

## بررسی و مقایسه سناریوهای مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی از طریق بهینه‌سازی مصرف سوپر جاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی در زراعت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.)

محسن جهان\*، محمد بهزاد امیری<sup>۲</sup> و فرانک نوربخش<sup>۳</sup>

۱- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی مجتمع آموزش عالی گناباد

۳- دانشجوی دکتری اگرواکولوژی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷

### چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از نهاده‌های بوم‌سازگار و بهینه‌سازی این منابع، به‌عنوان راهکاری اکولوژیک مدنظر قرار گرفته و افزایش تولید و بهبود سلامت محصولات مختلف را در پی داشته است. به‌منظور تعیین مقادیر بهینه سوپر جاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی در زراعت لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) آزمایشی با استفاده از روش سطح پاسخ، در قالب باکس‌بنکن طراحی و در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از سوپر جاذب رطوبت (در دو سطح ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار)، اسید هیومیک (در دو سطح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار) و کود گاوی (در دو سطح صفر و ۳۰ تن در هکتار) بود که با در نظر گرفتن سه تکرار برای نقطه مرکزی، در مجموع ۱۵ ترکیب تیماری برای مطالعه لحاظ گردید. نتایج آزمایش نشان داد که بیشترین مقدار عملکرد دانه در سطوح میانی اسید هیومیک (۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد، به طوری که مصرف این مقدار اسید هیومیک عملکرد دانه را به ترتیب ۱۵ و ۱۱ درصد نسبت به سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. افزایش متعادل مقادیر مصرفی کود دامی منجر به افزایش عملکرد ماده خشک شد، به این ترتیب که با افزایش مقدار کود دامی از صفر به ۱۵ تن در هکتار عملکرد ماده خشک ۳۶ درصد افزایش یافت، ولی افزایش بیشتر کود دامی (از ۱۵ به ۳۰ تن در هکتار) کاهش چهار درصدی عملکرد ماده خشک را سبب شد. با افزایش مقادیر مصرفی سوپر جاذب، میزان تلفات نیتروژن کاهش یافت، به طوری که کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به جای ۸۰ کیلوگرم در هکتار از این کود منجر به کاهش ۱۷ درصدی میزان تلفات نیتروژن شد. کارایی مصرف نیتروژن در سطح ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب ۱۶ و ۱۳ درصد نسبت به سطوح چهار و هشت کیلوگرم در هکتار بیشتر بود. در سناریوی اقتصادی به ترتیب با مصرف ۱۴۳/۸۳ و ۱۴۶/۱۴ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و اسید هیومیک و ۲۲/۱۲ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه‌ای معادل ۱۶۱۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در سناریوی زیست‌محیطی میزان تلفات نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی به شدت (۹۵ درصد) کاهش یافت. از آنجایی که در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی از ابعاد مختلف به بهینه‌سازی منابع توجه می‌شود، به نظر می‌رسد استفاده از مقادیر بهینه منابع در این سناریو (به ترتیب ۱۳۱/۷۱ و ۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و اسید هیومیک و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار کود دامی) مناسب‌ترین سطوح نهاده‌های مصرفی در این پژوهش باشد.

واژه‌های کلیدی: باکس‌بنکن، تلفات نیتروژن، راهکار اکولوژیک، سلامت محصول، نهاده بوم‌سازگار

### مقدمه

فراهم‌نمودن زمینه‌افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، به‌عنوان منطقی‌ترین رویکرد مدیریتی منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک مطرح است. استفاده از پلیمرهای

سوپر جاذب رطوبت یکی از راهکارهای دستیابی به این مهم بوده و نه تنها افزایش قابل توجه کارایی مصرف آب را به همراه دارد، بلکه در بهبود خصوصیات کمی و کیفی محصولات مختلف نقش ایفا می‌کند (Zhong et al., 2011; Nykanen et al., 2013). پلیمرهای سوپر جاذب چندین برابر وزن خود آب را جذب و نگهداری می‌کنند. مقدار جذب آب در این پلیمرها بسته به فرمول‌بندی، ناخالصی‌های آب و مقدار نمک

\*نویسنده مسئول: پردیس دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده کشاورزی، گروه زراعت، صندوق پستی ۹۱۷۷۵-۱۱۶۳، jahan@um.ac.ir

پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L.) نسبت به سیستم تولید ارگانیک و استفاده از کود گاوی بود، به طوری که با کاربرد ۲۰ تن در هکتار کود گاوی و عدم استفاده از قییم، بیشترین عملکرد میوه و دانه حاصل شد.

برای تعیین حد بهینه مجموعه‌ای از نهاده‌های بوم‌سازگار نظیر سوپر جاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی استفاده از مدل‌ها و روابط تجربی-ریاضی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. یکی از معمول‌ترین روش‌های مورد استفاده برای بهینه‌سازی این عوامل و تخمین مدل رگرسیونی تابع درجه دو، طرح مرکب مرکزی<sup>۱</sup> است (Wu & Hamada, 2000). این طرح روشی جایگزین و مناسب برای طرح فاکتوریل می‌باشد که اولین بار در سال ۱۹۵۱ توسط باکس و ویلسون ارائه گردید و توسط باکس و هانتز اصلاح شد. این روش دارای تعدادی نقاط طراحی و یک نقطه مرکزی تکرارشونده است. از مزایای این روش می‌توان به کاهش تعداد آزمایش‌ها، ساده‌سازی یک مسئله پیچیده به یک مسئله ساده‌تر و دقت بالاتر آن نسبت به روش‌های دیگر اشاره کرد (Aslan, 2007). در یک پژوهش (Jahan et al., 2015d) با استفاده از طرح مرکب مرکزی، مقادیر بهینه سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک را در شرایط کم‌آبیاری در زراعت ذرت تعیین و گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی با مصرف به ترتیب ۱۲۶/۰۶ و ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک و ۳۴۷/۴۷ مترمکعب در هکتار آبیاری عملکرد دانه‌ای معادل ۲۶۷۱۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در پژوهشی دیگر، (Jahan et al., 2015b) پس از بررسی مقادیر بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و دامی در زراعت گندم (*Triticum aestivum* L.) گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی، مصرف ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۸ تن در هکتار کود دامی، منجر به تولید ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد و در سناریوی زیست محیطی با مصرف ۲۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، بدون کاربرد فسفر و مصرف ۱۶ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه ای معادل با ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد.

نظر به اهمیت لوبیا به عنوان مهم‌ترین گیاه زراعی در بین حبوبات و نیز عدم وجود اطلاعاتی مستند و جامع در زمینه بهینه‌سازی همزمان سوپر جاذب، اسید هیومیک و کود دامی با استفاده از نرم‌افزارهای آماری، این پژوهش باهدف بهینه‌سازی این عوامل و مقایسه سناریوهای مختلف اقتصادی،

موجود تا ۴۰۰ برابر وزن سوپر جاذب متغیر است (Monnig, 2005). (Jahan et al., 2011) با بررسی اثر کاربرد هیدروژل سوپر جاذب رطوبت در خاک و محلول پاشی اسید هیومیک در زراعت لوبیا (*Phaseolous vulgaris* L.) گزارش کردند که اثر متقابل سوپر جاذب و اسید هیومیک بر عملکرد دانه معنی‌دار بود و بیشترین عملکرد دانه در تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به علاوه اسید هیومیک به دست آمد.

اسید هیومیک سبب افزایش طول و وزن ریشه، تعداد ریشه‌های جانبی و همچنین افزایش جریان شیره گیاهی از آوندها می‌شود. همچنین اسید هیومیک از طریق افزایش تقسیم سلولی در ریشه، افزایش فتوسنتز و بهبود جذب مواد غذایی توسط گیاه، باعث افزایش کمیت و کیفیت محصولات می‌شود. اسید هیومیک اثر خود را از طریق آماده‌سازی مواد معدنی، گسترش جمعیت میکروارگانیسم‌های مفید، انتقال عناصر غذایی و مواد تنظیم‌کننده رشد اعمال می‌نماید. مواد هیومیکی قادر به کاهش اثرات تنش ناشی از عوامل محیطی و طبیعی بر روی گیاه می‌باشند (Shahryari et al., 2008). در یک پژوهش، اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه‌بهار (*Calendula officinalis* L.) بررسی و گزارش شد که بیشترین وزن خشک اندام هوایی، ارتفاع و تعداد گل و برگ در بوته در اثر کاربرد تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک به دست آمد (Mohammadipour et al., 2012).

مصرف کود دامی در کشاورزی سنتی جایگاه خاصی داشته و در حال حاضر می‌تواند نقش مهمی را در کشاورزی پایدار ایفا کند. کودهای دامی حاوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاهان هستند و علاوه بر داشتن عناصر پرمصرف دارای ریزمغذی‌ها بوده و استفاده از آن‌ها در درازمدت تعادل غذایی خاک را در پی خواهد داشت. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که کودهای آلی سبب بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک شده و عملکرد محصول را افزایش داده‌اند (Paksoy & Aydin, 2004; Vessey, 2003). باتوجه به این که ایران در منطقه خشک و نیمه خشک قرار گرفته و مقدار مواد آلی خاک‌های آن اندک است، تأمین نیتروژن مورد نیاز گیاهان از طریق نهاده‌های اکولوژیک ضروری است. در اثر استمرار مصرف کودهای آلی pH خاک کاهش می‌یابد و در نتیجه، علاوه بر بهبود ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک‌های زراعی، حلالیت عناصر غذایی به ویژه فسفر، آهن، روی، منگنز و بر و مس افزایش می‌یابد (Botella et al., 1994). نتایج تحقیق دوساله‌ی (Jahan et al., 2007) حاکی از واکنش مثبت کدو

<sup>۱</sup> Central composite design

زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی در زراعت لوبیا انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۹۸۵ متر از سطح دریا در زمینی به مساحت ۱۵۰ مترمربع و در قالب طرح باکس-بنکن<sup>۱</sup> اجرا شد. تیمارهای آزمایش شامل ترکیبی از سوپر جاذب رطوبت (در دو سطح ۸۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار)، اسید هیومیک (در دو سطح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار) و کود گاوی (در دو سطح صفر و ۳۰ تن در هکتار) بود. مبنای انتخاب سطوح سوپر جاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی، نتایج پژوهش‌های قبلی نگارندگان مقاله بود (Jahan et al., 2013; Jahan et al., 2015a; Jahan et al., 2015b; Jahan et al., 2015c; Jahan et al., 2015d). تیمارهای آزمایشی با استفاده از نرم‌افزار Minitab Ver. 17 مشخص شدند که با در نظر گرفتن سه تکرار برای نقطه مرکزی، در مجموع ۱۵ ترکیب تیماری برای مطالعه لحاظ گردید. لازم به ذکر است که به واسطه ماهیت طرح آماری کلیه تیمارها در یک بلوک اعمال شدند. مقادیر بیشینه، مرکزی و کمینه فاکتورها به ترتیب با +۱، ۰ و -۱ در جدول ۱ نشان داده شده است.

قبل از انجام آزمایش، از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک، نمونه‌گیری انجام و به منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی به آزمایشگاه ارسال شد (جدول ۲). برای آماده‌سازی زمین عملیات دیسک‌زنی و تسطیح زمین توسط تراکتور انجام شد. پس از آماده‌سازی زمین، مقادیر مختلف سوپر جاذب و کود دامی برای هر یک از کرت‌های مربوطه محاسبه و به‌طور یکنواخت در سطح کرت‌های مورد نظر پخش و تا عمق ۳۰ سانتی‌متری کاملاً با خاک مخلوط شدند. خصوصیات نهاده‌های مورد استفاده در آزمایش در جدول ۲ آورده شده است. ابعاد کرت‌های آزمایشی ۲×۳ متر و فاصله بین کرت‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و در هر کرت چهار ردیف کشت با فاصله ۵۰ سانتی‌متر ایجاد گردید. بذور لوبیا با رقم درخشان از مزرعه تحقیقاتی دانشکده تهیه و در نیمه دوم اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۳ با تراکم ۲۰ بوته در مترمربع روی هر پشته کشت شدند. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت و آبیاری‌های بعدی، به فاصله هر هفت روز یک‌بار به روش نشتی

و توسط لوله انجام شد. به‌منظور اجتناب از مخلوط شدن آب کرت‌ها با یکدیگر، برای هر کرت لوله آبیاری جداگانه در نظر گرفته شد. اعمال سطوح مختلف اسید هیومیک در دو نوبت به‌صورت محلول‌پاشی روی برگ‌ها در مراحل شش تا هفت برگی و قبل از گلدهی در کرت‌های مربوطه انجام گرفت. پس از سبز شدن (در مرحله چهار برگی)، برای حصول تراکم مطلوب (۲۰ بوته در مترمربع)، نسبت به تنک گیاهان سبز شده اقدام شد. کنترل علف‌های هرز، ۳۰ و ۴۵ روز پس از کاشت به روش دستی انجام گرفت. در زمان آماده‌سازی زمین و در طول دوره رشد، از هیچ نوع علف‌کش، آفت‌کش و قارچ‌کش شیمیایی استفاده نشد.

در اواخر فصل رشد، با آغاز مرحله رسیدگی، زرد شدن بوته‌ها و خشک شدن غلاف‌ها، تعداد سه بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و تعداد دانه در بوته و درصد پروتئین دانه آن‌ها اندازه‌گیری شدند. برای تعیین عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک، پس از حذف اثر حاشیه‌ای، سطح سه مترمربع از هر کرت انتخاب و عملیات برداشت انجام شد. پس از اتمام عملیات برداشت، نمونه خاک از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری هر کرت آزمایشی برداشته و میزان نیتروژن آن‌ها تعیین شد. میزان پروتئین دانه و نیتروژن خاک به‌روش AOAC Official Method 968.06 (4.2.04) بر اساس تعیین نیتروژن به‌طریق کج‌جدال و با استفاده از دستگاه Semi-Automated Distillation Unit انجام شد (Horwitz & Latimer, 2005).

تلفات نیتروژن از طریق معادله<sup>۱</sup> محاسبه شد (Jarvis et al., 2011):

$$N_{\text{loss}} = N_{\text{initial}} + N_{\text{fertilizer}} - (N_{\text{plant}} + N_{\text{soil}}) \quad (1)$$

که در آن،  $N_{\text{loss}}$  تلفات نیتروژن ( $\text{kg.m}^{-2}$ )؛  $N_{\text{initial}}$  نیتروژن موجود در خاک در ابتدای فصل رشد ( $\text{kg.m}^{-2}$ )؛  $N_{\text{fertilizer}}$  نیتروژن مصرفی از طریق کود دامی ( $\text{kg.m}^{-2}$ )؛  $N_{\text{plant}}$  میزان نیتروژن گیاه در انتهای فصل رشد ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) و  $N_{\text{soil}}$  نیتروژن موجود در خاک پس از برداشت ( $\text{kg.m}^{-2}$ ) بود. تمام متغیرها بر اساس واحد کیلوگرم نیتروژن در هکتار محاسبه شدند. در این پژوهش، فرض گرفته شد که ۵۰ درصد نیتروژن موجود در کود دامی (آلی و معدنی) در سال اول کاربرد آن برای گیاه زراعی قابل‌دسترس است (Pimentel, 1993).

<sup>۱</sup> Box-Benken

جدول ۱- مقادیر و ضرایب تیمارها با توجه به طرح باکس-بنکن

Table 1. Values and coefficients of treatments based on the Box-Benken design

شماره تیمارها Number of treatments	ضرایب* Coefficients			مقادیر تیمارها Amounts of treatments		
	سوپر جاذب رطوبت Water super absorbent (Kg ha <sup>-1</sup> )	اسید هیومیک Humic acid (Kg ha <sup>-1</sup> )	کود دامی Cattle manure (Kg ha <sup>-1</sup> )	سوپر جاذب رطوبت Water super absorbent (Kg ha <sup>-1</sup> )	اسید هیومیک Humic acid (Kg ha <sup>-1</sup> )	کود دامی Cattle manure (T ha <sup>-1</sup> )
1	0	0	0	120	6	15
2	-1	0	-1	80	6	0
3	0	0	0	120	6	15
4	0	+1	-1	120	8	0
5	+1	-1	0	160	4	15
6	+1	0	+1	160	6	30
7	-1	+1	0	80	8	15
8	+1	0	-1	160	6	0
9	-1	-1	0	80	4	15
10	+1	+1	0	160	8	15
11	0	-1	-1	120	4	0
12	0	0	0	120	6	15
13	-1	0	+1	80	6	30
14	0	+1	+1	120	8	30
15	0	-1	+1	120	4	30

\* +1، -1 و 0 به ترتیب سطوح بالا، پایین و میانگین هر فاکتور می‌باشد.

\* +1, -1 and 0 are high, low and average levels of each factor, respectively.

های آماری جذر میانگین مربعات خطا<sup>۲</sup> (معادله ۳) و رگرسیون خطی یک‌به‌یک ارزیابی شدند.

$$NRMSE (\%) = \frac{100}{O} \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

که در این معادله  $O$  میانگین مشاهدات،  $P_i$  مقادیر برازش

شده،  $O_i$  مقادیر مشاهده شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد.

RMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش‌بینی

شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار RMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از ۳۰ درصد باشد، ضعیف برآورد می‌شود (Myers & Montgomery, 1995). همچنین، برای ارزیابی مدل می‌توان از نمودار مقادیر مشاهده شده در برابر مقادیر برازش شده استفاده کرد. بر این اساس معادله خط راست مقادیر مشاهده شده و برازش شده با

جهت محاسبه کارایی مصرف نیتروژن (ANUE)<sup>۱</sup> (kg Seed.kg Nitrogen<sup>-1</sup>) از معادله ۲ استفاده شد (Rathke et al., 2006):

$$ANUE = \frac{Y_s}{N_{initial} + N_{fertilizer}} \quad (2)$$

که در این معادله،  $Y_s$  عملکرد دانه (kg.ha<sup>-1</sup>) می‌باشد.

مقادیر بهینه سوپر جاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی با توجه به سه سناریوی اقتصادی، زیست‌محیطی و اقتصادی-زیست‌محیطی تعیین گردید، بدین ترتیب که در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه لوبیا، در سناریوی زیست‌محیطی، تلفات نیتروژن و در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی، عملکرد دانه، تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن به عنوان مبنای بهینه‌سازی در نظر گرفته شدند. در ادامه، سطوح بهینه فاکتورها برای حصول هر یک از سناریوهای تعریف شده بر اساس الگوریتم محاسباتی بهینه‌سازی تعیین گردید.

در نهایت نتایج برازش شده با داده‌های مشاهده شده مقایسه شدند و اعتبار مدل‌های رگرسیون با استفاده از آزمون

<sup>۲</sup> Root mean square error<sup>۱</sup> Agronomical Nitrogen Use Efficiency

توجه به مدل‌های نهایی که در هر یک از صفات انتخاب شدند رسم شد (معادله ۴).  

$$P_i = a + b O_i \quad (4)$$
 تجزیه واریانس و تحلیل رگرسیونی داده‌های حاصل از آزمایش و رسم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Minitab MS EXCEL Ver. 11 و Slide Write Ver. 2, Ver. 17 انجام گرفت.

جدول ۲- خصوصیات خاک، سوپر جاذب، اسید هیومیک و کود دامی مورد استفاده

Table 2. Characteristics of used soil, superabsorbent, humic acid and cattle manure

خصوصیات کود دامی مورد استفاده Characteristics of used cattle manure		خصوصیات اسید هیومیک مورد استفاده Characteristics of used humic acid		خصوصیات سوپر جاذب مورد استفاده Characteristics of used polymer super absorbent		خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک Physicochemical characteristics of soil	
1.21	نیترژن (درصد) Nitrogen (%)	پوهوموس ۸۵ درصد Puhumus 85%	نام تجاری Trade name	پودر سفید رنگ White powder	ظاهر Appearance	لوم سیلته Silty loam	بافت خاک Soil texture
0.31	فسفر (درصد) Phosphorous (%)	85	اسید هیومیک (درصد) Humic acid (%)	Less than 5	مقدار رطوبت (درصد) Moisture content	0.061	نیترژن کل (درصد) Total nitrogen (%)
1.08	پتاسیم (درصد) Potassium (%)	12	اکسید پتاسیم (درصد) Potassium oxid (%)	0	بو و سمیت Odor and toxicity	11.4	فسفر قابل دسترس (ppm) Available phosphorus (ppm)
		1	آهن (درصد) Fe (%)	0.8	چگالی توده‌ای (g.cm <sup>-3</sup> ) Mass density (g.cm <sup>-3</sup> )	468	پتاسیم قابل دسترس (ppm) Available potassium (ppm)
		0.8	نیترژن آلی (درصد) Organic nitrogen (%)	9.81	pH	1.1	هدایت الکتریکی (dS.m <sup>-1</sup> ) Electrical conductivity (dS.m <sup>-1</sup> )
		9-10	pH			0.54	کربن آلی خاک (درصد) Soil organic carbon (%)
						8.23	pH

## نتایج و بحث

## عملکرد دانه

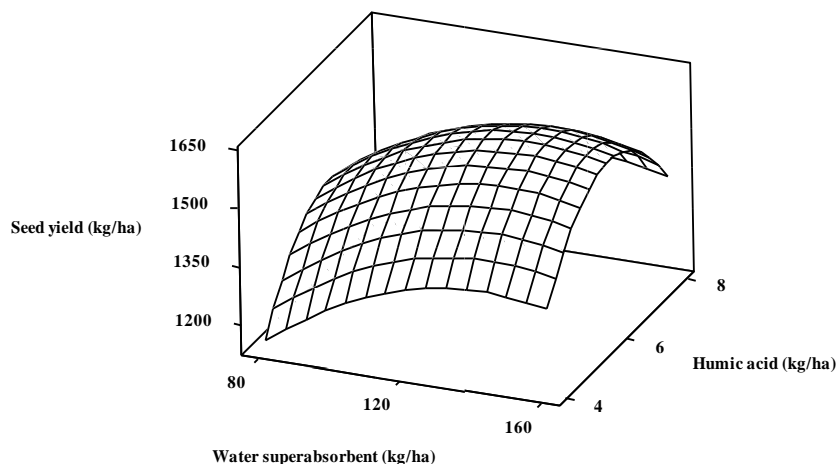
بیشتر از سایر سطوح بود. بیشترین مقدار عملکرد دانه در سطوح میانی اسید هیومیک (۶ کیلوگرم در هکتار) به دست آمد، به طوری که مصرف این مقدار اسید هیومیک عملکرد دانه را به ترتیب ۱۵ و ۱۱ درصد نسبت به سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار افزایش داد (شکل ۱). با افزایش مقادیر مصرفی کود دامی از صفر به ۱۵ تن در هکتار، عملکرد دانه افزایش یافت، ولی افزایش بیشتر کود دامی منجر به کاهش عملکرد دانه شد (شکل ۱).

به منظور تخمین عملکرد دانه با استفاده از مدل رگرسیون درجه دو کامل از اطلاعات جدول ۴ استفاده شد. ضرایب تبیین ( $R^2$ ) نشان دهنده درصد تغییرات هر یک از متغیرهای وابسته تحت تأثیر متغیرهای مستقل است، به طوری که ضرایب تبیین بالا، برازش خوب مدل برآورده شده را نشان می‌دهند.

نتایج تجزیه واریانس مدل رگرسیونی درجه دو کامل<sup>۱</sup> در جدول ۳ نشان داده شده است که بر این اساس عملکرد دانه تحت تأثیر سوپر جاذب و کود دامی از جزء خطی مدل رگرسیونی و سوپر جاذب، اسید هیومیک و کود دامی از جزء درجه دو مدل رگرسیونی قرار گرفت. نتایج آزمون عدم برازش حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار تجزیه رگرسیونی بود که این امر مؤید قابلیت بالای برازش مدل است.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، با افزایش مقادیر مصرفی سوپر جاذب، روند تغییرات عملکرد دانه افزایشی بود که البته شیب این افزایش در سطوح پایین سوپر جاذب

<sup>۱</sup> Full quadratic regression



شکل ۱- سطح پاسخ عملکرد دانه لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۱۵ تن در هکتار کود دامی

Fig. 1. Response surface of bean seed yield affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 15 t.ha<sup>-1</sup> cattle manure

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) مدل رگرسیونی درجه دو کامل

Table 3. variance Analysis (mean squares) of full quadratic regression

منابع تغییر Source of variance	درجه آزادی Df	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	پروتئین دانه Seed protein	تلفات نیتروژن N losses	کارایی مصرف نیتروژن NUE
مقدار ثابت Constant		**	**	**	**	**	**
مدل رگرسیون Regression model	9	36657**	27777639**	1115**	10.86*	5485**	32.42**
خطی Linear	3	38089**	45721887**	1306**	10.81*	16259**	86.45**
سوپر جاذب Superabsorbent	1	57877**	58761743**	1519**	7.31*	275 <sup>ns</sup>	1.82*
اسید هیومیک Humic acid	1	6780 <sup>ns</sup>	2005584 <sup>ns</sup>	177 <sup>ns</sup>	3.51 <sup>ns</sup>	31 <sup>ns</sup>	0.23 <sup>ns</sup>
کود دامی Cattle manure	1	49609**	76398335**	2221**	21.61**	48471**	257**
درجه ۲ Square	3	67899**	35662617**	1892**	19.37**	121 <sup>ns</sup>	10.78**
سوپر جاذب×سوپر جاذب Superabsorbent×Superabsorbent	1	29644*	31699309**	1134*	5.80 <sup>ns</sup>	45 <sup>ns</sup>	0.46 <sup>ns</sup>
اسید هیومیک×اسید هیومیک Humic acid×Humic acid	1	150731**	26696831**	1987**	9.94*	108 <sup>ns</sup>	7.50**
کود دامی×کود دامی Cattle manure×Cattle manure	1	48212**	63901939**	3353**	48.35**	256 <sup>ns</sup>	22.02**
اثر متقابل Interaction effect	3	3983 <sup>ns</sup>	1948412 <sup>ns</sup>	147 <sup>ns</sup>	2.39 <sup>ns</sup>	75 <sup>ns</sup>	0.03 <sup>ns</sup>
سوپر جاذب×اسید هیومیک Superabsorbent×Humic acid	1	662 <sup>ns</sup>	4038090 <sup>ns</sup>	58 <sup>ns</sup>	6.50*	0.2 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>
سوپر جاذب×کود دامی Superabsorbent×Cattle manure	1	9636 <sup>ns</sup>	621551 <sup>ns</sup>	213 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>ns</sup>	75 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>
اسید هیومیک×کود دامی Humic acid×Cattle manure	1	1650 <sup>ns</sup>	1185594 <sup>ns</sup>	169 <sup>ns</sup>	0.64 <sup>ns</sup>	149 <sup>ns</sup>	0.002 <sup>ns</sup>
عدم برازش Lack of fit	3	2146 <sup>ns</sup>	1274730**	63 <sup>ns</sup>	1.43 <sup>ns</sup>	74 <sup>ns</sup>	0.43 <sup>ns</sup>

\*\*\*، \* و ns به ترتیب معنی دار در سطح احتمال یک و پنج درصد و عدم وجود اختلاف معنی دار.

\*\*\*, \* and ns are significant at the 0.01 and 0.05 level and non-significant, respectively.

جدول ۴- ضرایب رگرسیون و تبیین معادله

Table 4. Regression coefficients and defining equation

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_1^2 + a_5X_2^2 + a_6X_3^2 + a_7X_1X_2 + a_8X_1X_3 + a_9X_2X_3^*$$

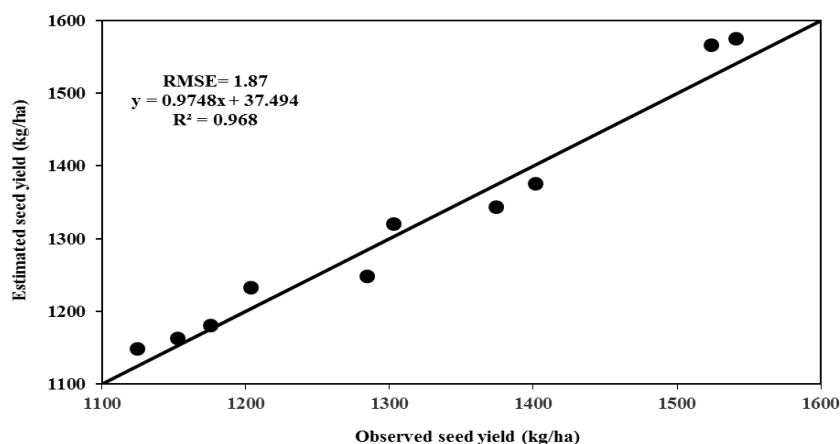
ضرایب Coefficients	متغیرهای پاسخ Response variables					
	عملکرد دانه Seed yield	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	پروتئین دانه Seed protein	تلفات نیتروژن N losses	کارآیی مصرف نیتروژن NUE
a <sub>0</sub>	-1500	-33455	-291.90	-0.08	58.80	-0.47
a <sub>1</sub>	15.30	422.10	2.50	0.11	-0.76	0.06
a <sub>2</sub>	629.80	6538	63	3.14	-13.80	4.46
a <sub>3</sub>	6.61	573	2.37	0.53	4.44	-0.73
a <sub>4</sub>	-0.05	-1.83	-0.01	-0.0007	0.002	-0.0002
a <sub>5</sub>	-50.51	-672	-5.80	-0.41	1.35	-0.35
a <sub>6</sub>	-0.50	-18.49	-0.13	-0.01	0.03	0.01
a <sub>7</sub>	-0.16	12.56	0.04	0.01	-0.002	-0.0009
a <sub>8</sub>	0.08	0.65	0.01	-0.0001	0.007	0.0002
a <sub>9</sub>	0.67	18.10	0.21	0.01	-0.20	0.0007
R <sup>2</sup>	97.17	98.49	96.59	94.73	99.28	99.51

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> به ترتیب متغیرهای مستقل سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی هستند.

X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> and X<sub>3</sub> are independent variables of water superabsorbent, humic acid and cattle manure, respectively.

عرض از مبدأ معادله خط ۱ به ۱ تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۲).

مقدار پایین RMSE (۱/۸۷ درصد) و مقدار بالای ضریب تبیین (R<sup>2</sup>= ۰/۹۶) نشان‌دهنده برازش عالی مدل است. ضمن این‌که بین عرض از مبدأ و شیب خط رگرسیون و شیب و



شکل ۲- خط رگرسیون مقادیر برازش داده‌شده و مشاهده‌شده برای عملکرد دانه لوبیا و مقدار RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل  
Fig. 2. Regression line equation of the fitted and observed values for seed yield in bean and the RMSE values based on model of full quadratic regression

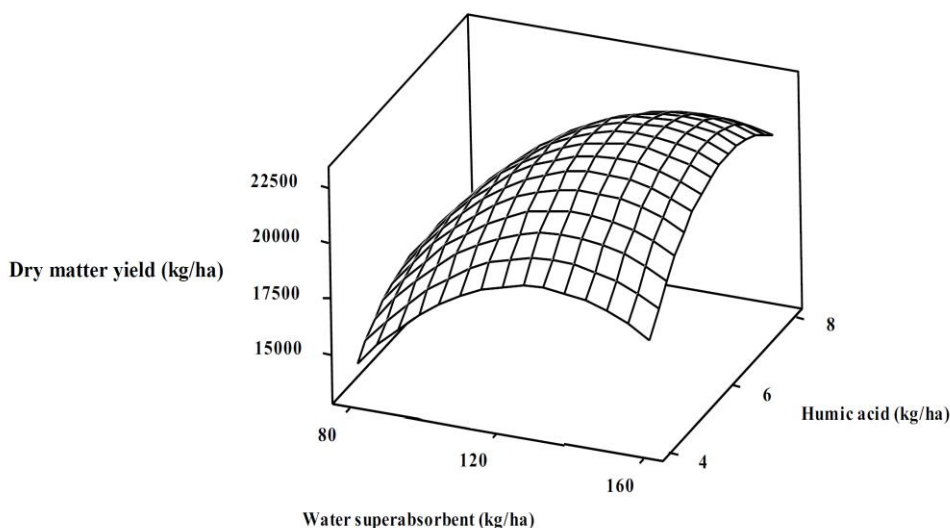
سوپرجاذب مورد مطالعه، کاربرد اسید هیومیک منجر به افزایش عملکرد دانه شد (Jahan et al., 2013). برخی از محققان اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب و مدار آبیاری را بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا مورد بررسی قرار داده و گزارش کردند که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه به میزان قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت ( Yazdani et al., 2012). به نظر می‌رسد که اسید هیومیک مورد مطالعه از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک

به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب از طریق بهبود خصوصیات فیزیکی خاک ( Abedi-Koupai et al., 2008) منجر به افزایش عملکرد دانه شدند. در یک بررسی اثر سطوح مختلف سوپرجاذب و اسید هیومیک بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز مطالعه و گزارش شد که بیشترین و کمترین عملکرد دانه به ترتیب در تیمارهای ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به علاوه اسید هیومیک و عدم کاربرد سوپرجاذب بدون اسید هیومیک به دست آمد، ضمن اینکه در تمامی سطوح

### عملکرد ماده خشک

اثرات خطی و درجه دو سوپر جاذب و کود دامی بر عملکرد ماده خشک معنی دار بود ( $p < 0.01$ ) (جدول ۳). بیشترین عملکرد ماده خشک در بالاترین سطح سوپر جاذب مصرفی حاصل شد، به طوری که عملکرد ماده خشک در این سطح به ترتیب ۲۹ و یک درصد بیشتر از سطوح ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۳). افزایش متعادل مقادیر مصرفی کود دامی منجر به افزایش عملکرد ماده خشک شد، به این ترتیب که با افزایش مقدار کود دامی از صفر به ۱۵ تن در هکتار عملکرد ماده خشک ۳۶ درصد افزایش یافت، ولی افزایش بیشتر کود دامی (از ۱۵ به ۳۰ تن در هکتار) کاهش چهار درصدی عملکرد ماده خشک را سبب شد (شکل ۳). عملکرد ماده خشک تحت تأثیر اثرات درجه دو اسید هیومیک قرار گرفت (جدول ۳)، به طوری که با افزایش مقادیر مصرفی اسید هیومیک از ۴ به ۶ کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک به شدت (۱۵ درصد) افزایش یافت و سپس با افزایش بیشتر اسید هیومیک مصرفی (از سطح ۶ به ۸ کیلوگرم در هکتار) ۹ درصد از مقدار عملکرد ماده خشک کاسته شد (شکل ۳). به نظر می‌رسد که افزایش بیش از حد اسید هیومیک، احتمالاً منجر به برهم خوردن تعادل غذایی خاک شده و این امر فعالیت باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن را مختل کرده است و در نتیجه در سطوح بالای اسید هیومیک عملکرد ماده خشک گیاه کاهش یافت.

(Natesan *et al.*, 2007) شرایط مساعدی را برای رشد مطلوب تر گیاه فراهم کرد، لذا افزایش عملکرد دانه در شرایط کاربرد این کودها منطقی به نظر می‌رسد. در یک پژوهش، اثر اسیدهای آلی هیومیک و فولویک بر عملکرد گل و دانه گاو زبان ایرانی (*Echium amoenum* Fisch & Mey.) بررسی و گزارش شد که اسید هیومیک و اسید فولویک به ترتیب منجر به افزایش ۳۲ و ۲۲ درصدی عملکرد دانه نسبت به شاهد شدند (Amiri, 2015). در پژوهشی دیگر، اثر سطوح مختلف اسید هیومیک بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه سویا مطالعه و گزارش شد که بیشترین عملکرد دانه در سطح ۱۰۰۰ پی پی ام اسید هیومیک به دست آمد، ضمن این که کاربرد ۲۰۰۰ پی پی ام از این اسید آلی نیز بهبود ارتفاع بوته، وزن هزار دانه و تعداد غلاف در بوته را نسبت به شاهد در پی داشت (El-Baz *et al.*, 2012). کودهای دامی حاوی اکثر عناصر مورد نیاز گیاهان هستند و علاوه بر داشتن عناصر پرمصرف دارای ریزمغذی‌ها بوده و استفاده از آنها در درازمدت، حفظ تعادل غذایی خاک را در پی خواهد داشت. (Sharma و Chatterjee (2002) ضمن تأکید بر کاربرد کودهای آلی در کشت و کار گیاهان مختلف، علت افزایش تولید محصول را به بهبود خواص فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک مرتبط دانستند. Amiri (2015) گزارش کرد که کاربرد کود گاوی به ترتیب منجر به افزایش ۲۱ و ۲۰ درصدی عملکرد گل و دانه گاو زبان ایرانی نسبت به شاهد شد.



شکل ۳- سطح پاسخ عملکرد ماده خشک لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۱۵ تن در هکتار کود دامی

Fig. 1. Response surface of bean dry matter yield affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 15 t.ha<sup>-1</sup> cattle manure



همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، با توجه به مقدار پایین RMSE (۲/۹۹ درصد) و مقدار بالای ضریب تبیین در این صفت، عالی ارزیابی شد.

جدول ۵- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین توابع برازش شده برای متغیرهای پاسخ در ذرت

Table 5. Root mean square error and defining coefficients of fitted equations for response variables in maize

Response variables	متغیرهای پاسخ			
	عملکرد ماده خشک Dry matter yield	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	پروتئین دانه Seed protein	تلفات نیتروژن N losses
RMSE, R <sup>2</sup>				
RMSE (%)	2.99	7.67	2.97	11.88
R <sup>2</sup>	0.98	0.96	0.94	0.99

(2002)، در نتیجه احتمالاً مجموعه‌ای از عوامل مذکور در شرایط استفاده از این کودها منجر به بهبود عملکرد ماده خشک گیاه شدند. (Schiffer *et al.*, 1993) گزارش کردند که مصرف کودهای آلی در گیاه دارویی بومادران (*Achillea millefolium* L. منجر به افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شد. در پژوهشی دیگر، عملکرد گیاه دارویی نعناع فلفلی (*Mentha piperita* L.) در کشت ارگانیک ۸۰ درصد بیشتر از کشت رایج برآورد شد (Kalra, 2003). عملکرد کمی و کیفی گیاه دارویی ریحان در شرایط استفاده از کودهای آلی به‌ویژه کمپوست به‌میزان قابل توجهی در مقایسه با شاهد افزایش یافت (El Gendy *et al.*, 2001).

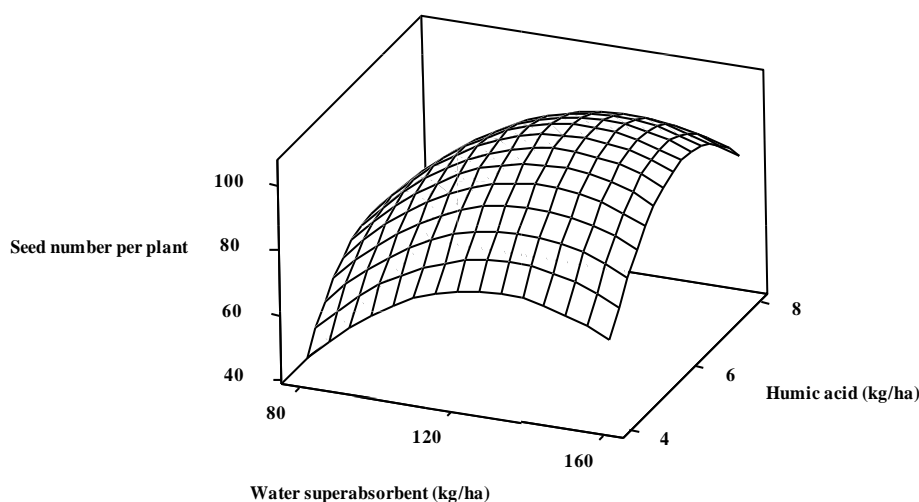
#### تعداد دانه در بوته

اثرات خطی سوپر جاذب و کود دامی و اثرات درجه دو آن‌ها، تأثیر معنی‌داری بر تعداد دانه در بوته داشت (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با افزایش مقادیر مصرفی سوپر جاذب، تغییرات تعداد دانه در بوته دارای روندی افزایشی بود که البته شدت این تغییرات با افزایش مقادیر سوپر جاذب از ۸۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بسیار بیشتر از میزان تغییرات در سطوح بالای سوپر جاذب بود، به‌طوری‌که با افزایش سوپر جاذب مصرفی از ۱۲۰ به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار، تعداد دانه در بوته تنها ۰/۰۸ درصد افزایش یافت. بیشترین تأثیرگذاری کود دامی در بهبود تعداد دانه در بوته در سطح ۱۵ تن در هکتار این کود بروز پیدا کرد، به‌طوری‌که مصرف ۱۵ تن در هکتار کود دامی به‌ترتیب منجر به افزایش ۵۶ و ۱۴ درصدی تعداد دانه در بوته نسبت به سطوح صفر و ۳۰ تن در هکتار شد (شکل ۴). اثرات درجه دو اسید هیومیک بر تعداد دانه در بوته معنی‌دار بود و بیشترین (۴۹ دانه در بوته) و کمترین (۷۴ دانه در بوته) تعداد دانه در بوته به‌ترتیب در سطوح ۶ و ۴ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به‌دست آمد (شکل ۴). افزایش بیش از

به‌نظر می‌رسد که اسید هیومیک احتمالاً از طریق بهبود فعالیت‌های آنزیمی در محیط ریشه (Samavat & Malakuti, 2006)، کارایی گیاه را در جذب آب افزایش داده و در نتیجه عملکرد ماده خشک افزایش یافته است. (Mohammadipour *et al.*, 2012) اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) را بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی همیشه‌بهار مطالعه و گزارش کردند که بیشترین عملکرد ماده خشک در تیمار ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر اسید هیومیک حاصل شد. (Jahan *et al.*, 2015a) اثر سطوح سوپر جاذب و اسید هیومیک را در مدارهای آبیاری مختلف در بافت خاک لومی سیلتی بر عملکرد کمی و کیفی چغندر قند (*Beta vulgaris* L.) مطالعه و گزارش کردند که بیشترین عملکرد ماده خشک در نتیجه کاربرد سوپر جاذب و محلول پاشی اسید هیومیک و دور آبیاری هفت‌روز به‌دست آمد. در یک بررسی گزارش شد که کاربرد پنج تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب تأثیر معنی‌داری بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت نداشت، در حالی که مصرف مقادیر بیشتر سوپر جاذب (۱۵ کیلوگرم در هکتار و بالاتر) عملکرد و اجزای عملکرد ذرت را به میزان قابل توجهی افزایش داد (Mao *et al.*, 2011). در پژوهشی اثر هیدروژل‌های سوپر جاذب بر خصوصیات کمی و کیفی ذرت در شرایط تنش خشکی بررسی و گزارش شد که کاربرد ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب از طریق افزایش ظرفیت نگهداری آب، کاهش شستشوی مواد غذایی، رشد سریع و مطلوب ریشه و هوادهی بهتر خاک باعث افزایش عملکرد ماده خشک گیاه شد (Kuhestani *et al.*, 2009). استفاده از کودهای آلی بهبود ساختمان خاک و کاهش جرم مخصوص ظاهری آن را به‌همراه دارد، ضمن این‌که سبب افزایش نفوذپذیری خاک، افزایش میزان هوموس و ظرفیت بافری خاک و افزایش برخی آنزیم‌ها و در نتیجه سبب تشدید جمعیت و فعالیت میکروبی خاک می‌گردد (Chatterjee, )

مقدار پایین RMSE (۷/۶۷ درصد) و مقدار بالای ضریب تبیین ( $R^2 = 0/96$ ) در متغیر پاسخ تعداد دانه در بوته نشان‌دهنده برازش عالی مدل در این صفت بود (جدول ۵).

حد اسید هیومیک مصرفی (از ۶ به ۸ کیلوگرم در هکتار)، کاهش ۲۰ درصدی تعداد دانه در بوته را در پی داشت (شکل ۴).



شکل ۴- سطح پاسخ تعداد دانه در بوته لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۱۵ تن در هکتار کود دامی

Fig. 4. Response surface of seed number per plant in bean affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 15 t.ha<sup>-1</sup> cattle manure

فولویک (صفر، ۵۰ و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی اسفزه (*Plantago psyllium* L.) گزارش شد که کاربرد اسید فولویک ضمن بهبود خصوصیات کمی و کیفی گیاه، خسارات ناشی از تنش شوری را کاهش داد (Gholami et al., 2013). همسو با نتایج این پژوهش، برخی محققان (Ghorbani et al., 2009) گزارش کردند که کاربرد ۳۵۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، موجب افزایش قابل توجه تعداد دانه در ردیف و طول بلال ذرت شد. در یک پژوهش گزارش شد که استفاده از نهاده‌های اکولوژیک مختلف (اسید هیومیک، نیتروکسین، میکوریزا و استفاده ترکیبی این کودها) منجر به بهبود خصوصیات کمی و کیفی و به‌ویژه وزن و تعداد دانه در بوته گندم شد (Massoud et al., 2013). در پژوهشی دیگر گزارش شد که کاربرد ۲۰۰ تا ۳۰۰ گرم در هکتار اسید هیومیک، عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک تولیدی ذرت را به ترتیب ۲۵ و ۲۳ درصد نسبت به شاهد افزایش داد، ضمن این که در شرایط استفاده از این اسید آلی، وزن هزار دانه و تعداد دانه در بوته نیز در مقایسه با شاهد افزایش یافت (Sarir et al., 2005). کودهای آلی در مقایسه با کودهای شیمیایی دارای مقادیر زیادی مواد آلی هستند و می‌توانند به‌عنوان منابعی غنی از عناصر غذایی به‌ویژه نیتروژن، فسفر و پتاسیم به

به‌نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپر جاذب از طریق بهبود جذب عناصر غذایی و سهولت جذب عناصر ماکرو و میکرو (Eneji et al., 2013) توسط گیاه منجر به بهبود خصوصیات کمی گیاه شدند. در یک پژوهش گزارش شد که کاربرد ۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب، موجب افزایش تعداد خوشه و بذر در بوته یولاف (*Avena sativa*) شد (Islam et al., 2011). در یک پژوهش با بررسی اثر سطوح سوپر جاذب و اسید هیومیک در مدارهای آبیاری مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا قرمز گزارش کردند که کارایی تمامی سطوح سوپر جاذب مورد مطالعه در شرایط استفاده از اسید هیومیک بهبود یافت، بدین ترتیب که در شرایط کاربرد اسید هیومیک کارایی سطوح صفر، ۴۰ و ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به ترتیب ۱۹، ۱۸ و ۱۱ درصد نسبت به کاربرد جداگانه آن‌ها افزایش یافت. در پژوهشی اثر سطوح مختلف اسید هیومیک (صفر، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۴۰۰۰ میلی گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی همیشه‌بهار بررسی و گزارش شد که بیشترین تعداد گل و دانه در بوته در اثر کاربرد تیمار ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر اسید هیومیک به‌دست آمد (Mohammadipour et al., 2012). در پژوهشی دیگر، پس از بررسی اثر سطوح مختلف اسید

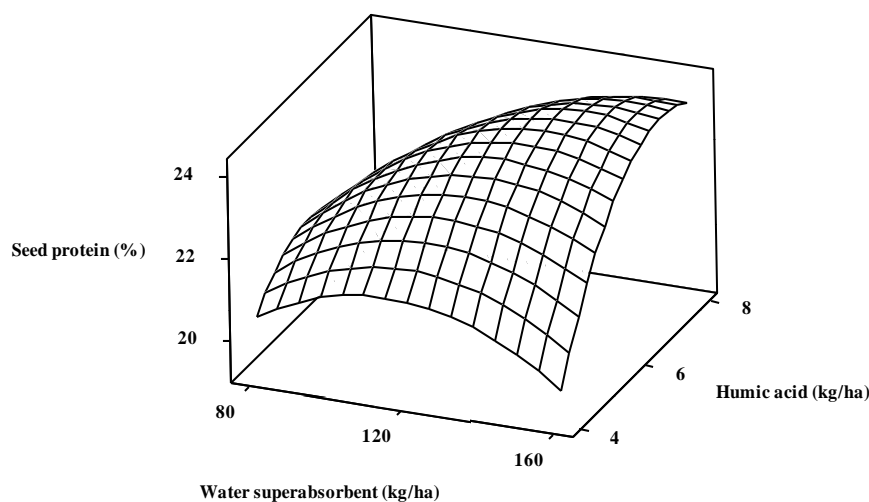
یافت که البته اثرات مثبت سوپرجاذب در بهبود میزان پروتئین دانه در سطوح پایین این کود بارزتر بود، به این ترتیب که افزایش مقدار مصرفی سوپرجاذب از ۸۰ به ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش ۹ درصدی میزان پروتئین دانه شد، در حالی که افزایش بیشتر سوپرجاذب مصرفی از ۱۲۰ به ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار افزایش جزئی (۰/۳۸ درصد) میزان پروتئین دانه را به همراه داشت (شکل ۵). افزایش متعادل اسید هیومیک مصرفی (از ۴ به ۶ کیلوگرم در هکتار)، بهبود میزان پروتئین دانه را سبب شد (۹ درصد)، در حالی که استفاده بیش از اندازه از هیومیک کاهش جزئی (سه درصد) میزان پروتئین دانه را در پی داشت (شکل ۵). بیشترین تأثیرگذاری کود دامی در بهبود میزان پروتئین دانه در سطح میانی آن (۱۵ تن در هکتار) حاصل شد، به طوری که میزان پروتئین دانه در این سطح به ترتیب ۲۳ و هشت درصد نسبت به سطوح صفر و ۳۰ تن در هکتار کود دامی بیشتر بود (شکل ۵).

همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، مقدار RMSE و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای متغیر پاسخ پروتئین دانه به ترتیب ۲/۹۷ درصد و ۰/۹۴ به دست آمد، در نتیجه برازش مدل در این صفت در کلاس عالی قرار گرفت.

شمار آیند (Azeez *et al.*, 2010) و به‌مرور این عناصر را در اختیار گیاه قرار دهند (Lee, 2010)، ضمن این‌که این کودها به‌طور مؤثری منجر به بهبود ساختمان فیزیکی و ذخیره رطوبت خاک می‌شوند (Mao *et al.*, 2008). Albiach *et al.* (2001) گزارش کردند که کاربرد ۲۴ تن در هکتار ورمی‌کمپوست طی چهار سال، پارامترهای موجود در خاک شامل ماده آلی، اسید هیومیک، جمعیت میکروارگانیسم‌ها و پایداری ساختمان خاک را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. در یک پژوهش، اثر کودهای مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه دارویی آویشن (*Thymus vulgaris*) و مرزنجوش (*Origanum majorana*) بررسی و گزارش شد که کاربرد ۹ تن در هکتار کود کمپوست خصوصیات کمی گیاهان مذکور را به‌میزان قابل توجهی بهبود بخشید (Csizinszky, 2002).

#### پروتئین دانه

اثرات درجه خطی سوپرجاذب و کود دامی و اثرات درجه دو اسید هیومیک و کود دامی بر میزان پروتئین دانه معنی‌دار بود (جدول ۳). اثرات متقابل سوپرجاذب و اسید هیومیک نیز تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه داشت (جدول ۳). با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، میزان پروتئین دانه افزایش



شکل ۵- سطح پاسخ پروتئین دانه لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۱۵ تن در هکتار کود دامی

Fig. 5. Response surface of bean seed protein affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 15 t.ha<sup>-1</sup> cattle manure

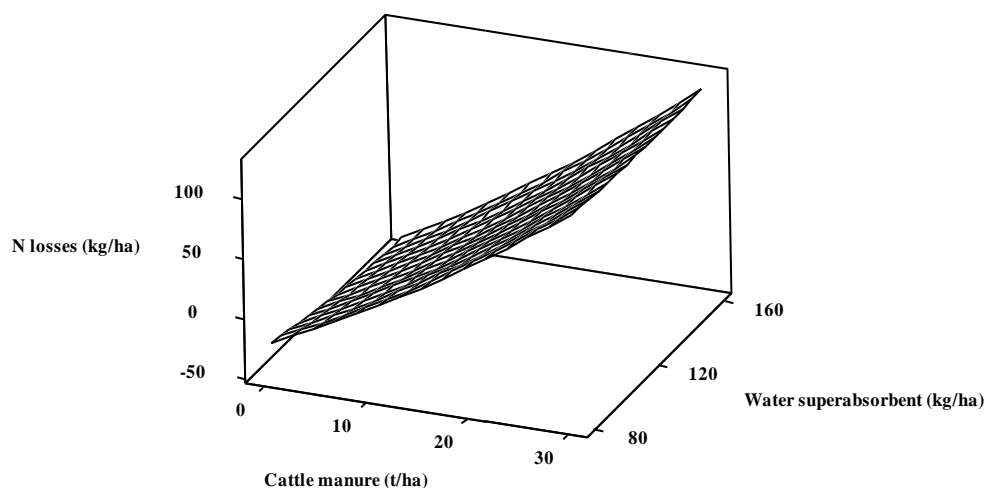
خاک) باشد (Samavat & Malakuti, 2006). Amiri (2015) پس از بررسی اثر اسیدهای آلی بر خصوصیات کمی و کیفی گاو زبان ایرانی گزارش کرد که اسیدهای آلی هیومیک و

تأثیر اسید هیومیک بر رشد گیاه ممکن است به‌صورت مستقیم (افزایش کل وزن خشک گیاه) و یا به صورت غیرمستقیم (افزایش راندمان مصرف کود و کاهش فشردگی

### تلفات نیتروژن

تلفات نیتروژن تحت تأثیر اثرات خطی کود دامی قرار گرفت (جدول ۳). همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، میزان تلفات نیتروژن کاهش یافت. کاربرد ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به جای ۸۰ کیلوگرم در هکتار از این کود منجر به کاهش ۱۷ درصدی میزان تلفات نیتروژن شد و در سطوح بالاتر سوپرجاذب (کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب به جای ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار از این کود) هشت درصد از هدررفت نیتروژن کاسته شد (شکل ۶). با افزایش میزان استفاده از کود دامی، مقدار تلفات نیتروژن افزایش یافت و در هر یک از سطوح ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی، میزان تلفات نیتروژن به ترتیب ۹۱ و ۹۵ درصد نسبت به شرایطی که از این کود استفاده نشد، افزایش یافت. به نظر می‌رسد که احتمالاً میزان نیتروژن آزاد شده توسط سطوح بالای کود دامی بیش از نیاز گیاه بوده و در نتیجه گیاه آنها را جذب نکرده و میزان تلفات نیتروژن افزایش یافته است. کمترین میزان تلفات نیتروژن در سطح میانی اسید هیومیک (۶ کیلوگرم در هکتار) حاصل شد، به طوری که میزان تلفات نیتروژن در این سطح ۱۴ و شش درصد به ترتیب نسبت به سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار کمتر بود (شکل ۶). مقدار پایین RMSE (۱/۸۸ درصد) و مقدار بالای ضریب تبیین ( $R^2 = 0.99$ ) در متغیر پاسخ تلفات نیتروژن، بیانگر برازش خوب مدل در این صفت بود (شکل ۶).

فولویک روغن دانه را به ترتیب ۱۱ و هشت درصد و پروتئین دانه را به ترتیب ۲۱ و ۲۴ درصد نسبت به شاهد افزایش دادند. در پژوهش دیگری، اثر محلول پاشی اسید هیومیک بر عملکرد گل، عملکرد زیست توده و نیز غلظت عناصر فسفر، پتاسیم و کلسیم اندام‌های گل و برگ گاوزبان اروپایی (*Borage officinalis L.*) مثبت گزارش شد (Heidari & Minayee, 2014). به نظر می‌رسد که سطوح مختلف سوپرجاذب از طریق کاهش نیاز آبی گیاه (Xie *et al.*, 2011) و کاهش تبخیر آب از سطح خاک (Nykanen *et al.*, 2011)، منجر به کاهش شدت تنش خشکی شدند و در نتیجه میزان پروتئین دانه افزایش یافت. در آزمایشی اثر مقادیر مختلف سوپرجاذب و مدار آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد سویا مورد مطالعه قرار گرفت و گزارش شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب، عملکرد دانه، وزن صد دانه، تعداد غلاف در بوته و عملکرد روغن به میزان قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت (Yazdani *et al.*, 2012). بر اساس گزارش (Khandan *et al.*, 2003)، کودهای آلی با افزایش جذب عناصر توسط گیاه میزان نیتروژن دانه و به تبع آن میزان پروتئین دانه اسفرزه را در مقایسه با شاهد بهبود بخشیدند. در یک پژوهش، کاربرد پنج و ۱۰ تن در هکتار ورمی کمپوست نیتروژن دانه آنیسون (*Pimpinella anisum L.*) و به تبع آن پروتئین دانه را به ترتیب ۱۱ و ۱۵ درصد نسبت به شاهد افزایش داد (Khaleroo *et al.*, 2011).



شکل ۶- سطح پاسخ تلفات نیتروژن در لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک

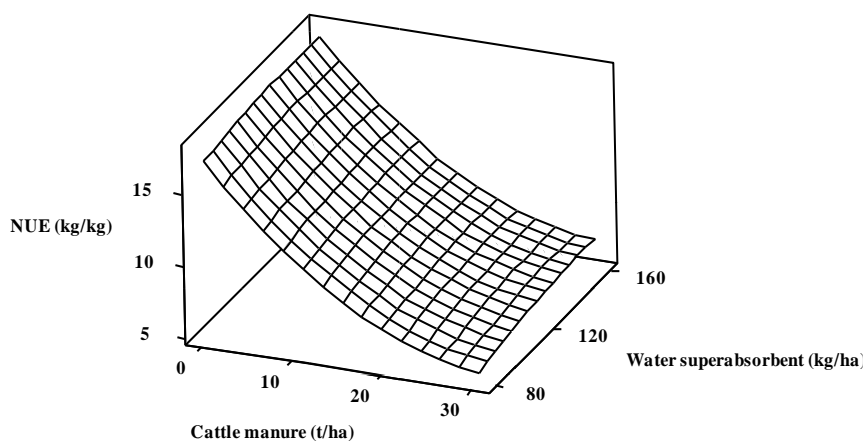
Fig. 6. Response surface of N losses in bean affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 6 kg.ha<sup>-1</sup> humic acid

را بر میزان تلفات نیتروژن در زراعت گندم بررسی و گزارش کردند که تلفات نیتروژن در مقادیر بالای مصرف منابع افزایش یافت. (Harper *et al.*, 1987) گزارش کردند که ۵۲ تا ۷۳ درصد از کود نیتروژن مصرفی در کشت ذرت جذب نشده و تلف می‌گردد.

#### کارایی مصرف نیتروژن

اثرات خطی سوپر جاذب و کود دامی و اثرات درجه دو اسید هیومیک و کود دامی بر کارایی مصرف نیتروژن معنی‌دار بود (جدول ۳). با افزایش مقادیر مصرفی سوپر جاذب به کارایی مصرف نیتروژن افزوده شد و افزایش متعادل اسید هیومیک (تا سطح ۶ کیلوگرم در هکتار) نیز در بهبود کارایی مصرف نیتروژن مؤثر بود (شکل ۷). کاربرد ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب به ترتیب منجر به افزایش ۹ و یک درصدی کارایی مصرف نیتروژن نسبت به سطوح ۸۰ و ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار این کود شد (شکل ۷). کارایی مصرف نیتروژن در سطح ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک به ترتیب ۱۶ و ۱۳ درصد نسبت به سطوح ۴ و ۸ کیلوگرم در هکتار بیشتر بود (شکل ۷). کاربرد ۱۵ و ۳۰ تن در هکتار کود دامی، به ترتیب کاهش ۴۹ و ۶۸ درصدی کارایی مصرف نیتروژن را نسبت به شرایط عدم کاربرد این کود در پی داشت (شکل ۷).

در پژوهشی گزارش شد که کاربرد سوپر جاذب در خاک، با بهبود ساختار خاک منجر به کاهش تلفات نیتروژن (به شکل اوره) در خاک شد (Zhong *et al.*, 2012) و از آبشویی این عنصر به اعماق زمین جلوگیری کرد. (Jahan *et al.*, 2013) اثر سطوح سوپر جاذب را در مدارهای آبیاری مختلف بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه ذرت مطالعه و گزارش کردند که در اکثر صفات تیمار ۸۰ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب برترین تیمار بود. به نظر می‌رسد که اسید هیومیک احتمالاً از طریق بهبود فرآیندهای فیزیولوژیکی دخیل در جذب آب توسط ریشه (Verlinden *et al.*, 2009)، از نفوذ آب به اعماق بیشتر و آب‌شویی عناصر غذایی کاسته است و در نتیجه در شرایط استفاده از سطوح میانی اسید هیومیک میزان تلفات نیتروژن کاهش یافت. در یک پژوهش، اثر اسید هیومیک بر خصوصیات رشدی فلفل مطالعه و گزارش شد که سطوح ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم اسید هیومیک، افزایش طول هیپوکوتیل، قطر و طول ساقه، وزن خشک، میزان عناصر غذایی و عملکرد گیاه را به همراه داشت (Turkmen *et al.*, 2005). در پژوهشی دیگر (Jahan *et al.*, 2015b) گزارش کردند که با افزایش سطوح کود نیتروژن (اوره) و کود دامی میزان تلفات نیتروژن در زراعت گندم افزایش یافت. (Koocheki *et al.*, 2015) سطح پاسخ تأثیر کود نیتروژن و مقادیر مختلف آبیاری

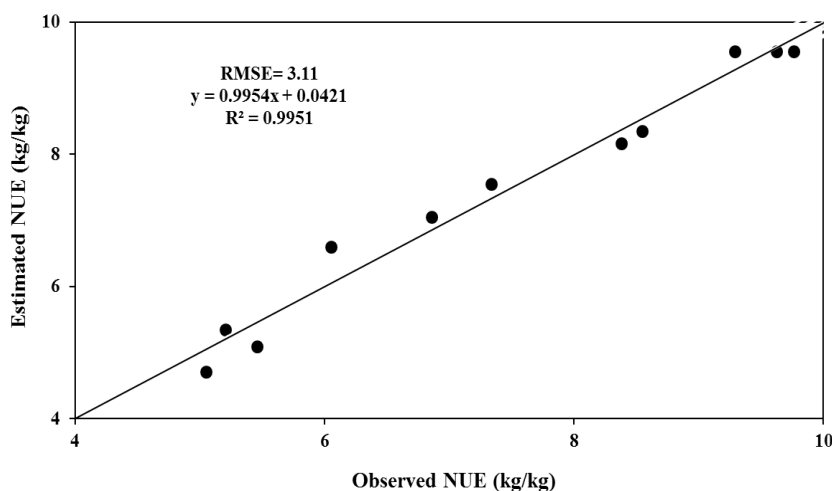


شکل ۷- سطح پاسخ کارایی مصرف نیتروژن در لوبیا نسبت به سطوح مختلف سوپر جاذب رطوبت و اسید هیومیک در سطح ثابت ۶ کیلوگرم در هکتار اسید هیومیک

Fig. 7. Response surface of Nitrogen use efficiency (NUE) in bean affected by different levels of water superabsorbent and humic acid in constant level of 6 kg.ha<sup>-1</sup> humic acid

( $R^2 = 0.99$ ) در متغیر پاسخ کارایی مصرف نیتروژن، بیانگر برازش عالی مدل در این صفت بود.

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، مقادیر پایین RMSE (۳/۱۱ درصد) و مقدار بالای ضریب تبیین



شکل ۸- خط رگرسیون مقادیر برازش داده شده و مشاهده شده برای کارایی مصرف نیتروژن در لوبیا و مقدار RMSE با توجه به مدل رگرسیون درجه دو کامل

Fig. 8. Regression line equation of the fitted and observed values for NUE in bean and the RMSE values based on model of full quadratic regression

در سناریوی اقتصادی به ترتیب با مصرف ۱۴۳/۸۳ و ۶/۱۴ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و اسید هیومیک و ۲۲/۱۲ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه‌ای معادل ۱۶۱۳ کیلوگرم در هکتار به دست آمد، ضمن این که با مصرف مقادیر بهینه منابع در این سناریو عملکرد ماده خشک، تعداد دانه در بوته، پروتئین دانه، میزان تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن به ترتیب معادل ۲۳۴۵۵ کیلوگرم در هکتار، ۱۰۷ دانه در بوته، ۲۳/۸۸ درصد، ۶۹/۴۰ کیلوگرم در هکتار و ۷/۶۱ کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن برآورد شد (جدول ۶).

مقادیر بهینه منابع در سناریوی زیست محیطی به ترتیب ۱۶۰ و ۵/۲۶ کیلوگرم در هکتار سوپر جاذب و اسید هیومیک و صفر تن در هکتار کود دامی تخمین زده شد، در نتیجه به نظر می‌رسد برای کاهش خطرات زیست محیطی باید استفاده از نهاده‌هایی نظیر سوپر جاذب و کود دامی را به حداقل رساند (جدول ۶). در این سناریو میزان تلفات نیتروژن نسبت به سناریوی اقتصادی به شدت (۹۵ درصد) کاهش یافت، که البته این امر کاهش ۲۰ درصدی عملکرد دانه را نسبت به سناریوی اقتصادی در پی داشت (جدول ۶). در سناریوی زیست محیطی، گیاه از کارایی مصرف نیتروژن بیشتری نسبت به سناریوی اقتصادی برخوردار بود (جدول ۶).

در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی، هر دو جنبه سوددهی اقتصادی و کاهش مخاطرات زیست محیطی مورد توجه قرار گرفت و در نتیجه این سناریو از اولویت بیشتری نسبت به دو سناریوی دیگر برخوردار بود. مقدار بهینه منابع در این سناریو به ترتیب ۱۳۱/۷۱ و ۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار

در مطالعات مختلف نشان داده شده است که تعدیل در مصرف کودهای نیتروژنه می‌تواند منجر به بهبود کارایی مصرف این عنصر توسط گیاه شود (Calderini *et al.*, 1995; Gan *et al.*, 2008). Jahan *et al.*, (2015b) گزارش کردند که کارایی مصرف نیتروژن در گندم با افزایش سطوح مصرف کود نیتروژن کاهش یافت. Marino *et al.*, (2004) گزارش کردند که کارایی مصرف نیتروژن در گندم با افزایش سطح کود نیتروژن از ۵۰ به ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار، ۶۰ درصد کاهش و از ۴۴/۲ به ۱۷/۶ کیلوگرم ماده خشک به کیلوگرم نیتروژن رسید. در یک پژوهش اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و آبیاری بر کارایی مصرف نیتروژن در زراعت گندم بررسی و گزارش شد که با افزایش کوددهی، کارایی مصرف نیتروژن کاهش نشان داد، به طوری که کمترین میزان کارایی مصرف نیتروژن در تیمار کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۵۰۰ مترمکعب در هکتار آبیاری به دست آمد (Koocheki *et al.*, 2015).

#### بهینه‌سازی منابع

در این پژوهش بهینه‌سازی منابع از سه منظر اقتصادی، زیست محیطی و اقتصادی-زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوی اقتصادی، عملکرد دانه، در سناریوی زیست محیطی میزان تلفات نیتروژن و در سناریوی اقتصادی-زیست محیطی عملکرد دانه، میزان تلفات نیتروژن و کارایی مصرف نیتروژن به عنوان عوامل اصلی تعیین کننده مقادیر بهینه منابع در نظر گرفته شدند.

منجر به حصول ۱۵۵۶۹ کیلوگرم در هکتار عملکرد ماده خشک، ۵۶ دانه در بوته، ۱۸/۸۳ درصد پروتئین دانه، ۳۹/۰۸- کیلوگرم در هکتار تلفات نیتروژن و ۱۷/۵۳ کیلوگرم دانه در کیلوگرم نیتروژن کارآیی مصرف نیتروژن شد (جدول ۶).

سوپرجاذب و اسید هیومیک و ۰/۳۰ تن در هکتار کود دامی برآورد شد که در این شرایط مدل، دستیابی به عملکرد دانه‌ای معادل ۱۳۸۳ کیلوگرم در هکتار را پیش‌بینی کرد (جدول ۶). مصرف مقادیر بهینه منابع در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی

جدول ۶- مقادیر بهینه‌سازی شده سوپرجاذب رطوبت، اسید هیومیک و کود دامی به منظور دستیابی به متغیرهای وابسته مورد انتظار در سناریوهای مختلف

Table 6. Optimized values of water superabsorbent, humic acid and cattle manure in order to achieve expected dependent variables in different scenarios

	سناریوهای مختلف			
	اقتصادی Economic	زیست‌محیطی Environmental	اقتصادی-زیست‌محیطی Eco-Environmental	
متغیرهای مستقل (X) Independent variables (X)	سوپرجاذب (kg ha <sup>-1</sup> ) Superabsorbent	143.83	160	131.71
	اسید هیومیک (kg ha <sup>-1</sup> ) Humic acid	6.14	5.26	6.02
	کود دامی (t ha <sup>-1</sup> ) Cattle manure	22.12	0	0.30
متغیرهای وابسته (Y) Dependent variables (Y)	عملکرد دانه (kg ha <sup>-1</sup> ) Seed yield	1613	1294	1383
	عملکرد ماده خشک (kg ha <sup>-1</sup> ) Dry matter yield	23455	13575	15569
	تعداد دانه در بوته Seed number per plant	107	39	56
	پروتئین دانه (%) Seed protein	23.88	17.46	18.83
	تلفات نیتروژن (kg ha <sup>-1</sup> ) N losses	69.40	-45.10	-39.08
	کارآیی مصرف نیتروژن (kg seed kg <sup>-1</sup> N) NUE	7.61	17.42	17.53

Koocheki *et al.*, (2015) گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی، دستیابی به ۴۰۴۵ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه گندم در شرایط کاربرد ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار کود اوره و ۳۹۶۴ مترمکعب در هکتار آب محقق شد.

#### نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که اثرات خطی سوپرجاذب رطوبت و کود دامی بر تمامی صفات مورد مطالعه معنی‌دار بود، در حالی که اثر خطی اسید هیومیک بر هیچ‌یک از صفات اثر چندانی نداشت. کلیه صفات مورد مطالعه تحت تأثیر اثرات درجه دو اسید هیومیک و کود دامی (به‌جز صفت میزان تلفات نیتروژن) قرار گرفتند، ضمن این‌که اثرات درجه دو سوپرجاذب تأثیر معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه داشت. با مقایسه شکل‌های ۱ و ۳ مشاهده شد که با افزایش مقادیر مصرفی سوپرجاذب و اسید هیومیک، روند تغییرات عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک مشابه بود، به‌این ترتیب که بیشترین عملکرد سوپرجاذب مصرفی (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد، درحالی‌که افزایش اسید هیومیک مصرفی از ۴ به ۶ و از ۶ به ۸ کیلوگرم در هکتار به ترتیب منجر به افزایش و کاهش عملکرد

در یک پژوهش (Jahan *et al.*, 2015d) با استفاده از طرح مرکب مرکزی، مقادیر بهینه سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک را در شرایط کم‌آبیاری در زراعت ذرت تعیین و گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی با مصرف به‌ترتیب ۱۲۶/۰۶ و ۷/۱۹ کیلوگرم در هکتار سوپرجاذب رطوبت و اسید هیومیک و ۳۴۷/۴۷ مترمکعب در هکتار آبیاری عملکرد دانه‌ای معادل ۲۶۷۱۰ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر، (Jahan *et al.*, 2015b) پس از بررسی مقادیر بهینه کودهای نیتروژن، فسفر و دامی در زراعت گندم گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی، مصرف ۱۴۵ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۱۸ تن در هکتار کود دامی منجر به تولید ۶۵۰۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه شد و در سناریوی زیست‌محیطی با مصرف ۲۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص، بدون کاربرد فسفر و مصرف ۱۶ تن در هکتار کود دامی، عملکرد دانه‌ای معادل با ۳۱۶۰ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. (Mansoori *et al.*, 2014) گزارش کردند که در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی مقدار بهینه کود نیتروژن، آبیاری و تراکم بوته موسیر (*Allium hritifolium*) به‌ترتیب معادل ۱۶۹ کیلوگرم کود اوره در هکتار، ۲۰۲۵ مترمکعب در هکتار آبیاری و ۱۷/۷ بوته در مترمربع برآورد شد.

برخی نهادهای برون‌مزرعه‌ای نظیر کود دامی را به‌حداقل رساند، در حالی که افزایش ۱۰ درصدی سوپرچادب مصرفی در سناریو زیست‌محیطی نسبت به سناریو اقتصادی منجر به کاهش تلفات نیتروژن شد. از آنجایی که در سناریوی اقتصادی-زیست‌محیطی از ابعاد مختلف به بهینه‌سازی منابع توجه می‌شود، به‌نظر می‌رسد استفاده از مقادیر بهینه منابع در این سناریو (به‌ترتیب ۱۳۱/۷۱ و ۶/۰۲ کیلوگرم در هکتار سوپرچادب و اسید هیومیک و ۰/۳۰ تن در هکتار کود دامی) مناسب‌ترین سطوح نهادهای مصرفی در این پژوهش باشد.

### سیاسگزاری

هزینه انجام این تحقیق توسط معاونت محترم پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرح پژوهش به‌شماره ۳۰۷۴۸/۲ مصوب ۱۳۹۳/۰۳/۰۳ تأمین شده است که بدین‌وسیله قدردانی می‌شود.

دانه و عملکرد ماده خشک شد. بیشترین تأثیرگذاری کود دامی بر عملکرد دانه و عملکرد ماده خشک در سطح میانی آن (۱۵ تن در هکتار) مشاهده شد. مشابهت شکل‌های ۱ (سطح پاسخ عملکرد دانه) و ۴ (سطح پاسخ تعداد دانه در بوته) بر این نکته دلالت داشت که احتمالاً می‌توان با استفاده از نهادهایی که تعداد دانه در بوته را افزایش می‌دهند، عملکرد دانه را ارتقاء بخشید. افزایش بیش از حد اسید هیومیک و کود دامی (در بالاترین سطح هر یک از این نهادهای) منجر به کاهش میزان پروتئین دانه شد. با توجه به مقایسه شکل‌های ۶ و ۷، تیمارهای مؤثر در کاهش تلفات نیتروژن، افزایش کارایی مصرف نیتروژن را در پی داشتند، به‌عنوان مثال کمترین میزان تلفات نیتروژن و به دنبال آن بیشترین کارایی مصرف نیتروژن در بالاترین سطح سوپرچادب مصرفی (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌دست آمد. مقادیر RMSE و ضریب تبیین متغیرهای پاسخ حاکی از برآزش عالی مدل در تمامی صفات مورد مطالعه، به استثنای میزان تلفات نیتروژن بود. مقایسه سناریوهای مختلف نشان داد که برای کاهش مخاطرات زیست‌محیطی باید مصرف

### منابع

1. Abedi-Koupai, J., Sohrab, J., and Swarbrick, G. 2008. Evaluation of hydrogel application on soil water retention characteristics. *Journal of Plant Nutrition* 31: 317-331.
2. Albiach, R., Canet, R., Pomares, F., and Ingelom, F. 2001. Organic matter components and aggregate stability after the application of different amendements to a horticultural soil. *Bioresource Technology* 76: 125-129.
3. Amiri, M.B. 2015. Study of ecological and agronomic characteristics of *Echium amoenum* in Mashhad conditions. Ph.D Thesis of Agroecology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian with English Abstract).
4. Aslan, N. 2007. Application of response surface methodology and central composite rotatable design for modeling the influence of some operating variables of a multi-gravity separator for chromite concentration. *Powder Technology* 86: 769-776.
5. Azeez, J.O., Van Averbeke, W., and Okorogbona, A.O.M. 2010. Differential responses in yield of pumpkin (*Cucurbita maxima* L.) and nightshade (*Solanum retroflexum* Dun.) to the application of three animal manures. *Bioresource Technology* 101: 2499-2505.
6. Botella, M.A., Cerda, A., Martinez, V., and Lips, S.H. 1994. Nitrate and ammonium uptake by wheat seedlings as affected by salinity and light. *Journal of Plant Nutrition* 17: 839-850.
7. Brussard, L., and Ferrera-Cenato, R. 1997. *Soil ecology in sustainable agricultural systems*. New York: Lewis publishers, U.S.A, 168p.
8. Calderini, D., Torres- Leon, F., and Slafer, G.A. 1995. Consequences of wheat breeding on nitrogen and phosphorus yield, grain nitrogen and phosphorus concentration and associated traits. *Annals of Botany* 76: 315-322.
9. Chatterjee, S.K. 2002. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India. *Acta Horticulture (ISHS)* 576: 485-494.
10. Csizinszky, A.A. 2002. Reduced input production of herbs under sub-tropical conditions in Florida. XXVIth International Horticultural Congress. 11-17 August, Toronto, Ontario. p. 196.
11. El Gendy, S.A., Hosni, A.M., Omer, E.A., and Reham, M.S. 2001. Variation in herbage yield, essential oil yield and oil composition on sweet basil (*Ocimum basilicum*) grown organically in a newly reclaimed land in Egypt. *Arab Universities Journal of Agricultural Science* 9: 915-933.
12. Eneji, A.E., Islam, R., An, P., and Amalu, U.C. 2013. Nitrate retention and physiological adjustment of maize to soil amendment with superabsorbent polymers. *Journal of Cleaner Production* 52: 474-480.



13. Fazeli Rostampoor, M., Seghatoleslami, M.J., and Moosavi, S.Gh. 2011. Effect of water stress and water superabsorbent on yield and water use efficiency of *Zea mays* L. in Birjand region. Iranian Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences 4: 11-19. (In Persian with English Abstract).
14. Gan, Y., Malhi, S.S., Brandt, S., Katepa-Mupondwa, F., and Stevanson, C. 2008. Nitrogen use efficiency and nitrogen uptake of juncea Canola under diverse environments. Agronomy Journal 100: 285-295.
15. Gholami H., Samavat S., and Ardebili Z.O. 2013. The alleviating effects of humic substances on photosynthesis and yield of *Plantago ovate* in salinity conditions. International Research Journal of Applied and Basic Sciences 4: 1683-1686.
16. Ghorbani, S., Khazaei, H.R., Kafi, M., and Banayan Aval, M. 2009. Effect of humic acid application in water of irrigation on yield and yield components of *Zea mays* L. Iranian Journal of Agroecology 2: 123-131. (In Persian with English Abstract).
17. Harper, L.A., Sharpe, R.R., Langdale, G.W., and Giddens, J.E. 1987. Nitrogen cycling in a wheat crop: soil, plant and aerial nitrogen transport. Agronomy Journal 79: 965-973.
18. Heidari, M., and Khalili, S. 2014. Effect of humic acid and phosphorous fertilizer on flower and seed yield, photosynthetic pigments and amounts of minerals in *Hibiscus sabdariffa* L. Iranian Journal of Crops of Iran 45: 191-199. (In Persian with English Abstract).
19. Heidari, M., and Minayee, A. 2014. Effect of drought stress and humic acid on flower yield and the concentration of macro nutrients in *Borago officinalis* L. Iranian Journal of Plant Production 21: 167-183. (In Persian with English Abstract).
20. Horwitz, W., and Latimer, G.W. 2005. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 18th Edition. Maryland, USA.
21. Islam, M.R., Eneji, A.E., Ren, C., Li, J., and Hu, Y. 2011. Impact of water-saving superabsorbent polymer on oat (*Avena* spp.) yield and quality in an arid sandy soil. Scientific Research and Essays 6: 720-728.
22. Jahan, M., Koocheki, A., Nassiri, M., and Dehghanipoor, F. 2007. The effects of different manure levels and two branch management methods on organic production of *Cucurbita pepo* L. Iranian Journal of Field Crops Research 5: 1-9. (In Persian with English Abstract).
23. Jahan, M., Sohrabi, R., Doayee, F., and Amiri, M.B. 2011. Effect of superabsorbent water application in soil and humic acid foliar application on some agroecological characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Mashhad (Iran). Iranian Journal of Ecological Agriculture 2: 71-90. (In Persian with English Abstract).
24. Jahan, M., Kamayestani, N., and Ranjbar, F. 2013. Assay for applying super absorbent polymer in a low input corn (*Zea mays* L.) production system aimed to reduce drought stress under Mashhad conditions. Iranian Journal of Agroecology 5: 272-281. (In Persian with English Abstract).
25. Jahan, M., Nassiri Mahallati, M., Ranjbar, F., Aryaee, M., and Kamayestani, N. 2015a. The effects of super absorbent polymer application into soil and humic acid foliar application on some agrophysiological criteria and quantitative and qualitative yield of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) under Mashhad conditions. Iranian Journal of Agroecology 6: 753-766. (In Persian with English Abstract).
26. Jahan, M., Nasiri Mahallati, M., Khalilzade, H., Bigonah, R., and Razavi, A.R. 2015b. Using response-surface methodology for optimizing nitrogen, phosphorus and cattle manure fertilizers application in winter wheat production. Iranian Journal of Field Crops Research 13(4): 823-839. (In Persian with English Abstract).
27. Jahan, M., Ghalenoee, Sh., Khamooshi, A., and Amiri, M.B. 2015c. Evaluation of agroecological characteristics of basil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by application of water-saving superabsorbent and humic acid under irrigation intervals. Iranian Journal of Horticultural Sciences 29(2): 240-254. (In Persian with English Abstract).
28. Jahan, M., Amiri, M.B., and Noorbakhsh, F. 2015d. Evaluation of the increased rates of water superabsorbent and humic acid application under deficit irrigation condition on some agroecological characteristics of *Zea mays* by using response surface methodology. Iranian Journal of Field Crops Research 14(4): 746-764. (In Persian with English Abstract).
29. Jarvis, S., Hutchings, N., Brentrup, F., Olesen, J.E., and Van Der Hock, K.W. 2011. Nitrogen flows in farming systems across Europe. In: The European Nitrogen Assessment: source, effects and policy perspectives. Sutton, M.A., Howard, C.M., Erisman, J.W., Billen, G., Bleeker, G., Grennfelt, A., Grinsven, H.V., and Grizzetti, B. 2011. Cambridge University Press. Part 3, Chapter 10.
30. Kalra, A. 2003. Organic Cultivation of Medicinal and Aromatic Plants. A Hope for Sustainability and Quality Enhancement. Journal of Organic Production of Medicinal, Aromatic and Dye-Yielding Plants (MADPs). FAO.

31. Khalesroo, Sh., Ghalavand, A., Sefidkan, F., and Asgharzade, A. 2011. Effect of biofertilizers and organic fertilizers on quantitative and qualitative of oil and absorption of nutrients in *Pimpinella anisum* L. Iranian Journal of Medical and Aromatic Plants 27: 551-560. (In Persian with English Abstract).
32. Khandan, A., Astaraee, A., Nassiri Mahallati, M., and Fotovat, A. 2003. Effect of organic and chemical fertilizers on yield and yield components of *Plantago psyllium* L. Iranian Journal of Field Crops Research 3: 245-253. (In Persian with English Abstract).
33. Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., Fallahpoor, F., and Amiri, M.B. 2015. Optimization of nitrogen fertilizer and irrigation in wheat cultivation by central composite design. Journal of Agroecology, In Press. (In Persian with English Abstract).
34. Kuhestani, Sh., Asgari, N., and Maghsudi, K. 2009. Assessment effects of super absorbent hydro gels on corn yield (*Zea mays* L.) under drought stress condition. Iranian water Research Journal 4: 57-67. (In Persian with English Abstract).
35. Lee, J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Scientia Horticulturae 124: 299-305.
36. Maerere, A.P., Kimbi, G.G., and Nonga, D.L.M. 2001. Comparative effectiveness of animal manures on soil chemical properties, yield and root growth of amaranthus (*Amaranthus cruentus* L.). African Journal of Environmental Science and Technology 1: 14-21.
37. Mansoori, H., Banayan Aval, M., Rezvani Moghaddam, P., and Lakzian, A. 2014. Management of nitrogen fertilization, irrigation and planting density in *Allium hirtifolium* by using central composite optimizing method. Iranian Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production 24: 40-60. (In Persian with English Abstract).
38. Mao, J., Olk, D.C., Fang, X., He, Z., and Schmidt-Rohr, K. 2008. Influence of animal manure application on the chemical structures of soil organic matter as investigated by advanced solid-state NMR and FT-IR spectroscopy. Geoderma 146: 353-362.
39. Mao, S., Islam, M.R., Xue, X., Yang, X., Zhao, X., and Hu, Y. 2011. Evaluation of a water-saving superabsorbent polymer for corn (*Zea mays* L.) production in arid regions of Northern China. African Journal of Agricultural Research 6: 4108-4115.
40. Marino, M.A., Mazzanti, A., Assuero, S.G., Gastal, F., Echeverria, H.E., and Andrade, F. 2004. Nitrogen dilution curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. Agronomy Journal 96: 601-607.
41. Massoud, O.N., Afifi, M.M.I., El-Akshar, Y.S., and El-Sayed, G.A.M. 2013. Impact of biofertilizers and humic acid on the growth and yield of wheat grown in reclaimed sandy soil. Research Journal of Agriculture and Biological 9: 104-113.
42. Mohammadipour, E., Golchin, A., Mohammadi, J., Negahdar, N., and Zarchini, M. 2012. Effect of humic acid on yield and quality of marigold (*Calendula officinalis* L.). Annals of Biological Research 3: 5095-5098.
43. Monnig, S. 2005. Water saturated superabsorbent polymers used in high strength concrete. Otto Graf Journal 16: 193-202.
44. Myers, R.H., and Montgomery, D.C. 1995. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. John Willey & Sons, New York, USA.
45. Natesan, R., Kandasamy, S., Thiyageshwari, S., and Boopathy, P.M. 2007. Influence of lignite humic acid on the micronutrient availability and yield of blackgram in an alfisol. Science World Journal 7: 1198-1206.
46. Nykanen, V.P.S., Nykanen, A., Puska, M.A., Goulart-Silva, G., and Ruokolainen, J. 2011. Dual-reponsive and super absorbing thermally cross-linked hydrogel based on methacrylate substituted polyphosphazene. Soft Matter 7: 4414-4424.
47. Paksoy, M., and Aydin, C. 2004. Some physical properties of edible squash (*Cucurbita pepo* L.) seeds. Journal of Food Engineering 65: 225-231.
48. Pimentel, D. 1993. Economics and energies of organic and conventional farming. Journal of Agricultural and Environmental Ethics 6: 53-60.
49. Rathke, G.W., Behrens, T., and Diepenbrock, W. 2006. Integrated nitrogen management strategies to improve seed yield, oil content and nitrogen efficiency of winter oilseed rape (*Brassica Napus* L.): A review. Agriculture, Ecosystems and Environment 117: 80-108.
50. Rentato, Y., Ferreira, M.E., Cruz, M.C., and Barbosa, J.C. 2003. Organic matter fraction and soil fertility the influence of liming vermicompost and cattle manure. Bioresource Technology 60: 59-63.
51. Samavat, S., and Malakuti, M. 2006. Important use of organic acid (humic and fulvic) for increase quantity and quality agriculture productions. Water and Soil Researchers Technical 463: 1-13.

52. Sarir, M.S., Sharif, M., Ahmed, Z., and Akhlaq, M. 2005. Influence of different levels of humic acid application by various methods on the yield and yield components of maize. *Sarhad. Journal of Agriculture* 21: 75-81.
53. Schiffer, M.C., Ronzelli, P., and Koehler, H.S. 1993. Influence of organic fertilization on the biomass, yield composition of the essential oil of *Achillea millefolium* L. *Acta Horticulture* 331: 109-114.
54. Shahryari, R., Gurbanov, E., Gadimov, A., and Hassanpanah, D. 2008. In vitro effect of potassium humate on terminal drought tolerant bread wheat. *Proceedings of the 14<sup>th</sup> meeting of International Humic Substances Society*.
55. Sharma, A.K. 2002. *A handbook of organic farming*. Publication Agrobios, India.
56. Sidari, M., Attina, E., Francioso, O., Tugnoli, V., and Nardi, S. 2006. Biological activity of humic substances is related to their chemical structure. *Soil Science Society of America Journal* 71: 75-85.
57. Turkmen, O., Demir, S., Sensoy, S., and Dursun, A. 2005. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus and humic acid on the seedling development and nutrient content of pepper grown under saline soil conditions. *Journal of Biological Sciences* 5: 565-574.
58. Verlinden, G., Pycke, B., Mertens, J., Debersaques, F., Verheyen, K., Baert, G., Bries, J., and Haesaert, G. 2009. Application of humic substances results in consistent increases in crop yield and nutrient uptake. *Journal of Plant Nutrition* 32: 1407-1426.
59. Vessey, J.K. 2003. Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizer. *Plant and Soil* 255: 571-586.
60. Wu, C.F.J., and Hamada, M. 2000. *Experiments: Planning, Analysis, and Parameter Design Optimization*. New York.
61. Xie, L., Liu, M., Ni, B., Zhang, X., and Wang, Y. 2011. Slow-release nitrogen and boron fertilizer from a functional superabsorbent formulation based on wheat straw and attapulgite. *Chemical Engineering Journal* 167: 342-348.
62. Yazdani, F., Allahdadi, I., and Akbari, G.A. 2012. Impact of superabsorbent polymer on yield and growth analysis of soybean (*Glycine max* L.) under drought stress condition. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 10: 4190-4196.
63. Zhong, K., Zheng, X.L., Mao, X.Y., Lin, Z.T., and Jiang, G.B. 2012. Sugarcane bagasse derivative-based superabsorbent containing phosphate rock with water-fertilizer integration. *Carbohydrate Polymers* 90: 820-826.
64. Zhong, K., Lin, Z.T., Zheng, X.L., Jiang, G.B., Fang, Y.S., Mao, X.Y., and Liao, Z.W. 2013. Starch derivative-based superabsorbent with integration of water-retaining and controlled-release fertilizers. *Carbohydrate Polymers* 92: 1367-1376.
65. Zhou, D.M., Hao, X.Z., Wang, Y.J., Dong, Y.H., and Cang, L. 2005. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere* 59: 167-175.

## Evaluation and comparison of different economic and environmental scenarios for Bean (*Phaseolous vulgaris* L.) production via optimization of water superabsorbent, humic acid and cattle manure application rate

Jahan<sup>1\*</sup>, M., Amiri<sup>2</sup>, M.B. & Noorbakhsh<sup>3</sup> F.

1, 2 and 3. Associate Professor of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad; Assistant Professor of Gonabad University; and Ph.D. Student of Agroecology of Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, respectively

Received: 7 September 2015

Accepted: 6 February 2016

DOI: 10.22067/ijpr.v8i2.48451

### Introduction

Maintenance of soil fertility as a permanent bed for continuous production of agricultural products is one of the most important issues affecting the sustainability of food production. In order to achieve healthy food production, application of ecological inputs such as cattle manure and organic acids are inevitable. Cattle manure is an excellent fertilizer containing nitrogen, phosphorus, potassium and other nutrients. It also adds organic matter to the soil which may improve soil structure, aeration, soil moisture-holding capacity, and water infiltration. Humic substances are a mixture of different organic compounds that extract from various sources such as soil, humus, peat, oxidized lignite and coal. They are different in molecular size and chemical structure. A little amounts of humic acid increase soil fertility by improving the physical, chemical and biological characteristics of soil. Water super absorbents are water absorbing polymers (they may contain over 99% water). They have been defined as polymeric materials which exhibit the ability of swelling in water and retaining a significant fraction (> 20%) of water within their structure, without dissolving in water content. The applications of hydrogels are grown extensively. These materials have 100% natural structures and do not have any harm for the environment. Development of using super absorbent hydrogels to reduce crises such as soil erosion, frequent droughts or providing food security requires knowledge of their behaviors and performances in the soil. To determine the optimal irrigation water and fertilizer, the use of mathematical models is inevitable. One of the most common methods used to optimize these factors is the central composite design. A central composite design is an experimental design, useful in response surface methodology, for building a second order (quadratic) model for the response variable without needing to use a complete three-level factorial experiment. Considering the importance of bean as the main crop in Fabaceae family and also the lack of comprehensive information in the field of simultaneous optimization of water super absorbent, humic acid and cattle manure, in this study, different economic and environmental scenarios for bean (*Phaseolous vulgaris* L.) production via optimization of water super absorbent, humic acid and cattle manure application was evaluated.

### Materials & Methods

In order to estimate optimized application rates of water superabsorbent, humic acid and cattle manure in cultivation of bean, an experiment as Box Benken design using Response Surface Methodology, was conducted at Research Farm of Ferdowsi University of Mashhad, during 2013-14 growing season. The experimental treatments were designed considering of the high and the low levels of water superabsorbent (80 and 160 kg.ha<sup>-1</sup>), humic acid (4 and 8 kg.ha<sup>-1</sup>) and cattle manure (0 and 30 t.ha<sup>-1</sup>) using MINITAB Ver. 17 statistical software, as the central point in every treatment replicated 3 times, so 15 treatment combinations were provided totally.

---

\*Corresponding Author: jahan@um.ac.ir

## Results & Discussion

The result showed that the highest seed yield obtained in the middle level of humic acid ( $6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ), so that application of  $6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  humic acid increased seed yield 15 and 11% compared to the levels of 4 and  $8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. The moderate increasing of cattle manure amounts led to an increase in dry matter yield, so that by increasing the amounts of cattle manure from 0 to  $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ , dry matter yield increased by 36%, but more increasing the amounts of cattle manure from 15 to  $30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  led to a decrease in dry matter yield by 4%. By increasing the amounts of superabsorbent, nitrogen losses decreased, so that the application of  $120 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  superabsorbent decreased nitrogen losses 17% compared to the level of  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Nitrogen use efficiency in the  $6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  level of humic acid was 16 and 13% more than the levels of 4 and  $8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. It seems that application of humic acid increased seed yield by improving soil physical properties. Amiri (2015) reported that humic acid and folic acid increased seed yield of *Echium amoenum* by 32 and 22% compared to control, respectively. The highest and the lowest seed yield of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) obtained in treatments of  $80 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  water super absorbent + humic acid and Non-applicaion of water super absorbent and humic acid, respectively. El-Baz et al., (2012) evaluated effect of humic acid on yield and yield components of soybean (*Glycine max* L.) and reported that the highest seed yield obtained in level of 1000 ppm humic acid.

## Conclusions

In economic scenario, using  $143.83 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  superabsorbent,  $6.14 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  humic acid and  $22.12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  cattle manure, resulted in  $1613 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  seed yield. The nitrogen losses in environmental scenario decreased by 95% compared to economic scenario. Eco-environmental scenario attended to different aspects of resource optimization, therefore it seems using the optimized amounts of resources in this scenario ( $131.71$  and  $6.02 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  superabsorbent and humic acid and  $0.30 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  cattle manure, respectively) are the best levels of ecological inputs in this research.

**Key words:** Box Benken, Ecological approach, Ecological input, Health of product, Nitrogen losses