

## اثر اسید هیومیک استخراجی از منابع مختلف بر صفات آفتابگردان رشد یافته در یک خاک آهکی

فاطمه طالع فراهی<sup>۱</sup>، احمد غلامعلی زاده<sup>۲\*</sup>، آرش همتی<sup>۲</sup>

۱. گروه علوم مهندسی خاک دانشکده آب و خاک دانشگاه زابل

۲. گروه علوم مهندسی خاک دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج دانشگاه تهران

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۷

### چکیده

هدف از انجام این آزمایش بررسی تأثیر نحوه مصرف اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت بر روی گیاه آفتابگردان در یک خاک آهکی است. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار بر روی گیاه آفتابگردان انجام شد. تیمارها شامل دو روش مصرف خاکی و محلول پاشی (هر دو روش در یک سطح و در غلظت ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میلی‌گرم بر لیتر) منابع بکار رفته‌اند) و ۵ منبع اسید هیومیک (اسید هیومیک استخراج شده از بیوجار ۴۰۰ درجه (چوب درخت چنار)، بیوجار ۲۰۰ درجه (چوب درخت چنار)، لجن (فاضلاب کارخانه‌ها چوب و کاغذ)، کود دامی (گاوی) و شاهد) است. اثرات متقابل محلول پاشی بیوجار ۲۰۰ درجه نشان می‌دهد که صفات تعداد برگ، پتاسیم، کلروفیل a و کل و وزن خشک نسبت به شاهد به ترتیب ۶۱، ۴۵، ۶۲ و ۶۴ درصد و ۱/۴ برابر افزایش یافته‌اند و همچنین محلول پاشی بیوجار ۴۰۰ درجه نیز میزان کلروفیل b و کارتنوئید را نسبت به شاهد به ترتیب ۱/۵ برابر و ۵۰٪ افزایش داد. نتایج اثرات متقابل مصرف خاکی بیوجار ۲۰۰ درجه بر وزن تر نسبت به شاهد ۷۵٪ افزایش و تیمار لجن بر طول ساقه و فسفر نسبت به شاهد به ترتیب ۵۸٪ و ۱/۷۵ برابر افزایش نشان دادند و اثرات متقابل مصرف خاکی کود دامی نیز نسبت به شاهد وزن خاکستر گیاه را ۳/۲۲ برابر افزایش داد. به طور کلی، با توجه به نتایج، محلول پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه، بهترین تأثیر را در افزایش عملکرد و اجزاء آن داشت.

واژه‌های کلیدی: دانه‌های روغنی، کلروفیل، لجن، محلول پاشی، مواد هیومیکی

### مقدمه

می‌توانند رشد گیاه و جذب مواد غذایی را افزایش دهند (Stevenson 1982; Chen and Aviad, 1990).

مواد هیومیک به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم بر رشد گیاه تأثیر می‌گذارند (Fahramand et al., 2014). اثرات غیرمستقیم شامل بهبود خواص خاک (تهویه، نفوذپذیری، ظرفیت نگهداری آب)، افزایش قابلیت دسترسی عناصر کم‌مصرف و بعضی عناصر پرمصرف است و اثرات مستقیم مواد هیومیک نیز شامل عمل جذب و انتقال عناصر غذایی به بافت گیاه و در نتیجه اثرات بیوشیمیایی مختلف از قبیل سنتز پروتئین، فتوسنتز و فعالیت‌های آنزیمی در بافت‌های گیاه.

فراهمی عناصر غذایی در خاک‌های آهکی با چالش روبرو است. ۳۰ درصد از خاک‌های سطح زمین را خاک‌های آهکی پوشانده است (FAO, 1973). اکثر خاک‌های ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند و دارای شرایط قلیایی و آهکی می‌باشند (Malakouti and Nafisi, 1994). معمولاً مقادیر زیاد کربنات کلسیم در خاک‌ها بر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک و در نهایت رشد گیاه اثر می‌گذارند. با توجه به قرار گرفتن اکثر خاک‌های آهکی در مناطق گرم و خشک، این خاک‌ها به طور طبیعی از لحاظ مواد آلی فقیر هستند. مواد هیومیک جزء اصلی و پایدار مواد آلی می‌باشند و این مواد

این آزمایش، جهت بررسی و مقایسه مصرف محلول‌پاشی و خاکی اسید هیومیک استخراجی به روش پتاسیم هیدروکسید ۱ مولار از منابع متفاوت بر روی گیاه آفتابگردان رقم آذرگل، در سال زراعی ۹۳-۹۲ در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه زابل، به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل دو روش مصرف خاکی و محلول‌پاشی و ۵ تیمار اسید هیومیک شامل اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۴۰۰ درجه (چوب درخت چنار) (B400)<sup>۱</sup>، بیوجار ۲۰۰ درجه (چوب درخت چنار) (B200)<sup>۲</sup>، لجن فاضلاب کارخانه‌ها چوب و کاغذ نیشابور (S)<sup>۳</sup>، کود دامی گاوی (M)<sup>۴</sup> و شاهد است که با غلظت ۰/۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم (میلی‌گرم بر لیتر) و در طی ۴ مرحله ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۵ روزه پس از جوانه‌زنی بذرها به دو روش محلول‌پاشی و خاکی مصرف شد. اسید هیومیک‌ها به روش کیو و همکاران (Qi et al., 2004) استخراج شدند. درصد اسید هیومیک، گروه‌های کربوکسیلی، اسیدیته کل، گروه‌های عاملی OH<sup>-</sup> فنلی به روش تیتراسیون (Page, 1982) و نسبت‌های E3/E5 و E4/E6 به روش اسپکتروفتومتری (میزان جذب در طول موج‌های ۳۵۰، ۴۶۵، ۵۵۰ و ۶۶۵ نانومتر (Chen et al., 1999; Abbt Braun and Frimmel, 1977)) نیز در اسید هیومیک‌های استخراجی اندازه‌گیری شد (شکل ۱، جداول ۲ و ۳). اسیدیته کل بر اساس اختلاف حجم مصرفی اسید برای نمونه شاهد و اسید هیومیک مصرفی بر اساس رابطه ذیل محاسبه می‌گردد:

$$At = 1,000(Vb - Vs) * Na/P \quad [1]$$

که در آن At اسیدیته کل (میلی‌مول بر گرم)، Vb و Vs به ترتیب حجم اسید مصرفی (میلی‌لیتر) برای نمونه شاهد و اسید هیومیک، Na نرمالیت اسید مصرفی (مول بر لیتر) و P وزن نمونه اسید هیومیک (میلی‌گرم) است.

خاک مورد استفاده در این بررسی از مزرعه تحقیقاتی دانشگاه از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری سطح خاک تهیه شد و پس از هوا خشک نمودن و عبور از الک ۲ میلی‌متری، جهت اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به آزمایشگاه منتقل شد. بافت به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1997)، پ‌هاس در گل اشباع به وسیله پ-هاس‌متر (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)،

اسید هیومیک یک ترکیب پلیمری آلی طبیعی است که در نتیجه پوسیدگی مواد آلی خاک، پیت و لیگنین به وجود می‌آید و سبب افزایش عملکرد و کیفیت محصول می‌شود (Ghorbani et al., 2010). محققان (Biggs et al., 1989) نشان دادند که این ماده می‌تواند جوانه‌زنی دانه را در چندین گونه تحریک کند همچنین آنان دریافتند اسید هیومیک سبب افزایش جذب عناصری مانند N، Ca، Mg، P و K می‌شود (Biggs et al., 1989). تأثیر مثبت اسید هیومیک بر صفات رشدی لوبیا سبز، از جمله تعداد برگ، تعداد شاخه فرعی، وزن تر و خشک بوته، ارتفاع بوته و غیره توسط ال باسیون و همکاران (El-Bassiony et al., 2010) گزارش شده است.

کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر اسید هیومیک بر روی گیاه گوجه و چغندر قند سبب افزایش رشد آن‌ها شده است. کاربرد بیش‌ازحد اسید هیومیک کیفیت محصول را کاهش داده و گزارش شده است که استفاده بیش از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر موجب کاهش عملکرد شده است (Bakry et al., 2013). اسید هیومیکی که از لئوناردیت (لیگنیت شدیداً اکسید شده) استخراج می‌شود اثری شبیه به هورمون‌های گیاهی ارائه می‌دهد (Saruhan et al., 2011). کاربرد اسید هیومیک در سیستم آبیاری تحت فشار در مزرعه موجب افزایش ۵٪ عملکرد و سطح ریشه سیب‌زمینی شد. همچنین مصرف اسید هیومیک در این مزارع موجب کاهش ۱۵-۵٪ کودهای نیتروژن و فسفر شده است (Nardi et al., 2002). رویکرد جوامع بین‌المللی به حفاظت از منابع طبیعی در راستای کاهش مصرف کودهای شیمیایی استفاده از کودهای زیستی از جمله مواد آلی، بیوجار و لجن به‌عنوان منبع غنی از اسید هیومیک می‌تواند به‌عنوان ابزاری مفید و کارآمد در کشاورزی پایدار به شمار آید. علی‌رغم تحقیقات گسترده روی استخراج و استفاده از اسید هیومیک در تغذیه گیاهان، مقایسه اثر اسید هیومیک استخراجی از منابع مختلف بر عملکرد گیاه در خاک‌های آهکی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. لذا هدف از انجام این بررسی، مقایسه تأثیر مصرف اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت بر عملکرد گیاه آفتابگردان رشد یافته در یک خاک آهکی است.

#### مواد و روش‌ها

3. Sludge

4. Manure

1. Biochar 400 C

2. Biochar 200 C

فسفر قابل استفاده به روش اولسن (Olsen et al., 1954) و پتاسیم عصاره گیری شده با استات آمونیوم (Helmke and Sparks, 1996) توسط دستگاه فلیم فتومتر تعیین شد (جدول ۱).

قابلیت هدایت الکتریکی با هدایت سنج الکتریکی (Rhoades, 1982)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش باور (Bower et al., 1952)، کربنات کلسیم معادل به روش تیتراسیون (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954)، ماده آلی به روش ترسوزانی (Walkley and Black, 1934)،

جدول ۱. برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

Table 1. Some physico-chemical properties of the studied soil

پتاسیم K	فسفر P	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC	هدایت الکتریکی EC	pH	کربنات کلسیم معادل CCE	ماده				کلاس بافت Texture class
						آلی OM	رس Clay	سیلت Silt	شن Sand	
---mg.kg <sup>-1</sup> ---		cmol <sup>+</sup> .kg <sup>-1</sup>	dS.m <sup>-1</sup>		-----(%)------					
64	10.2	10.40	2.68	8.09	20	0.5	42	34	24	لومی رسی Clay loamy

بوته از محل طوقه تا نوک آخرین برگ، برحسب سانتی متر اندازه گیری شد. مقدار محتوای کلروفیل گیاه نیز بر اساس روش آرنون (Arnon, 1949) تعیین شد. تجزیه آماری داده ها با استفاده از نرم افزار SAS و مقایسه میانگین ها توسط آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ انجام شد.

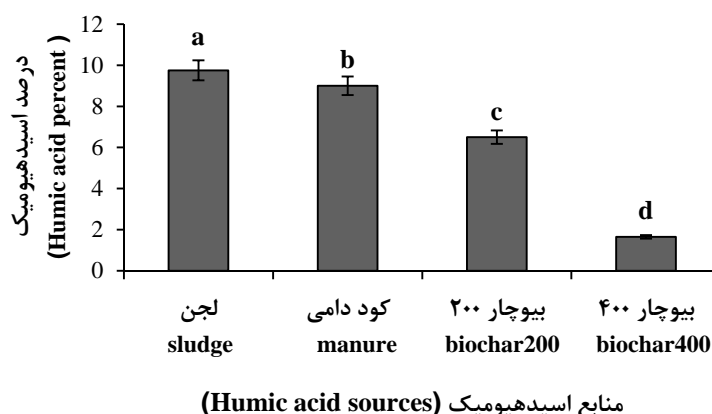
### نتایج و بحث

**ویژگی های فیزیکی و شیمیایی اسید هیومیک های استخراجی**  
بر اساس نتایج نشان داده شده در شکل ۱، بیشترین میزان درصد اسید هیومیک استخراجی در منبع لجن دیده شد که نسبت به سایر منابع بیشترین درصد اسید هیومیک استخراجی را داشت. کمترین میزان درصد اسید هیومیک استخراجی نیز در منبع بیوچار تولید شده در دمای ۴۰۰ درجه مشاهده گردید (شکل ۱). سن و کینگ من (Senn and Kingman, 1973) نشان داد که محتوای اسید هیومیک در لئوناردیت، کمپوست پسماند گیاهی، پیت، لگنیت و کود گاوی به ترتیب ۲۵-۹٪، ۲۵-۵٪، ۱۵-۵٪، ۳-۱٪، ۵-۲٪ است. اسید هیومیک شامل گروه های عاملی اسیدیته کل، گروه های کربوکسیل و گروه های فنول است که در جدول ۲ آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود اسید هیومیک استخراج شده از کود دامی بیشترین مقدار گروه های فنول را داراست و کمترین مقدار مربوط به اسید هیومیک استخراج شده از لجن است (جدول ۲). بیشترین و کمترین مقدار گروه های کربوکسیل به ترتیب مربوط به اسید هیومیک

خاک های جمع آوری شده را هوا خشک نموده، سپس جهت کشت بذرها از گلدان های ۳ کیلو گرمی استفاده گردید. قبل از کشت بذرها، بر اساس آزمون خاک عناصر مورد نیاز به خاک گلدان ها افزوده شد. در هر گلدان پنج عدد بذر کشت شد و تا رسیدن به حد رطوبت ظرفیت زراعی و به روش وزنی آبیاری شدند. بعد از جوانه زنی و استقرار کامل گیاهچه ها، تعداد آن ها به دو عدد در هر گلدان تنک شد. آبیاری گلدان ها در طول دوره رشد با آب مقطر و به صورت وزنی (مقدار آب مورد نیاز، معادل با کاهش وزن گلدان ها از حد رطوبت در حالت ظرفیت زراعی در نظر گرفته شد) انجام گرفت. پارامترهای رشد از جمله تعداد برگ در بوته، ارتفاع بوته، وزن تر، خشک و خاکستر اندام هوایی، غلظت عناصر پرمصرف فسفر و پتاسیم و میزان کلروفیل های برگ شامل کلروفیل های a، b، کل و کارتنوئید اندازه گیری شد. دو ماه بعد از کشت، اندام های هوایی پس از قطع شدن از سطح خاک و توزین وزن تر اندام هوایی، با آب مقطر کاملاً شسته شده و سپس درون پاکت های کاغذی تمیز قرار گرفته و در آون به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۶۵ درجه سلسیوس، خشک و وزن خشک اندام هوایی نیز اندازه گیری شد. سپس نمونه ها جهت انجام تجزیه گیاه، آسیاب شدند و عصاره گیاهی به روش خاکستر سازی خشک آماده شد (Cottenie, 1980). غلظت عناصر پرمصرف فسفر و پتاسیم نیز اندازه گیری شد (Chapman and Pratt, 1961; Waling et al., 1989). تعداد برگ ها نیز قبل از برداشت گیاه شمارش شدند. ارتفاع

همکاران (Hemati et al., 2012) انجام دادند گزارش کردند که در بین گروه‌های عاملی اسیدی (اسیدیته کل، گروه‌های کربوکسیل و فنل) اسید هیومیک استخراجی از اوره، مقدار گروه OH-فنلی بالا است.

استخراج‌شده از کود دامی و اسید هیومیک استخراج‌شده از بیوچار ۴۰۰ درجه است (جدول ۲). اسید هیومیک استخراجی از کود دامی و اسید هیومیک استخراجی از لجن به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار اسیدیته کل را به خود اختصاص می‌دهند (جدول ۲). در تحقیقی که همتی و



شکل ۱. میزان درصد اسید هیومیک استخراجی در منابع متفاوت

Fig. 1. The percentage of extracted humic acid from various sources

جدول ۲. گروه‌های عاملی اندازه‌گیری شده از اسید هیومیک استخراجی منابع مختلف ( $\text{mmol.g}^{-1}$ )

Table 2. Measured functional groups from different acid humic sources ( $\text{mmol.g}^{-1}$ )

Humic acid type	نوع اسید هیومیک	لجن* Sludge*	کود دامی** Manure**	بیوچار ۲۰۰*** Biochar 200***	بیوچار ۴۰۰*** Biochar 400***
Phenol groups	گروه‌های فنولی	2.9	9.8	5.6	8.68
COOH groups	گروه‌های کربوکسیل	1.3	1.8	1.1	0.32
Total acidity	اسیدیته کل	4.2	11.6	6.7	9.00

\*فاضلاب کارخانه‌های صنایع چوب و کاغذ، \*\* گاوی، \*\*\* چوب درخت چنار.

\*Waste wood and paper industry, \*\*Cow manure, \*\*\*Wood Plane tree.

(۴/۸۹) است (جدول ۳). یکی از بررسی‌های طیف‌سنجی مواد هیومیک برآورد نسبت E4/E6 است. این رابطه که نسبت دانسیته نوری در طول موج ۴۶۵ نانومتر به ۶۶۵ نانومتر است بیانگر درجه تراکم ترکیبات آلیفاتیک و آروماتیک مواد هیومیک است (Martínez et al., 1998). افزایش E4/E6 درجه تراکم کم ترکیبات آروماتیک را نشان می‌دهد و برعکس کاهش آن دلالت بر تراکم زیاد حلقه‌های آروماتیک در مولکول اسید هیومیک و اسیدفولیک دارد. این نسبت با تغییر pH، وزن مولکولی و ویسکوزیته ترکیبات هیومیک تغییر می‌کند و در اسید هیومیک ۳-۵ و در اسیدفولیک ۸-

بر اساس نتایج حاصل از نسبت‌های اسپکتوفوتومتری که در جدول ۳ آورده شده است، مشاهده می‌شود بزرگ‌ترین اندازه مولکولی اسید هیومیک (E3/E5) مربوط به اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه است. کوچک‌ترین اندازه مولکولی اسید هیومیک (E3/E5) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه مشاهده شد (جدول ۳). از لحاظ تراکم ترکیبات آروماتیک (E4/E6) بیشترین و کمترین تراکم ترکیبات آروماتیک به ترتیب مربوط به اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه (۳/۷۰) و اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه

۶ است (Chen et al., 1977; Campitelli et al., 2006). نسبت طول موج جذبی در طیف بین ۳۵۰ و ۵۵۰ نانومتر، نسبت E3/E5 را که تعیین کننده اندازه مولکولی هیومیک است نشان می دهد و با افزایش این نسبت، اندازه مولکولی اسید هیومیک کاهش می یابد (Lguiratia et al., 2012). در تحقیقی دیگر نیز، نسبت های E3/E5 و E4/E6 میزان جذب بیشتری را در اسید هیومیک استخراجی از اوره نشان دادند (Hemati et al., 2012).

جدول ۳. نتایج نسبت های جذب در طول موج های مختلف توسط منابع مختلف اسید هیومیک

Table 3. Results of absorption ratios at different Wavelengths by different humic acid sources

Humic acid type	نوع اسید هیومیک	A350 (E3)	A465 (E4)	A550 (E5)	A665 (E6)	A350/A550 (E3/E5)	A465/A665 (E4/E6)
Sludge	لجن	1.46	0.365	0.155	0.078	7.86	4.67
Manure	کود دامی	0.92	0.252	0.117	0.058	7.86	4.34
Biochar	بیوچار ۲۰۰	2.8	0.319	0.48	0.086	5.76	3.70
Biochar	بیوچار ۴۰۰	1.86	0.401	0.21	0.082	8.81	4.89

می دهد که مصرف حاکی تیمارهای اسید هیومیک اثر معنی داری بر طول ساقه، وزن خشک و وزن خاکستر داشته است. که نسبت به مصرف محلول پاشی مؤثرتر واقع شده است. درحالی که مصرف محلول پاشی منابع اسید هیومیک نیز بر پارامتر تعداد برگ نسبت به مصرف حاکی مؤثرتر ارزیابی شد (جدول ۵). زمانی که تیمارهای هیومیکی به خاک اعمال می شوند، اسیدهای هیومیک، مواد آلی لازم برای نگهداری آب را به خاک اضافه می کنند بنابراین بدین صورت منجر به رشد ریشه ها می شوند (Khaled and Fawy, 2011).

## ویژگی های گیاه

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده ها، اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و اثرات متقابل آن ها بر ویژگی های مورفولوژیکی گیاه آفتابگردان شامل تعداد برگ، طول ساقه، وزن تر و خشک و وزن خاکستر دارای تفاوت معنی دار بود (جدول ۴). همچنین اثرات ساده نحوه مصرف نیز، تفاوت معنی داری بر ویژگی های مورفولوژیکی گیاه نشان داد (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر ساده نحوه مصرف (جدول ۵) نشان

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات نحوه مصرف اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای گیاه

Table 4. Analysis of variance (Mean Square) of application forms of humic acid extracted from different sources on plant parameters

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی dF	تعداد برگ در بوته number Leaf	طول ساقه Height	وزن تر Fresh weight	وزن خشک Dry weight	وزن خاکستر Ash weight
اسید هیومیک		4	105.7166*	122.0309*	29.6962*	4.4655*	0.0364*
Humic acid (HA)							
نحوه مصرف		11	2.7000*	7.4500*	0.1657ns	0.7905*	0.0598*
Application form (AF)							
اسید هیومیک × نحوه مصرف		4	11.7833*	10.8009*	9.9424*	0.4268*	0.0141*
AF × HAT							
Error	خطا	20	0.5333	0.3437	0.1883	0.0191	0.0001
CV%	ضریب تغییرات		3.0727	2.2723	3.3158	4.8187	5.7251

Table 4. Continued

جدول ۴. ادامه

S.O.V	منابع تغییرات	درجه آزادی	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فسفر	پتاسیم
		dF	Chl. a	Chl. b	Total chl.	Carotenoid	P	K
Humic acid (AH)	اسید هیومیک	4	19.456*	10.982*	19.171*	5.374*	0.0035*	49.31*
Application form (AF)	نحوه مصرف	11	8.889*	6.147*	42.198*	6.552*	0.0001*	6.01*
AF×HA	اسید هیومیک×نحوه مصرف	4	14.375*	3.524*	12.402*	0.725*	0.0001*	4.33*
Error	خطا	20	0.143	0.070	0.134	0.063	0.0000	0.16
CV%	ضریب تغییرات		3.07	5.84	2.27	4.43	6.53	1.69

\*، \*\* به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد و ns غیرمعنی‌دار

\* and \*\* denoted significance at the 5 and 1% level; ns is not significant

جدول ۵. مقایسه میانگین نحوه مصرف اسید هیومیک بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 5. Comparison of the mean of humic acid application forms on morphological parameters of plant

نحوه مصرف	تعداد برگ در بوته	طول ساقه	وزن خشک	وزن خاکستر	
Application form	Leaf number	Height (cm)	Dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Ash weight (g.pot <sup>-1</sup> )	
Foliar	محلول پاشی	24.00 <sup>a</sup>	25.30 <sup>b</sup>	2.71 <sup>b</sup>	0.13 <sup>b</sup>
Soil application	مصرف خاکی	23.00 <sup>b</sup>	26.30 <sup>a</sup>	3.03 <sup>a</sup>	0.21 <sup>a</sup>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

افزایش عملکرد بیولوژیکی با مصرف اسید هیومیک را می‌توان به تحریک رشد گیاه از طریق سوخت‌وساز عناصر کم‌مصرف و پرمصرف، فعال‌سازی آنزیم‌ها و تغییر در نفوذپذیری غشا، سنتز پروتئین‌ها دانست که مجموع این عوامل سبب افزایش بیومس گیاه می‌شود (Ulukan, 2008). افزایش عملکرد بیولوژیکی در نخود به موازات افزایش مصرف اسید هیومیک توسط ال قمری و غنیم (El-Ghamry and Ghoneem, 2009) نیز گزارش شده است. آرانکون و همکاران (Arancon et al., 2004) اظهار داشتند که با کاربرد کودهای آلی ساختمان خاک بهبود یافته و موجب تهویه مناسب و گسترش بهتر ریشه در خاک و افزایش رشد رویشی و زایشی گیاه می‌شود که تأیید کننده نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق است. مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۷) نشان داد بیشترین تعداد برگ (۲۸/۰۰ عدد) و وزن خشک (۳/۹۶ گرم

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه، بیشترین تعداد برگ در بوته (۲۷/۰۰ عدد)، وزن تر (۱۵/۲۷ گرم در گلدان) و وزن خشک (۳/۸۵ گرم در گلدان) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه مشاهده شد که به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد به ترتیب به میزان ۵۹ و ۶۰/۲۳ درصد و ۱/۲۱ برابر بیشتر است (جدول ۶). همچنین بیشترین طول ساقه (۳۰/۶۱ سانتی‌متر) و وزن خاکستر (۰/۲۶ گرم در گلدان) نیز نسبت به شاهد به ترتیب در تیمارهای اسید هیومیک استخراجی از لجن و کود دامی به دست آمد که به ترتیب ۶۳ درصد و ۱/۸۸ برابر افزایش معنی‌داری یافته بودند (جدول ۶). کمترین تعداد برگ در بوته، طول ساقه، وزن تر و خشک و وزن خاکستر در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۶).

در گلدان) در تیمار محلول پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب با ۶۱ درصد و ۱/۴ برابر افزایش همراه بودند که اختلاف معنی داری با مصرف خاکی تیمار اسید هیومیک استخراجی (۷).

از لجن ندارند اما نسبت به سایر تیمارهای اسید هیومیک افزایش معنی داری یافته‌اند. کمترین تعداد برگ و وزن خشک در تیمار شاهد در هر دو نحوه مصرف مشاهده شد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 6. Comparison of the mean of humic acid extracted from different sources on morphological parameters of plant

نوع اسید هیومیک	تعداد برگ در بوته	طول ساقه	وزن تر	وزن خشک	وزن خاکستر	
Humic acid type	Leaf number	Height (cm)	Fresh weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Ash weight (g.pot <sup>-1</sup> )	
Control	شاهد	17.00 <sup>d</sup>	18.80 <sup>d</sup>	9.53 <sup>d</sup>	1.74 <sup>e</sup>	0.09 <sup>e</sup>
Sludg	لجن	27.00 <sup>a</sup>	30.61 <sup>a</sup>	14.63 <sup>b</sup>	3.41 <sup>b</sup>	0.11 <sup>d</sup>
Manure	کود دامی	22.00 <sup>c</sup>	24.28 <sup>c</sup>	12.94 <sup>c</sup>	2.24 <sup>d</sup>	0.26 <sup>a</sup>
Biochar 200	بیوجار ۲۰۰	27.00 <sup>a</sup>	27.40 <sup>b</sup>	15.27 <sup>a</sup>	3.85 <sup>a</sup>	0.24 <sup>b</sup>
Biochar 400	بیوجار ۴۰۰	25.00 <sup>b</sup>	27.90 <sup>b</sup>	13.05 <sup>c</sup>	3.11 <sup>c</sup>	0.16 <sup>c</sup>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

جدول ۷. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر پارامترهای مورفولوژیکی گیاه

Table 7. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on morphological parameters of plant

نحوه مصرف	اسید هیومیک	تعداد برگ در بوته	طول ساقه	وزن تر	وزن خشک	وزن خاکستر
Application form	Humic acid	Leaf number	Height (cm)	Fresh weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Dry weight (g.pot <sup>-1</sup> )	Ash weight (g.pot <sup>-1</sup> )
محللول پاشی Foliar	شاهد	17.00 <sup>e</sup>	17.78 <sup>f</sup>	9.76 <sup>g</sup>	1.65 <sup>e</sup>	0.09 <sup>g</sup>
	Control					
	لجن	25.00 <sup>b</sup>	29.91 <sup>b</sup>	14.10 <sup>cd</sup>	2.91 <sup>c</sup>	0.10 <sup>fg</sup>
	Sludge					
	کود دامی	22.00 <sup>d</sup>	24.20 <sup>d</sup>	12.47 <sup>e</sup>	2.28 <sup>d</sup>	0.15 <sup>d</sup>
	Manure					
مصرف خاکی Soil application	بیوجار ۲۰۰	28.00 <sup>a</sup>	25.23 <sup>d</sup>	14.19 <sup>c</sup>	3.96 <sup>a</sup>	0.17 <sup>c</sup>
	Biochar 200					
	بیوجار ۴۰۰	28.00 <sup>a</sup>	29.38 <sup>b</sup>	15.28 <sup>b</sup>	2.74 <sup>c</sup>	0.12 <sup>e</sup>
	Biochar 400					
	شاهد	17.00 <sup>e</sup>	19.83 <sup>e</sup>	9.31 <sup>g</sup>	1.84 <sup>e</sup>	0.09 <sup>g</sup>
	Control					
لجن	28.00 <sup>a</sup>	31.31 <sup>a</sup>	15.16 <sup>b</sup>	3.92 <sup>a</sup>	0.11 <sup>ef</sup>	
Sludge						
کود دامی	22.00 <sup>cd</sup>	24.36 <sup>d</sup>	13.41 <sup>d</sup>	2.20 <sup>d</sup>	0.38 <sup>a</sup>	
Manure						
بیوجار ۲۰۰	27.00 <sup>a</sup>	29.56 <sup>b</sup>	16.35 <sup>a</sup>	3.73 <sup>a</sup>	0.30 <sup>b</sup>	
Biochar 200						
بیوجار ۴۰۰	23.00 <sup>c</sup>	26.41 <sup>c</sup>	10.83 <sup>f</sup>	3.48 <sup>b</sup>	0.19 <sup>c</sup>	
Biochar 400						

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

همچنین بعدازآن بیشترین طول ساقه در مصرف محلول پاشی همین تیمار مشاهده شد. بیشترین وزن تر و خاکستر نیز به ترتیب در مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه و کود دامی مشاهده شد که نسبت به شاهد به ترتیب ۷۵ درصد و ۳/۲۲ برابر افزایش معنی‌داری یافته است (جدول ۷). با توجه به نتایج (جداول ۵ و ۷) مشاهده می‌شود که مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک نسبت به مصرف محلول پاشی اثر مثبت تری داشته‌اند. کمترین میزان طول ساقه و وزن تر و خاکستر در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۷). در پژوهشی که تحت تنش شوری انجام شد، وزن تر اندام هوایی با کاربرد اسید هیومیک نسبت به شاهد افزایش یافت (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh, 2016).

بر اساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها، اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و نحوه مصرف، همچنین اثرات متقابل نحوه مصرف و منابع متفاوت اسید هیومیک بر میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید گیاه در سطح احتمال ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار بود (جدول ۴). اثرات ساده منابع متفاوت اسید هیومیک و نحوه مصرف و اثرات متقابل آن‌ها بر میزان غلظت عناصر P و K گیاه در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۴).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت تیمارهای اسید هیومیک بر میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید گیاه، بیشترین میزان کلروفیل a (۱۴/۰۲ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن مشاهده شد که نسبت به شاهد (۹/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) ۴۷ درصد افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). همچنین بیشترین میزان کلروفیل‌های b (۶/۱۰ میلی‌گرم بر گرم)، کل (۱۷/۵۵ میلی‌گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶/۵۹ میلی‌گرم بر گرم) نیز نسبت به شاهد (به ترتیب ۲/۸۶، ۱۳/۰۱ و ۴/۰۷ میلی‌گرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه به ترتیب با ۱/۱۳ برابر، ۳۵ و ۶۲ درصد افزایش به دست آمد (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کمترین میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۸). بر اساس نتایج حیدری و خلیلی (Heidari and Khalili, 2014) و یانگ و همکاران (Yang et al., 2004) اسید هیومیک سبب افزایش کلروفیل b شد که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد. داوودی فرد و همکاران (Davoodi Fard et al., 2012) بیان

با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل در مصرف محلول پاشی تیمارهای اسید هیومیک در تعداد برگ گیاه، تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به بیوچار ۴۰۰ درجه تفاوت معنی‌داری ندارد اما نسبت به سایر تیمارها و شاهد دارای تفاوت معنی‌داری است (جدول ۷). اسید هیومیک استخراجی از لجن نسبت به سایر انواع اسید هیومیک‌ها موجب افزایش معنی‌داری در طول ساقه گیاه شده است. وزن تر گیاه با کاربرد محلول پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارهای اسید هیومیک افزایش بیشتری داشت. همچنین وزن خشک گیاه نیز با کاربرد محلول پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارها بیشترین افزایش را داشته‌اند. محلول پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر تیمارها موجب افزایش وزن خاکستر گیاه گردید (جدول ۷). درحالی‌که در مصرف خاکی تیمارهای اسید هیومیک، اسید هیومیک استخراجی از لجن نسبت به سایر تیمارها بر روی تعداد برگ، طول ساقه و وزن خشک گیاه تأثیر مثبتی داشت و اسید هیومیک‌های استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه و کود دامی نیز نسبت به سایر تیمارها به ترتیب بر روی وزن تر و وزن خاکستر گیاه تأثیر مثبتی داشتند (جدول ۷). خالد و فاوی (Khaled and Fawy, 2011) گزارش کردند که بیشترین وزن خشک گیاه ذرت با کاربرد محلول پاشی، مقدار ۰/۱ درصد اسید هیومیک لیلی‌هومات به دست آمده است. همچنین عطیه و همکاران (Atiyeh et al., 2002) یکی از مکانیسم‌های اثر اسید هیومیک بر تسریع رشد گیاهان را به تأثیر مستقیم این ترکیب‌ها و وجود ترکیب‌های شبه هورمونی، از جمله ترکیب‌های اکسینی و شبه اکسینی مربوط دانستند که می‌توانند رشد سلول‌ها را تحت تأثیر قرار دهند. سبزواری و همکاران (Sabzevari et al., 2010) بیان کردند که اسید هیومیک از طریق افزایش جذب آب و مواد غذایی، افزایش فراهمی عناصر، تقویت و توسعه سیستم ریشه‌ای گیاه و افزایش محتوای کلروفیل و نیز تغییر فعالیت آنزیم‌ها در درون گیاه، سبب رشد رویشی گیاه از جمله افزایش وزن تر و خشک برگ می‌شود.

بیشترین طول ساقه (۳۱/۳۱ سانتی‌متر) بر اساس نتایج مقایسه میانگین (جدول ۷) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن به صورت مصرف خاکی مشاهده شد که نسبت به شاهد ۵۸ درصد افزایش معنی‌داری یافته است.



افزایش معنی‌داری نشان داد (جدول ۸). همچنین بعدازآن بیشترین میزان فسفر در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۴۰۰ درجه نسبت به شاهد به دست آمد. این اختلاف در بین تمامی تیمارهای اسید هیومیک استخراجی مشاهده شد (جدول ۸). بیشترین غلظت پتاسیم (۲۶/۷۵ میکروگرم بر گرم) نیز نسبت به شاهد (۱۹/۶۶ میکروگرم بر گرم) تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوچار ۲۰۰ درجه به دست آمد که با ۳۶ درصد افزایش همراه بود (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، کمترین غلظت فسفر و پتاسیم در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۸).

کردند که اسید هیومیک با قرار دادن آب و مواد غذایی بیشتر و مناسب‌تر در اختیار گیاه توانسته است میزان ساخت رنگیزه‌ها را افزایش داده و انتقال مواد فتوسنتزی را در گیاه راحت‌تر کند. در سایر مطالعات نیز بیان شده که اسید هیومیک به‌طور معنی‌داری سرعت فتوسنتز، توسعه ریشه و محتوای مواد غذایی در گیاهان را افزایش می‌دهد، از این‌رو اسید هیومیک می‌تواند در بهبود سنتز کلروفیل در گیاه مؤثر باشد (Liu et al., 1996). با توجه به نتایج مقایسه میانگین اثرات ساده اسید هیومیک، بیشترین غلظت فسفر (۰/۰۹ میکروگرم بر گرم) در تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن مشاهده شد که نسبت به شاهد (۰/۰۴ میکروگرم بر گرم) برابر ۱/۲۵ برابر

جدول ۸. مقایسه میانگین اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر سبزی‌نگی و غلظت پتاسیم و فسفر اندام هوایی گیاه

Table 8. Comparison of the mean of humic acid extracted from different sources on chlorophylls and K and P concentration in

نوع اسید هیومیک	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فسفر	پتاسیم
Humic acid type	Chl. a	Chl. b	Total chl.	Carotenoid	P	K
	-----mg.g <sup>-1</sup> fresh weight-----				-----μg.g <sup>-1</sup> -----	
Control شاهد	9.55 <sup>d</sup>	2.86 <sup>d</sup>	13.01 <sup>d</sup>	4.07 <sup>c</sup>	0.04 <sup>d</sup>	19.66 <sup>d</sup>
Sludge لجن	14.02 <sup>a</sup>	3.86 <sup>c</sup>	16.42 <sup>c</sup>	5.74 <sup>b</sup>	0.09 <sup>a</sup>	22.98 <sup>c</sup>
Manure کود دامی	13.41 <sup>b</sup>	4.12 <sup>c</sup>	16.55 <sup>c</sup>	5.97 <sup>b</sup>	0.07 <sup>b</sup>	24.45 <sup>b</sup>
Biochar 200 بیوچار ۲۰۰	13.01 <sup>b</sup>	6.10 <sup>a</sup>	17.55 <sup>a</sup>	6.59 <sup>a</sup>	0.05 <sup>c</sup>	26.75 <sup>a</sup>
Biochar 400 بیوچار ۴۰۰	11.45 <sup>c</sup>	5.73 <sup>b</sup>	17.01 <sup>b</sup>	5.96 <sup>b</sup>	0.09 <sup>a</sup>	26.28 <sup>a</sup>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

هیومیک یا کودهای زیستی توسط محققین زیادی به‌عنوان تعدیل‌کننده رشد گیاه جهت افزایش جذب عناصر غذایی و در نتیجه بهبود رشد گیاه توصیه می‌شدند (El-Monem et al., 2008).

بر اساس نتایج مقایسه میانگین، اثرات ساده نحوه مصرف نشان می‌دهند که مصرف محلول‌پاشی تیمارهای اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر افزایش سبزی‌نگی و غلظت پتاسیم گیاه داشته‌اند، درحالی‌که مصرف خاکی این منابع بر میزان غلظت فسفر گیاه مؤثرتر واقع شده‌اند (جدول ۹). کاربرد محلول‌پاشی اسید هیومیک جذب پتاسیم را می‌تواند افزایش دهد (Khaled and Fawy, 2011). افزایش مقدار پتاسیم در کاربرد غلظت‌های زیاد اسید هیومیک در گیاهان ارزن

در پژوهشی دیگر محققین (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh Khankahdani, 2016) بیان داشتند که رابطه مثبت و معنی‌داری بین غلظت اسید هیومیک و مقدار پتاسیم اندام هوایی وجود دارد. آنان همچنین بیان داشتند که مقدار پتاسیم اندام هوایی به‌طور معنی‌داری با افزایش غلظت اسید هیومیک افزایش می‌یابد (Aboutalebi Jahromi and Hassanzadeh Khankahdani, 2016). خالد و فاوی (Khaled and Fawy, 2011) گزارش کردند که محلول‌پاشی اسید هیومیک ۰/۱ درصد می‌تواند مقدار پتاسیم را در گیاهانی که در معرض ۶۰ میلی مولار کلرید سدیم هستند نسبت به شاهد و تیمار ۰/۲ درصد اسید هیومیک افزایش دهد. در طول چند سال گذشته اسید

تیمارهای اسید هیومیک و در هر دو روش مصرف، افزایش معنی‌داری یافته است.

با توجه به نتایج اثرات متقابل داده‌ها (جدول ۱۰)، بیشترین میزان کلروفیل‌های b (۷/۴۰ میلی‌گرم بر گرم) و کارتنوئید (۶/۸۵ میلی‌گرم بر گرم) در محلول‌پاشی تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۴۰۰ درجه نسبت به شاهد به ترتیب با ۱/۵ برابر و ۵۰ درصد افزایش مشاهده شد (جدول ۱۰). کمترین میزان کلروفیل‌های a، b، کل و کارتنوئید نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۱۰).

(Daur, 2014) و ذرت (Daur and Bakhshwain, 2013) نیز توسط محققین گزارش شده است.

مقایسه میانگین اثرات متقابل داده‌های حاصل از آزمایش (جدول ۱۰) نشان می‌دهد که بیشترین میزان کلروفیل‌های a (۱۵/۶۷ میلی‌گرم بر گرم) و کل (۲۰/۲۵ میلی‌گرم بر گرم) نسبت به شاهد، در تیمار اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه و به صورت محلول‌پاشی مشاهده شد که در آن میزان کلروفیل a، با مصرف خاکی تیمار اسید هیومیک استخراجی از لجن اختلاف معنی‌داری ندارد اما نسبت به سایر

جدول ۹. مقایسه میانگین نحوه مصرف اسید هیومیک بر سبزی‌نگی و غلظت پتاسیم و فسفر اندام هوایی گیاه

Table 9. Comparison of the mean of humic acid application on chlorophylls and K and P concentration in shoots

Application form	نحوه مصرف	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید	فسفر	پتاسیم
		Chl.a	Chl. b	Total chl.	Carotenoid	P	K
-----mg.g <sup>-1</sup> fresh weight-----							
Foliar	محلول‌پاشی	12.83 <sup>a</sup>	4.99 <sup>a</sup>	17.29 <sup>a</sup>	6.13 <sup>a</sup>	0.072 <sup>b</sup>	24.47 <sup>a</sup>
Soil application	مصرف خاکی	11.74 <sup>b</sup>	4.08 <sup>b</sup>	14.92 <sup>b</sup>	5.20 <sup>b</sup>	0.076 <sup>a</sup>	23.58 <sup>b</sup>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

جدول ۱۰. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر سبزی‌نگی اندام هوایی گیاه

Table 10. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on chlorophylls in shoots

نحوه مصرف	Application form	نوع اسید هیومیک	Humic acid type	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کارتنوئید
				Chl. a	Chl. b	Total chl.	Carotenoid
-----mg.g <sup>-1</sup> fresh weight-----							
محلول‌پاشی	Foliar	Control	شاهد	9.64 <sup>e</sup>	2.93 <sup>g</sup>	12.37 <sup>h</sup>	4.57 <sup>f</sup>
		Sludge	لجن	12.60 <sup>c</sup>	4.19 <sup>de</sup>	17.46 <sup>c</sup>	6.44 <sup>abc</sup>
		Manure	کود دامی	13.39 <sup>b</sup>	3.73 <sup>ef</sup>	16.84 <sup>cd</sup>	6.01 <sup>cd</sup>
		Biochar 200	بیوجار ۲۰۰	15.67 <sup>a</sup>	6.69 <sup>b</sup>	20.25 <sup>a</sup>	6.81 <sup>ab</sup>
		Biochar 400	بیوجار ۴۰۰	12.86 <sup>bc</sup>	7.40 <sup>a</sup>	19.55 <sup>b</sup>	6.85 <sup>a</sup>
مصرف خاکی	Soil application	Control	شاهد	9.46 <sup>e</sup>	2.78 <sup>g</sup>	13.66 <sup>g</sup>	3.57 <sup>g</sup>
		Sludge	لجن	15.43 <sup>a</sup>	3.54 <sup>f</sup>	15.37 <sup>e</sup>	5.05 <sup>e</sup>
		Manure	کود دامی	13.43 <sup>b</sup>	4.51 <sup>d</sup>	16.25 <sup>d</sup>	5.94 <sup>d</sup>
		Biochar 200	بیوجار ۲۰۰	10.35 <sup>d</sup>	5.51 <sup>c</sup>	14.86 <sup>ef</sup>	6.37 <sup>bcd</sup>
		Biochar 400	بیوجار ۴۰۰	10.05 <sup>de</sup>	4.07 <sup>de</sup>	14.47 <sup>f</sup>	5.07 <sup>e</sup>

میانگین‌های با حروف مشابه در هر ستون با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد دارای تفاوت معنی‌دار نیستند.

Means with the same letters in each column are not significantly different by used Duncan test at level 5%

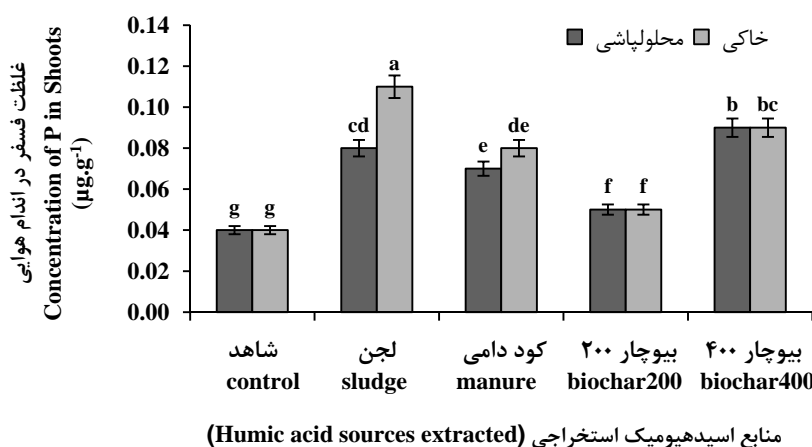
همکاران (Asik et al., 2009) دریافتند که کاربرد هوموس می‌تواند جذب پتاسیم را در گندم افزایش دهد. دمیر و همکاران (Demir et al., 1999) نیز دریافتند که محلول-پاشی اسید هیومیک مقدار پتاسیم را در گیاه خیار که تحت تنش شوری است افزایش می‌دهد.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش نشان داده شد که استفاده از اصلاح‌کننده‌های آلی موجب بهبود شرایط خاک و کاهش مصرف کودهای شیمیایی در جهت تحقق اهداف کشاورزی پایدار می‌شود همچنین نتایج نیز نشان می‌دهد که مصرف منابع متفاوت اسید هیومیک می‌تواند سبب فراهم آوردن شرایط بهینه رشد گیاه شود. اسید هیومیک استخراج‌شده از بیوجار، کود دامی و لجن در افزایش رشد و عملکرد گیاه آفتابگردان مؤثر بوده است. استفاده از اسید هیومیک بر روی تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری شده گیاه تأثیر مثبت داشته و سبب افزایش صفات‌های موردنظر نسبت به شاهد شد. با توجه به مقایسه محلول‌پاشی و مصرف خاکی اسید هیومیک مشاهده شد محلول‌پاشی اسید هیومیک مؤثرتر از مصرف خاکی آن بوده است. اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک‌های استخراجی از منابع متفاوت در افزایش رشد و عملکرد گیاه تأثیر مثبتی داشتند. به‌طور کلی، با توجه به نتایج، محلول-پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه نسبت به سایر منابع، بهترین تأثیر را در افزایش عملکرد و اجزاء عملکرد گیاه داشت.

در پژوهشی که احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2017) انجام دادند نشان دادند که اسید هیومیک تأثیر معنی‌داری بر میزان کلروفیل کل و سبزینه برگ زعفران داشت. پژوهش راهی و همکاران (Rahi et al., 2012) تأثیر مثبت اسید هیومیک در افزایش کلروفیل کل را نشان داد. نتایج پژوهشگران نشان داد که اسید هیومیک سبب افزایش جذب عناصر غذایی و همچنین افزایش کلروفیل در برگ خیار و گندم دوروم گردید (Rutan and Schnitzer, 2011). با توجه به نتایج اثرات متقابل، بیشترین میزان غلظت فسفر گیاه در مصرف خاکی اسید هیومیک استخراجی از لجن (۱۱/۰ میکروگرم بر گرم) نسبت به شاهد با ۱/۷۵ برابر افزایش داشت که بعد از آن بیشترین میزان فسفر در مصرف محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۴۰۰ درجه به دست آمد (شکل ۲). کمترین میزان فسفر نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۲). در پژوهشی که بیدگاین و همکاران (Bidegain et al., 2000) انجام دادند گزارش کردند، زمانی که گیاه دچار کمبود فسفر است کاربرد مواد هیومیکی به‌دست‌آمده از منبع خاکاره که به‌طور شیمیایی تجزیه شده است عملکرد و جذب فسفر را افزایش می‌دهد.

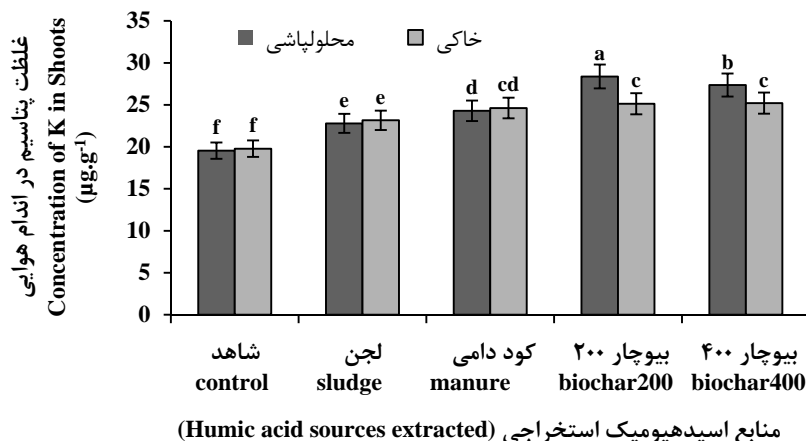
بر اساس نتایج (شکل ۳)، بیشترین میزان پتاسیم در محلول‌پاشی اسید هیومیک استخراجی از بیوجار ۲۰۰ درجه به دست آمد که نسبت به شاهد ۴۵ درصد افزایش معنی‌دار یافته است. کمترین میزان پتاسیم نیز در تیمار شاهد مشاهده شد (شکل ۳). اسید هیومیک به دلیل توانایی کلات‌کنندگی که دارد نقش مشخص و معینی در آزادسازی پتاسیم تثبیت‌شده ایفا می‌کند (Tan, 1978). همچنین، آشیک و



منابع اسیدهیومیک استخراجی (Humic acid sources extracted)

شکل ۲. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر غلظت فسفر اندام هوایی گیاه

Fig. 2. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on P concentration in shoots



شکل ۳. مقایسه میانگین اثرات متقابل نحوه مصرف و اسید هیومیک استخراجی از منابع متفاوت بر غلظت پتاسیم اندام هوایی گیاه  
 Fig. 3. Comparison of the mean effects of interactions between application forms and humic acid extracted from different sources on K concentration in shoots

#### منابع

- Abbt Braun, G., Frimmel, F.H., 1999. Basic characterization of Norwegian NOM samples similarities and differences. *Environment International*. 25, 161-180.
- Aboutalebi Jahromi, A.H., Hassanzadeh Khankahdani, H., 2016. Effect of humic acid on some vegetative traits and ion concentrations of Mexican Lime (*Citrus aurantifolia* Swingle) seedlings under salt stress. *International Journal of Horticultural Science and Technology*. 3, 255-264.
- Ahmadi, F., Aminifard, M.H., Khayat, M., Samadzade, A.R., 2017. Evaluation of humic acid and planting density on flower yield and vegetative characteristics of saffron (*Crocus sativus* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 33, 293-303. [In Persian with English Summary].
- Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R.M., Metzger, J.D., 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on greenhouse peppers. *Bioresource Technology*. 93, 139-144
- Aron, D.I., 1949. Copper enzymes in isolated chloroplast, polyphenol oxidase in *Beta vulgaris*. *Journal of Plant Physiology*. 24, 1-75.
- Asik, B.B., Turan, M.A., Celik, H., Katkat, A.V., 2009. Effects of humic substances on plant growth and mineral nutrients uptake of wheat (*Triticum durum* cv. Salihli) under conditions of salinity. *Asian Journal of Crop Science*. 1, 87-95.
- Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A., 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology*. 84, 7-14.
- Bakry, B.A., Elewa, T.A., El-kramany, M.F., Wali, A.M., 2013. Effect of humic and ascorbic acids foliar application on yield and yield components of two Wheat cultivars grown under newly reclaimed sandy soil. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 4, 1125-1133.
- Bidegain, R.A., Kaemmerer, M., Guiresse, M., Hafidi, M., Rey, F., Morard, P., Revel, J.C., 2000. Effects of humic substances from composted or chemically decomposed poplar sawdust on mineral nutrition of ryegrass. *The Journal of Agricultural Science*. 134, 259-267.
- Biggs, R.H., Obreza, T.A., Webb, R.G., 1989. Humate material: Their effect and use as soil amendment. *Journal of Applied Phycology*. 5, 115-120.
- Bouyoucos, C.J., 1997. Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agronomy Journal*. 54, 464-465.
- Bower, C.A., Reitemeier, R.F., Fireman, M., 1952. Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Science*. 73, 251-261.
- Campitelli, P.A., Velasco, M.I., Ceppi, S.B., 2006. Chemical and physicochemical characteristics of humic acids extracted from

- compost, soil and amended soil. *Talanta*. 69, 1234-1239.
- Chapman, H.D., Pratt, P.F., 1962. *Methods of Analysis for Soil, Plant and Water*. Soil Science. 93, 68.
- Chen, Y., Aviad, V., 1990. Effect of humic substances on plant growth. In: MacCarthy, P. (ed.), *Humic substances in soil and crop sciences*. Madison, Wisc. ASA and SSSA. pp. 161-186.
- Chen, Y., Senesi, N., Schnitzer, M., 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Science Society of America Journal*. 41, 352-358.
- Cottenie, A., 1980. Soil and plant testing as a basis of fertilizer recommendation. *FAO Soils Bull.* 38, 70-73.
- Daur, I., 2014. Effect of humic acid on growth, protein and mineral composition of pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) r.br.] fodder. *Pakistan Journal of Botany*. 46, 505-509.
- Daur, I., Bakhshwain, A., 2013. Effect of humic acid on growth and quality of maize fodder production. *Pakistan Journal of Botany*. 45, 21-25.
- Davoodi fard, M., Habibi, D., Davoodi fard, F., 2012. Effects of salinity stress on membrane stability, chlorophyll content and yield components of wheat inoculated with plant growth promoting bacteria and humic acid. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*. 8, 71-86. [In Persian with English Summary].
- Demir, K., Gunes, A., Inal, A., Alpaslan, M., 1999. Effects of humic acids on the yield and mineral nutrition of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown with different salinity levels. *ISHS Acta Horticulturae*. 492, 95-103.
- El-Bassiony, A.M., Fawzy, Z.F., Abd El-Baky, M.M.H., Asmaa, R.M., 2010. Response of snap bean plants to mineral fertilizers and humic acid application. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 6, 169-175.
- El-Ghamry, A.M., Ghoneem, K.M., 2009. Amino and humic acids promote growth, yield and disease resistance of faba bean cultivated in clayey soil. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 3, 731-739.
- El-Monem, A.A., Saleh, M.M.S., Mostafaa, E.A.M., 2008. Minimizing the quality of mineral nitrogen fertilizers on grapevine by using humic acid, organic bio-fertilizers. *Research Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 4, 46-50.
- Fahramand, M., Moradi, H., Noori, M., Sobkhizi, A., 2014. Influence of humic acid on increase yield of plants and soil properties. *International Journal of Farming and Allied Sciences*. 3, 339-341.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1973. *Calcareous soils: Report of the FAO/UNDP regional seminar on reclamation and management of calcareous soils (FAO Soils Bulletin 21)*. Cairo, Egypt: FAO.
- Ghorbani, S., Khazaei, H., Kafi, M., Banayan aval, M., 2010. Effect of using humic in irrigation water on corn yield. *Journal of Agricultural Ecology*. 2, 111-118. [In Persian with English Summary]
- Heidari, M., Khalili, S., 2014. The effect of humic acid and phosphorus fertilizer on yield and flowers, photosynthetic pigments and amounts of mineral elements in plant roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Iranian Journal of Field Crop Science*. 45, 191-193. [In Persian with English Summary].
- Helal Aly, A., Murad, G.A., Helal, A.A., 2011. Characterization of different humic materials by various analytical techniques. *Arabian Journal of Chemistry*. 4, 51-54.
- Helmke, P.A., Sparks, D.L., 1996. Lithium, sodium, potassium, cesium, and rubidium. In: Sparks, D.L. (ed.), *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods and Processes*. Madison: Soil Science Society of America, Madison, WI, pp. 551-574.
- Hemati, A., Alikhani, H.A., Bagheri Marandi, G., Mohammadi, L., 2012. Assessment the possibility of humic acid extraction from vermicompost with Urea. *International Journal of Agriculture*. 2, 705-709.
- Senn, T.L., Kingman, A.R., 1973. *A review of Humus and Humic Acids*. Research Series No. 145, S.C. Agricultural Experiment Station, Clemson, South Carolina.
- Khaled, H., Fawy, H., 2011. Effect of different levels of humic acids on the nutrient content, plant growth, and soil properties under conditions of salinity. *Soil and Water Research*. 6, 21-29
- Lguiratia, A., Ait Baddib, G., El-Mousadik, A., Gilardd, V., Revele, J.C., Hafidi, M., 2005.

- Analysis of humic acids from aerated and non-aerated urban landfill composts. *International Biodeterioration and Biodegradation*. 56, 8–16.
- Liu, C., Cooper, R.J., Bowman, D.C., 1996. Humic acid application effects photosynthesis, root development and nutrient content of creeping bentgrass. *Crop Science*. 33, 1023-1025.
- Malakouti, M.J., Nafisi, M., 1994. Consumption of Fertilizer on Agricultural Land. Publications of Tarbiat Modares University., Tehran. Iran. [In Persian]
- Martínez, G.A., Traina, S.J., Logan, T.J., 1998. Characterization of proton affinity reactions in polyelectrolytes: discrete vs. continuous distribution of site approach. *Journal of Colloid and Interface Science*. 199, 53-62.
- Nardi, S., Pizzeghello, D., Muscolo, A., Vianello, A., 2002. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 34, 1527-1536.
- Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanabe, F.S., Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. USDA Circular 939, US Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Page, A.L., 1982. *Methods of Soil Analysis*. Agronomi 9, ASA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Qi, B.C., Aldrich, C., Lorenzen, L., 2004. Effect of ultrasonication on the humic acids extracted from lignocellulose substrate decomposed by anaerobic digestion. *Chemical Engineering Journal*. 98, 153-163.
- Rahi, A.R., Farzane, M.H., Safari Dolatabadi, S., Azizi, F., 2012. Study investigates the relationship between the morphological response curves *Agropyron cristatum* species are also effected by the amount of humic acid. *Journal of Research Plant and Ecosystem*. 8, 29-44. [In Persian with English Summary].
- Rhoades, J.D., 1982. Soluble salts. In: Page A.L. et al. (ed.), *Methods of Soil Analysis*. Part 2: Chemical and Microbiological Properties. Monograph Number 9 (Second Edition). ASA, Madison, WI, pp. 167-179.
- Rutan, B.S., Schnitzer, M., 2011. Effects of soil fulvic acid on the growth and nutrient content of cucumber (*Curcumas sativus*) plants. *Plant and Soil*. 63, 491-495.
- Sabzevari, S., Khazaie, H.R., Kafi, M., 2010. Study on the effects of humic acid on germination of four wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Iranian Field Crop Research*. 8, 473-480. [In Persian with English Summary].
- Saruhan, V., Kusvuran, A., Babat, S., 2011. The effect of different humic acid fertilization on yield and yield components performances of common millet (*Panicum miliaceum* L.). *Scientific Research and Essays*. 6, 663-669.
- Stevenson, F.J., 1982. *Humus Chemistry*. Genesis, Composition, Reactions; John Wiley and sons, Inc, New York. 43pp.
- Tan, K.H., 1978. Effects of humic and fluvic acids on release of fixed potassium. *Geoderma*. 21, 67-74.
- U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. Alkaline-earth carbonates by gravimetric loss of carbon dioxide. In: Richards, L.A. (ed.), *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agric. Handbook. 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 105.
- U.S. Salinity Laboratory Staff., 1954. pH reading of saturated soil paste. In: Richards L.A. (ed.) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. USDA Agricultural Handbook 60. U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. pp. 102.
- Ulukan, H., 2008. Effect of soil applied humic acid at different sowing times on some yield components in wheat (*Triticum* sp.) hybrids. *International Journal of Botany*. 4, 164-175.
- Waling, I., Van, W., Vark, V.J.G., Vander, L., 1989. *Soil and Plant Analysis, a Series of Sylladi*. Part 7. *Plant Analysis Procedures*. Wageningen Agriculture University.
- Walkley, A., Black, I.A., 1934. Chromic acid titration for determination of soil organic matter. *Soil Science*. 63, 251.
- Yang, C.M., Ming, C.W., Lu, Y.F., Chang, I.F., Chou, C.H., 2004. Humic substances effect the activity of chlorophylls. *Journal of Chemical Ecology*. 30, 1057-1065.