Iranian Journal of Horticultural Science
Vol 51, No 3, Autumn 2020 (551-567)
DOI: 10.22059/ijhs.2019.280128.1634

علوم باغبانی ایران
دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۹ (ص ۵۶۷-۵۵۱)

برهم‌کنش اسیدجیبرلیک و سولفات پتاسیم بر محتوای قند و ماده خشک، رسوراترول و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی حبه‌های انگور

روح‌الله کریمی[1]* و سعید زارعی[2]
۱ و ۲. دانشیار و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ملایر
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۹ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/٤/۹)

چکیده

در این پژوهش، اثر کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم (صفر، ۱۵۰۰ و۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) در ترکیب با اسید جیبرلیک (صفر، ۳۰، ٦۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر) بر عملکرد و اجزای آن و شاخص‌های کیفی و آنتی‌اکسیدانی میوه انگور رقم بیدانه‌سفید بررسی شد. پژوهش به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در یک تاکستان واقع در شهرستان ملایر اجرا شد. تیمار محلول‌پاشی در سه مرحله شامل یک هفته قبل از گلدهی، دو و چهار هفته بعد از گلدهی اجرا شد. براساس نتایج بیشترین میزان مواد جامد محلول و محتوای آنتوسیانین، اسید آسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی حبه‌ها مربوط تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک بود. بیشترین میزان فنول و فلاونوئیدکل حبه‌ها به ترتیب مربوط به تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم سولفات پتاسیم در ترکیب ٦۰ میلی‌گرم در لیتر و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک بود. همچنین بیشترین محتوای ساکاروز و گلوکز مربوط به میوه تاک‌های تیمارشده با سطح سوم سولفات‌پتاسیم در ترکیب با سطح دوم اسیدجیبرلیک بود. کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم منجر به افزایش رسوراترول و وینیفرین در تاک‌های تیمارشده با اسیدجیبرلیک شد. همچنین بیشترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، گایاکول‌پراکسیداز و آسکوربات‌پراکسیداز در تاک‌های تیمارشده با غلظت ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اسیدجیبرلیک در ترکیب با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم مشاهده شد. در مجموع کاربرد برگی ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم به‌ویژه در ترکیب با سطوح متوسط اسیدجیبرلیک ضمن بهبود عملکرد و تجمع ماده خشک بیشتر منجر به افزایش قند و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی حبه‌ها شد.

واژه‌های کلیدی: استیلبن‌ها، انگور، تغذیه، پتاسیم، جیبرلین، گلوکز.

Interaction effect of gibberellic acid and potassium sulfate on soluble sugars and dry matter, resveratrol content and antioxidant capacity of grape berries

Rouhollah Karimi[1*] and Saeid Zareei[2]
1, 2. Associate Professor and Former M. Sc. Student, Faculty of Agriculture, Malayer University, Malayer, Iran
(Received: April 29, 2019 - Accepted: June 30, 2019)

ABSTRACT

In this research, the effect of foliar application of potassium sulfate (0, 1500 and 3000 mg/l) and gibberellic acid (0, 30, 60 and 90 mg/l) on yield and its components and qualitative and antioxidant capacity of 'Bidaneh Sefid' grapevine were investigated. This study was conducted factorially based on randomized complete block design in a vineyard at Malayer town. Vines were sprayed during three stages including of a week before bloom, two and four weeks after bloom. Based on results, the content of berry TSS, anthocyanin, ascorbic acid and antioxidant capacity was found to be highest in K_2SO_4 at 3000 mg/L in combination with GA_3 at 30 ppm treatment. Also, the highest berry total phenol and flavonoid content were related to 3000 mg/L K_2SO_4 treated- vines in combined to GA_3 at 60 and 90 mg/l, respectively. Moreover, the highest berry sucrose and glucose content were related to those vines treated with 3th levels of K_2SO_4 and 2th levels of GA_3 combination treatment. Foliar application of K_2SO_4 improved berry resveratrol and viniferin concentration in GA_3-treated vines and berry stilbenes increased with increased K_2SO_4 doses. The highest activity of catalase, guaiacol peroxidase and ascorbate peroxidase antioxidant enzymes were observed in vines treated with K_2SO_4 at 3000 mg/l in combination with GA_3 at 90 mg/l. Totally, foliar application of K_2SO_4 especially at 3000 mg/l in combination with moderate doses of GA_3 improved the yield, accumulated dry matter, increased the sugar content and the antioxidant capacity of the grape berries.

Keywords: Gibberellins, glucose, grape, nutrition, potassium, stilbenes.

* Corresponding author E-mail: Rouholahkarimi@gmail.com; R.Karimi@malayeru.ac.ir

مقدمه

استفاده از غلظت‌های مناسب کودهای شیمیایی و تنظیم‌کننده‌های رشد و نیز کاربرد آنها در زمان‌های مناسب به ویژه در مراحل بحرانی رشد رویشی و زایشی یکی از فنون مدیریتی است که نقش بسزایی در میزان تولید میوه و کشمش در تاکستان‌ها دارد. کاربرد برگی عناصر تغذیه‌ای یکی از راه‌هایی است که می‌تواند موجب بهبود عملکرد و کیفیت محصول‌های مختلف از جمله انگور شود (Nojavan *et al*., 2017; Zaree, *et al*., 2016; Karimi, 2017). با توجه به محدودیت‌های کاربرد خاکی عناصر، تغذیه برگی به عنوان یک روش مکمل و سریع می‌تواند ضمن افزایش عملکرد ضامن کیفیت نهایی میوه باشد (Marchner, 2012; Karimi, 2017). پتاسیم در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی از قبیل فتوسنتز، ساخت پروتئین، ساخت و انتقال قند، فعال‌سازی بیش از ۶۰ نوع آنزیم، تنظیم پتانسیل اسمزی و یونی، تنظیم باز و بسته‌شدن روزنه‌ها و تشکیل آوند آبکش نقش‌های کلیدی دارد (Cakmak, 2005; Marschner, 2012; Karimi, 2017). همچنین پتاسیم از طریق افزایش رنگ‌گیری و اسید قابل تیتراسیون باعث افزایش کیفیت حبه‌های انگور می‌شود (Mirbagheri *et al*., 2018; Cakmak, 2005). کمبود این عنصر باعث توقف انتقال قند در آوندهای آبکش شده و می‌تواند باعث تجمع ساکاروز در برگ شده تا جایگزین کمبود پتانسیل اسمزی ایجاد شده در اثر کمبود پتاسیم شود (Mengel, 2007). کاربرد سولفات پتاسیم ۱٪ در انگور سلطانی موجب افزایش وزن حبه و عرض خوشه و عملکرد نسبت به تاک‌های شاهد شده است (Arshad *et al*., 2006). نتایج حاصل از محلول‌پاشی برگی سولفات پتاسیم در انگور رقم 'رشه' نشان داده است که محلول‌پاشی به‌طور مؤثری میزان اسیدیته را کاهش می‌دهد (Zaree, *et al*., 2016). همچنین در انار کاربرد برگی پتاسیم منجر به افزایش معنی‌دار آنتوسیانین، ترکیبات فنلی و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آب میوه انار در مقایسه با شاهد شده است (Tehranifar & Mohammadi Tabar, 2009). بین میزان محصول و اندازه میوه با پتاسیم موجود در برگ رابطه وجود دارد و برای اینکه میوه به اندازه کافی رشد کند به پتاسیم بیشتری در برگ نیاز دارد (Singh, 2002).

استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد در تاکستان‌ها جهت کنترل یا تغییر رشد، کمیت و کیفیت میوه انگورهای رومیزی به صورت گسترده‌ای مرسوم است. جیبرلین ها به وسیله افزایش انعطاف پذیری دیواره سلولی و هیدرولیز نشاسته به قند که باعث کاهش پتانسیل آبی سلول و در نتیجه ورود آب و طویل شدن سلول می‌گردد موجب رشد و افزایش عملکرد و کیفیت بهتر انگور می‌شود (Pires *et al*., 2000). معمولا از هورمون اسید جیبرلیک برای افزایش اندازه حبه انگورهای بیدانه استفاده میشود. کاربرد خارجی اسید جیبرلیک، به بهبود صفات کمی و کیفی در ارقام بیدانه انگور منجر می‌شود (Kapłan *et al*., 2017). کاربرد خارجی اسید جیبرلیک در انگورهای بیدانه در زمان تشکیل میوه سبب افزایش تقسیم سلولی و بزرگ شدن سلول‌ها در حبه‌ها، افزایش اندازه حبه‌ها و بهبود عملکرد خوشه‌ها می‌شود (Pires *et al*., 2000; Casanova *et al*., 2009; Nampila *et al*., 2010). کاربرد اسید جیبرلیک در انگور کریمسون‌سیدلس در مرحله شکوفایی گل‌ها سبب تنک‌شدن خوشه‌ها و در مرحله تشکیل میوه محرک رشدحبه‌ها به‌شمار می‌رود (Dokoozlian, 2001). همچنین کاربرد جیبرلیک اسید دو هفته و چهار هفته پس از گلدهی با غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام ضمن درشتی حبه‌ها، منجر به افزایش طول و عرض حبه‌ها و کاهش درصد مواد جامد محلول شد (Badr *et al*., 2005).

پژوهش‌های مختلفی در زمینه کاربرد جیبرلین به منظور افزایش شاخص‌های کمّی و کیفی و بی‌بذری انگور توسط محققین داخل (Kiamarsi & Eshghi, 2011; Afshari *et al*., 2014; Baghalzadeh *et al*., 2015; Dolati Baneh *et al*., 2017) و خارج از کشور (Dimovska *et al*., 2014; Nampila *et al*., 2010; Kapłan *et al*., 2017; Kapłan *et al*., 2019) انجام شده است. علی‌رغم محاسن استفاده از اسید جیبرلیک در انگور از قبیل درشتی حبه‌ها، خوشه‌ها و افزایش عملکرد، در اغلب موارد کاربرد اسید جیبرلیک سبب

کاهش درجه بریکس (Kapłan *et al*., 2019)، درصد ماده خشک و میزان رنگ‌گیری میوه (Baghalzadeh *et al*., 2015)، افزایش اسید کل و اسید آسکوربیک (Kiamarsi & Eshghi, 2011; Afshari *et al*., 2014; Kapłan *et al*., 2019) و چروکیدگی حبه‌ها (Baghalzadeh *et al*., 2015) شده است. این عوارض ضمن کاهش کیفیت تازه‌خوری و عمر انباری در انگورهای رومیزی، می‌تواند باعث کاهش ضریب تبدیل انگور به کشمش در ارقام کشمشی شود (Karimi & Mirzaei, 2018). پتاسیم یکی از عناصری که نقش مهمی در افزایش قند و تجمع ماده خشک دارد (Nojavan *et al*., 2017; Mirbagheri *et al*., 2018; Karimi, 2017) که می‌تواند در کنار کاربرد اسید جیبرلیک منجر به بهبود شاخص‌های کمّی و کیفی انگور شود. لذا مطالعه حاضر با هدف دستیابی به بهترین غلظت اسید جیبرلیک در ترکیب با تغذیه برگی سولفات‌پتاسیم جهت افزایش عملکرد و اجزای آن و شاخص‌های کیفی انگور بیدانه سفید انجام شد.

مواد و روش ها

تعداد ۳۶ تاک انگور رقم بیدانه‌سفید با شرایط رشد و هرس یکنواخت تحت سیستم تربیت داربستی (کوردون دوطرفه) با فاصله کاشته ۳×۲ در تاکستانی ۱۲ ساله واقع در روستای افسریه از توابع شهرستان ملایر (ارتفاع از سطح دریا ۱۷۳۶ متر؛ عرض جغرافیایی ´۳۰ °۳۴ و طول جغرافیایی ´۸۵ °۴۸؛ متوسط بارندگی سالیانه ۳۶۸ میلی‌متر؛ حداقل، متوسط و حداکثر دمای سالیانه به ترتیب ۱۶/۲۲-، ۱۴/۱۵ و ۴۱/۳۴ درجه‌سانتیگراد) در زمستان سال ۱۳۹۵ انتخاب و نشانه‌گذاری گردید. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با ۴ تکرار طی سال های ۹۶-۱۳۹۵ اجرا شد. فاکتور اول شامل سولفات پتاسیم (سطوح ۰، ۱۵۰۰ و ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) و فاکتور دوم شامل اسید جیبرلیک (سطوح ۰، ۳۰ و ۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر) بود که طی سه مرحله شامل یک هفته قبل از گلدهی (۳ خردادماه)، دو هفته بعد از گلدهی (۲۴ خرداد) و چهار هفته بعد از گلدهی (۱۰تیرماه) با استفاده از یک کودپاش ۱۰ لیتری با تمرکز بر یک سوم پایین شاخه‌های فصل جاری (محل تشکیل میوه‌ها) روی تاک‌ها طی ساعات انتهایی روز محلول‌پاشی شد. برای افزایش بازدهی جذب، مویان (توئین ۲۰، - نیم درصد) به محلول‌ها اضافه شد. همچنین تاک‌های شاهد با محلول آب و مویان محلول‌پاشی شدند. در شروع تحقیق، نمونه خاکی به آزمایشگاه ارسال و آزمون خاک انجام گردید (جدول ۱). با توجه به نقش مهم هرس بر عملکرد و کیفیت میوه تعداد ۱۵ شاخه‌ی ۵ جوانه‌ای در هر بوته نگهداری و مابقی شاخه‌ها هرس شد. مبارزه با آفات تریپس و خوشه‌خوار انگور با استفاده از سم دیازینون به ترتیب در ابتدا و اواسط فصل انجام شد. برای مبارزه با بیماری سفیدک سطحی از گل گوگرد در دو نوبت قبل و بعد گلدهی استفاده شد. آبیاری تاک‌ها به صورت غرقابی و به فاصله ۱۵ روز یکبار انجام شد.

میوه‌ها در هفته چهارم شهریور مطابق با زمان برداشت تجاری و شاخص رسیدگی (موادجامدمحلول؛ درجه‌بریکس ۲۲/۲ میوه تاک‌های شاهد) برداشت و به منظور تعیین میزان عملکرد و ثبت ویژگی‌های کمّی و کیفی به آزمایشگاه تحقیقات باغبانی و فضای سبز دانشگاه ملایر منتقل گردید. لازم به ذکر است که آزمایش در سال بعد نیز تکرار و به دلیل معنی‌دار نشدن اثر سال، میانگین نتایج هر دوسال در این مطالعه ارائه گردید.

برای اندازه‌گیری شاخص‌های کمی میوه از قبیل وزن‌تر و خشک حبه، طول و عرض‌حبه، طول و عرض خوشه و وزن خوشه از ترازو و کولیس دیجیتالی استفاده شد.

جدول۱. ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک تاکستان محل آزمایش

Table 1. Some physicochemical properties of the experimental vineyard soil

Depth (cm)	Silt (%)	Sand (%)	Clay (%)	Texture	pH	EC (dSm^{-1})	Available P (mg/kg)	Available K (mg/kg)	Total N (%)	Organic C (%)
0-30	46	43.5	10.5	Loamy	8.1	0.70	32.6	239	0.04	0.57
30-60	38	39.7	22.2	Loamy	8.3	0.65	19.4	217	0.05	0.43

عملکرد کل هر تیمار همزمان با برداشت میوه‌ها با استفاده از ترازوی یک‌صدکیلوگرمی تعیین شد. برای اندازه‌گیری وزن خوشه به طور تصادفی تعداد ۵ خوشه از هر تیمار به‌طور مجزا توسط ترازوی دیجیتالی توزین شد. وزن حبه‌ها با توزین تعداد ۲۰ حبه ثبت شد.

مواد جامد محلول توسط دستگاه رفرکتومتر (مدل آتاگو، ژاپن) در دمای اتاق اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pHمتر استفاده شد. محتوای فنول‌کل (Velioglu *et al.*, 1998)، فلاونوئید کل (Chang *et al.*, 2002)، آنتوسیانین (Giusti & Wrolstad, 2001)، اسید آسکوربیک(Arya, 2000) و پروتئین‌های محلول (Bradford, 1979) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Spekol 2000، شرکت Analytic Jena، آلمان) اندازه‌گیری شد. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی با استفاده از روش دی‌پی‌پی‌اچ (دی فنیل پیکریل هیدرازیل) اندازه‌گیری شد (Sanchez *et al.*, 1998).

جهت استخراج قندهای محلول (گلوکز، فروکتوز و ساکاروز) ابتدا نمونه‌ها در ازت مایع منجمد شدند. در مرحله بعد بافت‌ها با کمک ازت مایع کاملاً پودر شد. نیم‌گرم از بافت پودر شده توزین و در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰٪ محلول و به مدت ۱۵ دقیقه با دور ۸۰۰۰ سانتریفوژ شد. این محلول از صافی ۰/۲ میکرومتر عبور داده شد تا برای تفکیک قندها به دستگاه HPLC تزریق شود. به منظور جداسازی قندها از دستگاه HPLC (مدل Unicam-Crystal-200، انگلیس) که مجهز به آشکارساز UV-vis SPD MLOAD از نوع Photodiod array بود استفاده شد. مقدار تزریق ۱۰ میکرولیتر و ستون به کار گرفته شده Spherisorb C8-ODS2 به ابعاد طول ۱۵۰ میلی‌متر و قطر ۴/۶ میلی‌متر و قطر ذرات ۰/۳ میکرون بود. فاز متحرک شامل بافر سیترات سدیم pH= ۵/۵ و استونیتریل فوق خالص با نسبت ۹۹: ۱ و با سرعت عبور ۰/۱ میلی‌لیتر بر دقیقه بود (Comis *et al.*, 2001). بر اساس زمان بازداری و با استفاده از استانداردهای گلوکز، ساکاروز و فروکتوز نوع و مقدار قندها در نمونه‌های مجهول مشخص و به صورت گرم در لیتر آب میوه بیان شد.

به‌منظور استخراج و اندازه گیری وینیفرین و رسوراترول ابتدا حبه‌ها در نیتروژن مایع منجمد و پس از یک دقیقه توسط دستگاه آسیاب برقی، خرد گردید. این آمیخته توسط حلال استخراج (متانول- آب) با نسبت ۱:۴ به حجم ۱۵میلی‌لیتر برای هر یک‌گرم بافت دوباره همگن شد. سپس در ۶۰۰۰ دور بر دقیقه به مدت ۳ دقیقه سانتریفوژ و محلول‌رویی برداشت شد و پس از عبور از فیلتر توسط مبرد حلال اولیه جدا و باقی‌مانده برداشت شد و به آن یک میلی‌لیتر اتانول افزوده شد تا به دستگاه HPLC تزریق شود. برای اندازه گیری رسوراترول و وینیفیرین از دستگاه HPLC مدل Unicam-۲۰۰ -Cristal مجهز به آشکارساز فلورسانس با طول موج تحریک ۳۳۰ و طول موج خروجی ۳۷۰ نانومتر استفاده گردید. مقدار ۵۰ میکرو لیتر عصاره استخراجی به ستون ODS۲ به طول ۲۵ سانتی‌متر و قطر ۴/۶ میلی‌متر متصل به ستون گارد تزریق شد، فازمتحرک مشتمل بر ۵٪ اسیدفرمیک در استونیتریل به عنوان محلول A و ۵٪ فرمیک اسید به عنوان محلول B بود، که در مدت ۳۶ دقیقه نسبت محلول B از پنج درصد به ۸۵٪ رسید و با سرعت ۰/۵ میلی‌لیتر بر دقیقه از ستون عبور کرد. بر اساس زمان بازداری (رسوراترول معادل ۲۵/۲ و وینیفرین معادل ۲۹/۰ دقیقه) و سطح زیر منحنی استاندارد مقدار هر یک از این دو ماده در نمونه‌ها مشخص گردیدند (Timperio *et al.*, 2012).

برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان ابتدا عصاره آنزیمی تهیه شد. برای این منظور ابتدا بافت میوه در حضور ازت مایع در هاون چینی آسیاب شد و مقدار ۰/۱ گرم آن به یک تیوب پلاستیکی حاوی یک میلی‌لیتر بافر استخراج اضافه و به‌هم زده شد. پس از عبور از صافی، عصاره تهیه شده به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت ۱۰۰۰۰ دور در دقیقه و دمای ۴°C سانتریفیوژ و محلول شفاف بالایی، به آرامی جدا گردید. از این محلول جهت اندازه‌گیری میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز (Bergmeyer, 1970)، گایاکول پراکسیداز (Herzog & Fahimi, 1973) و آسکوربات پراکسیداز (Nakano & Asada, 1981) استفاده شد.

برای اندازه‌گیری برخی عناصر معدنی در هفته دوم مردادماه نمونه‌های برگ از بخش‌های میانی شاخه و روبروی خوشه ها برداشت و به منظور خشک‌شدن به مدت ۴۸ ساعت در آون (دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد)

قرار داده شد. برای معدنی‌کردن برگ‌ها از روش خاکستر خشک (دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، ۶ ساعت) استفاده شد. اندازه‌گیری عناصر آهن و روی با دستگاه جذب اتمی (مدل پرکین‌المر، آمریکا) و اندازه‌گیری پتاسیم و منیزیم با دستگاه فلیم‌فتومتر (مدل جنوی، انگلیس) انجام شد (Gartel, 1993; Álvarez-Fernández *et al*., 2003).

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SAS (نسخه ۹/۲) و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح ۵ درصد انجام شد.

نتایج و بحث

شاخص‌های کمّی میوه

وزن‌تر و خشک حبه

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر میزان وزن‌تر و خشک حبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. وزن‌تر و خشک حبه در تاک‌های تیمارشده با اسید جیبرلیک متناسب با افزایش غلظت این هورمون افزایش یافت با این حال میزان این شاخص‌های بیوفیزیکی حبه در تاک‌های تیمارشده با ترکیب اسید جیبرلیک و سولفات‌پتاسیم افزایش چشمگیرتری نشان داد (جدول ۲). بیشترین میزان وزن‌تر (۲/۶۷ گرم) و خشک حبه (۰/۷۸ گرم) در تاک‌های تیمارشده با ترکیب G_3K_3 (سولفات پتاسیم۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر+ جیبرلیک اسید ۶۰ میلی‌گرم در لیتر) مشاهده شد و کمترین میزان وزن‌تر (۱/۲۵ گرم) و خشک حبه (۰/۳۲ گرم) مربوط به تاک‌های شاهد بود (جدول ۲). کاربرد اسید جیبرلیک در انگور تامسون سیدلس موجب افزایش وزن حبه‌ها شده است که این کار را طریق افزایش قدرت مقصد (Sink) متابولیت‌ها در حبه‌ها به واسطه تجمع هورمون‌ها صورت گرفته است (Kaplan *et al*., 2017; Kaplan *et al*., 2019). افزایش در وزن حبه‌ها به دلیل تقسیم سلولی در مراحل اولیه و سپس انبساط سلولی بعدی درون حبه است که توسط جیبرلین القا می‌شود (Gowda *et al*., 2006). در مطالعه‌ای روی انگور رقم سطانی، کاربرد جیبرلین منجر به ایجاد میوه‌های پرآب با کیفیت تازه‌خوری مناسب شد ولی قابلیت انبارمانی و ضریب تبدیل به کشمش در این میوه‌های کاهش یافت (Baghalzadeh *et al*., 2015).

طول و عرض حبه

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر طول و عرض حبه در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم در ترکیب با اسید جیبرلیک باعث افزایش ابعاد حبه شد که این افزایش وابسته به غلظت بود، به‌طوری‌که بیشترین طول (۲/۴۷ سانتی‌متر) و عرض حبه (۲/۰۷ سانتی‌متر) مربوط به تاک‌هایی بود که با تیمار ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با ۹۰ میلی‌گرم در لیتر (G_4K_3) محلول‌پاشی شده بودند (جدول ۲).

جدول ۲. برهم‌کنش اثر کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم و اسیدجیبرلیک بر شاخص‌های بیوفیزیکی میوه انگور بیدانه‌سفید

Table 2. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on berry biophysical indices of ‘Bidaneh Sefid’ grapevine

Treatments	Berry FW (g)	Berry DW (cm)	Berry length (cm)	Berry width (cm)	Cluster length (cm)	Cluster width (cm)	Cluster weight (g)
G_1K_1	1.25g	0.32g	0.87h	0.73g	15.4h	8.12g	318.7h
G_1K_2	1.48f	0.47f	1.08g	0.83g	18.5gh	9.63f	359.3g
G_1K_3	1.89d	0.58de	1.17g	0.93f	20.3g	11.9e	377.3f
G_2K_1	1.82e	0.55e	1.20g	0.97f	26.4f	12.8d	378.4f
G_2K_2	1.92d	0.63d	1.30fg	0.93f	28.2ef	13.23cd	414.7e
G_2K_3	1.98d	0.69bc	1.37e	1.17e	31.6e	13.8c	418.8e
G_3K_1	2.10c	0.71b	1.43e	1.30de	41.8c	13.2cd	558.3d
G_3K_2	2.28b	0.75ab	1.77d	1.57d	33.8d	15.7b	564.1d
G_3K_3	2.67a	0.78a	2.08c	1.77c	46.6b	17.7a	618.6a
G_4K_1	1.99d	0.68bc	2.13c	1.87bc	45.4b	16.4b	603.7c
G_4K_2	2.05cd	0.72b	2.23b	1.93b	47.3ab	17.9a	611.7bc
G_4K_3	2.39b	0.73b	2.47a	2.07a	49.6a	18.4a	621.4a

میانگین‌های مشخص‌شده با حرف‌های کوچک مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1 = اسیدجیبرلیک ۰ میلی‌گرم در لیتر، G_2 = اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3 = اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4 = اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1 = سولفات‌پتاسیم ۰ میلی‌گرم در لیتر، K_2 = سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰میلی‌گرم در لیتر، K_3 = سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

In each column, means with the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. ($P \leq 0.05$). G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

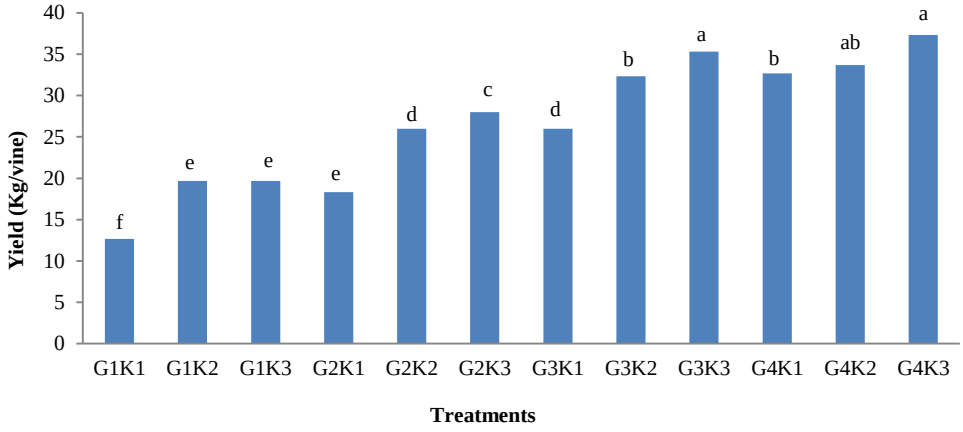
کمترین طول (۰/۸۷ سانتی‌متر) و عرض حبه (۰/۷۳ سانتی‌متر) مربوط به تاک‌های شاهد بود (جدول ۲). در مطالعه‌ای روی انگور رقم سیاه شیراز کاربرد جیبرلین با غلظت ۵۰ میلی‌گرم در لیتر ۱۰ روز بعد از تمام گل باعث بزرگ‌تر شدن حبه‌ها شد (Kiamarsi & Eshghi, 2011). بررسی‌های انجام شده روی انگور Einset Seedless با تیمار اسید جیبرلیک، طول و عرض حبه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافته است (Kapłan *et al*., 2017; Kapłan *et al*., 2019) که با نتایج به‌دست‌آمده از این بررسی مطابقت دارد. همین‌طور کاربرد جیبرلیک‌اسید دو هفته و چهار هفته پس ازگلدهی با غلظت ۴۰ پی‌پی‌ام در انگور باعث افزایش طول و عرض‌حبه‌ها و درشت‌شدن آنها شد ولی محتوای مواد جامد محلول را کاهش داد (Badr *et al.*, 2005). جیبرلین کشش‌پذیری دیواره سلولی را افزایش داده و با تغلیظ شیره سلولی از طریق هیدرولیز نشاسته به قند سبب کاهش پتانسیل آب در سلول گیاهی شده و موجب ورود آب بیشتر به داخل سلول و طویل شدن آن می‌گردد (Stephen *et al*., 2005). به واسطه کاربرد جیبرلیک اسید فعالیت آنزیم اینورتاز در گیاه افزایش یافته که این امر موجب افزایش هگزوزهای موردنیاز برای رشد دیواره سلولی می‌شود و به این ترتیب موجب رشد طولی سلول‌ها می‌شود (Gasperl *et al*., 2016).

طول و عرض خوشه

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر طول و عرض خوشه در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد، به‌طوری که همزمان با افزایش غلظت اسید جیبرلیک از صفر به ۹۰ میلی‌گرم در لیتر و سولفات-پتاسیم از صفر به ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر طول و عرض خوشه افزایش یافت. بیشترین طول خوشه (۴۹/۶ سانتی‌متر) در تیمار سطح چهارم اسید جیبرلیک با سطح سوم سولفات پتاسیم بود که البته تفاوت معنی‌داری طول خوشه تاک‌های تیمارشده با همین سطح اسید جیبرلیک در ترکیب با سطح دوم سولفات پتاسیم نداشت (جدول ۲). کاربرد سولفات-پتاسیم ۱٪ روی انگور باعث افزایش ۱۰ درصدی عرض خوشه نسبت به شاهد شده است (Arshad *et al.* 2006). جیبرلین‌ها با راه‌اندازی مسیرهای ژنی مرتبط با بیوسنتز آنزیم‌های دخیل در تجزیه نشاسته به قند موجب افزایش هگزوزهای مورد نیاز برای رشد دیواره سلولی شده و ضمن افزایش تقسیم سلولی، طویل شدن سلول‌ها و یا هر دو با هم باعث درشت شدن محور خوشه و وزن حبه‌ها و در نتیجه خوشه می‌شود (Gasperl *et al*., 2016). بیشترین عرض خوشه مربوط به تیمار ترکیبی سطح سوم سولفات پتاسیم با سطح چهارم اسید جیبرلیک بود که البته با مقادیر این شاخص در تاک‌های تیمارشده با ترکیب‌های G_3K_3 و G_4K_2 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). کمترین طول و عرض خوشه مربوط به تاک‌های شاهد بود (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد که محلول‌پاشی با ترکیبات پتاسیم از طریق افزایش کارایی فتوسنتز ضمن بهبود جذب و انتقال عناصر، موجب افزایش عرض خوشه می‌شود (Mirbagheri *et al*., 2018). کاربرد برگی پتاسیم باعث در اختیار قرار دادن پتاسیم در مقادیر کافی بویژه مراحل بحرانی رشد میوه قبل از برداشت می‌شود و با تأثیر بر جذب آب و املاح منجر به بزرگ شدن و افزایش طول و عرض حبه و در نتیجه ابعاد خوشه می‌شود (Karimi, 2017).

وزن خوشه و عملکرد تاک

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر وزن خوشه و عملکرد در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. با افزایش غلظت اسید جیبرلیک از صفر به ۹۰ میلی‌گرم در لیتر و سولفات‌پتاسیم از صفر به ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر وزن خوشه و عملکرد تاک‌های تیمارشده با این ترکیبات افزایش یافت. بیشترین وزن خوشه (۶۲۱ گرم؛ جدول ۲) و بالاترین عملکرد (۳۷/۳ کیلوگرم در تاک؛ شکل ۱) مربوط به تیمار سولفات پتاسیم با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم درلیتر در ترکیب با اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر درلیتر (G_4K_3) بود که البته تفاوت معنی‌داری با مقادیر به‌دست‌آمده در تاک‌های تیمارشده با سطح سوم اسیدجیبرلیک در ترکیب با سولفات‌پتاسیم (G_3K_3) نداشت و کمترین وزن خوشه مربوط به تیمار شاهد بود.



شکل ۱. برهم‌کنش اثر کاربرد برگی سولفات پتاسیم و اسیدجیبرلیک برعملکرد انگور بیدانه‌سفید. میانگین های دارای حروف مشترک درهرستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1= اسیدجیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2= اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3= اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4= اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1= سولفات‌پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2= سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰میلی‌گرم در لیتر، K_3= سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

Figure 1. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on yield of 'Bidaneh Sefid' grapevine. In each column, means with the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. ($P \leq 0.05$). G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

کاربرد سولفات‌پتاسیم ۱٪ در انگور سلطانی موجب افزایش وزن خوشه شد (Arshad *et al.*, 2006). اسیدجیبرلیک کشش‌پذیری دیواره سلولی را افزایش داده و با تغلیظ شیره سلولی از طریق هیدرولیز نشاسته به قند سبب کاهش پتانسیل آب در سلول گیاهی شده و موجب ورود آب به داخل سلول و افزایش وزن خوشه می‌گردد (Kapłan *et al.*, 2017). از طرفی به دلیل نقش پتاسیم در تنظیم فشار اسمزی سلول‌ها و بارگیری و انتقال کربوهیدرات‌ها در آوند آبکش، تامین کافی پتاسیم به ویژه در گیاهانی که به هر دلیل (نظیر افزایش رشد ایجاد شده توسط جیبرلین) با کاهش غلظت پتاسیم در برگ یا میوه مواجهه هستند می تواند ضمن بهبود روابط منبع و مقصد (Mengel, 2007; Karimi, 2017) و گسیل دادن فرآورده‌های فتوسنتزی و عناصر غذایی به سمت میوه‌ها منجر به افزایش وزن میوه و در نهایت بهبود عملکرد شود (Pires *et al.*, 2000; Nampila *et al.*, 2010).

شاخص های کیفی میوه

اسیدیته (pH) و اسید قابل تیتر

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر اسیدیته (pH) و اسید قابل تیتر میوه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان pH آب میوه مربوط به تاک‌های تیمارشده با سطح سوم اسیدجیبرلیک در ترکیب با سطح سوم سولفات پتاسیم (G_3K_3) بود که البته با تیمارهای سطح دوم (G_1K_2) و سوم سولفات‌پتاسیم (G_1K_3) به‌تنهایی اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین میزان pH آب میوه (۳/۰۷) مربوط به تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسیدجیبرلیک به تنهایی (G_4K_1) بود که اختلاف معنی‌داری با تیمار ۶۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک به‌تنهایی (G_3K_1) نشان نداد (جدول ۳). در انگور عسگری تیمار جیبرلیک اسید با غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر باعث افزایش میزان pH نسبت به تیمار شاهد شد (Afshari *et al.*, 2014). همچنین افزایش میزان pH در اثر محلول‌پاشی با پتاسیم در انگور مشاهده شده است (Zaree *et al.*, 2016). نتایج حاصل از محلول‌پاشی سولفات پتاسیم در انگور رقم 'کریمسون سیدلس' به طور مؤثری میزان اسید را کاهش داده است (El-Razek *et al.*, 2011).

جدول ۳. برهم‌کنش اثر کاربرد برگی سولفات پتاسیم و اسید جیبرلیک بر شاخص‌های کیفی میوه انگور بیدانه‌سفید
Table 3. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on berry qualitative indices of 'Bidaneh Sefid' grapevine

Treatments	pH	Titratable acidity ($g l^{-1}$)	Total soluble solid (°Brix)	Anthocyanin ($mg\ g^{-1}$)	Ascorbic acid ($mg100g^{-1}$)	Antioxidant capacity (%)
G_1K_1	3.32bc	1.17e	22.2c	0.036e	17.1d	66.5f
G_1K_2	3.39ab	0.93f	23.6b	0.051d	18.7c	78.4e
G_1K_3	3.47a	0.86f	23.8b	0.072b	18.8c	84.1d
G_2K_1	3.20c	1.32d	22.2c	0.057cd	18. 6c	69.0c
G_2K_2	3.29bc	1.20e	23.7b	0.058cd	18.7c	70.5c
G_2K_3	3.37b	1.15e	25.8a	0.081a	19.5b	91.5c
G_3K_1	3.12d	1.57b	21.2d	0.066b	18.9bc	90.2c
G_3K_2	3.23c	1.42c	23.5b	0.069b	19.4b	108.8b
G_3K_3	3.45a	1.23e	26.8a	0.086a	21.5a	118.1a
G_4K_1	3.07d	1.68a	21.1d	0.054d	19.0bc	92.2c
G_4K_2	3.37b	1.53bc	24.0b	0.062c	19.2b	95.2c
G_4K_3	3.30b	1.47c	25.3a	0.085a	20.3a	121.6a

میانگین های مشخص شده با حرف‌های کوچک مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1= اسید جیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2 = اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3 = اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4 = اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1=سولفات پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2=سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰میلی‌گرم در لیتر، K_3= سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

In each column, means with the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. ($P \leq 0.05$). G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

گزارش شده است که محلول‌پاشی پتاسیم روی درختان انار رقم 'شیشه‌کب' سبب افزایش معنی‌دار در میزان اسیدیته عصاره میوه شد که با نتایج ما مطابقت دارد (Tehranifar & Mohammadi Tabar, 2009). تشکیل یون‌های قلیایی و اسیدهای ضعیف آلی منجر به کاهش در مقدار H آزاد شده و در نتیجه منجر به افزایش در pH می‌گردد (Hale, 1977). در مورد اسید قابل تیتر بیشترین مقدار در تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسید جیبرلیک به تنهایی (G_4K_1) و کمترین مقدار این شاخص در تاک‌های تیمارشده با سطح دوم سولفات‌پتاسیم به تنهایی (G_1K_2) بدون اختلاف معنی‌دار با تاک‌های تیمارشده با سطح سوم سولفات‌پتاسیم به تنهایی (G_1K_3) مشاهده شد (جدول ۳). در مطالعه‌ای بر روی انگور رقم عسگری بیشترین میزان اسیدیته قابل تیتراسیون در تیمار جیبرلین مربوط به غلظت ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر و کمترین میزان آن مربوط به شاهد بود (Afshari *et al*., 2014). همچنین اثر تیمار جیبرلین بر روی انگور رقم سیاه شیراز باعث افزایش اسیدکل در میوه نسبت به شاهد گردیده است (Kiamarsi & Eshghi, 2011). در راستای نتایج ما گزارش شده است که محلول‌پاشی پتاسیم باعث افزایش میزان قند و اسیدیته شده و مزه میوه را بهبود می‌بخشد (Zaree *et al*., 2016).

محتوای مواد جامد محلول و آنتوسیانین

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر میزان مواد جامد محلول در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج جدول ۳ بیشترین میزان مواد جامد محلول (۲۵/۸ درجه بریکس) و محتوای آنتوسیانین (۰/۰۸۶ میلی‌گرم در گرم) مربوط به میوه تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک (G_2K_3) بود که البته با مقدار این شاخص در میوه تاک‌های تیمارشده با ترکیب‌های G_3K_3 و G_4K_3 اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین میزان مواد جامد محلول (۲۱/۱ درجه بریکس) مربوط به میوه تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسید جیبرلیک به تنهایی (G_4K_1) بود که با مقدار این شاخص در میوه تاک‌های تیمارشده با سطح سوم اسید جیبرلیک به تنهایی (G_3K_1) اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۳). همینطور کمترین میزان آنتوسیانین (۰/۰۳۶ میلی‌گرم در گرم) میوه مربوط به تاک‌های شاهد (G_1K_1) بود (جدول ۳). کاربرد پتاسیم در طالبی افزایش قند کل و مواد جامد محلول را به همراه داشته است (Lin *et al*., 2004). پتاسیم باعث افزایش فتوسنتز، انتقال کربوهیدرات‌ها از برگ ها به آوند آبکش، سرعت انتقال در آوند و انتقال آنها به میوه می‌شود (Lester *et al*., 2006). مواد جامد

محلول شامل قند، اسید آلی و اسید آمینه است و پتاسیم به دلیل افزایش قند و اسیدآمینه موجود در ترکیبات مواد جامد محلول، باعث کاهش اسید آلی می‌شود تا تعادل نسبی بین اسید و قند محلول برقرار شود (Rogiers *et al*., 2006; Mengel, 2007; Keller, 2015).

در مطالعه حاضر محتوای آنتوسیانین میوه تاک‌ها در پاسخ به کاربرد اسید جیبرلیک و سولفات‌پتاسیم افزایش یافت. در مطالعه‌ای روی ارقام انگور رشه (Zaree *et al*., 2016) و تمپرانیلو[2] (Delgado *et al*., 2006)[1]،کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم ضمن افزایش غلظت پتاسیم برگ، به طور معنی‌داری منجر به افزایش آنتوسیانین حبه‌ها شده است که با نتایج ما مطابقت دارد. پتاسیم در مسیر سنتز آنتوسیانین‌ها دخالت کرده و به احتمال زیاد به‌عنوان یک کوفاکتور عمل می‌کند و باعث فعال‌شدن آنزیم‌هایی مانند UDP گالاکتوز و فلاونوئید-۳-۱-گلیکوزیل ترانسفراز می‌شود. بیوسنتز رنگیزه‌های غیرفتوسنتزی سلول از قبیل آنتوسیانین با بالارفتن میزان کربوهیدرات‌ها نسبت مستقیم دارد (Cakmak, 2005). از طرفی اسیدجیبرلیک موجب تحریک آنزیم آلفاآمیلاز و دیگر آنزیم‌های هیدرولیزی می‌گردد که خود عامل هیدرولیزکننده برای منبع ذخیره‌ای می‌باشند. در نتیجه در افزایش مواد هیدراتی کربنی گیاه مؤثر بوده و میزان آنتوسیانین را افزایش می دهد (Kapłan *et al*., 2019).

اسیدآسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر میزان اسیدآسکوربیک و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. بر اساس نتایج جدول ۳ بیشترین میزان اسید آسکوربیک (۲۱/۵ میلی‌گرم بر صدگرم) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۱۲۱/۶ درصد) مربوط به آب میوه تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک (G_3K_3) بود که البته با مقدار این شاخص در میوه تاک‌های تیمارشده با ترکیب‌ها G_4K_3 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۳). کمترین میزان اسید آسکوربیک (۱۷/۱ میلی‌گرم بر صدگرم) و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۶۶/۵ درصد) آب میوه مربوط به تاک‌های شاهد (G_1K_1) بود (جدول ۳). تیمار جیبرلین بر روی انگور رقم سیاه شیراز باعث افزایش اسید آسکوربیک نسبت به شاهد گردید (Kiamarsi & Eshghi, 2011)، که با مطالعه حاضر مطابقت دارد. افزایش مقدار اسیدآسکوربیک در اثر تیمار اسیدجیبرلیک احتمالاً به‌دلیل افزایش بیوسنتز اسیدآسکوربیک یا حفاظت از اکسیدشدن آن توسط اسیدآسکوربیک اکسیداز است (Karimi & Mirzaei, 2018). آسکوربات‌ها می‌توانند با اکسید شدن گلوکز در حبه‌ها و یا از طریق انتقال از برگ‌ها توسط آوندهای آبکش وارد حبه‌ها شوند و برخی مواقع ممکن است حتی در داخل آوند آبکش نیز تولید شوند (Keller, 2015). میانجی‌گری پتاسیم در فعال‌سازی بسیاری از آنزیم‌های دخیل در متابولسم سلولی و نقش آنها در جهت بیوسنتز، پیوندشدگی و یا تجزیه قندها در مسیرهای متابولیکی مختلف (Cakmak, 2005) یکی از مباحث پیشنهادی است که توجیه‌کننده غلظت موادجامدمحلول (شیرینی) و یا اسید آسکوربیک در میوه تاک‌های تیمارشده با این عنصر غذایی در مقایسه با تاک‌های شاهد می‌باشد که البته نیازمند بررسی بیشتری می‌باشد.

بیشترین ظرفیت آنتی‌اکسیدانی (۱۲۱/۶ درصد) در تیمار ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با اسید جیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید (جدول ۳). در مطالعه‌ای روی انگور کاربرد اسید جیبرلیک در ترکیب با اسید سالیسیلیک منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در مقایسه با تاک‌های شاهد شد ولی در تاک‌های تیمارشده با اسید جیبرلیک به تنهایی ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کمتر از تیمارهای ترکیبی بود (Saeidi *et al*., 2017) که تاییدی بر یافته‌های مطالعه حاضر است. ظرفیت آنتی‌اکسیدانی و محتوای آنتوسیانین میوه، وابسته به میزان و نوع تغذیه عناصر ریز مغذی از قبیل پتاسیم می‌باشد (Delgado *et al*., 2006). پتاسیم نقش مهمی در فتوسنتز، تولید و انتقال قندها به میوه دارد و می‌تواند به‌طور غیر مستقیم ضمن بیوسنتز ترکیبات فنولی و آنتوسیانین‌ها منجر به افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی شود (Mengel, 2007).

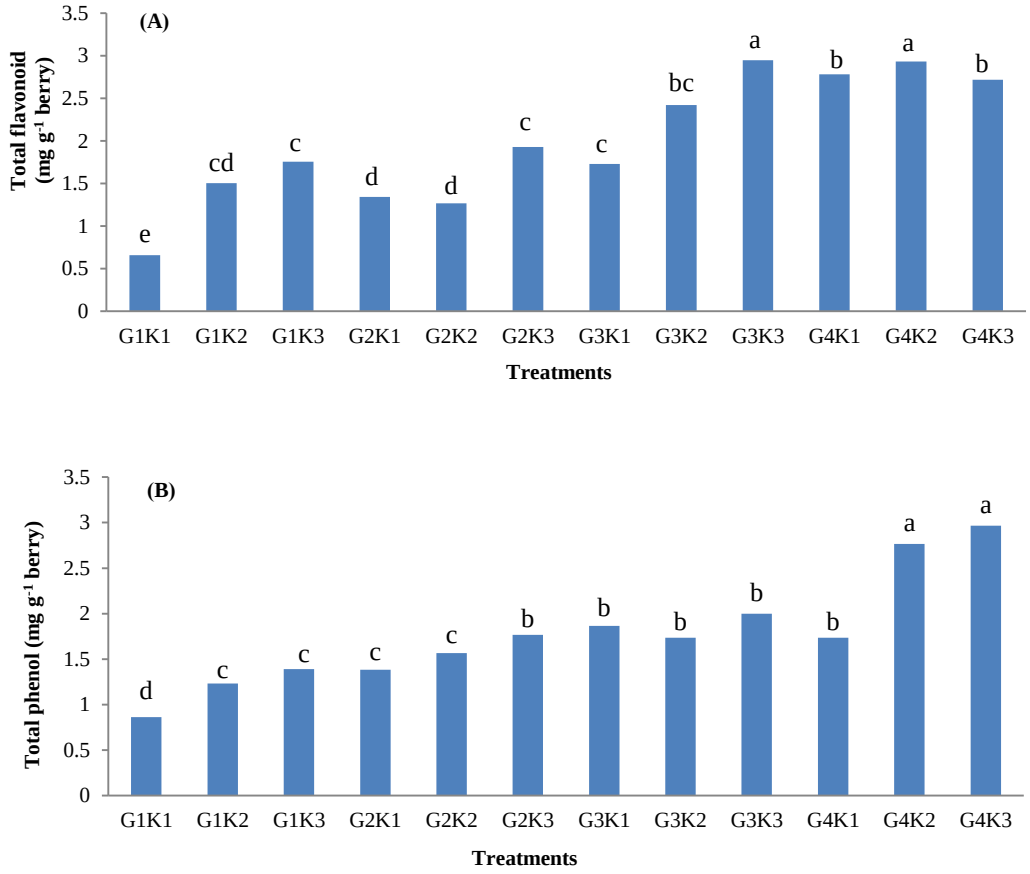
فلاونوئید و فنول کل

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر میزان فلاونوئید و فنول کل در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین میزان فلاونوئید آب میوه (۲/۹۷ میلی‌گرم در گرم) مربوط به تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم سولفات‌پتاسیم در ترکیب ۶۰ میلی‌گرم در لیتر اسید جیبرلیک (G_3K_3) بود که البته با مقدار این شاخص در تاک‌های تیمارشده با ترکیب G_4K_2 تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل A-۲). بیشترین میزان فنول کل در تاک‌های تیمارشده با سطح سوم سولفات‌پتاسیم در ترکیب با سطح چهارم اسید جیبرلیک (G_4K_3) به‌دست آمد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار ترکیبی G_4K_2 نشان نداد (شکل B-۲). کم‌ترین میزان این متابولیت‌های ثانویه (۱۲۱/۶ درصد) مربوط به میوه تاک‌های شاهد بود (شکل ۱). کاربرد سولفات‌پتاسیم منجر به تجمع فنول کل بیشتری نسبت به تاک‌های شاهد شد که حاکی از دخالت پتاسیم در مسیرهای ساخت ترکیبات فنولی می‌باشد. در مطالعه‌ای روی انگور کاربرد اسید جیبرلیک در ترکیب با اسید سالیسیلیک منجر به تجمع بیشتر فنول کل در مقایسه با تاک‌های شاهد شد ولی غلظت فنول کل تاک‌های تیمارشده با اسید جیبرلیک به تنهایی بدون اختلاف معنی‌دار کمتر از غلظت این متابولیت ثانویه در میوه تاک‌های شاهد بود (Saeidi *et al*., 2017). در مطالعه حاضر نیز ترکیب غلظت‌های بالای اسید جیبرلیک و سولفات‌پتاسیم اثر هم‌افزایی در تجمع فنول کل و فلاونوئید کل داشتند. تنظیم کننده های رشدی با اثر مستقیم بر رشد و نمو گیاه، به طور غیر مستقیم بر میزان متابولیسم ترکیبات فنولی تأثیر می گذارند (Delgado *et al*., 2006). تغذیه با مقادیر کافی پتاسیم باعث بهبود رنگ و محتوای پلی‌فنول‌ها در حبه‌های انگور شده است (Mohammed *et al*., 1994). فعالیت آنتی‌اکسیدانی انواع انگور مربوط به ترکیبات فنولی و کاروتنوئیدها است و ترکیبات فنولی عمدتاً شامل پروآنتوسیانیدین، آنتوسیانین‌ها، فلاونول‌ها، فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک می‌باشند (Bunea *et al*., 2012). پتاسیم، باعث تحریک فعالیت فتوسنتزی شده و انتقال قندها به میوه را افزایش می‌دهد که تجمع قندها به صورت غیر مستقیم باعث بهبود بیوسنتز ترکیبات فنولی طی رسیدن شده و ارتباط نزدیکی با وجود کربوهیدرات‌ها در حبه‌ها دارد (Delgado *et al*., 2006; Mohammed *et al*., 1994). بر اساس نتایج این پژوهش، استفاده از نسبت‌های متعادل پتاسیم در ترکیب با اسید جیبرلیک، باعث افزایش متابولیت‌های ثانویه از قبیل فنول کل و فلاونوئیدکل در انگور بیدانه‌سفید گردید.

قندهای‌محلول و استیلبن‌ها

بیشترین محتوای ساکاروز (۷/۴۹ گرم در لیتر) و گلوکز (۷/۹۳ گرم در لیتر) مربوط به میوه تاک‌های تیمارشده با سطح دوم اسیدجیبرلیک در ترکیب با سطح سوم سولفات‌پتاسیم (G_2K_3؛ جدول ۴). غلظت فروکتوز در تیمارهای G_3K_3 بیشترین (۲/۹۴ گرم در لیتر) بود. ولی با مقدار این قند در تاک‌های محلول‌پاشی‌شده با ترکیب‌های G_3K_2 و G_4K_2 اختلاف معنی‌داری نداشت. کمترین مقدار ساکاروز (۲/۴۰ گرم در لیتر) و گلوکز (۲/۵۳ گرم در لیتر) و (۱/۷۹ گرم در لیتر) در میوه تاک‌های شاهد بود (جدول ۴). قندهای محلول در انگور همزمان با رسیدن افزایش می‌یابد با این حال غلظت این قندها می‌تواند تحت تأثیر عملیات باغی دستخوش تغییراتی شود. پتاسیم باعث فعال‌سازی آنزیم‌های درگیر در فتوسنتز، تشکیل نشاسته و انتقال قندهای محلول از قبیل ساکاروز می شود (Marschner, 2012) از طرفی به دلیل نقش اسیدجیبرلیک در فعال‌سازی آنزیم‌های هیدرولیز کننده نشاسته (Kapłan *et al*., 2019)، کاربرد ترکیبی سولفات‌پتاسیم و اسید جیبرلیک باعث افزایش غلظت قندهای محلول در حبه‌ها شده است.

کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم منجر به افزایش رسوراترول و وینیفرین در تاک‌های تیمارشده با اسیدجیبرلیک شد به‌طوری که با افزایش غلظت سولفات‌پتاسیم میزان استیلبن‌ها بیشتر شد و به‌طور جالب این افزایش در تاک‌های تیمارشده با سطوح بالاتر اسیدجیبرلیک چشمگیرتر بود. بیشتربن غلظت رسوراترول (۴/۵۰ میکرو گرم در گرم) مربوط به تیمار سولفات‌پتاسیم به تنهایی (G_1K_3) بود که البته تفاوت معنی‌داری با غلظت این ترکیب فنولی در تاک‌های تیمارشده با ترکیب سطح سوم سولفات‌پتاسیم و اسید جیبرلیک (G_3K_3) نداشت (جدول ۴).



شکل ۲. اثر کاربرد برگی سولفات پتاسیم و اسیدجیبرلیک برغلظت فلاونوئید (A) و فنول کل (B) انگور بیدانه‌سفید. میانگین‌های دارای حروف مشترک درهرستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1= اسیدجیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2= اسید جیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3= اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4= اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1= سولفات‌پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2= سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، K_3= سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

Figure 2. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on berry total flavonoid (A) and phenol (B) of 'Bidaneh Sefid' grapevine. In each column, means with the same letters are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. ($P \leq 0.05$). G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

کمترین مقدار رسوراترول (۱/۳۱ میکرو گرم در گرم) در میوه تاک‌های شاهد بود (جدول ۴). همچنین بیشترین محتوای وینیفرین (۵/۶۶ میکرو گرم در گرم) مربوط به تاک‌هایی بود که با ترکیب سطح سوم سولفات پتاسیم و اسیدجیبرلیک تیمارشده بودند اگر چه با مقادیر این استیلبن در میوه‌های بدست آمده از تیمارهای ترکیبی G_3K_2 و G_2K_3 تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). کمترین مقدار وینیفرین (۲/۵۳ میکرو گرم در گرم) در میوه تاک‌های شاهد بود گرچه با مقدار این استیلبن در تاک‌های تیمارشده با غلظت ۳۰ میلی‌گرم در لیتر تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۴). در پژوهشی روی انگور، کاربرد پتاسیم در حد بهینه منجر به افزایش غلظت رسوراترول و وینیفرین شده است (Bavaresco, 1993) که با نتیجه‌های پژوهش حاضر همخوانی دارد. رسوراترول و وینیفرین مهمترین استیلبن فیتوالکسین‌های ساخته شونده یا انگیزشی در گیاهان به‌ویژه انگور هستند که وجود آنها در بافت‌های باعث افزایش سیستم دفاعی و در آب میوه منجر به افزایش ویژگی‌های تغذیه‌ای آن می‌شود (Hasan & Bae, 2017). زیست‌ساخت استیلبن‌ها، تحت کنترل ژنتیکی بوده و بین رقم‌های مختلف انگور، مقدار تجمع آن در حبه‌ها فرق می‌کند با این حال، عوامل مدیریتی از جمله کاربرد عنصرهای تغذیه‌ای ممکن است روی مقدار بیان این ویژگی تأثیر بگذارد (Keller, 2015).

جدول ۴. برهم‌کنش اثر کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم و اسید جیبرلیک بر غلظت قندهای محلول و استیلبن‌های حبه‌های انگور بیدانه‌سفید

Table 4. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on berry soluble sugars and stilbenes concentration of 'Bidaneh Sefid' grapevine*

Treatments	Glucose ($g\ l^{-1}$)	Fructose ($g\ l^{-1}$)	Sucrose ($g\ l^{-1}$)	Resveratrol ($\mu g\ g^{-1}$)	Viniferin ($\mu g\ g^{-1}$)
G_1K_1	2.53f	1.79e	2.4e	1.31e	2.53d
G_1K_2	6.14bc	1.83bc	4.83d	3.45c	3.90c
G_1K_3	8.34a	1.93b	6.85ab	4.50a	4.75b
G_2K_1	3.52e	1.07d	4.52d	1.34e	2.82d
G_2K_2	5.37c	1.91b	5.81c	2.97cd	4.39bc
G_2K_3	6.91b	2.10b	6.78b	3.86bc	5.37a
G_3K_1	4.14d	1.68c	4.74d	1.33e	3.84c
G_3K_2	6.77b	2.65a	6.29bc	2.23d	4.90ab
G_3K_3	7.93a	2.94a	7.49a	4.32a	5.66a
G_4K_1	3.75e	1.73c	4.25d	2.82cd	3.45c
G_4K_2	4.66d	2.25ab	5.83c	3.97b	4.39bc
G_4K_3	4.83cd	2.31b	5.99c	3.89b	4.77b

میانگین‌های مشخص‌شده با حرف‌های کوچک مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1 = اسید جیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2 = اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3 = اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4 = اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1= سولفات‌پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2 = سولفات پتاسیم ۱۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، K_3 = سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

Mean values marked with same lower-case letter in each column are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

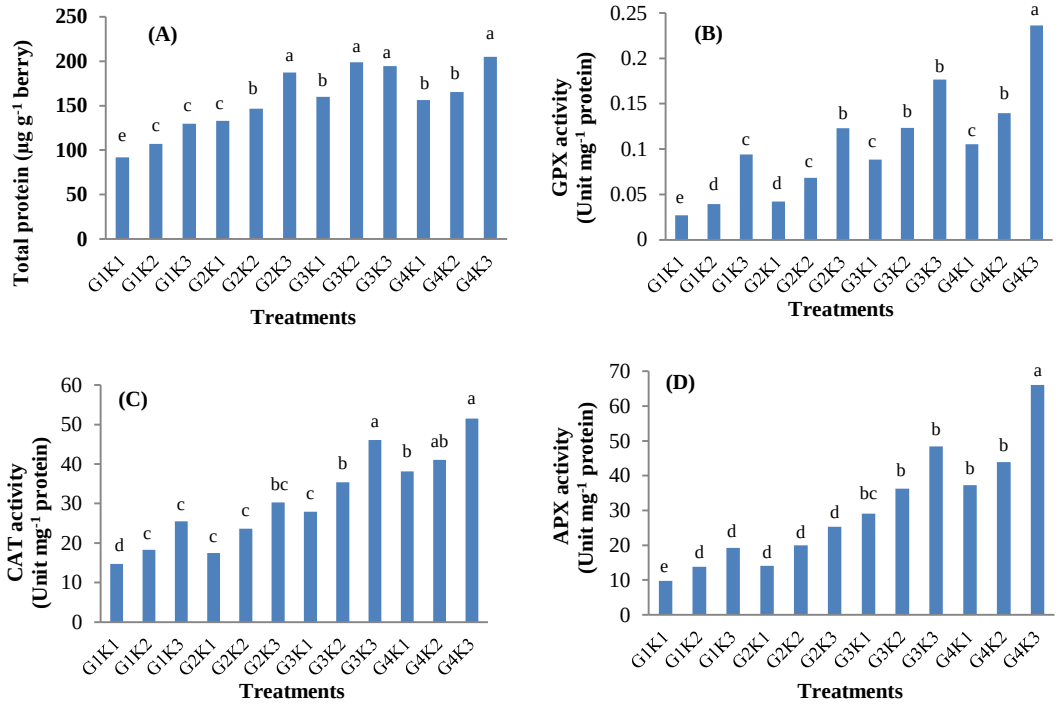
پروتئین محلول

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر میزان پروتئین محلول در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بیشترین میزان پروتئین محلول (۲۰۴/۸ میکروگرم بر گرم) در گیاهان تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در ترکیب با غلظت ۹۰ میلی‌گرم در لیتر جیبرلیک اسید (G_4K_3) بود که البته با مقدار این شاخص در تاک‌های محلول‌پاشی شده با تیمارهای ترکیبی G_2K_3، G_3K_2 و G_3K_3 اختلاف معنی داری نشان نداد (شکل A-۳). کم‌ترین میزان پروتئین محلول (۹۲/۰۳ میکروگرم بر گرم) مربوط به آب میوه تاک‌های شاهد بود (شکل A-۳). محلول‌پاشی سولفات‌پتاسیم ۳٪ در انگور بیدانه سفید به تنهایی و یا در ترکیب با غلظت‌های اوره منجر به افزایش غلظت پروتئین‌های محلول شده است (Karimi *et al*., 2014). همچنین در مطالعه روی انگور، محلول‌پاشی سولفات‌پتاسیم در ترکیب با آهن، باعث افزایش پروتئین حبه‌ها شده است (Mirbagheri *et al*., 2018) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. پتاسیم در آخرین مرحله فرآیند ساخت پروتئین شرکت و آن را هدایت می‌کند. لذا در داخل گیاه وقتی میزان پتاسیم کم می‌شود میزان پروتئین هم کاهش یافته و به جای آن غلظت آمیدها و اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد (Mengel, 2007).

آنزیم‌های آنتی اکسیدان

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر فعالیت آنزیم گایاکول‌پراکسیداز، آسکوربات‌پراکسیداز و کاتالاز در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. محلول‌پاشی اسید جیبرلیک در ترکیب با سولفات پتاسیم به طور مؤثری باعث افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان آب میوه تاک‌های تیمارشده با این ترکیبات شد (شکل ۳).

بیشترین فعالیت آنزیم‌های گایاکول‌پراکسیداز (۰/۲۴ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و آسکوربات پراکسیداز (۶۶/۱۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) در تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسیدجیبرلیک در ترکیب با سطح سوم سولفات‌پتاسیم (G_4K_3) مشاهده شد (شکل B, D-۳). کم‌ترین میزان فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز (۰/۰۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین) و آسکوربات پراکسیداز (۹/۷۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین) مربوط به میوه تاک‌های شاهد بود (شکل B, D-۳).



شکل ۳. اثرکاربرد برگی سولفات پتاسیم و اسیدجیبرلیک برمحتوای پروتئین محلول (A)، فعالیت آنزیم های آنتی‌اکسیدانی گایاکول‌پراکسیداز (B)، کاتالاز (C) و آسکوربات‌پروکسیداز (D) انگوربیدانه‌سفید. میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪). G_1= اسیدجیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2= اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3= اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4= اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1= سولفات‌پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2= سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰میلی‌گرم در لیتر، K_3= سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

Figure 3. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on berry soluble protein content (Panel A) guaiacol peroxidase (GPD; Panel B), catalase (CAT; Panel C), and ascorbate peroxidase (APX; Panel D), activities in 'Bidaneh Sefid' grapevine. Mean values for each enzyme marked with same lower-case letter in each panel are not significantly different (P≤0.05) according to Duncan's multiple range test. G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

همینطور بیشترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۵۱/۵۲ واحد در میلی‌گرم پروتئین) در تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسیدجیبرلیک در ترکیب با سطح سوم سولفات‌پتاسیم (G_4K_3) مشاهده شد که البته تفاوت معنی‌داری با تیمار G_3K_3 نداشت (شکل ۳-C). کمترین میزان فعالیت این آنزیم (۱۴/۷۳ واحد در میلی‌گرم پروتئین) مربوط به آب میوه تاک‌های شاهد بود (شکل ۳-B, D). در مطالعه‌ای کاربرد سولفات پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های گایاکول پراکسیداز و کاتالاز در برگ انگور تحت تنش شوری شده است (Minazadeh *et al.*, 2018). همچنین در انگور نیز کاربرد پتاسیم موجب افزایش فعالیت آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز و کاتالاز در حبه‌های انگور شد که هم‌راستا با نتایج مطالعه حاضر می‌باشد (Nojavan *et al.*, 2017; Mirbagheri *et al.*, 2018). پتاسیم به عنوان یک عنصر کلیدی در تغذیه درختان از طریق فعال‌کردن آنزیم‌های درگیر در بیوسنتز نشاسته و پروتئین در سنتز ترکیبات ثانویه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از طرف دیگر با افزایش ترکیبات فنولی موجب افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز می‌شود (Marschner, 2012; Karimi, 2017).

عناصر غذایی برگ

اثر سولفات‌پتاسیم، اسیدجیبرلیک و اثر متقابل آنها بر غلظت پتاسیم، فسفر، منیزیم برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی‌دار شد. بیشترین غلظت پتاسیم برگ (۲/۱۱ درصد) در تاک‌های تیمارشده با سطح سوم سولفات پتاسیم به تنهایی (G_1K_3) مشاهده شد و کمترین غلظت این عنصر (۱/۲۶ درصد) مربوط به تاک‌های تیمارشده با سطح چهارم اسید جیبرلیک به تنهایی (G_4K_1) بود (جدول ۵).

جدول ۵. برهم‌کنش اثر کاربرد برگی سولفات پتاسیم و اسید جیبرلیک بر غلظت برخی عناصر غذایی برگ انگور بیدانه‌سفید
Table 5. Interaction effect of foliar application of potassium sulfate and gibberellic acid on some berry leaf nutrients concentration of 'Bidaneh Sefid' grapevine*

Treat-ments	K (%)	P (%)	Mg (%)	Fe (µg/g)	Zn (µg/g)	Mn (µg/g)
G_1K_1	1.26f	0.13c	1.49d	64.9d	43.3g	33.3g
G_1K_2	1.87b	0.34b	1.17f	76.1ed	74.1f	44.8f
G_1K_3	2.11a	0.39ab	1.22f	88.5cd	134c	83.3b
G_2K_1	1.26f	0.23c	1.80b	69.7d	112d	44.4f
G_2K_2	1.54d	0.37ab	1.38e	80.8d	140b	53.4e
G_2K_3	1.79c	0.42a	1.88ab	103.4ab	148ab	92.1a
G_3K_1	1.30ef	0.24c	1.67c	82.7d	105e	56.9e
G_3K_2	1.63cd	0.38ab	1.97a	107.6a	108e	65.7d
G_3K_3	1.79c	0.44a	1.47d	109.5a	157a	99.6a
G_4K_1	1.16g	0.25c	1.48d	88.3cd	116d	66.1d
G_4K_2	1.37e	0.36b	1.77bc	96.3b	156a	77.9c
G_4K_3	1.54d	0.35b	1.83b	110.6a	123cd	81.6c

میانگین‌های مشخص شده با حرف‌های کوچک مشترک در هر ستون بر اساس آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری با هم ندارند (در سطح ۵٪).
G_1 = اسیدجیبرلیک صفر میلی‌گرم در لیتر، G_2 = اسیدجیبرلیک ۳۰ میلی‌گرم در لیتر، G_3 = اسیدجیبرلیک ۶۰ میلی‌گرم در لیتر، G_4 = اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر، K_1= سولفات‌پتاسیم صفر میلی‌گرم در لیتر، K_2 = سولفات‌پتاسیم ۱۵۰۰میلی‌گرم در لیتر، K_3 = سولفات‌پتاسیم ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر
Mean values for each nutrient marked with same lower-case letter in each column are not significantly different ($P \leq 0.05$) according to Duncan's multiple range test. G_1= 0 mg/l GA_3, G_2= 30 mg/l GA_3, G_3= 60 mg/l GA_3, G_4= 90 mg/l, GA_3. K_1= 0 mg/l K_2SO_4, K_2=1500 mg/l K_2SO_4, K_3= 3000 mg/l K_2SO_4.

در انگور کاربرد برگی سولفات پتاسیم موجب افزایش غلظت پتاسیم شد (Karimi, 2017) که با نتایج مطالعه حاضر مطابقت دارد. پتاسیم مانند یک عنصر کلیدی باعث افزایش قند و کربوهیدرات ها فعالیت فتوسنتزی را افزایش می‌دهد. بنابراین کربوهیدرات‌های بیشتری به ریشه منتقل می‌شود و در نتیجه جذب عناصر غذایی بالا رفته و غلظت عناصر درگیاه افزایش می‌یابد (Keller, 2015). غلظت فسفر برگ در تاک‌های تیمارشده با اسید جیبرلیک به تنهایی با تفاوت معنی‌داری کمتر از تاک‌های تیمارشده با سولفات‌پتاسیم و یا ترکیب اسید جیبرلیک و سولفات‌پتاسیم بود، به طوری که بیشترین غلظت فسفر (۰/۴۴ درصد) در ترکیب G_3K_3 مشاهده شد (جدول ۵).

در مورد منیزیم تیمار G_3K_2 بدون تفاوت معنی‌دار با تیمار G_2K_3 بیشترین غلظت را نشان داد و کمترین غلظت این عنصر (۰/۱۳ درصد) در سطح سوم سولفات پتاسیم به تنهایی (G_1K_3) بدون تفاوت معنی‌دار با سطح دوم سولفات پتاسیم به تنهایی (G_1K_2) یافت شد (جدول ۵). در تاک‌های انگور در فاصله زمانی بین شکوفایی تا زمان برداشت میزان تجمع پتاسیم بیش از دیگر عناصر است (Marschner, 2012). در واقع میزان تجمع پتاسیم در تاک‌های بالغ به طور تقریب دو برابر بیش از نیتروژن و حدودا ۱۰ برابر بیش از فسفر و کلسیم به عنوان دیگر عناصر فراوان در حبه‌های انگور می‌باشد. بسته به میزان محصول، میوه حاوی ۵۰ تا ۷۰ درصد کل پتاسیم تاک می‌باشد (Rogiers *et al.*, 2006).

اثر سولفات‌پتاسیم، اسید جیبرلیک و اثر متقابل آنها بر غلظت آهن، روی و منگنز برگ در سطح احتمال ۱٪ معنی دار شد. بیشترین غلظت آهن برگ (۱۱۰/۶ میکرو-گرم در گرم) مربوط به بوته‌های تیمارشده با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات‌پتاسیم در ترکیب با اسیدجیبرلیک ۹۰ میلی‌گرم در لیتر (G_4K_3) و کمترین مقدار این عنصر (۶۴/۹ میکروگرم در گرم) در تیمار شاهد به دست آمد (جدول ۵). کاربرد برگی پتاسیم به ویژه در مراحل بحرانی رشد، فعالیت فتوسنتزی را افزایش داده و میزان بارگیری گلوکز را در آوند آبکش تاک افزایش می‌دهد (Mirbagheri *et al.*, 2018). بر اساس نتایج جدول ۵، بیشترین غلظت روی برگ (۱۵۷ میکرو-گرم در گرم) مربوط به بوته‌های تیمارشده با سولفات-پتاسیم با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسیدجیبرلیک با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر (G_3K_3) بود که البته اختلاف معنی‌داری با غلظت این عنصر در تاک‌های محلول‌پاشی شده با تیمارهای ترکیبی G_2K_3 و G_4K_2 نداشت. کمترین غلظت روی (۴۳ میکروگرم در گرم) مربوط به بوته‌های شاهد بود (جدول ۵). در مورد منگنز، بیشترین غلظت (۹۹/۶ میکروگرم در گرم)

مربوط به بوته‌های تیمارشده با سولفات پتاسیم با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و اسیدجیبرلیک با غلظت ۶۰ میلی‌گرم در لیتر (G_3K_3) بود. کمترین غلظت منگنز (۳۳/۳ میکروگرم در گرم) مربوط به بوته‌های شاهد بود (جدول ۵). پتاسیم انتقال مواد حاصل از فتوسنتز را تسریع کرده و با افزایش ظرفیت فتوسنتزی موجب افزایش غلظت منگنز می‌شود (Cakmak, 2005; Mengel, 2007). انگور بیدانه‌سفید یکی از ارقام پربار می‌باشد که در اغلب تاکستان‌ها به صورت غرقابی آبیاری می‌شوند این موضوع نقش مهمی در آبشویی و خروج عناصر از محیط اطراف ریشه دارد. با توجه به نیاز بالای تاک به پتاسیم کاربرد پتاسیم ضمن تنظیم اسمزی و تسهیل جذب و انتقال عناصر (Klein *et al*., 2000) منجر به افزایش ماده خشک و ارزش تغذیه‌ای حبه‌ها می‌شود.

نتیجه‌گیری کلی

در مجموع کاربرد برگی سولفات‌پتاسیم به‌ویژه با غلظت ۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر در تاک‌های تیمارشده با غلظت ۶۰ میلی‌گرم درلیتر اسیدجیبرلیک ضمن بهبود عملکرد منجر به تجمع بیشتر ماده خشک و شیرین‌تر شدن حبه‌ها شد. از طرفی غلظت استیلبن‌ها از قبیل رسوراترول و وینیفرین و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی در میوه تاک‌های تیمارشده با ترکیب سولفات‌پتاسیم و اسیدجیبرلیک افزایش یافت که می‌تواند برای انگورهای تازه‌خوری یا به منظور تهیه کشمش در انگور بیدانه‌سفید مورداستفاده تاکداران قرار گیرد.

سپاسگزاری

از آقای محمد غفاری تاکدار روستای افسریه ملایر به خاطر همکاری در این پژوهش، قدردانی می‌گردد.

REFERENCES

1. Afshari, H., Sajedi, S. & Hokmabadi, H. (2014). The effect of GA_3 and girdling on fruit characteristic of grapevine (*Vitis vinifera* cv. Asgari). *Iranian Journal of Horticulture Science*, 28, 269-276. (in Farsi)
2. Álvarez-Fernández, A., Paniagua, P., Abadía, J. & Abadía, A. (2003). Effects of Fe deficiency chlorosis on yield and fruit quality in peach (*Prunus persica* L. Batsch). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 5738-5744.
3. Arshad, M, Garigurian, V., Nazemiyh, A. & Khalighi, A. (2006). Investigation on effect of nitrogen and potassium spray on fruit quantitative and qualitative traits and bearing of Sultana grapevine. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 7, 135-146. (in Farsi)
4. Arya, S. P. N. (2000). Spectrophotometric methods for the determination of vitamin C. *Analytica Chimica Acta*, 417, 1-14.
5. Badr, S. A., Tufenkjian, J. & Ramming D.W. (2005). Effects of pruning, girdling, and gibberellic acid application at bloom and berry set on yield and fruit quality of sweet scarlet table grape cultivar. Pp. 47. In: Proceedings of *the Annual Meeting of American Society of Enology and Viticulture, World Journal Sciences*, 3, 91-96.
6. Baghalzadeh Kuchebaghi, A., Zareh Nahandi, F. & Naghshi Band, H. (2015). The effect of growth regulators of CPPU and GA_3 on quality and quantity of Sultana grapevine. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 46, 259-268. (in Farsi)
7. Bavaresco, L. (1993). Effect of potassium fertilizer on induced stilbene synthesis in different grapevine varieties. *Bulletin de O.I.V.*, 66, 674-689. (in French)
8. Bergmeyer, N. (1970) *Methoden der enzymatischen Analyse*. AkademieVerlag, Berlin, pp. 636–647.
9. Bradford, M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
10. Bunea, C.I., Pop, N., Babe, A.C., Matea, C., Dulf F. & Bunea, A. (2012). Carotenoids, total polyphenols and antioxidant activity of grapes (*Vitis vinifera*) cultivated in organic and conventional systems. *Chemistry Central Journal*, 6, 1-9.
11. Cakmak, I. (2005) The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168, 521-530.
12. Casanova, L., Casanova, R., Moret, A. & Agusti, M. (2009). The application of gibberellic acid increases berry size of 'Emperatriz' seedless grape. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 7, 919-927.
13. Chang, C., Yang, M., Wen, H. & Chern, J. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food Drug Analysis*, 10, 178-182.

14. Cherel, L. (2004) Regulation of K^+ channel activities in plants: from physiological to molecular aspects. *Journal of Experimental Botany*, 55, 337-351.
15. Comis, D.B., Tamayo, D.M. & Alonso, J.M. (2001). Determination of monosacharids in cider by reversed- phase Liqueid Chromatography. *Analytic Chemica Acta*, 436, 173-178.
16. Delgado, R., Gonzalez, M. R. & Martin, P. (2006). Interaction effects of nitrogen and potassium fertilization on anthocyanin composition and chromatic features of tempranillo grapes. *OENO One*, 40, 141-150.
17. Dimovska, V., Petropulos, V. I., Salamovska, A. & Ilieva, F. (2014). Flame Seedless grape variety (*Vitis vinifera* L.) and different concentration of gibberellic acid (GA_3). *Bulgaria Journal of Agriculture Science*, 20, 137-142.
18. Dokoozlian, N. K. (2001). Gibberellic acid applied at bloom reduces fruit set and improves size of 'Crimson seedless' table grapes. *HortScience*, 36, 706-709.
19. Dolati Baneh, H., Jafari, H., Jalili Marandi, R., & Abdollahi, R. (2017). Effect of pre-bloom gibberellic acid application on seedlessness and some fruit traits of three Iranian seeded grape cultivars. *Journal of Horticulture Science*. 31, 110-121. (in Farsi)
20. El-Razek, E. A., Treutter, D., Saleh, M. M. S., El-Shammaa, M., Abdel-Hamid, N. & Abou-Rawash, M. (2011). Effect of nitrogen and potassium fertilization on productivity and fruit quality of' Crimson Seedless' Grapes. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 2, 330-340.
21. Gartel, W. (1993) Grapes. In W. F. Bennett Ed., *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants* (pp. 177–183). APS Press.
22. Gasperl, A., Morvan-Bertrand, A., Prud'homme, M. P., van der Graaff, E. & Roitsch, T. (2016). Exogenous classic phytohormones have limited regulatory effects on fructan and primary carbohydrate metabolism in perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Frontiers in Plant Science*, 6, 1251.
23. Giusti, M. M. & Wrolstad, R. E. (2001). Anthocyanins: characterization and measurement with Uv-visible spectroscopy. In: WROLSTAD, RE, *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 1, 1-13.
24. Gowda, V. N., Shyamalamma, S. & Kannolli, R. B. (2006). Influence of GA_3 on growth and development of 'Thompson Seedless' grapes (*Vitis vinifera* L.). *Acta Horticulturae*, 727, 239-242.
25. Hale, C. R. (1977). Relation between potassium and the malate and tartrate contents of grape berries, *Vitis*, 16, 9-19.
26. Hasan, M. & Bae, H. (2017). An overview of stress-induced resveratrol synthesis in grapes: perspectives for resveratrol-enriched grape products. *Molecules*, 22, 294.
27. Herzog, V. & Fahimi, H. D. (1973). Determination of the activity of peroxidase. *Analytical Biochemistry*, 55, 554-562.
28. Kaplan, A., Najda, A., Baryla, P. & Klimek, K. (2017). Effect of gibberellic acid concentration and number of treatments on yield components of "Einset Seedless" grapevine cultivar. *Horticultural Science*, 44, 195-200.
29. Kaplan, M., Najda, A., Klimek, K. & Borowy, A. (2019). Effect of Gibberellic acid (GA_3) inflorescence application on content of bioactive compounds and antioxidant potential of grape (*Vitis* L.) 'Einset Seedless' berries. *South African Journal of Enology and Viticulture*, 40, 1-10.
30. Karimi, R. (2017). Potassium-induced freezing tolerance is associated with endogenous abscisic acid, polyamines and soluble sugars changes in grapevine. *Scientia Horticulturae*, 215,184-194.
31. Karimi, R., Ershadi, A. & Esna-Ashari, M. (2014). Effects of Late- Season Nitrogen and Potassium Spray on Dormant Buds Cold Tolerance of 'Bidaneh Sefid' Grapevine. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 15, 419-433. (in Farsi)
32. Karimi, R., Koulivand, M. & Rasouli, R. (2018).The effect of foliar application of urea and iron chelate on fruit set, yield, quality and nutritional indices of grape. *Journal of Crop Production and Processing*, 8, 61-78. (in Farsi)
33. Karimi R. & Mirzaei F. (2018) The effect of three drying methods on biophysical and biochemical properties of raisin. *Iranian Journal of Horticultural Sciences*, 49 (2), 475 - 491. (in Farsi)
34. Karimi, R., Mirzaei, F. & Rasouli, R. (2017). Phenolic acid, flavonoids, antioxidant capacity and minerals content of five grapevine cultivars. *Iranian Journal of Horticultural Science and Technology*, 18, 335-346. (in Farsi)
35. Klein, I., Strime, M., Fanberstein, L. & Mani, Y. (2000) Irrigation and fertigation effects on phosphorus and potassium nutrition of wine grapes. *Vitis*, 39(2), 55-62.
36. Keller, M. (2015). The Science of Grapevines: Anatomy and Physiology. 2nd ed. Academic Press, Waltham, 400 p.
37. Kyamarsi, M. & Eshghi, S. (2011). Effect of application time of copper sulfate, streptomycin and ga3 on parthenocarpy and quality of grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. 'siyah-e-shiraz'). *Journal of Horticultural Science*, 25, 344-350. (in Farsi)

38. Lester, G. E., Jifon, J. L. & Makus D. J. (2006). Supplemental foliar potassium applications with or without a surfactant can enhance netted muskmelon quality. *HortScience*, 41, 741-744.
39. Lin, D., Huang, D. & Wang, S. (2004). Effects of potassium levels on fruit quality of muskmelon in soilless medium culture. *Scientia Horticulturae*, 102, 53-60.
40. Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*, 3rd ed. Academic Press, London, UK, pp. 178-189.
41. Mengel, K. (2007). Potassium, P. 91-120 In: Barker A.V. and Pilbeam D.J., *Handbook of plant nutrition*, CRC Press, NY, USA.
42. Minazadeh, R., Karimi R. & Mohamad Parast B. (2018). The effect of foliar nutrition of potassium sulfate on morphophysiological indices of grapevine under salinity stress. *Iranian Journal of Plant Biology*, 10, 83-106. (in Farsi)
43. Mirbagheri, S.M., Karimi, R. & Rasouli, M. (2018). The combination effect of Potassium and Iron on fruit yield and quality, raisin and cold tolerance in grapevine. *Journal of Crop Improvement*, 20, 737-754. (in Farsi)
44. Mohammed, S., Singh, D. & Ahlawat, V. P. (1993). Growth, yield and quality of grapes as affected by pruning and basal application of potassium. *Haryana Journal of Horticultural Sciences*, 22, 179–182.
45. Nakano, Y. & Asada, K. (1981). Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate specific peroxidase in spinach chloroplasts. *Plant and Cell Physiology*, 22, 867-880.
46. Nampila, R., Bing-Shiun, C., Ching-Cheng, C. & YauShiang, Y. (2010). Effect of GA_3 and CPPU on berry size of seedless grapes. *Horticulture* NCHU 35(3), 53-64.
47. Nojavan, S., Naseri, L. & Hassanpour, H. (2017). Effect of potassium sulfate and zinc sulfate foliar spray on some physical and chemical traits of grape (*Vitis vinifera* cv. Bidaneh Ghermez). *Plant Production Technology*, 16, 195-213. (in Farsi)
48. Pires E.J.P., Terra, M.M., Pommer, C.V. & Passos, I.R.S. (2000). Improvement of cluster and berry quality of Centennial seedless grapes through gibberellic acid. *Acta Horticulturae*, 526, 293-299.
49. Rogiers, S. Y., Greer, D. H., Hatfield, J. M., Orchard, B. A. & Keller, M. (2006). Mineral sinks within ripening grape berries (*Vitis vinifera* L.). *Vitis-Geilweilerhof*, 45, 115.
50. Saeidi, N., Rasouli, M. & Karimi. R. (2017). The effect of pre-harvest application of gibberellic and salicylic acid on yield, total phenol, flavonoid and antioxidant capacity of grape. *In 10th National Congress in Iranian Horticultural Science*, 4-7 Sep. Tarbiat Modares University, Iran, pp. 553-558. (in Farsi)
51. Sanchez, C., Larrauri, J. A. & Saura-Calixto, F. A. (1998). Procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 76, 270-276.
52. Singh, B. (2002). Effect of macro and micro nutrient spray on fruit yield and quality of grape (*Vitis vinifera* L. cv. Perlette). *Acta Horticulture*, 594, 197-202.
53. Stephen, G. T., Ivo, R. & Camille, M. S. (2005). Gibberellin metabolism and signaling. *Vitamins and Hormones*, 72, 289-338.
54. Tehranifar, A. & Mahmooditabar, S. (2009). Foliar application of Potassium and Boron during pomegranate (*Punica granatum*) fruit development can improve fruit quality. *Horticulture, Environment, Biotechnology*, 3, 23-34.
55. Timperio, A. M., d'Alessandro, A., Fagioni, M., Magro, P. & Zolla, L. (2012). Production of the phytoalexins trans-resveratrol and delta-viniferin in two economy-relevant grape cultivars upon infection with *Botrytis cinerea* in field conditions. *Plant Physiology and Biochemistry*, 50, 65-71.
56. Velioglu, Y. S., Mazza, G., Gao, L. & Oomah, B. D. (1998). Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables and grain products. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 46, 4113-4117.
57. Zaree, E., Javadi, T., Ghaderi, N. & Davari, M. (2016). Effect of potassium sulphate foliar application on some quantitative and qualitative traits of grape (*Vitis vinifera* L.) cv. Rashe. *Plant Production Technology*, 15, 179-190. (in Farsi)