صورت نگرفت. آبیاری اولیه در بیست و هشتم شهریورماه در سال دوم (۱۳۹۳) به صورت کامل انجام شد و همه گلدان‌ها به صورت یکسان آبیاری شدند. سپس گلدان‌ها به صورت روزانه مورد بازدید قرار می‌گرفتند و تعداد بنه‌های سبز شده برای هر گلدان به صورت جداگانه یادداشت می‌شد. ملاک سبز شدن براساس خروج جوانه به اندازه ۲ میلی‌متر بود (Ahmadee et al., 2014b). زمان تا سبز شدن ۵ درصد بنه‌ها (D05)، زمان تا سبز شدن ۱۰ درصد بنه‌ها (D10)، زمان تا سبز شدن ۵۰ درصد بنه‌ها (D50)، زمان تا سبز شدن ۹۰ درصد بنه‌ها (D90)، زمان تا سبز شدن ۹۵ درصد بنه‌ها (D95)، سرعت سبز شدن (R50) و یکنواختی سبز شدن (GU) با استفاده از مدل GERMIN محاسبه شدند (Soltani and Maddah, 2010).

به منظور تجزیه و تحلیل آماری به روش فاکتوریل کامل از نرم‌افزار SAS 9.1.3 و آزمون توکی استفاده شد. همچنین نمودارها با استفاده از Microsoft Excel 2013 ترسیم شد. سپس آزمایش توسط روش تاگوچی به صورت L9 طراحی (جدول ۴) و نتایج با استفاده از نرم‌افزار Qualitec-4 حاصل شد. در روش تاگوچی برای تحلیل نتایج و بررسی تأثیر هر یک از عوامل بر تابع هدف، از تحلیل واریانس استفاده و سطوح عوامل مؤثر بر تابع هدف به گونه‌ای انتخاب می‌شود که تأثیر عوامل غیرقابل کنترل بر تابع هدف خنثی شود (Aslan, 2008). در این روش به بررسی نسبت سیگنال (S) به اغتشاش (N) پرداخته می‌شود. معادله مربوط به این روش در رابطه ۱ نشان داده شده است (Taguchi, 1990):

$$\frac{S}{N} = -10Log\left(\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} y_i^2\right) \qquad (۱)$$

در این رابطه، n تعداد تکرارهای هر آزمایش و y_i مقادیر اندازه‌گیری شده است. نسبت S/N نشان دهنده‌ی حساسیت مشخصه‌ی مورد بررسی به فاکتورهای خارجی اثرگذار و غیرقابل کنترل در یک فرآیند کنترل شده می‌باشد. در هر آزمایش، برای ایجاد بهترین شرایط می‌بایست به بزرگترین مقدار برای S/N دست یافت (Afrasiabi et al., 2014). در روش تاگوچی نسبت S/N به سه صورت بیشتر-بهتر (HTB)، نرمال-بهتر (NTB) و کمتر-بهتر (LTB) معرفی می‌شود (Zhang et al., 2015 و Atil and Unver, 2000). در این تحقیق برای سرعت سبز شدن از گزینه‌ی بیشتر-بهتر (HTB) و برای سایر پارامترها از گزینه‌ی کمتر-بهتر (LTB) استفاده شد (Atil and Unver, 2000; Zhang et al., 2015).

جدول ۴. آزمایش طراحی شده به روش تاگوچی (L9)

Table 4.Taguchi design for this experiment (L9)

نام ترکیب	I			Z		
Form name	I3	I2	I1	Z3	Z2	Z0
11			✓			✓
12		✓				✓
13	✓					✓
21			✓		✓	
22		✓			✓	
23	✓				✓	
31			✓	✓		
32		✓		✓		
33	✓			✓		

به منظور ارزیابی روش تاگوچی نسبت به طرح آزمایشی مورد استفاده در این تحقیق، از آماره‌های *RMSE*، *MBE* و *EF* استفاده شد. این آماره‌ها به ترتیب در رابطه‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. در این روابط، P_i میزان پارامتر به دست آمده از روش تاگوچی، O_i مقدار پارامتر اندازه‌گیری شده توسط روش فاکتوریل، $\overline{O}$ میانگین پارامتر به دست آمده از روش فاکتوریل و n نشان دهنده تعداد تیمارها در روش تاگوچی می‌باشد. مقدار آماره *RMSE* همواره مثبت بوده و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت آماره *MBE* نشان دهنده‌ی این است که مدل پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقدار *EF* نشان‌دهنده‌ی صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت (در بدترین حالت) تا یک (در زمان برازش کامل داده‌ها)

متغیر است(Remsean et al., 2008; Trajkovic and Kolakovic, 2009).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)}{n} \quad (۳)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۴)$$

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که سطح زئولیت بر هیچکدام از تیمارهای مورد بررسی اثر معنی‌داری نداشت ولی برنامه‌ریزی آبیاری بر پارامترهای D90 و D95(P≤0.01) و GU (P≤0.05) اثر معنی‌داری نشان داد (جدول ۵). این نتایج با مطالعات احمدی و همکاران (Ahmadee et al., 2014b) مطابقت داشت. این محققان با کاربرد سه نوع زئولیت در سه سطح نشان دادند که مقدار زئولیت اثری بر سبز شدن زعفران نداشت ولی نوع زئولیت بر زمان سبز شدن مؤثر بود. اثر متقابل سطح زئولیت و مدیریت آبیاری نیز بر پارامترهای D90 و D95 اثر معنی‌داری داشتند (P≤0.05).

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس (آماره F) اثر مقدار زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری بر سبز شدن زعفران

Table 5. Analysis of variance (F Value) for amount of zeolite and irrigation scheduling on saffron emergence

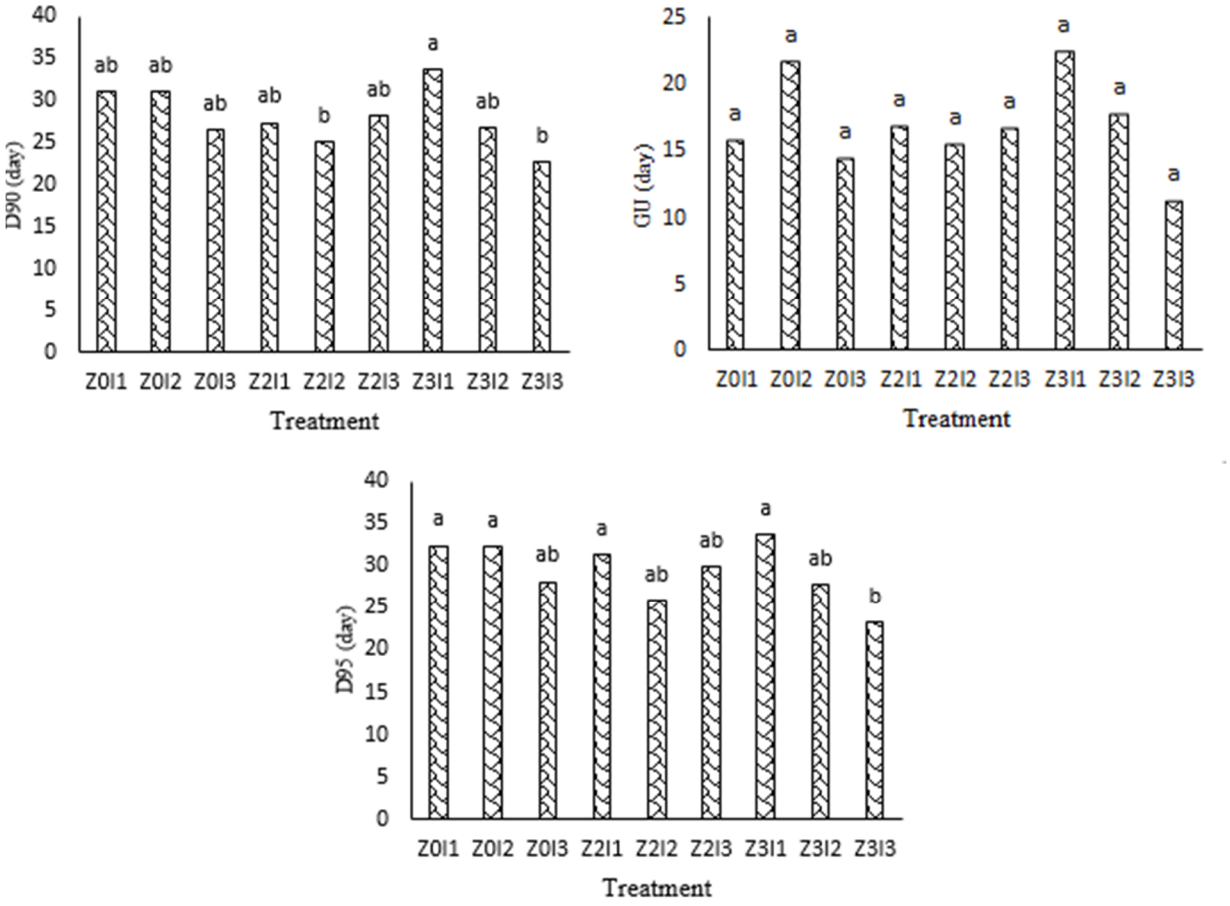
منابع تغییرات S.O.V	R50	GU	D95	D90	D50	D10	D05	درجه آزادی df
سطح زئولیت Zeolite Level	2.39^{ns}	0.13^{ns}	2.27^{ns}	2.41^{ns}	2.26^{ns}	0.81^{ns}	0.03^{ns}	2
مدیریت آبیاری Irrigation Scheduling	2.53^{ns}	3.14*	9.19**	7.73**	3.24^{ns}	2.04^{ns}	1.11^{ns}	2
سطح زئولیت×مدیریت آبیاری Zeolite level*Irrigation Scheduling	1.09^{ns}	2.56^{ns}	3.66*	4.59*	1.08^{ns}	0.57^{ns}	0.26^{ns}	4
ضریب تغییرات (٪) Coefficient of Variation (%)	0.14	0.24	0.09	0.09	0.14	0.29	0.44	-

ns، *و ** به ترتیب بدون اثر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد می‌باشد.

ns, *, and ** are non-significant, and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

مقایسه‌ی میانگین‌ها نشان داد که با افزایش مقدار زئولیت،سرعت سبز شدن بنه‌ها نیز افزایش یافت به طوری که با کاربرد مقادیر ۱ (Z2) و ۲ (Z3) درصد وزنی زئولیت،سرعت سبز شدن (R50)به ترتیب ۹ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد (Z0) افزایش نشان داد؛ گرچه این تغییرات معنی‌دار نبود. کاربرد زئولیت اثر معنی‌داری بر سایر پارامترهای مورد بررسی نیز نداشت ولی احتمالاً با کاربرد مقادیر بیشتر می‌توان این پارامترها را افزایش داد. نتایج تحقیقات احمدی و همکاران (Ahmadee et al., 2014a) بر روی سبز شدن گیاه شاهی با کاربرد مقادیر ۵ و ۷ درصد وزنی این فرض را تأیید می‌کند.البته با توجه به اینکه در تحقیق حاضر از یک نوع زئولیت استفاده شد؛ تغییر نوع زئولیت نیز می‌تواند بر سبز شدن زعفران موثر باشد (Ahmadee et al., 2014b). با توجه به اینکه زعفران یک گیاه چند ساله است، تداوم کاربرد زئولیت در خاک سبب افزایش پتاسیم تبادلی (Ekaterina and Christos, 2002) و فراهمی مواد غذایی (KhasheiSiuki and Ahmadee, 2015) شده و از این طریق می‌تواند سبب بهبود شاخص‌های سبز شدن در

خاک گردد(Temprini et al., 2009; Ahmadeeet al., 2014b). با افزایش مقدار آب آبیاری از I1 به I3، D90 به صورت معنی‌داری به میزان ۱۶ درصد کاهش یافت ($P\leq0.05$). گرچه تیمار I2 سبب کاهش ۱۰ درصدی پارامتر D90 نسبت به I1 شد ولی تفاوت معنی‌داری بر این پارامتر نداشت. هر دو تیمار I2 و I3 سبب کاهش معنی‌دار D95 نسبت به I1 شدند ($P\leq0.05$). این کاهش به ترتیب برابر ۱۱ و ۱۷ درصد بود. همچنین کاربرد تیمارهای I2 و I3 سبب افزایش ۱۲ و ۱۶ درصدی سرعت سبز شدن بنه‌ها نسبت به I1 شدند ولی این تغییرات معنی‌دار نبود. با بررسی برهمکنش سطح زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری مشاهده شد که تیمار Z3I3 مناسب‌ترین یکنواختی سبز شدن (GU) را داشت (شکل ۱). این تیمار نسبت به Z3I1 و Z3I2 به ترتیب ۹۹ و ۵۷ درصد یکنواختی سبز شدن را بهبود بخشید.



شکل ۱. اثر سطح زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری بر یکنواختی سبز شدن (GU)، زمان سبز شن ۹۰ درصد بنه‌ها (D90) و زمان سبز شدن ۹۵ درصد بنه‌ها (D95)[حروف مشابه به معنی عدم معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با آزمون توکی می‌باشند؛ Z0، Z2 و Z3 به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱ و ۲ درصد زئولیت و I1، I2 و I3 به ترتیب نشان دهنده‌ی آبیاری سنتی، آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی و آبیاری کامل می‌باشند].

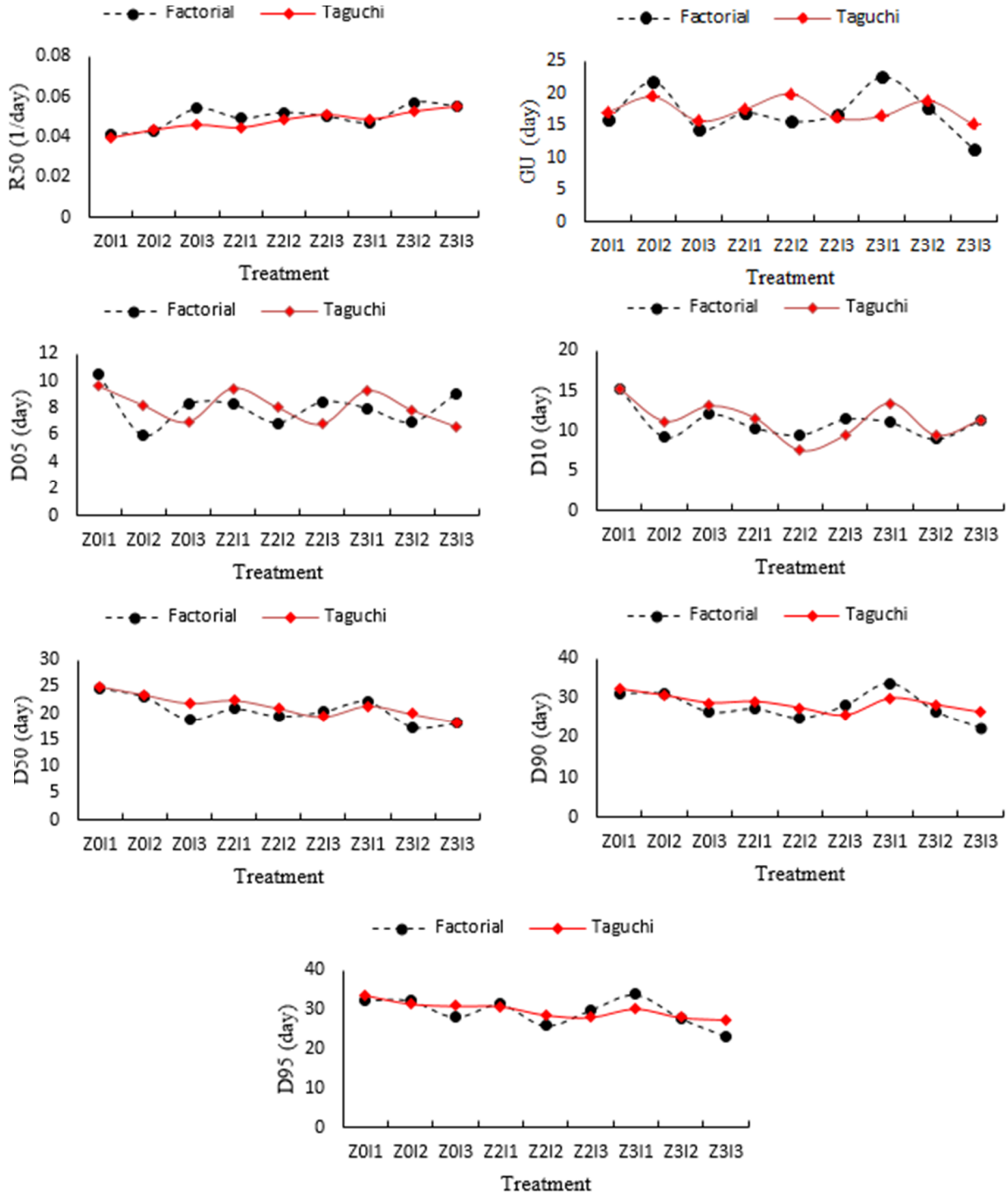
Fig 1. Interaction effect of zeolite level and irrigation scheduling on emergence uniformity (GU), time for emergence of 90 percentage of croms (D90) and time for emergence of 95 percentage of corms (D95) [Means with the same letter(s) have not significant differences based on Tukey's test (p≤0.05). Z0, Z1, Z2 and Z3 indicate potasic zeolite at zero, 0.5, 1 and 2 as weight percentage, respectively and I1, I2 and I3 indicate traditional irrigation, deficit irrigation as 70% moisture depletion and full irrigation, respectively].

با توجه به اینکه برهمکنش سطح زئولیت و برنامه‌ریزی آبیاری تفاوت معنی‌داری بر پارامترهای D05، D10 و D50 نداشت (شکل ۱)؛ کاهش GU در تیمار Z3I3 را می‌توان به علت تغییر D90 و D95 دانست. با توجه به

نتایج به دست آمده، کمترین مقدار D90 در تیمارهای Z3I3 و Z2I2 مشاهده شد ($P\leq0.05$). همچنین کمترین مقدار D95 نیز در تیمار Z3I3 مشاهده شد به طوری که نسبت به تیمارهای Z3I1 و Z3I2 به ترتیب ۴۵ و ۱۹ درصد کاهش نشان داد ($P\leq0.05$).

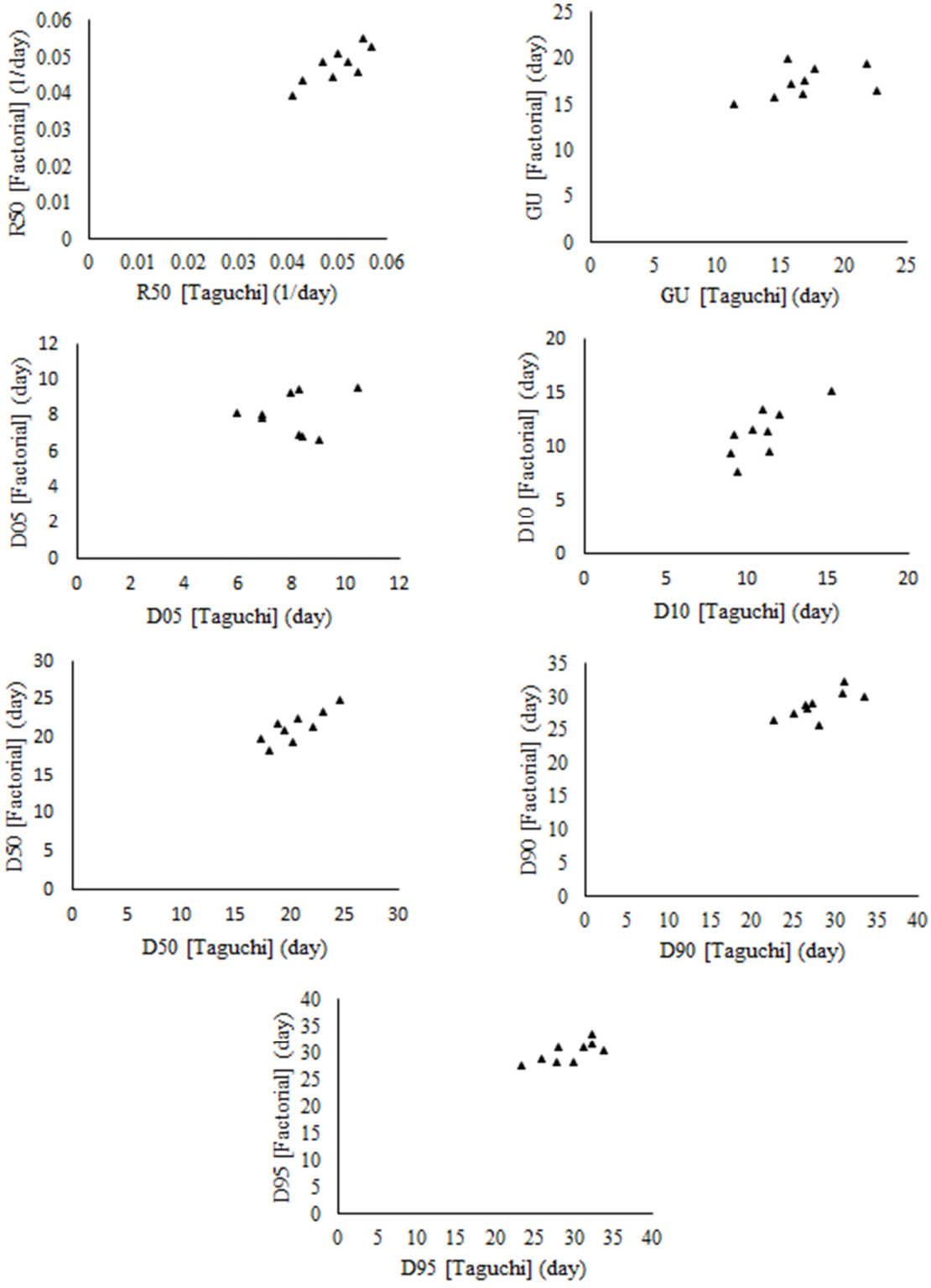
روش تاگوچی دقت مناسبی در تعیین سرعت سبز شدن (R50) داشت به طوری که حداکثر اختلاف این روش نسبت به روش فاکتوریل کامل برابر ۱۵ درصد و در تیمار Z0I3 مشاهده شد (شکل ۲). کمترین اختلاف پارامتر R50 بین این روش‌ها نیز در تیمار Z3I3 و برابر ۰/۲ درصد به دست آمد. مقایسه‌ی نتایج این دو روش با برازش خط ۱:۱ نیز این نتایج را تأیید کرد (شکل ۳). همچنین با افزایش مقدار آب آبیاری، سرعت سبز شدن در هر دو روش روند صعودی داشت. بیشترین یکنواختی سبز شدن در تیمار Z3I3 به دست آمد که مشابه روش فاکتوریل بود با این تفاوت که روش تاگوچی یکنواختی سبز شدن را ۳/۷ روز کمتر از روش فاکتوریل کامل تعیین کرد (شکل ۲). نتایج به دست آمده توسط دو روش تاگوچی و فاکتوریل برای تیمارهای Z0I2، Z2I2 و Z3I1 تفاوت قابل توجهی داشت به طوری که اختلاف یکنواختی سبز شدن برای این تیمارها به ترتیب ۱۰، ۲۷ و ۲۷/۵ درصد بود. سایر تیمارها نتایج بسیار مشابهی در دو روش نشان دادند به طوری که حداکثر یکنواختی سبز شدن دو روش برابر ۸ درصد بود.

نتایج آنالیز داده‌ها به روش فاکتوریل کامل برای پارامتر D05 نشان داد که روند تغییرات این پارامتر با افزایش آب آبیاری از I1 تا I3 سهمی شکل بود؛ گرچه (براساس جدول ۱) تفاوت آماری معنی‌داری بین هیچکدام از تیمارها مشاهده نشد. روش تاگوچی نشان داد که روند تغییرات D05 با افزایش آب آبیاری از I1 تا I3 خطی بود و کمترین مقدار این پارامتر در تیمارهای شامل I3 به دست آمد. کمترین و بیشترین اختلاف مقدار D05 در تیمارهای Z0I1 و Z0I2 مشاهده شدند که به ترتیب نسبت به روش فاکتوریل کامل ۰/۸۵ و ۲/۲۵- روز اختلاف داشتند. علی‌رغم این اختلاف، روند مشابهی بین روش‌های تاگوچی و فاکتوریل کامل برای پارامترهای D10 و D50 مشاهده شد (شکل ۲). تیمارهای Z2I3 و Z3I3 به ترتیب با مقادیر ۲۵/۶۵ و ۲۶/۴۳ روز، کمترین مقدار D90 را با کاربرد روش تاگوچی نشان دادند. گرچه مقادیر به دست آمده از دو روش تاگوچی و فاکتوریل کامل تقریباً مشابه بود ولی تفاوت ۱۶ درصدی بین دو روش مورد استفاده برای تیمار Z3I3 مشاهده شد (شکل ۲). براساس روش تاگوچی، کمترین مقدار D95 نیز در تیمار Z3I3 مشاهده شد که مشابه روش فاکتوریل کامل بود. بنابراین براساس روش فاکتوریل کامل، Z3I3 به عنوان مؤثرترین تیمار در سبز شدن زعفران به شمار می‌رود زیرا با کاهش D90 سبب کاهش GU شد. از این رو احتمال مواجه شدن بنه‌های کاشته شده با سرما و عدم گلدهی کاهش می‌یابد. همچنین سبب برنامه‌ریزی بهتر جهت تردد گلچین‌ها در مزارع زعفران می‌شود که این امر سبب کاهش آسیب دیدگی جوانه‌های تازه سبز شده می‌گردد (Ahmadee et al., 2014b). براساس روش تاگوچی نیز تیمار Z3I3 به عنوان مناسب‌ترین تیمار تعیین شد به طوری که بیشترین مقدار R50 و کمترین مقدار GU، D50 و D95 را داشت. گرچه کمترین مقدار پارامتر D90 براساس روش تاگوچی در تیمار Z2I3 مشاهده شد ولی تفاوت اندکی (۰/۷ روز) نسبت به Z3I3 داشت (شکل ۲).کارایی روش تاگوچی در یکنواختی سبز شدن (GU) برابر ۰/۱۷ تعیین شد (جدول ۴) که مقدار مناسبی می‌باشد. بهترین و بدترین EF نیز به ترتیب برابر ۰/۵۰ و ۰/۴۸- تعیین شد. علی رغم این، برای اکثر پارامترها آماره‌ی EF مقداری مثبت به دست آمد که نشان دهنده‌ی کارایی مناسب روش تاگوچی است. نتایج RMSE و MBE نیز برای یکنواختی سبز شدن به ترتیب برابر ۰/۹۹۴۶ و ۰/۳۳۵۵ روز تعیین شد. همچنین پراکندگی نقاط در اطراف خط ۱:۱ نشان داد که نتایج دو روش تاگوچی و فاکتوریل کامل برای پارامتر GU نزدیک می‌باشند (شکل ۳). پراکندگی نقاط دو روش تاگوچی و فاکتوریل کامل در اطراف خط ۱:۱ نیز نشان داد که برای کلیه پارامترها، تعداد نقاط در بالای خط ۱:۱ بیشتر بود.



شکل ۲. مقایسه‌ی روش تاگوچی و فاکتوریل کامل در سرعت سبز شدن (R50)، یکنواختی سبز شدن (GU)، زمان سبز شدن ۵ (D05)، ۱۰ (D10)، ۵۰ (D50)، ۹۰ (D90) و ۹۵ (D95) درصد بنه‌ها[Z0، Z2 و Z3 به ترتیب نشان دهنده صفر، ۱ و ۲ درصد زئولیت و I1، I2 و I3 به ترتیب نشان دهنده‌ی آبیاری سنتی، آبیاری با تخلیه ۷۰ درصد رطوبتی و آبیاری کامل می‌باشند].

Fig 2.Comparison of Taguchi and Factorial methods for germination rate (R50), germination uniformity (GU), time for emergence 5 to 95 percentage of corms (D05, D50, D90 and D95) [Z0, Z1, Z2 and Z3 indicate potasic zeolite at zero, 0.5, 1 and 2 as weight percentage, respectively and I1, I2 and I3 indicate traditional irrigation, deficit irrigation as 70% moisture depletion and full irrigation, respectively].



شکل ۳.ارزیابی روش تاگوچی و فاکتوریل کامل در سرعت سبز شدن (R50)، یکنواختی سبز شدن (GU)، زمان سبز شدن ۵ (D05)، ۱۰ (D10)، ۵۰ (D50)، ۹۰ (D90) و ۹۵ (D95) درصد بنه‌ها

Fig 3. Assessment of Taguchi and Factorial methods for germination rate (R50), germination uniformity (GU), time for emergence 5 to 95 percentage of corms (D05, D50, D90 and D95)

با توجه به اینکه نتایج حاصل از MBE برای پارامترهای مورد بررسی مقداری مثبت (>0) بود؛ بنابراین روش تاگوچی مقادیر پارامترهای مورد نظر را بیشتر از روش فاکتوریل کامل محاسبه می‌کند. تغییرات آماره MBE بین ۰/۱۰۰۵ تا ۰/۸۹۵۴ بود که نشان دهنده‌ی خطای قابل قبولی برای روش تاگوچی می‌باشد. تغییرات RMSE نیز نشان دهنده‌ی دقت مناسب روش تاگوچی در پیش‌بینی سایر پارامترهای مورد بررسی بود.

جدول ۴.مقایسه‌ی روش تاگوچی نسبت به فاکتوریل کامل براساس آماره‌های RMSE، MBE و EF

Table 4. Comparisons of Taguchi method with Factorial method according to RMSE, MBE and EF

Parameters پارامترها	EF	MBE (day)	RMSE (day)
GU	0.17	0.3355	0.9946
D05 (day)	-0.48	0.1005	0.5055
D10 (day)	0.34	0.3344	0.4873
D50 (day)	0.50	0.8954	0.5258
D90 (day)	0.43	0.6622	0.8029
D95 (day)	0.45	0.4727	0.7935
R50 (1/day)	0.46	-0.0021	0.0012

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که سطح زئولیت اثری بر هیچکدام از شاخص‌های سبز شدن نداشت ولی برنامه‌ریزی آبیاری سبب کاهش معنی‌دار D90 و D95 شد ($P\leq0.05$). این کاهش برای پارامتر D90 به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۶ درصد در تیمارهای I2 و I3 نسبت به آبیاری سنتی (I1) بود. پارامتر D95 نیز در تیمارهای I2 و I3 نسبت به I1 به ترتیب ۱۱ و ۱۷ درصد کاهش داشتند. برهمکنش سطح زئولیت و مدیریت آبیاری نیز بر پارامترهایD90 و D95 اثر معنی‌داری داشتند ($P\leq0.05$) به طوری که کمترین مقدار برای این دو پارامتر در تیمار Z3I3 مشاهده شد. براساس روش تاگوچی تیمار Z3I3 به عنوان مناسب‌ترین تیمار تعیین شد به طوری که بیشترین مقدار R50 و کمترین مقادیر GU، D50 و D95 را داشت. حداکثر خطای روش تاگوچی برابر ۰/۹۹۴۶ روز و برای پارامتر GUتعیین شد. همچنین حداکثر مقدار MBE نیز برابر ۰/۸۹۴۵ روز و برای پارامتر D50 به دست آمد. براساس مقادیر به دست آمده برای آماره MBE مشاهده شد که روش تاگوچی مقادیر پارامترهای مورد نظر را نسبت به روش فاکتوریل کامل بیشتر برآورد کرده است. نتایج حاصل از آماره EF نیز حاکی از دقت مناسب روش تاگوچی بود.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از شرکت افرازند،به خاطر تأمین زئولیت‌های مورد استفاده در این تحقیق، تشکر و قدردانی می‌نمایند. این تحقیق در قالب طرح پژوهشی به شماره ابلاغیه۱۳۵۳۳/د/۱۳۹۲ مورخ ۱۳۹۲/۸/۲۰ و با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه بیرجند انجام شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

Afrasiabi, H. A., Khayati, G. R., Ehteshamzadeh, M. 2014. Studying of heat treatment influence on corrosion behavior of AA6061-T6 by Taguchi method, International Journal of Engineering, 27(9):1423-1430.

Ahmadee, M., 2014.Effect of zeolite on fertility and reducing nitrate leaching from saline soil under saffron cultivation, MSc Thesis.150 pp. [in Persian with English Summary].

Ahmadee, M., KhasheiSuiki, A., Hashemi, S. R., 2014a. The effect of magnetic water and calcic and potasic zeolite on the yield of Lepiduimsativum L., IJABBR, 2(6): 2051-2060.

Ahmadee, M., KhasheiSuiki, A., Sayyari, M. H. 2014b. Type and amount evaluation of natural clinoptilolite zeolite impacts on saffron (Crocus sativus L.) emergence. Journal of Saffron Research. 1(2): 97-109. [In Persian with English Summary].

Ahmadee, M., KhasheiSuiki, A., Shahidi, A., 2014c. Effect of magnetic water and natural

clinoptilolite zeolite on growth of green been (Phaseolus vulgaris L.), Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 2(8): 393-401. [in Persian with English Summary].

Aitoubahou, A., El-Otmani, M., 1999. Saffron cultivation in Morocco. PP. 87-94. In: M. Neghbi (Ed.), Saffron. Harwood Academic Pub., the Netherland.

Aslan, N. 2008.Multi-objective optimization of some process parameters of a multi-gravity separator for chromite concentration, Separation and Purification Technology 64: 237–241.

Atil, H., Unver, A. 2000. Different of experimental design: Taguchi method, Biol. Sci. 3:1538–1540.

AziziZehan, A. A., Kamgar-Haghighi, A. A., Sepaskhah, A. R., 2006. Effect of irrigation method and frequency on corm and saffron production (Crocus sativus L.).JWSS-Isfahan University of Technology. 10(1): 45-54. [in Persian with English Summary].

Benvenuti, S., Macchia, M., Miele M., 2001. Light, Temperature and Burial depth effects on Rumexobtusifolius L. seed germination and emergence, Weed Research, 41: 177-186.

Boyd, N., Van Acker, A., 2004. Seed and microsite limitations to emergence of four annual weed species. Weed Science, 52: 571-577.

Buhler, D. D., 1997.Effects of tillage and light environment on emergence of 13 annual weeds. Weed Technology, 35: 1247-1258.

Chaulia, P. K., Das, R., 2008. Process parameter optimization for fly ash brick by Taguchi method". Materials Research, 11(2): 159–164.

Ekaterina, G. F., Christos. 2002. Influence of clinptilolite and compost on soil properties. Taylor and Francis Publishing. 33(3): 595-607.

Gholizadeh, A., Amin, M. S. M., Anuar, A. R, Esfahani, M., Saberioon, M. M., 2010.The study on the effect of different Levels of zeolit and water stress on growth, development and essential oil content of moldavian balm (Dracocephalummoldavica L.). Am. J. Appl. Sci. 7: 33-37.

Goliaris, A.H. 1999. Saffron Cultivation in Greece. PP. 73-83. In: M. Neghbi (Ed.), Saffron. Harwood Academic. Pub., the Netherland.

Harper J. L. 1977.Population Biology of Plants. Academic Press, London.

JazaeriNushabadi, M.R., Rezaei, A.M., 2007. Evaluation of relations between parameters in oat cultivars in water stress and non-stress conditions. Sci. Met. Agri. and Nat. Sou. 11 (1), 265-278. [in Persian with English Summary].

Jeyapaul, R., Shahabudeen, P., Krishnaiah, K. 2005. Quality management research by considering multi-response problems in the Taguchi method – a review. Int. J. Adv. Manuf. Technol. 26 (11–12), 1331–1337.

Kazemian, H., 2004. Introduction to zeolites, minerals Magic, Behesht Publication.126p. [in Persian].

KhasheiSuiki, A., Ahmadee, M., 2015. Zeolites: Introduction, Properties and its Application. In press.139 pp. [in Persian].

Mollafilabi, A. 2004.Experimental Findings of Production and Echophysiological Aspects of Saffron (Crocus sativus L.).ActaHorticulturae (ISHS). 650: 195-200.

Murungu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J., Whalley, W. R. 2003. Effects of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of coton (Gossypiumhirsutum L.) and maize (Zea mays L.) Soil and Till. Res. 74:161-168.

Pandey, R. K., Panda, S. S. 2015. Multi-performance optimization of bone drilling using Taguchi method based on membership function, Measurment, 59:9-13.

Polite, E., Karuca, M., Demire, H., Naci Onus, A., 2004. Use of natural zeolite (clinoptilolite) in agriculture. J. F. Orna. Plant Res. 12:183-189.

Ranjit, R, R., 2012. A primer on the Taguchi method, New York.NY, 1990.

Remesan, R., Shamim, M. A., Han, D., 2008. Model data selection using gamma test for daily solar radiation estimation.Hydrological Processes. 22: 4301–4309.

Sadeghi, S. H., Moosavi, V., Karami, A., Behnia, N. 2012. Soil erosion assessment and prioritization of affecting factors at plot scale using the Taguchi method, Journal of Hydrology. 448: 174–180.

Shiranirad, A., MoradiAghdam, A., Taherkhani, T., Eskandari, K., NazariGolshan, A., 2011.Evaluation of canola reaction to nitrogen values and humidity regime to application of zeolite.JPEC. 3(4), 296-306. [in Persian with English Summary].

Soltani, A., Gholipoor, M., Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling of wheat as affected by drought and salinity. EnvExp Bot, 55: 195-200.

Soltani, A., Maddah, V. 2010. Simple applications for education and research in agronomy, Publication of Iranina Scientific Society of Agroecology, ShahidBeheshti University of Tehran.80 pp.

Spandl, E., Durgan, B. R., Forcella F. 1998. Tillage and planting date influence foxtail (Setaria spp.) emergence in continuous spring wheat (Triticumaestivum). Weed Technology, 12: 223-229.

Taguchi, G. 1990. Introduction to Quality Engineering". McGraw-Hill, New York, USA, p. 191.

Tan, O., Zaimoglu, A. S., Hinislioglu, S., Altun, S. 2005. Taguchi approach for optimization of the bleeding on cement-based grouts. Tunneling and Underground Space Technology 20: 167–173.

Trajkovic, S., Kolakovic, S., 2009.Evaluation of reference evapotranspiration equations under humid conditions.Water Resource Management. 23(14): 3057-3067.

Yavari, N., Sadeghian, S. Y., Mesbah, M. 2002. Use of mannitol as drought stress factor during germination and early growth of sugar beet.Journal of Sugar Beet. 17(1):37-43. [In Persian with English Summary].

Zhang, F. B., Wang, Z. L., Yang, M. Y. 2015. Assessing the applicability of the Taguchi design method to an interrill erosion study, Journal of Hydrology, 521: 65-73.

Journal of Saffron Research (semi-annual)

Vol.4, No.2, Fall & Winter, 2016-2017

p. 266-278

Birjand University

Application of the Taguchi Approach in the Evaluation of saffron (*Crocus sativus* L.) Emergence Affected by Zeolite and Irrigation Scheduling

Abbas KhasheiSiuki[*1],Seyyed Reza Hashemi[2]and Mohsen Ahmadee[3]
1-Associate Professor of Water EngineeringDept. University of Birjand, Iran
2-Assistant Professor of Water EngineeringDept. University of Birjand, Iran
3-Ph.D. Student, Irrigation and Drainage, ShahidChamranUniversity of Ahvaz
*Corresponding author Email: abbaskhashei@birjand.ac.ir

Received 8August 2015; Accepted 20July 2016

Abstract

Sincethe Taguchi approach has been proposed as analternativefor experimental design, this method was used to compare experimental design of saffron (*Crocus sativus*L.) emergence affected by zeolite and drought stress. For this porpous, an experiment was conducted as factorial layout based on a CRD at three replications in Agricultural Research Station,University ofBirjand during 2013-2014.Zeolite in three levels: Zero (Z0), one (Z2) and two (Z3) as weight percentage and irrigation scheduling in three levels: traditional irrigation (I1), deficit irrigation as 70% moisture depletion (I2) and full irrigation (I3) considered as treatments. Then, this study also designed with Taguchi layout (L9).Emergence parameters consisted of: emergence rate (R50), emergence uniformity (GU), time for emergence 5 to 95 percentage of corms (D05, D50, D90 and D95). Results showed that zeolite level had no significant effect on emergence parameters but irrigation scheduling decreased D90 and D95 (P≤0.05). The D90 reduction were 10 (I2) and 16% (I3) compared with control (I1), respectively.D95 for I2 and I3 decreased about 11 and 17% compared with I1, respectively. Zeolite level and irrigation scheduling (interaction level) showed a significant effect on D90 and D95 (P≤0.05) and the lowest value for mentioned parameters observed in Z3I3. Z3I3 determined as the best treatment based on Taguch method and had the highest value for R50 and the lowest value for GU, D50 and D95. Maximum root mean square error (RMSE) for Taguchi approach was 0.9946 day compared with Factorial layout. Maximum value ofmean bias error (MBE) was 0.8945 day. In order to save time and cost, based on the results, it is recommended to use Taguchi approach for evaluation of plantsemergence.

Keywords: **Emergence Rate,Emergence Uniformity,Factorial, Irrigation.**