

## اثر دور آبیاری، بور و گوگرد بر غلظت برخی عناصر و وزن خشک غده شلغم

نادر خادم مقدم ایگده‌لو<sup>۱</sup>، احمد گلچین<sup>۲\*</sup>، لیلا اوصانلو<sup>۳</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱)

### چکیده

آبیاری مناسب و تغذیه مطلوب گیاه تأثیر چشم‌گیری بر عملکرد و کیفیت گیاه دارد. به‌منظور بررسی تأثیر دور آبیاری، سطوح گوگرد و بور بر عملکرد و کیفیت شلغم، آزمایشی به‌صورت اسپلیت اسپلیت پلات (کرت‌های دو بار خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه انجام شد. آبیاری به‌عنوان تیمار اصلی در سه سطح (۳، ۵ و ۷ روز یکبار)، گوگرد (صفر، ۴۰۰، ۸۰۰ و  $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ ) از منبع گوگرد پودری) و بور (صفر،  $1/7$ ،  $3/4$ ،  $5/1 \text{ kg ha}^{-1}$ ) بور از منبع اسید بوریک) هر کدام در چهار سطح به‌عنوان تیمار فرعی در نظر گرفته شدند. نتایج نشان داد که بین بیش‌ترین و کم‌ترین وزن خشک غده شلغم که به‌ترتیب از تیمارهای  $S_0B_0I_7$  و  $S_{800}B_{3.4}I_3$  به‌دست آمد، اختلافی برابر با  $82/3$  درصد وجود داشت. بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت گوگرد غده شلغم به‌ترتیب از تیمارهای  $S_0B_0I_5$  و  $S_{800}B_{3.4}I_3$  به‌میزان  $0/67$  و  $0/19$  درصد به‌دست آمد. در این مطالعه اثر سینرژیستی بین بور-پتاسیم و اثر آنتاگونیستی بین گوگرد-فسفر و بور-نیتروژن، گوگرد، کلسیم، منیزیم مشاهده شد. بیش‌ترین غلظت بور غده شلغم به‌میزان  $39/4 \text{ mg kg}^{-1}$  از تیمار  $S_0B_{3.4}I_3$  و کم‌ترین مقدار غلظت بور به‌میزان  $18/19 \text{ mg kg}^{-1}$  از تیمار  $S_{1200}B_0I_7$  به‌دست آمد. در کل می‌توان اظهار داشت که بیش‌ترین عملکرد غده شلغم و همین‌طور بهترین تعادل عناصر غذایی ماکرو و عنصر بور در تیمار  $S_{800}B_{3.4}I_3$  مشاهده شد.

**واژه‌های کلیدی:** آنتاگونیستی، براسیکا، سینرژیستی، غده، عناصر ماکرو

خادم مقدم ایگده‌لو ن.، گلچین ا.، اوصانلو ل. ۱۴۰۳. اثر دور آبیاری، بور و گوگرد بر غلظت برخی عناصر و وزن خشک غده شلغم. تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۱. صفحه: ۲۶-۳۷.

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

۲- استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان (مکاتبه کننده)

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی دانشگاه زنجان

\*پست الکترونیک: [agolchin2011@yahoo.com](mailto:agolchin2011@yahoo.com)

## مقدمه

گونه‌های براسیکا (Brassica) به دو گروه سبزیجات و دانه‌های روغنی تقسیم می‌شوند. نوع سبزیجات از لحاظ اقتصادی در سطح جهان با اهمیت‌ترین نوع است و شامل کلم چینی، پاک‌چوی<sup>۱</sup>، کلم، گل‌کلم، کلم بروکلی، شلغم و خردل است. این گروه تأمین‌کننده مواد شیمیایی مفید، ویتامین‌ها، مواد معدنی و فیبر است (Li et al., 2017). شلغم با نام علمی *Brassica rapa L.* از خانواده کلم یا Brassica است (Liu et al., 2017). شلغم گیاهی است که نه تنها از نظر داشتن ویتامین‌ها و مواد معدنی بلکه از لحاظ دارویی از جمله سبزی‌های مهم به حساب می‌آید.

یکی از اثرات سوء تنش خشکی ایجاد اختلال در روند جذب و تجمع عناصر غذایی در گیاه است که علاوه بر افزایش تلفات کود، می‌تواند باعث کاهش عملکرد دانه و علوفه شود (Alizadeh et al., 2008). جذب عناصر غذایی و آب قابل‌دسترس توسط ریشه‌های گیاه ارتباط نزدیکی با هم دارند. روابط آبی تمام فرایندهای فیزیولوژیک را که با حلالیت و قابل‌دسترس بودن عناصر غذایی ارتباط دارند، تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pirzad et al., 2015). از بین مکانیسم‌های جذب عناصر غذایی از خاک، مکانیسم انتشار به‌مقدار رطوبت کم‌تری جهت جذب عناصر غذایی نیازمند بوده و حتی با کاهش رطوبت تا آستانه بحرانی نیز روند جذب و انتقال بعضی از عناصر غذایی در این سیستم ادامه می‌یابد، ولی مکانیسم جریان توده‌ای وابستگی زیادی به‌مقدار رطوبت داشته و در صورت کاهش رطوبت، عناصری که به‌وسیله این جریان انتقال می‌یابد، روند جذب منفی خواهند داشت (Sodaeizadeh & Mansouri, 2014).

استفاده از کودهای شیمیایی، عمدتاً به کاربرد نیتروژن، گوگرد و سایر عناصر پرمصرف محدود شده و توجه زیادی به کاربرد عناصر کم‌مصرف غذایی مانند بور نشده است. وجود pH قلیایی در خاک‌های آهکی باعث کمبود عناصر کم‌مصرف از جمله بور می‌شود. فاصله بین کمبود و حد سمیت بور بسیار باریک بوده، بنابراین بور عنصری بوده که نه تنها برای تولید بیش‌تر بلکه برای افزایش کیفیت محصولات تولیدی نیز ضروری است (Ali et al., 2005).

2005). کمبود بور موجب ناهنجاری‌های رشد از قبیل جلوگیری از تولید شدن ریشه‌ها، تشکیل گل و تولید دانه می‌شود. قهوه‌ای شدن داخلی موسوم به قلب قهوه‌ای<sup>۲</sup> یکی از ناهنجاری‌های فیزیولوژیکی است که در اثر کمبود بور در گیاهانی مانند تربچه (*Raphanus sativus L.*)، شلغم و rutabaga (*Brassica napus L.*) دیده می‌شود (Sotta et al., 2019). بعضی از گیاهان مانند گندم، جو، ذرت، شبدر و یونجه نیاز کمی به بور دارند. در صورتی که گیاهانی مانند شلغم، کلم، کلم بروکلی و کلم بروکسل از گیاهان پر نیاز به مصرف بور می‌باشند (Ali et al., 2005). کمبود بور در گیاهان منجر به کاهش محصول، از بین رفتن کیفیت محصول و یا هر دوی این عوامل به‌طور توأم می‌گردد. کمبود بور در گیاهان منجر به آبکی و قهوه‌ای شدن مغز rutabaga (نوعی کلم) و ریشه تربچه، ترک برداشتن و شکننده شدن ساقه کرفس، سیاه و فاسد شدن مغز چغندرقتند، پوک شدن و توخالی شدن گل‌کلم، ایجاد لکه‌های قهوه‌ای روشن در سیب‌زمینی شیرین، چوب پنبه‌ای شدن سیب و از بین رفتن جوانه تنباکو می‌شود (Barker, 2015).

گوگرد نیز یک عنصر ضروری برای بیوسنتز متابولیت‌های ثانویه بوده و دارای ارزش غذایی بالایی است و معمولاً در گونه‌های براسیکا به‌مقدار زیادی وجود دارد (De Pascale et al., 2007). گلوکوزینولات‌ها<sup>۳</sup> متابولیت‌های ثانویه غنی از گوگرد هستند که از آمینواسیدها و قندها تشکیل شده و هیدرولیز آن‌ها مسئول ایجاد طعم خاص گیاهان خانواده براسیکاها است (Wang et al., 2011). وضعیت تغذیه‌ای گیاهان به شدت بر میزان بیان و فعالیت ناقلین سولفات در گیاهان که وظیفه جذب سولفات در ریشه‌ها و انتقال آن به بخش‌های هوایی را دارد، تأثیرگذار است. بخش عمده‌ای از سولفات جذب شده در کلروپلاست بخش‌های هوایی گیاهان به سولفید کاهش یافته و به شکل اسید آمینه سیستئین در می‌آیند (Aghajanzadeh et al., 2016). تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که کلزا و دانه‌های روغنی شدیداً به کودهای گوگردی در خاک‌هایی با کمبود گوگرد عکس‌العمل نشان می‌دهند. کاربرد تقریباً  $20 \text{ kg ha}^{-1}$  گوگرد می‌تواند

3- Glucosinolates

1- Pak choi

2- Brown heart

۸۰۰ و  $1200 \text{ kg ha}^{-1}$  از منبع گوگرد پودری میکرونیزه) و بور به عنوان تیمار فرعی فرعی در چهار سطح (صفر،  $1/7$ ،  $3/4$ ،  $5/1 \text{ kg ha}^{-1}$  بور از منبع اسید بوریک) در نظر گرفته شدند. سپس ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی آن از قبیل pH و EC در عصاره اشباع، بافت خاک به روش هیدرومتری (Bouyoucos, 1928)، درصد کربن آلی به روش والکلی و بلک (Nelson & Sommers, 1996)، درصد کربنات کلسیم معادل (Nelson, 1982)، نیتروژن کل خاک با استفاده از هضم کجدال (Bremner & Mulvaney, 1996)، پتاسیم قابل جذب با استفاده از استات آمونیوم (Helmke & Sparks, 1996)، غلظت فسفر قابل جذب خاک به روش السن (Olsen, 1954)، غلظت عناصر آهن، روی، مس و منگنز قابل جذب خاک با استفاده از DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) و دستگاه جذب اتمی مدل Varian- Spectr AA-100 و غلظت بور در عصاره آب داغ به روش آزمونین H و با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل S2000 UV/Vis تعیین (Keren, 1996) و در جدول (۱) ارائه شده است.

نیاز بالای گوگردی کلزا را برطرف نماید (Ahmad *et al.*, 2007)، اما پاسخ‌های ضد و نقیضی از ارقام براسیکا به کودهای گوگردی تحت شرایط کنترل شده و در مطالعات مزرعه‌ای گزارش شده است (Ahmad *et al.*, 2007).

هدف از این مطالعه بررسی تأثیر دور آبیاری، سطوح مختلف گوگرد و بور بر وزن خشک غده شلغم و غلظت عناصر غذایی ماکرو و هم‌چنین بور در غده این گیاه می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف آبیاری، گوگرد و بور بر عملکرد و کیفیت شلغم، آزمایشی به صورت اسپلیت اسپلیت پلات (کرت‌های دوبار خرد شده) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در شرایط مزرعه‌ای انجام شد. آبیاری به عنوان کرت اصلی در سه سطح (سه روز یکبار ( $I_3$ )، پنج روز یکبار ( $I_5$ ) و هفت روز یکبار ( $I_7$ ))، گوگرد به عنوان کرت فرعی در چهار سطح (صفر،  $400$ ،

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی خاک مورد استفاده در آزمایش

Table 1. Physicochemical properties of the soil used in the experiment

Characteristics	Unit	Value	Characteristics	Unit	Value
sand	%	32	Available P	$\text{mg kg}^{-1}$	36
silt	%	29	Available K	$\text{mg kg}^{-1}$	283
clay	%	39	Available Fe	$\text{mg kg}^{-1}$	2.6
texture	-	Clay loam	Available Zn	$\text{mg kg}^{-1}$	0.9
Total N	%	0.07	Available Cu	$\text{mg kg}^{-1}$	1.14
EC	$\text{dSm}^{-1}$	1.8	Available Mn	$\text{mg kg}^{-1}$	4.2
pH	-	7.46	Available B	$\text{mg kg}^{-1}$	0.48
Calcium carbonate equilibrium	%	17.5			

برای تهیه تیمارهای آزمایشی از دو ماده گوگرد پودری میکرونیزه (لندازه ذرات کوچک‌تر از  $0/3 \text{ mm}$ ) و اسید بوریک ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ) استفاده شد. تا مرحله سه سه برگی گیاهچه‌ها، آبیاری به صورت یکنواخت انجام شد، ولی پس از استقرار گیاهچه‌ها و عملیات تنک و وجین علف‌های هرز، تیمارهای آبیاری اعمال گردید. با توجه به این که آب با لوله به محل کرت پمپاژ می‌شد، طبق محاسبات انجام شده، برای هر کرت در هر دور آبیاری،  $300$  لیتر آب مصرف می‌شد (دبی لوله انتقال آب  $Q=30 \text{ Lmin}^{-1}$ ). شش ماه پس از کاشت بذور، بخش هوایی گیاهان از غده‌ها جدا شده و غده‌ها بعد از شستشو

برای اجرای این آزمایش از بذر شلغم (*Brassica rapa* L.)، رقم Gold Rush وارداتی فرانسوی استفاده شد. در زمین محل آزمایش، پس از عملیات شخم و تهیه بستر، کرت‌هایی به ابعاد  $2 \times 1/6$  متر تهیه شد. فاصله بین کرت‌های آزمایش  $0/5$  متر و بین تکرارها  $2$  متر در نظر گرفته شد. مقادیر مختلفی از گوگرد و بور بر حسب نوع تیمار آزمایشی قبل از کاشت به کرت‌های آزمایشی اضافه و با خاک مخلوط شد. عملیات کاشت به صورت دستی و به طریق جوی و پشته انجام شد. فاصله بین ردیف‌های کاشت  $40$  سانتی‌متر و فاصله بین بوته‌ها در روی ردیف‌های کشت  $10$  سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۲ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن صورت گرفت. ترسیم نمودارها نیز با کمک نرم افزار Excel انجام شد.

### نتایج و بحث

#### تأثیر دور آبیاری، سطوح گوگرد و بور بر وزن خشک غده شلغم

نتایج به‌دست آمده از جدول تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که همه فاکتورهای مورد استفاده بر وزن خشک غده شلغم معنی‌دار بود ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۲).

با آب مقطر در داخل پاکت‌های کاغذی قرار داده شده و در دمای  $60^{\circ}\text{C}$  به مدت ۷۲ ساعت خشک شده و توزین شدند. غده‌ها پس از آسیاب و الک شدن به‌وسیله اسید نیتریک غلیظ و آب اکسیژنه ۳۰ درصد در دمای  $120^{\circ}\text{C}$  هضم شدند (Tang & Miller, 1991). غلظت نیتروژن با استفاده از دستگاه کجلدال، غلظت پتاسیم به‌وسیله دستگاه فلیم فتومتر، غلظت کلسیم و منیزیم با دستگاه جذب اتمی مدل VarianAA20-1973، غلظت فسفر غده‌ها به‌وسیله رنگ‌سنجی و با دستگاه اسپکتروفوتومتر (Cavell, 1955)، غلظت گوگرد به‌روش مایلر ( Mailer, 1989) و غلظت بور در نمونه‌های گیاهی با روش ایجاد رنگ زرد با آزومتین H اندازه‌گیری شد (Lohse, 1982).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایشی بر غلظت عناصر غذایی پرمصرف و وزن خشک غده شلغم

Table 2. The results of analysis of variance of the effects of experimental treatments on the concentration of macro-element nutrients and dry weight of turnip tuber

Source of variation	df	S	N	P	K	Ca	Mg	B	Dry weight of tuber
mean squares									
block	2	0.00035 <sup>ns</sup>	0.95862 <sup>ns</sup>	0.00209 <sup>ns</sup>	0.00212 <sup>ns</sup>	0.00917 <sup>ns</sup>	0.00005 <sup>ns</sup>	1.78 <sup>ns</sup>	2.8 <sup>ns</sup>
Irrigation (I)	2	0.05306 <sup>**</sup>	15.68185 <sup>**</sup>	2.23693 <sup>**</sup>	0.37401 <sup>**</sup>	0.20134 <sup>**</sup>	0.00030 <sup>**</sup>	169.88 <sup>**</sup>	2302 <sup>**</sup>
Error a	4	0.00061 <sup>ns</sup>	0.17566 <sup>ns</sup>	0.00168 <sup>ns</sup>	0.00057 <sup>ns</sup>	0.00010 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	0.36 <sup>ns</sup>	2 <sup>ns</sup>
Sulfur (S)	3	0.84301 <sup>**</sup>	0.18031 <sup>ns</sup>	0.04306 <sup>**</sup>	0.12407 <sup>**</sup>	0.056191 <sup>**</sup>	0.00027 <sup>**</sup>	587.34 <sup>**</sup>	1035 <sup>**</sup>
I×S	6	0.00286 <sup>**</sup>	0.00666 <sup>ns</sup>	0.00174 <sup>ns</sup>	0.00043 <sup>ns</sup>	0.00013 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	14.66 <sup>**</sup>	112.6 <sup>**</sup>
Error b	18	0.00043 <sup>ns</sup>	0.04509 <sup>ns</sup>	0.00181 <sup>ns</sup>	0.00043 <sup>ns</sup>	0.00046 <sup>ns</sup>	0.00001 <sup>ns</sup>	0.60 <sup>ns</sup>	2.6 <sup>ns</sup>
Boron (B)	3	0.02275 <sup>**</sup>	0.52564 <sup>**</sup>	0.00403 <sup>ns</sup>	0.00577 <sup>**</sup>	0.00021 <sup>ns</sup>	0.00014 <sup>**</sup>	757.64 <sup>**</sup>	925.4 <sup>**</sup>
B×S	9	0.00125 <sup>**</sup>	0.01993 <sup>ns</sup>	0.00180 <sup>ns</sup>	0.00022 <sup>ns</sup>	0.00008 <sup>ns</sup>	0.00003 <sup>ns</sup>	55.70 <sup>**</sup>	28 <sup>**</sup>
B×I	6	0.00074 <sup>*</sup>	0.08307 <sup>ns</sup>	0.00226 <sup>ns</sup>	0.01123 <sup>**</sup>	0.00173 <sup>ns</sup>	0.00011 <sup>**</sup>	11.71 <sup>**</sup>	60.4 <sup>**</sup>
B×S×I	18	0.00105 <sup>**</sup>	0.01689 <sup>ns</sup>	0.00173 <sup>ns</sup>	0.00015 <sup>ns</sup>	0.00007 <sup>ns</sup>	0.00002 <sup>ns</sup>	2.34 <sup>**</sup>	9.4 <sup>**</sup>
error	-	0.00033	0.11444	0.00181	0.00058	0.00092	0.00002	0.47	3.6
CV	-	6.83	12.29	8.64	13.55	9.95	10.22	7.56	8.17

<sup>ns</sup>, <sup>\*\*</sup> and <sup>\*</sup> are not significant and significant at  $P \leq 0.01$  and  $P \leq 0.05$ , respectively

خشک غده شلغم بین تیمارهای  $S_0B_0I_7$  و  $S_{800}B_{3.4}I_3$  وجود داشت (شکل ۱).

نتایج اثرات متقابل سطوح گوگرد، بور و دور آبیاری نشان داد که حداکثر اختلاف معنی‌دار (۸۲/۳ درصدی) وزن

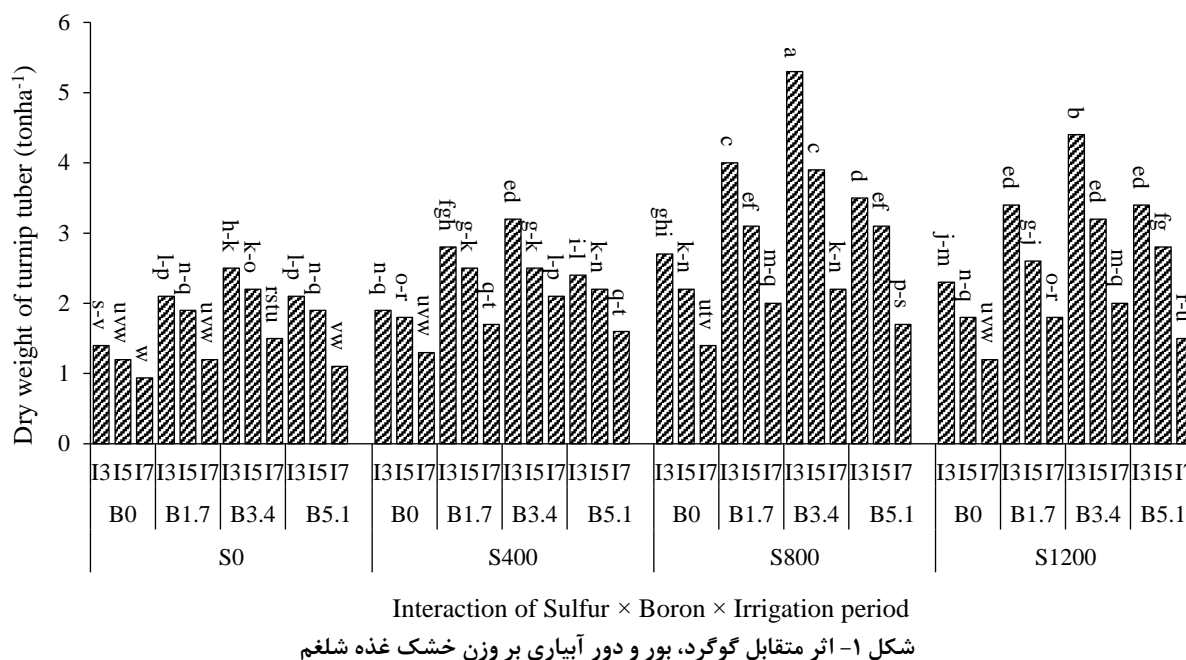


Figure 1. Interaction effect of Sulfur, Boron, and Irrigation period on dry weight of turnip tuber

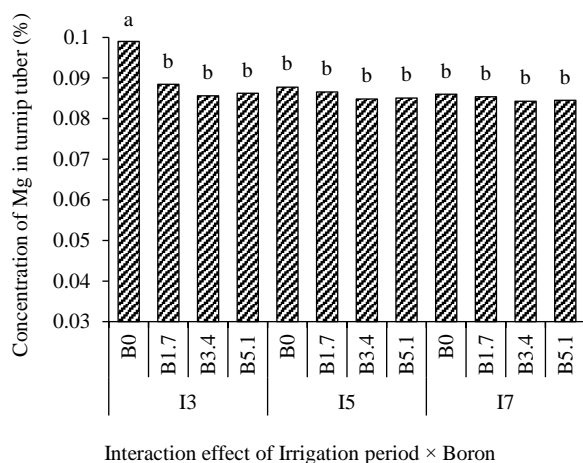
تیمار  $I_7B_0$  مشاهده شد (شکل ۲). پتاسیم بیش تر از طریق جریان پخشیدگی جذب می شود، بنابراین برای جذب شدن به رطوبت های پایین خاک چندان حساس نیست ( $I_5$ ) و از سوی دیگر عرضه کافی بور ( $I_{5.1}$ ) با تحریک فعالیت پمپ هیدروژنی موجود در غشای سلولی باعث جذب بیش تر پتاسیم توسط ریشه ها می شود (Atique-ur-Rehman *et al.* 2018). پیرزاد و همکاران (Pirzad *et al.* 2015) نشان دادند که میزان جذب عنصر نیتروژن و پتاسیم برگ بابونه آلمانی تحت تأثیر سطوح آبیاری قرار نگرفت، اما اثر رژیم های رطوبتی بر میزان فسفر، کلسیم و منیزیم برگ معنی دار بود. سامارا و همکاران (Samarah *et al.* 2004) گزارش کردند که در شرایط تنش خشکی از میزان تجمع عناصر پتاسیم، فسفر، نیتروژن و کلسیم در سویا کاسته شد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق مطابقت داشت. بیش ترین غلظت منیزیم در غده شلغم تحت تأثیر برهم کنش بین دور آبیاری و بور در تیمار  $I_3B_0$  مشاهده شد و کم ترین غلظت آن نیز در بقیه تیمارها دیده شد که از لحاظ آماری اختلاف معنی دار با هم نداشتند ( $P \leq 0.01$ ) (شکل ۳). عنصر منیزیم هم مثل سولفات از طریق جریان توده ای جذب می شود (Havlin *et al.* 2016) (نیاز به آب بیش تر مثل دور آبیاری هر سه روز یکبار ( $I_3$ ))، با توجه

فتوسنتز نسبت به کمبود و بیش بود بور حساس نیست. هر چند که کمبود بور می تواند به طور غیرمستقیم و با کاهش سطح فتوسنتز کننده و تغییر اجزاء برگ، فرایند فتوسنتز را متأثر سازد. کمبود بور با کاهش کلروفیل و مقدار پروتئین محلول برگ ها منجر به کاهش فعالیت آنزیم های فتوسنتزی شده و این عمل واکنش هیل را متوقف کرده و خالص فتوسنتز را کاهش می دهد (Farooq *et al.* 2018). از این رو، در شرایط کمبود بور وزن خشک غده ها کاهش می یابد، چنان که در تیمار  $S_0B_0I_7$  شاهد آن بودیم. از آن جایی که بور بیش تر از طریق جریان توده ای جذب می شود، بنابراین با افزایش فواصل آبیاری جذب آن کاهش می یابد. فرزانه و همکاران (Farzaneh *et al.* 2010) گزارش کردند که مصرف کافی بور با افزایش سطح برگ، میزان فتوسنتز، درصد ماده خشک میوه، تعداد میوه و اندازه میوه، افزایش عملکرد را در پی داشت.

#### تأثیر دور آبیاری و برهم کنش های آن بر غلظت عناصر غذایی ماکرو

اثر متقابل دور آبیاری و بور بر غلظت پتاسیم موجود در غده شلغم نشان داد که بیش ترین غلظت عنصر مذکور در تیمار  $I_5B_{5.1}$  حاصل شد و کم ترین غلظت آن نیز در

(شکل ۳). با توجه به رابطه سینرژستی بین بور-پتاسیم و رابطه آنتاگونیستی بین پتاسیم-منیزیم، برای جذب بیش تر منیزیم باید جذب بور کاهش یابد، بنابراین بیش ترین جذب منیزیم در سطوح کم تر بور رخ داد ( $B_0$ ).

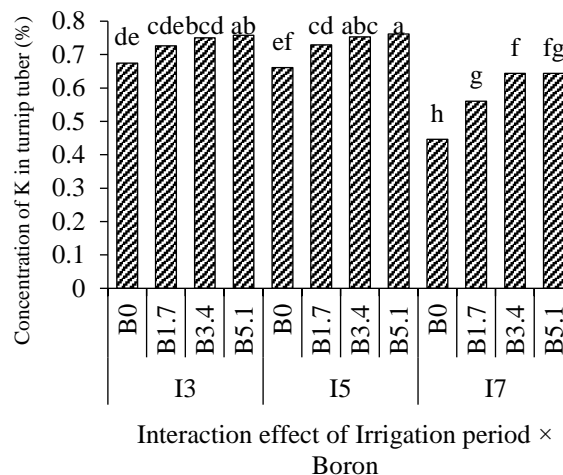


شکل ۳- اثر متقابل دور آبیاری و بور بر درصد منیزیم موجود در غده شلغم

Figure 3. Interaction effect of Irrigation period and Boron on the Mg concentration of turnip tuber

۵- فسفوسولفات رداکتاز (APR) ایجاد می شود. تنظیم بیان ژن های کدکننده ناقلین سولفات ( $Sultr4;1$  و  $4;2$ ) در شرایط بیش بود سولفات در محیط ریشه با وجود کلسیم کاهش پیدا می کند (Reich *et al.* 2018). در نتیجه با افزایش غلظت کلسیم در ریشه شلغم، انتقال سولفات از ریشه به بخش های هوایی کاهش یافته و غلظت سولفات نیز در غده مثل کلسیم افزایش می یابد. گونه های براسیکا غلظت گوگرد بیش تری نسبت به سایر گیاهان به دلیل سنتز گلوکوزینولات و همین طور آمینواسیدها و پروتئین ها نیاز دارند. غلظت گلوکوزینولات می تواند با عرضه گوگرد و نیتروژن تحت تأثیر قرار گیرد. عرضه متعادل گوگرد و نیتروژن نقش مهمی در تنظیم سنتز گلوکوزینولات در شلغم، خردل، کلم و کلم بروکلی بازی می کند (Falvo *et al.* 2009). با ورود گوگرد به خاک این ماده اکسید شده و با تولید اسید سولفوریک باعث کاهش pH خاک می گردد. کاهش pH خاک موجب افزایش حلالیت یون های آهن، منگنز و آلومینیوم شده و با افزایش حلالیت این عناصر واکنش

به این که با جذب بور غلظت عنصر پتاسیم بیش تر می شود (رابطه سینرژستی بین بور-پتاسیم) و نیز با توجه به رابطه آنتاگونیستی بین پتاسیم و منیزیم وجود دارد (Osman, 2013)، بنابراین برای جذب بیش تر عنصر منیزیم باید جذب بور کاهش یابد ( $B_0$ )، لذا در تیمار  $I_3B_0$  بیش ترین غلظت عنصر منیزیم مشاهده گردید



شکل ۲- اثر متقابل دور آبیاری و بور بر درصد پتاسیم موجود در غده شلغم

Figure 2. Interaction effect of Irrigation period and Boron on the K concentration of turnip tuber

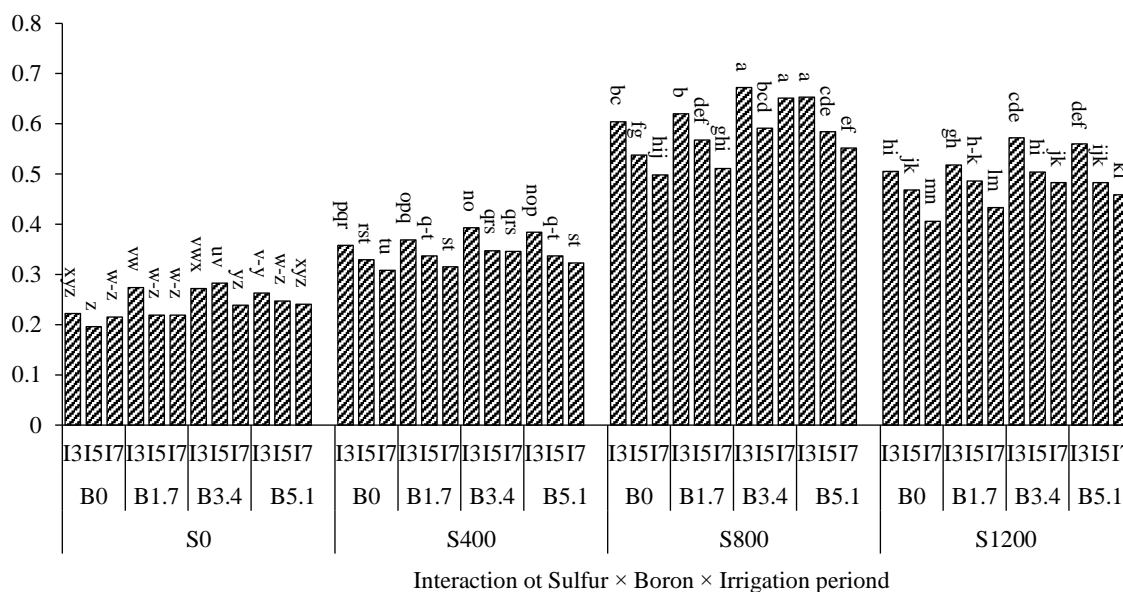
بیش ترین غلظت کلسیم غده به میزان  $0.37$  درصد از تیمار  $I_3$  و کم ترین غلظت آن به میزان  $0.25$  درصد از تیمار  $I_7$  به دست آمد (جدول ۳). سودائی زاده و منصورى (Sodaeizadeh & Mansouri, 2014) نشان دادند که با افزایش تنش خشکی در گیاه مریم گلی، میزان تجمع ماده خشک و غلظت عناصر پتاسیم، کلسیم، منیزیم، نیتروژن و فسفر کاهش می یابد، ولی غلظت عناصر سدیم، کلر، روی، آهن و مس و همچنین قند محلول افزایش می یابد.

### تأثیر گوگرد و برهم کنش های آن بر غلظت عناصر غذایی ماکرو

با افزایش سطوح گوگرد به  $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ ، حلالیت کانی های حاوی کلسیم افزایش پیدا می کند و جذب کلسیم توسط ریشه ها بیش تر می شود. وجود مقادیر کافی کلسیم در ریشه گیاهان از افزایش ترکیبات آلی حاوی گوگرد جلوگیری می کند. این عمل به وسیله کاهش بیان ژن ATP-سولفوریلاز (ATPS) و آندوزین

مصرف گوگرد و جذب بیش‌تر یون پتاسیم و کلسیم از میزان جذب منیزیم کاسته می‌شود (Malakuti & Tabatabai, 2005) و افزایش جذب کلسیم با افزایش بار منفی سلول‌های ریشه، به‌دلیل آنتی‌پورترهای Ca/H اتفاق می‌افتد (Navarro-León *et al.* 2018). بیش‌ترین و کم‌ترین غلظت گوگرد غده شلغم به‌ترتیب از تیمارهای  $S_0B_0I_5$  و  $S_{800}B_{3.4}I_3$  به‌میزان ۰/۶۷ و ۰/۱۹ درصد به‌دست آمد (شکل ۴). با افزایش غلظت گوگرد در محیط رشد ریشه‌ها، جذب آن نیز افزایش می‌یابد ( $S_{800}$ ) و از آنجایی که حرکت گوگرد و بور در محلول خاک توسط جریان توده‌ای اتفاق می‌افتد (Havlin *et al.* 2016)، لذا نیاز به آب کافی (رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) دارد که این رطوبت یک الی سه روز پس از آبیاری در شرایط مزرعه حاکم می‌شود (Abdolrahmani Razkeh & Farrokhi Timourlou, 2015) و آبیاری هر سه روز یکبار ( $I_3$ ) این شرایط را فراهم می‌کند. همان‌گونه که در شکل (۴) دیده شد، با افزایش سطح گوگرد تا  $800 \text{ kg ha}^{-1}$ ، غلظت آن در گیاه نیز افزایش یافت، ولی با افزایش سطح گوگرد به  $1200 \text{ kg ha}^{-1}$ ، غلظت گوگرد در غده‌ها کاهش یافت. با افزایش سطح گوگرد به‌دلیل رابطه آنتاگونیستی موجود بین سولفات و بورات (Abdin *et al.* 2003)، گوگرد مانع جذب بور توسط گیاه شده و در نتیجه به‌دلیل کمبود بور ایجاد شده و یا به‌دلیل سمیت گوگرد ایجاد شده در گیاه رشد آن و همین‌طور وزن خشک آن نیز کاهش یافت (شکل ۱). علاوه بر این، در این سطح از گوگرد، غلظت بور در غده‌ها نیز کاهش یافت (شکل ۵).

آن‌ها با فسفر بیش‌تر شده و در نتیجه فسفر تثبیت شده و لذا از میزان فسفر قابل جذب خاک کاسته می‌شود (khadem *et al.* 2015). تحقیقات یولداس و همکاران (Yoldas *et al.* 2008) نیز نشان داد که با افزایش مصرف گوگرد، غلظت فسفر در گل کلم افزایش یافت. تغییر شکل گوگرد در خاک و جذب آن به‌صورت سولفات باعث افزایش بار منفی در سلول‌های ریشه می‌شود و گیاه برای ایجاد تعادل بار اقدام به جذب کاتیون‌ها می‌کند و در نتیجه جذب کاتیون‌هایی مثل کلسیم و پتاسیم افزایش می‌یابد (Yoldas *et al.* 2008). نتایج نشان دادند که افزایش مصرف گوگرد علاوه بر افزایش غلظت پتاسیم، موجب افزایش معنی‌دار غلظت کلسیم غده نیز شد. با افزایش مصرف گوگرد تا سطح  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  ۱۲۰۰ گوگرد، مقدار کلسیم غده افزایش یافت. در غشای گیاهان و همین‌طور اندامک‌ها، تبادل‌گرهای کاتیون/پروتون (CAXs) وجود دارند که جزو خانواده آنتی‌پورترهای Ca/H هستند و مسئول جلوگیری از ناهنجاری‌های ناشی از کلسیم و تنظیم pH درون سلول‌ها به‌شمار می‌روند. در شلغم این آنتی‌پورترها فعال‌تر هستند و تجمع کلسیم در سلول‌های مزوفیل آن‌ها بیش‌تر دیده می‌شود، لذا با افزایش غلظت کلسیم در شلغم، غلظت منیزیم کاهش یافت (Navarro-León *et al.* 2018). با افزایش مصرف گوگرد تا سطح  $1 \text{ kg ha}^{-1}$  ۱۲۰۰، از غلظت منیزیم غده کاسته شد. با مصرف گوگرد بار منفی در سلول‌های ریشه افزایش یافته و در نتیجه جذب کاتیون‌هایی نظیر  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{K}^{+}$  افزایش می‌یابد، با توجه به این‌که بین یون‌های کلسیم و پتاسیم با منیزیم اثر آنتاگونیستی وجود دارد، بنابراین با افزایش



شکل ۴- اثر متقابل سطوح مختلف گوگرد، بور و دور آبیاری بر غلظت گوگرد غده شلغم

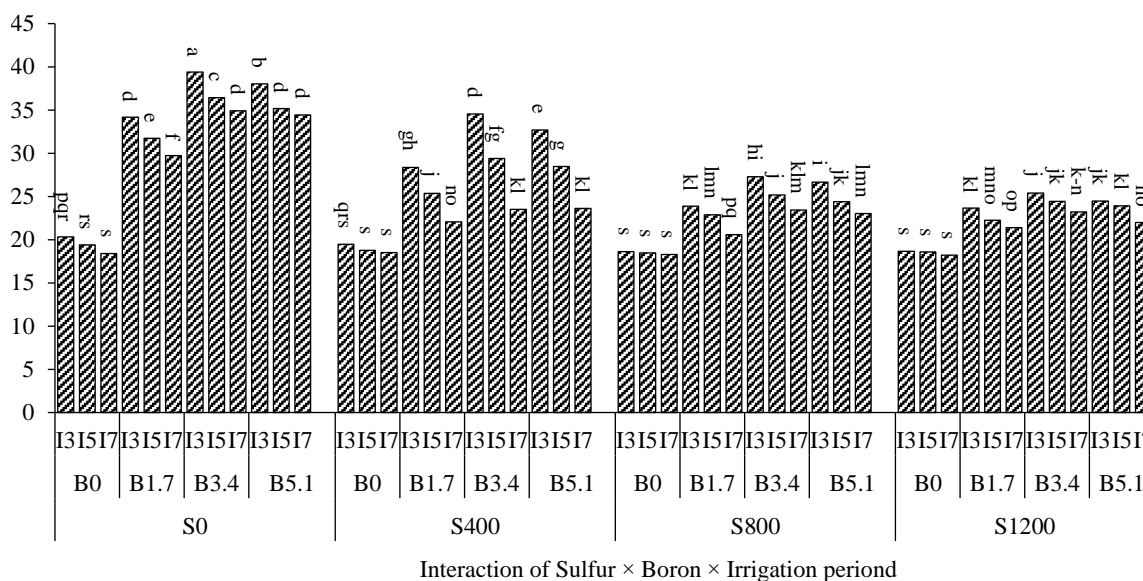
Figure 4. Interaction effect of Sulfur, Boron, and Irrigation period on concentration of Sulfur in turnip tuber

۳۹/۴ از تیمار  $S_0B_{3.4}I_3$  و کمترین مقدار غلظت بور به میزان  $118/19 \text{ mgkg}^{-1}$  از تیمار  $S_{1200}B_0I_7$  به دست آمد (شکل ۵). رابطه آنتاگونیستی بین بورات-سولفات وجود دارد، لذا زیادی یکی از جذب دیگری جلوگیری می کند (Abdin *et al.* 2003)، به همین دلیل است که در تیمار  $S_0B_{3.4}I_3$  وقتی که غلظت بور افزایش می یابد ( $B_{3.4}$ )، غلظت سولفات باید کم باشد ( $S_0$ ) و از طرفی چون بورات بیش تر از طریق جریان توده ای حرکت می کند، پس باید رطوبت خاک بیش تر باشد ( $I_3$ ).

#### تأثیر بور و برهم کنش های آن بر غلظت عناصر غذایی ماکرو

نتایج نشان داد که مصرف  $1/7 \text{ kg ha}^{-1}$  بور منجر به ایجاد بیش ترین غلظت نیتروژن در غده شلغم شد، ولی مصرف مقادیر بیش تر بور، غلظت نیتروژن غده را کاهش داد، چون هر دو یون به صورت آنیون جذب می شوند، لذا جذب یکی، جذب دیگری را کاهش می دهد. نتایج نشان داد که اثر متقابل سطوح مختلف گوگرد، بور و دور آبیاری بر غلظت بور غده شلغم معنی دار شد ( $P \leq 0.01$ ) (جدول ۲). بیش ترین غلظت بور غده شلغم به میزان  $\text{mgkg}^{-1}$





شکل ۵- اثر متقابل سطوح مختلف گوگرد، بور و دور آبیاری بر غلظت بور غده شلغم

Figure 5. Interaction effect of Sulfur, Boron, and Irrigation period on concentration of Boron in turnip tuber

موجود در غده افزایش یافته و برعکس غلظت کلسیم و منیزیم کاهش یافت. بیشترین غلظت گوگرد و بور موجود در غده شلغم به ترتیب از تیمارهای  $S_{800}B_{3.4}I_3$  و  $S_0B_{3.4}I_3$  به میزان ۰/۶۷ درصد و  $39/4 \text{ mgkg}^{-1}$  به دست آمد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان اظهار کرد که با کاربرد تیمار  $S_{800}B_{3.4}I_3$  می‌توان ضمن دستیابی به بیشترین عملکرد و تأمین نیاز بور گیاه، غلظت گوگرد و سایر عناصر ماکرو به قدر کفایت برای شلغم قابل دسترس خواهد بود.

### نتیجه‌گیری کلی

براساس نتایج این تحقیق بهترین دور آبیاری برای شلغم هر سه روز یکبار ( $I_3$ ) بود که موجب شد بیشترین غلظت عناصر ماکرو در غده شلغم در این دور از آبیاری به دست آید. حداکثر عملکرد غده شلغم در تیمار  $S_{800}B_{3.4}I_3$  به میزان  $5/3 \text{ tonha}^{-1}$  حاصل شد. با افزایش کاربرد گوگرد، جذب کلسیم افزایش یافته و این منجر به کاهش جذب گوگرد در سطوح بالا شد. نتایج نشان داد که با افزایش جذب بور توسط گیاه، غلظت پتاسیم

### References

- Abdin M.Z., Ahmad A., Khan N., Khan I., Jamal A., and Iqbal M. 2003. Sulphur interaction with other nutrients. In: Abrol Y.P., Ahmad A. (Eds.), Sulphur in plants, Springer, Dordrecht, pp. 359-374.
- Abdolrahmani Razkeh, N., and Farrokhi Timourlou. R. 2015. Determining soil indices and water balance for scheduling an irrigation control center. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 46(4): 425-433. (In Persian)
- Aghajanzadeh T., Hawkesford M.J., and De Kok L.J. 2016. Atmospheric  $H_2S$  and  $SO_2$  as sulfur sources for *Brassica juncea* and *Brassica rapa*: Regulation of sulfur uptake and assimilation. *Environmental and Experimental Botany*, 124: 1-10.
- Ahmad G., Jan A., Arif M., Jan M.T., and Khattak R.A. 2007. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. *Journal of Zhejiang University Science B*, 8(10): 731-737.
- Ali H.A., Dembitsky V.M., and Srebnik M. 2006. Contemporary Aspects of Boron: Chemistry and Biological Applications. Elsevier, Amsterdam, 631p.
- Alizadeh O., Majedi E., and Nour Mohammadi Gh. 2008. Effect of water stress and soil nitrogen on nutrients absorption in corn plant ksc 704. *Journal of Research In Agricultural Science*, 4(1): 51-59. (In Persian)
- Atique-ur-Rehman Farooq M., Rashid A., Nadeem F., Stuerz S., Asch F., Richard W.B., and Siddique, K.H.M. 2018. Boron nutrition of rice in different production systems. A review.

- Agronomy for Sustainable Development*, 38(3): 24–38.
- Barker A.V. 2015. Handbook of plant nutrition. Taylor & Francis, Kansas, 774p.
- Bouyoucos G.J. 1928. The hydrometer method for studying soils. *Soil Science*, 25(5): 365-370.
- Bremner J.M., and Mulvaney C.S. 1996. Nitrogen-Total. Methods of Soil Analysis, Part 2. *Soil Science Society of America Book Series*, 5: 1085–1121.
- Cavell A.J. 1955. The colorimetric determination of phosphorus in plant materials. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 6(8): 479-480.
- De Pascale S., Maggio A., Pernice R., Fogliano V., and Barbieri G. 2007. Sulphur fertilization may improve the nutritional value of *Brassica rapa* L. subsp. *sylvestris*. *European Journal of Agronomy*, 26(4): 418–424.
- Falovo C., Colla G., Schreiner M., Krumbein A., and Schwarz D. 2009. Effect of nitrogen form and radiation on growth and mineral concentration of two Brassica species. *Scientia Horticulturae*, 123(2): 170–177.
- Farooq M., Rashid A., Nadeem F., Stuerz S., Asch F., Bell R.W., and Siddique K.H.M. 2018. Boron nutrition of rice in different production systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3): 25.
- Farzaneh N., Gholchin A., and Hashemi Majd K. 2010. The Effect of Nitrogen and Boron on Growth, Yield and Concentration of Some Nutrient Elements of Tomato. *Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture*, 1(2): 19-29. (In Persian)
- Havlin J.L., Tisdale S.L., Nelson W.L., and Beaton J.D. 2016. Soil fertility and fertilizers. Pearson, New York, 528p.
- Helmke P.A., and Sparks D.L. 1996. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. Methods of Soil Analysis Part 3-Chemical Methods. *Soil Science Society of America Journal*, 3: 551–574.
- Keren R. 1996. Boron. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis-Part 3. Chemical Methods. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 603-621.
- khadem A., Golchin A., Mashhadi Jafarloo A., Zaree E., and Naseri E. 2015. Effect of Highly Acidified Soil on Soil Nutrient Availability and Corn (*Zea mays* L.) Growth. *Applied Field Crops Research*, 28(107): 1-7. (In Persian)
- Li X., Pang W., and Piao Z. 2017. Omics Meets Phytonutrients in Vegetable Brassicas: For Nutritional Quality Breeding. *Horticultural Plant Journal*, 3(6): 247–254.
- Lindsay W.L., and Norvell W.A. 1978. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of America Journal*, 42: 421–428.
- Liu Y., Yin X., Yang Y., Wang C., and Yang Y. 2017. Molecular cloning and expression analysis of turnip (*Brassica rapa* var. *rapa*) sucrose transporter gene family. *Plant Diversity*, 39(3): 123–129.
- Lohse G. 1982. Microanalytical azomethine-H method for boron determination in plant tissue. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 13(2): 127-134.
- Mailer R.J. 1989. Effects of applied sulfur on glucosinolate and oil concentrations in the seeds of rape (*Brassica napus* L.) and turnip rape (*Brassica rapa* L. var. *silvestris* (Lam.) Briggs). *Australian Journal of Agricultural Research*, 40(3): 617-624.
- Malakuti M.J., and Tabatabai S.J. 2005. Balanced fertilization of fruittrees in the calcareous soils of Iran. Sana, Tehran, 306p. (In Persian)
- Navarro-León E., Ruiz J.M., Graham N., and Blasco B. 2018. Physiological profile of CAX1a TILLING mutants of *Brassica rapa* exposed to different calcium doses. *Plant Science*, 272: 164–172.
- Nelson D.W., and Sommers L.E. 1996. Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis -Part 3. Chemical Methods, Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, pp. 961-1010.
- Nelson R.E. 1982. Carbonate and gypsum. In: Sparks D.L. (Ed.), Methods of Soil Analysis-Part 2, chemical and microbiological properties, American Society of Agronomy, Winsconsin, pp. 181-197.
- Olsen S.R. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. *United States Department of Agriculture Circular*, 939: 1-19.
- Osman K.T. 2013. Soils: principles, properties and management. Springer, Netherlands, 295p.
- Pirzad A., Shakiba M., Zehtab-Salmasi S., and Mohammadi S. 2015. Effects of water stress on some nutrients uptake in *Matricaria chamomilla* L. *Applied Field Crops Research*, 28(106): 1-7. (In

- Persian)
- Reich M., Aghajanzadeh T.A., Parmar S., Hawkesford M.J., and De Kok L.J. 2018. Calcium ameliorates the toxicity of sulfate salinity in *Brassica rapa*. *Journal of Plant Physiology*, 231: 1–8.
- Samarah N., Mullen R., and Cianzio S. 2004. Size distribution and mineral nutrients of soybean seeds in response to drought stress. *Journal of Plant Nutrition*, 27(5): 815–835.
- Sodaeizadeh H., and Mansouri F. 2014. Effects of drought stress on dry matter accumulation, nutrient concentration and soluble carbohydrate of *Salvia macrosiphon* as a medicinal plant. *Arid Biome*, 4(1): 1-9. (In Persian)
- Sotta N., Bian B., Peng D., Hongkham P., Kamiya T., Niikura S., and Fujiwara T. 2019. Local boron concentrations in tuberous roots of Japanese radish (*Raphanus sativus* L.) negatively correlate with distribution of brown heart. *Plant Physiology and Biochemistry*, 136: 58–66.
- Tang T., and Miller D.M. 1991. Growth and tissue composition of rice grown in soil treated with inorganic copper, nickel, and arsenic. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 22(19–20): 2037–2045.
- Wang H., Wu J., Sun S., Liu B., Cheng F., Sun R., and Wang X. 2011. Glucosinolate biosynthetic genes in *Brassica rapa*. *Gene*, 487(2): 135–142.
- Yoldas F., Ceylan S., Yagmur B., and Mordogan N. 2008. Effects of nitrogen fertilizer on yield quality and nutrient content in broccoli. *Journal of Plant Nutrition*, 31(7): 1333–1343.

## The Effect of the Irrigation Period, Boron, and Sulfur on the Concentration of some Elements and Dry Weight of Turnip Tubers

Nader Khadem Moghadam Igdelou<sup>1</sup>, Ahmad Golchin<sup>\*2</sup>, and Leila Osanloo<sup>3</sup>

(Received: November 2019 Accepted: June, 2023)

### Abstract

Proper irrigation and optimal nutrition of plants have a significant effect on the yield and quality of the plant. To investigate the effect of irrigation period, sulfur and boron levels on turnip yield and quality, an experiment was conducted as the split split-plot (twice split plots) with randomized complete block design with three replications in the field. Irrigation as a main treatment in three levels (3, 5 and, 7 days), sulfur (0, 400, 800 and, 1200 kg ha<sup>-1</sup> from powdered sulfur source) and boron (0, 1.7, 3.4, and 5.1 kg ha<sup>-1</sup> from Boron acid source) were considered as a sub-treatments at four levels. The results showed that the highest and lowest dry weight of turnip tuber obtained from S<sub>800</sub>B<sub>3.4</sub>I<sub>3</sub> and S<sub>0</sub>B<sub>0</sub>I<sub>7</sub> treatments, respectively, had 82.3% differences. The highest and lowest concentrations of turnip tuber sulfur were obtained by 0.8% and 0.19% in S<sub>800</sub>B<sub>3.4</sub>I<sub>3</sub> and S<sub>0</sub>B<sub>0</sub>I<sub>5</sub> treatments, respectively. In this study, the synergistic effect between boron-potassium and the antagonistic effect was observed between sulfur-phosphorus and boron-nitrogen, sulfur, calcium, and magnesium. The highest boron concentration of turnip tuber was obtained 39.4 mg kg<sup>-1</sup> in S<sub>0</sub>B<sub>3.4</sub>I<sub>3</sub> treatment and the lowest boron concentration was 18.19 mg kg<sup>-1</sup> in S<sub>1200</sub>B<sub>0</sub>I<sub>7</sub> treatment. Overall, it can be stated that the highest turnip tuber yield and the best balance of macronutrients and boron were observed in S<sub>800</sub>B<sub>3.4</sub>I<sub>3</sub> treatment.

**Keywords:** Antagonistic, Brassica, macroelements, synergistic, tuber

Khadem Moghadam Igdelou N., Golchin A. and Osanloo L. 2024. The effect of the irrigation period, boron, and sulfur on the concentration of some elements and dry weight of turnip tubers. *Applied Soil Research*, 12(1): 26-37.

1-Ph.D. Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

2-Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan (corresponding author)

3- Former MSc Student, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, University of Zanjan

\* Corresponding Author Email: [agolchin2011@yahoo.com](mailto:agolchin2011@yahoo.com)