نشریه پژوهش آب در کشاورزی / ب / جلد ۳۷ / شماره ۱/ ۱۴۰۲
10.22092/JWRA.2023.360734.960

تأثیر توأم دور آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف بر تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی زنجبیل (***Zingiber officinale* R.**)

غلامرضا پورشعبان کتشالی، غلامعلی اکبری[1]، ایرج اله دادی و الیاس سلطانی

دانشجوی دکتری اگروتکنولوژی، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
Pourshaban.gh@ut.ac.ir
دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
gakbari@ut.ac.ir
استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
alahdadi@ut.ac.ir
دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
elias.soltani@ut.ac.ir

دریافت: آذر ۱۴۰۱ و پذیرش: اسفند ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل تحت تاثیر دورهای آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف NPK، آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با نه تیمار و در سه تکرار در منطقه پاکدشت در سال ۱۴۰۰ اجرا گردید. تیمارها شامل دور آبیاری در سه سطح: V1=۴، V2=۶، V3=۸ روز به‌عنوان عامل اصلی و عناصر پرمصرف NPK در سه ترکیب، (۲۰۰، ۱۰۰، ۳۰۰)=F1، (۲۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰)=F2 ، (۱۵۰، ۵۰، ۲۵۰)=F3 کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل فرعی بود. استخراج اسانس با استفاده از دستگاه کلونجر به روش تقطیر با آب بود و تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه کروماتوگراف گازی انجام گرفت و ۳۴ ترکیب شیمیایی شناسایی شد، اجزای اصلی اسانس برحسب درصد شامل (آلفا زینجیبرن=۲۳/۶۵)، (جرانیال=۱۱/۰۹)، (کامفن=۹/۵۸)، (بتا سسکویفلاندرن=۸/۴۳)، (بتا بیسابولن=۳/۷۵) و (آلفا کورکومن=۲/۶) بودند، که این شش ترکیب در مجموع ۵۹/۱٪ کل اسانس زنجبیل را شامل شدند و ۲۸ ترکیب دیگر فقط ۴۰/۹٪ کل اسانس را تشکیل دادند. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل آبیاری و کودهای مورد مطالعه بر اسانس و ترکیبات اصلی اسانس زنجبیل در سطح ۱٪ معنی‌دار بودند. بهترین تیمارها برای صفات اسانس و کامفن V1F3، جرانیال V3F2 ، آلفا زینجیبرن V1F2 و برای سه صفت آلفا کورکومن، بتا بیسابولن و بتا سسکویفلاندرن V3F3 بودند. با آبیاری بهینه و تامین عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه، برخی از ترکیبات موجود در اسانس زنجبیل افزایش یافت ولی برای برخی دیگر از ترکیبات، این افزایش در تنش آبی و کمبود عناصر NPK به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: زینجیبرن، ریزوم، آنتی اکسیدان، گیاهان دارویی، گیاهان معطر

[1]- آدرس نویسنده مسئول: gakbari@ut.ac.ir

مقدمه

گیاه زنجبیل (ginger) با نام علمی *Zingiber officinale* R. از خانواده Zingiberaceae یک گیاه ادویه‌ای و دارویی است که به دلیل ارزش‌های دارویی آن مورد توجه قرار دارد (چوکودی و همکاران، ۲۰۲۰). اطلاعات مربوط به منشأ و اهلی شدن این گیاه نشان می‌دهد که گونه‌های مختلف جنس زنجبیل بومی جنوب شرقی آسیا هستند و از آنجا به سراسر مناطق گرمسیری و نیمه گرمسیری جهان گسترش یافته‌اند (کیزا کایل و همکاران، ۲۰۱۱). این گیاه بومی کشور چین و هند بوده ولی امروزه در بنگلادش، تایوان، جامائیکا، نیجریه و دیگر نقاط جهان کشت می‌شود، هند بزرگ‌ترین تولیدکننده زنجبیل در جهان است، در ایران باستان نیز این گیاه با نام ژنگویر مورد استفاده قرار می‌گرفت، در قرن اول میلادی پزشک نامی یونانی اولین بار استفاده طبی از زنجبیل را ثبت کرد (ویتم، ۲۰۰۷).

ادویه زنجبیل یک چاشنی رایج برای غذاها و نوشیدنی‌های مختلف است که ریزوم تازه و خشک گیاه زنجبیل به‌طور گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی، نوشیدنی و تولید شیرینی مصرف می‌شود (جابورواو همکاران، ۲۰۲۱). زنجبیل یکی از محبوب‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات است که در جوامع بشری جهان اثرات مفید آن به خوبی شناخته شده است (احمد هیس و همکاران، ۲۰۲۱) که به‌صورت تازه و خشک مصرف می‌شود، هم در طب سنتی و هم در طب گیاهی برای درمان دستگاه گوارش، استفراغ، سردرد و حالت تهوع بسیار مفید است (عبدالدائم و همکاران، ۲۰۱۹). در سال‌های اخیر مشخص شده است که زنجبیل دارای فعالیت‌های بیولوژیکی مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضدالتهابی، ضد میکروبی و ضد سرطانی است (زنگ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از مهم‌ترین اقدامات مدیریتی برای افزایش بهره‌وری گیاه زنجبیل، مدیریت آبیاری است، استفاده دقیق از آبیاری می‌تواند نقش اساسی در افزایش بهره‌وری زنجبیل داشته باشد (منگلی و همکاران، ۲۰۲۰). همچنین گیاه زنجبیل در طول دوره رشد به مقدار زیادی آب نیاز دارد و نیاز به آبیاری مداوم در طول دوره رشد (۸ تا ۹ ماه) ضروری است (کومار و همکاران، ۲۰۱۸)؛ بنابراین، آبیاری مناسب یک روش مفید برای بهبود قابل توجه در بهره‌وری است (پاچکو و همکاران، ۲۰۱۶). علاوه بر آبیاری برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، استفاده از کود ضروری است و مقدار کافی کود برای افزایش عملکرد ریزوم باید شناخته شود تا از هدر رفتن جلوگیری گردد. با مطالعه‌ای روی دو رقم رازیانه سوروکساری و راسو در مصر نشان دادند که به ازای افزایش هر ۱۰ کیلوگرم در مقدار کود اوره مصرفی از سطح ۹۰ کیلوگرم در هکتار به بالا، درصد اسانس روغنی دانه ۷/۵٪ در مقایسه با شاهد کاهش یافت. در این تحقیق بالاترین عملکرد اسانس موقعی حاصل شد که رازیانه بعد از ۹۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک آبیاری شود. با افزایش فواصل آبیاری به ۱۲۵ میلی‌متر و کاهش آن به ۶۵ میلی‌متر تبخیر از تشتک، درصد اسانس دانه و ماده مؤثره آن به‌طور معنی‌دار اُفت پیدا کرد (العبد و همکاران، ۲۰۰۸).

سه عنصر اصلی نیتروژن، فسفر و پتاسیم نقش بسیار مهمی در رشد، عملکرد و کیفیت گیاه داشته و از مهم‌ترین عناصر مورد نیاز گیاه محسوب می‌شوند (ماتیوس، ۲۰۰۹). در رشد و تولید گیاهان دارویی مقدار و زمان کاربرد کود از اهمیت اساسی برخوردار است، چنانچه در طول دوره رشد وضعیت تغذیه‌ای گیاه و تعادل بین استفاده از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در سطح مطلوب باشد، بر عملکرد و کیفیت تولید اثر مثبت خواهد داشت (لوساک و ریچتر، ۲۰۰۴)

زنجبیل در ترکیبات فعال مانند ترکیبات فنلی و ترپن‌ها فراوان است (پراساد و تیاگی، ۲۰۱۵). ترکیبات فنلی موجود در زنجبیل عمدتاً جینجرول‌ها[۲]، شوگاول‌ها[۳] و پارادول‌ها[۴] هستند. در زنجبیل تازه، جینجرول ها پلی فنل‌های اصلی هستند، مانند ۶–جینجرول، ۸–جینجرول و

[۲]- gingerol
[۳]- shogaol
[۴]- Paradol

۱۰-جینجرول. با عملیات حرارتی یا نگهداری طولانی‌مدت، جینجرول‌ها را می‌توان به شوگاول‌های مربوطه تبدیل کرد. پس از هیدروژناسیون، شوگاول‌ها را می‌توان به پارادو تبدیل کرد (استونر، ۲۰۱۳). همچنین بسیاری از ترکیبات فنلی دیگر در زنجبیل وجود دارد، مانند کورستین، زینجرون، جینجرون-A و ۶-دهیدروژنگردیون (جی و همکاران، ۲۰۱۷).

علاوه بر این‌ها، پلی ساکاریدها، لیپیدها، اسیدهای آلی و الیاف خام نیز در زنجبیل وجود دارند (پراساد و تیاگی، ۲۰۱۵). چندین ترکیب ترپن در زنجبیل وجود دارد، مانند بیزابولن، کورکومن، زینجیبرن، فارنسن و سسکی‌فلاندرن که از ترکیبات اصلی اسانس‌های زنجبیل محسوب می‌شوند (یه و همکاران، ۲۰۱۴). در آزمایشی روی بابونه آلمانی در شهر تبریز نشان داده شد که دور آبیاری بابونه را می‌توان از ۶ به ۱۲ روز بدون تأثیر منفی معنی‌دار بر روی درصد اسانس گل افزایش داد. همچنین در این تحقیق اثر تقسیم‌بندی کود و مصرف آن در مراحل مختلف رشد بر مقدار اسانس تأثیری نداشت (میرشکاری و همکاران، ۲۰۲۰). شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس و تغییر درصد آن‌ها در شرایط مختلف محیطی برای کنترل کیفی کشت و تولید گیاه زنجبیل ضروری است. در سال‌های اخیر استفاده از گیاه زنجبیل به دلیل اثبات اثرات مفید آن، نداشتن اثرات جانبی و همچنین سازگار بودن با سلامتی، روزبه‌روز در حال افزایش است، با توجه به اینکه کشور ایران از جمله واردکنندگان گیاه زنجبیل است، به‌منظور جلوگیری از خروج ارز، با تولید و صادرات این گیاه و فراورده‌های آن می‌توان ارز آوری مناسبی را برای کشور ایجاد نمود، به غیر از چند کشور تولید کننده زنجبیل، در دنیا مطالعات کمی در مورد کشت گیاه زنجبیل وجود دارد، در ایران نیز مطالعاتی در مورد خواص و تأثیرات پزشکی این گیاه بر روی انسان و دام انجام شده است ولی در خصوص کشت این گیاه در مزرعه مطالعات کمی انجام شده است، از این رو بررسی تغییرات اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل تحت تأثیر دورهای آبیاری و عناصر پرمصرفNPK ، با توجه به نیمه‌خشک بودن منطقه پاکدشت و کمبود آب و مصرف بی‌رویه کودهای نیتروژنه در کشاورزی و نیز با در نظر گرفتن موقعیت جغرافیایی منطقه از نظر امکان توسعه کشت گیاه زنجبیل مورد بررسی قرار گرفت، این آزمایش تلاش دارد به تولید گیاهان دارویی در کشور کمک نماید. شاید این امر، زمینه ساز پژوهش‌های بعدی در علم داروسازی و دیگر علوم مرتبط با آن، به‌منظور استفاده بهینه از اسانس این گیاه و ترکیبات آن و جایگزین نمودن آن‌ها با داروهای شیمیایی شود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه پژوهشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در پاکدشت (۲۵ کیلومتری جنوب شرقی تهران در عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی، با ارتفاع ۱۱۸۰ متری از سطح دریا) در اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۰ اجرا شد. این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به‌صورت اسپلیت پلات با نه تیمار و در سه تکرار اجرا شد. برای انجام این پژوهش ۲۷ کرت آزمایشی در مزرعه ایجاد شد. عوامل آزمایش عبارت بودند از فاکتور اصلی شامل دور آبیاری در سه سطح: (۴ روز:V1، ۶ روز:V2 ، ۸ روز:V3)، فاکتور فرعی تیمارهای کودیNPK در سه ترکیب، (K:۲۰۰، P:۱۰۰، N:۳۰۰=F1) ، (K:۲۵۰، P:۱۵۰، N:۳۵۰=F2) ، (K:۱۵۰، P:۵۰، N:۲۵۰=F3) کیلوگرم در هکتار انتخاب شد، قبل از اجرای آزمایش برای تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای طرح، از پنج نقطه زمین مورد نظر در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متر نمونه مرکب تهیه و به آزمایشگاه خاک‌شناسی انتقال یافت و نتایج طبق (جدول ۱) بدست آمد.

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

نوع آزمایش	Ec dS/m	pH	TNV %	OM %	Total N mg/kg	P(ava) mg/kg	K(ava) mg/kg	Clay %	Silt %	Sand %	Texture
	هدایت الکتریکی	اسیدیته	آهک	ماده آلی	ازت کل	فسفر قابل دسترس	پتاسیم قابل دسترس	رس	لای	ماسه	بافت
خاکشناسی	۳/۱۳	۷/۱۹	۱۴/۹۷	۴/۲۸	۴۱۰۰	۱۷/۲۱	۱۰۲۷	۱۷	۴۱	۴۲	لوم

به‌منظور تهیه بستر کاشت، قبل از کاشت عملیات خاک‌ورزی در زمین مورد نظر انجام شد. در هر کرت اصلی سه کرت فرعی و در داخل هر کرت فرعی چهار ردیف کاشت (فاصله ردیف از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر) به طول ۱/۸ متر ایجاد شد. بعد از آماده شدن کرت‌ها و برش دادن زنجبیل‌ها، قطعات را در یک محل خشک برای چند روز کنار می‌گذاریم تا آن‌ها را آماده‌ی کاشت کنیم. با این کار یک لایه‌ی محافظتی پینه مانند روی سطح برش تشکیل می‌شود که خطر عفونت و آلودگی را کاهش می‌دهد. سپس با قارچ‌کش کاربندازم دو در هزار اقدام به ضدعفونی ریزوم‌ها می‌کنیم و پس از آن ریزوم‌ها را برای کشت به مزرعه اصلی انتقال می‌دهیم، زنجبیل به فاصله ۲۵ سانتی‌متر از یکدیگر در هر ردیف بصورت دستی کاشته شد. وزن هر ریزوم حدود ۴۰ گرم در نظر گرفته شد. فاصله هر کرت فرعی با کرت فرعی مجاور ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین تکرارها یک متر رعایت گردید (آرا و همکاران، ۲۰۱۹).

براساس تیمارهای پژوهش قبل از کاشت تمام فسفر و پتاس و یک سوم نیتروژن به‌عنوان کود پایه به خاک افزوده شد و مابقی نیتروژن در دو مرحله سه برگه شدن و هشت برگه شدن گیاه بصورت سرک داده شد.

ریزوم مورد استفاده از رقم (*Z. officinale* R.) بود، آبیاری به‌صورت قطره‌ای با نوار تیپ انجام شد. آبیاری تا مرحله شش برگی در فواصل هر چهار روز، قبل از غروب آفتاب انجام شد. هر دور آبیاری با فشار حدود یک اتمسفر و در مدت سه ساعت با نوار تیپ ۱۰ سانتی انجام شد و از مرحله شش برگی به بعد تیمارهای آبیاری (چهار، شش، هشت) روز تا پایان دوره رشد (ابتدای آبان‌ماه) اعمال گردید. اندازه‌گیری مقدار حجم آبیاری با کنتور انجام‌شده و در هر مرتبه ۱/۵ مترمکعب آبیاری انجام شده است که برای هر متر مربع حدود ۲۴ لیتر آب مصرف شد. تعداد دفعات و مقدار حجم آبیاری تیمارهای مختلف دورهای آبیاری طبق (جدول ۲) انجام شد. در طول مراحل داشت، سله شکنی و مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت دستی انجام شد.

جدول ۲- اثر تیمارهای دور آبیاری بر تعداد و حجم آبیاری در مزرعه زنجبیل (*Zingiber officinale*)

شهر	دورهای آبیاری (روز)	تعداد دفعات آبیاری (مرتبه)	آبیاری کل مزرعه در یک دوره کشت (مترمکعب)
پاکدشت	۴	۴۵	۶۷/۵
	۶	۳۵	۵۲/۵
	۸	۳۰	۴۵

روش استخراج اسانس

استخراج اسانس در این تحقیق، با روش تقطیر با آب با استفاده از دستگاه کلونجر بود. برای این منظور مقدار ۳۰ گرم از پودر هر کدام از نمونه‌ها توزین شده، داخل بالن‌های ۱۰۰۰ میلی‌لیتری ریخته شد و سپس مقدار ۳۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر به محتویات بالن‌ها اضافه شد. پس از به جوش آمدن آب داخل بالن‌ها، عمل اسانس‌گیری به مدت سه ساعت ادامه یافت، مایع روغنی به دست آمده توسط مواد جاذب رطوبت (سولفات سدیم) خشک شد.

شناسایی ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس

پس از آماده‌سازی اسانس‌ها، از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) برای جداسازی و تعیین درصد هر یک از اجزای اسانس استفاده شد. سپس اسانس‌ها توسط دستگاه کوپل شده کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی (GC/MS) مورد شناسایی کیفی قرار گرفتند. شناسایی ترکیبات با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل زمان و شاخص بازداری (RI) مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه این طیف‌ها با ترکیب‌های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه دستگاه GC/MS صورت گرفت (شیبامو‌تو، ۱۹۸۷). درصد نسبی هر کدام از ترکیبات تشکیل دهندهٔ اسانس با توجه به سطح زیر منحنی آن در کروماتوگرام GC به دست آمد.

مشخصات دستگاه آنالیز GC

آنالیز کمی اسانس به کمک دستگاه کروماتوگراف گازی با مدل Agilent 7890A ساخت کشور آمریکا، مجهز به آشکارساز FID و داده‌پرداز با نرم‌افزار Chem 32 مورد استفاده قرار گرفت. ستون نیمه‌قطبی DB-5 (به طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون) به‌کار گرفته شد. دمای محفظه تزریق و همچنین دمای آشکارساز روی ºC ۲۸۰ تنظیم شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون شامل افزایش دما از ۶۰ تا ºC ۲۲۰ با سرعت افزایش سه درجه سلسیوس بر دقیقه بوده و سپس افزایش بهºC ۲۶۰ با سرعت ºC ۲۰ بر دقیقه و در نهایت ۱۰ دقیقه در این دما نگه داشته شد. گاز حامل به کار رفته نیتروژن با سرعت جریان ۰/۷ میلی‌لیتر بر دقیقه بود.

مشخصات دستگاه GC/MS

برای آنالیز کیفی اسانس‌های تهیه شده از ریزوم زنجبیل از دستگاه کروماتوگراف گازی Agilent 7890A متصل به طیف سنج جرمی Agilent 5975C از نوع چهار قطبی (ساخت آمریکا)، مجهز به ستون DB-5 (طول ۳۰ متر، قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن برابر ۰/۲۵ میکرون) انجام شده است. برنامه‌ریزی حرارتی ستون عبارتند از افزایش درجه حرارت از ۶۰ تا ºC ۲۲۰ با سرعت افزایش سه درجه سلسیوس در دقیقه و سپس افزایش به ºC ۲۶۰ با سرعت ºC ۲۰ درجه بر دقیقه و در نهایت پنج دقیقه در این دما نگه داشته شده است. درجه حرارت محفظه تزریقºC ۲۶۰ و دمای ترانسفرلاینºC ۲۸۰ تنظیم شده است. گاز حامل هلیوم بوده که با سرعت ۳۰/۶ سانتی‌متر بر ثانیه در طول ستون حرکت می‌کند. زمان اسکن برابر یک ثانیه، انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت و اسکن ناحیه جرمی از ۳۰ تا ۳۴۰ بوده است.

تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه‌های GC و GC/MS انجام گرفت و ۳۴ ترکیب شیمیایی پس از انجام GC/MS نمونه شاهد (جدول_۲) شناسایی شد. بعد از استخراج عصاره‌های متانولی و اتانولی گیاه زنجبیل، ترکیبات موجود در آن‌ها را با استفاده از دستگاه‌های GC-MS وGC مورد اندازه‌گیری کیفی و کمی قرار داده شد.

صفات مورد مطالعه در این آزمایش درصد اسانس و شش ترکیب مهم تشکیل‌دهنده اسانس شامل کامفن، جرانیال، آلفا کورکومن، آلفا زینجیبرن، بتا بیسابولن، بتا سسکویفلاندرن بودند. به‌منظور انجام محاسبه‌های آماری از نرم‌افزار آماری SAS, Excel (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال پنج درصد انجام گرفت. همچنین اثرهای متقابل با استفاده از روش برش دهی اثر متقابل LSMEANS توسط دستورPDIF انجام گردید (سلطانی، ۱۳۹۲).

نتایج و بحث

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۴) نشان داد که اثر متقابل بین دورهای آبیاری و عناصر پرمصرف NPK بر اسانس و شش ترکیب اصلی اسانس گیاه زنجبیل (کامفن، جرانیال، آلفا کورکومن، آلفا زینجیبرن، بتا بیسابولن، بتا سسکویفلاندرن) در سطح یک درصد معنی‌دار شد. (توضیح: جدول (۴) مشخص‌کننده وضعیت

معنی‌داری صفات است و ازاین‌رو از ذکر معنی‌دار بودن یا نبودن صفات در متن خودداری شده است.)

نتیجه تجزیه ترکیبات اسانس توسط دستگاه کروماتوگراف گازی شناسایی ۳۴ ترکیب شیمیایی طبق (جدول ۳) شد، شش ترکیب اصلی اسانس برحسب درصد شامل (آلفا زینجیبرن=۲۳/۶۵)، (جرانیال=۱۱/۰۹)، (کامفن=۹/۵۸)، (بتا سسکویفلاندرن=۸/۴۳)، (بتا بیسابولن=۳/۷۵) و (آلفا کورکومن=۲/۶) بود که این شش ترکیب مجموعاً ۵۹/۱ درصد کل اسانس زنجبیل را شامل شدند و ۲۸ ترکیب دیگر فقط ۴۰/۹ درصد کل اسانس را تشکیل می‌دادند.

همان‌طور که در (جدول ۵) مشاهده می‌شود بالاترین بازده اسانس نسبت به وزن تر گیاه مربوط به تیمارهای V1F3، V1F1، V2F2، V2F3 به ترتیب با درصدهای ۰/۲۴، ۰/۲۱، ۰/۲۰۵ و ۰/۱۹۵ بود و کمترین مربوط به تیمارهای V1F2، V3F1 و V3F3 شد که اثر متقابل دور آبیاری هر چهار روز با عناصر پر مصرف (K:۲۰۰، P:۱۰۰، N:۳۰۰)=F1 و ، (K:۱۵۰، P:۵۰، N:۲۵۰)=F3 کیلوگرم در هکتار و اثر متقابل دور آبیاری هر شش روز با عناصر پر مصرف (K:۲۵۰، P:۱۵۰، N:۳۵۰)= F2و (K:۱۵۰، P:۵۰، N:۲۵۰)=F3 کیلوگرم در هکتار برای صفت اسانس زنجبیل بهترین نتیجه را به دنبال داشت. در آزمایشی مشابه مشخص شد که محلول‌پاشی ترکیبات کودی سوندفلورا به‌عنوان منبع NPK و آت آمینو به‌عنوان منبع اسیدهای آمینه باعث افزایش میزان اسانس و ترکیبات اسانس گیاه مرزه شد (الگوهری و همکاران، ۲۰۱۵).

تیمارهای V1F3 و V1F1 در ترکیب کامفن، با ۹/۲۱ درصد و ۸/۲۴ درصد بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند و تیمارهای V2F2 و V3F3 با درصد ۱/۳۹ و ۰/۹۵ کمترین مقدار ترکیب اسانس را داشتند. در تیمارهای دور آبیاری چهار روزه با افزایش دوز ترکیب NPK مقدار ترکیب کامفن کاهش پیدا نمود ولی در تیمارهای آبیاری هشت روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب NPK صفت کامفن با افزایش روبرو شد. به نظر می‌رسد به دلیل کمبود آب، جذب کود موجود در خاک نیز توسط گیاه با مشکل روبرو می‌شود و این ماده مؤثره جهت حفظ بقاء گیاه از اکسیداسیون در سلول‌ها جلوگیری می‌کند در آزمایش‌هایی مشابه نشان داده شد که کمبود آب متابولیت‌های ثانویه از جمله اسانس‌ها را در گیاهان مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد (قاسمی پیربوطی و همکاران، ۲۰۱۵).

با توجه به (جدول ۵) در صفت جرانیال تیمارهای V3F2 و V2F2 با ۱۴/۰۳ و ۱۳/۱۳ درصد اسانس بیشترین مقدار را ثبت نمود و تیمارهای V3F3 و V1F2 با مقدار ۸/۴۲ و ۷/۴۲ درصد اسانس کمترین مقدار را به خود اختصاص داد. دور آبیاری هشت و شش روزه با کود (K:۲۵۰، P:۱۵۰، N:۳۵۰)=F2 بیشترین درصد اسانس را برای صفت جرانیال نشان داد ولی همین تیمار کودی با دور آبیاری چهار روز یکبار کمترین درصد را نشان داد بدلیل اینکه رژیم آبیاری نیز تأثیر معنی‌داری روی درصد و عملکرد اسانس گیاهان دارویی دارد. در یک آزمایش مشابه روی بابونه (*Matricaria chamomilla* L.) بیشترین و کمترین اسانس گل (به ترتیب برابر با ۰/۷۵ ٪ و ۰/۶۳ ٪) به تیمارهایی که آبیاری آن‌ها در حد ۸۵٪ و ۱۰۰٪ ظرفیت مزرعه‌ای انجام شده بود، تعلق داشت (پیرزاد و همکاران، ۲۰۰۶).

جدول ۳- نام و درصد ترکیب‌های تشکیل دهندهٔ اسانس گیاه زنجبیل

ردیف	نام ترکیب	شاخص بازداری	زمان بازداری (دقیقه)	درصد
۱	α-pinene	۹۳۸	۸/۶	۲/۳۳
۲	camphene	۹۵۷	۹/۲۳	۹/۵۸
۳	β-pinene	۹۸۲	۱۰/۱۸	۰/۳۶
۴	myrcene	۹۸۸	۱۰/۳۹	۱/۱۷
۵	α-Terpinene	۱۰۱۰	۱۱/۱۷	۰/۴۱
۶	p-cymene	۱۰۳۵	۱۲/۰۹	۱/۷۸
۷	limonene	۱۰۳۸	۱۲/۲۲	۸/۱۳
۸	cineole-1.8	۱۰۳۹	۱۲/۲۷	۳/۱۶
۹	linalool	۱۱۰۰	۱۴/۸۸	۰/۵۳
۱۰	camphor	۱۱۴۴	۱۷/۱۷	۰/۳۲
۱۱	borneol	۱۱۶۴	۱۸/۲۹	۱/۹۴
۱۲	α-Terpineol	۱۱۸۰	۱۹/۲۱	۰/۸۲
۱۳	citronellol	۱۲۲۹	۲۰/۴۱	۰/۴۴
۱۴	neral	۱۲۴۴	۲۱/۰۵	۳/۸۳
۱۵	geraniol	۱۲۵۴	۲۱/۴۸	۰/۹۷
۱۶	geranial	۱۲۷۴	۲۲/۴۱	۱۱/۰۹
۱۷	bornylacetate	۱۲۸۸	۲۳/۰۵	۰/۳۷
۱۸	geranyl acetate	۱۳۶۳	۲۶/۸۵	۱/۱۶
۱۹	β-elemene	۱۳۷۳	۲۷/۴۶	۰/۵۳
۲۰	E- β-farnesene	۱۴۵۲	۲۹/۹	۰/۳۰
۲۱	α-curcumene	۱۴۸۳	۳۱/۱۷	۲/۶۰
۲۲	germacrene D	۱۴۸۶	۳۱/۲۹	۱/۱۸
۲۳	α-zingiberene	۱۴۹۹	۳۱/۸۵	۲۳/۶۵
۲۴	trans-muurola-4-(14)diene	۱۵۰۳	۳۲/۰۵	۵/۲۱
۲۵	β-bisabolene	۱۵۰۸	۳۲/۲۷	۳/۷۵
۲۶	β-sesquiphellandrene	۱۵۲۳	۳۲/۹۴	۸/۴۳
۲۷	germacrene B+elemol	۱۵۴۴	۳۳/۸۸	۱/۰۷
۲۸	E-nerolidol	۱۵۵۱	۳۴/۲۱	۰/۴۲
۲۹	trans-sesquisabinene hydrate	۱۵۷۷	۳۵/۴۳	۰/۷۰
۳۰	epi-zingibrene-7	۱۶۱۶	۳۶/۳۳	۱/۰۵
۳۱	l-epi-cubenol	۱۶۳۳	۳۶/۹۶	۰/۶۳
۳۲	Agarospirol	۱۶۳۸	۳۷/۱۲	۰/۵۳
۳۳	β-eudesmol	۱۶۶۲	۳۸	۰/۴۶
۳۴	epi-α-bisabolol	۱۶۸۸	۳۸/۹۸	۰/۹۳

جدول ۴- تجزیه واریانس ساده برخی از صفات مورد آزمون

	میانگین مربعات (M.S)						
درجه آزادی d.f	اسانس	کامفن	جرانیال	آلفا کورکومن	آلفا زینجیبرن	بتا بیسابولن	بتا سسکویفلاندرن
۲	۱۷/۳۶	۰/۰۰۵	۱/۶۵	۰/۰۰۵	۰/۳۳	۰/۰۰۵	۰/۰۱۸
۲	۳۸/۵۸*	۷۲/۴۲**	۱۱/۰۳**	۱۰/۷۴**	۴/۵۵ns	۱/۸۸**	۶/۶۴**
۴	۱۸/۳۶	۰/۱۶	۱/۰۷	۰/۴۸	۴/۰۵	۰/۰۲	۰/۰۶
۲	۹/۳۳ns	۹/۰۱**	۹/۹۲**	۰/۵۵*	۱/۹۸ns	۰/۱۱ns	۰/۴۱ns
۴	۶۰/۲**	۱۲/۸۵**	۱۵/۴۵**	۲/۳۶**	۳۷/۱۳**	۱/۵۷**	۷/۰۲**
۱۲	۶/۸۶	۰/۷۱	۰/۸۸	۰/۱۰	۵/۱۷	۰/۰۸	۰/۳۸
۲۶	–	–	–	–	–	–	–
–	۱۴/۵۰	۱۸/۵۴	۹/۱۱	۸/۸۶	۸/۵۳	۶/۲۷	۶/۱۶

جدول ۵- مقایسه میانگین تیمارهای مورد آزمون از لحاظ صفات مورد مطالعه

تیمار T	میانگین						
	اسانس %	کامفن %	جرانیال %	آلفا کورکومن %	آلفا زینجیبرن %	بتا بیسابولن %	بتا سسکویفلاندرن %
اثر متقابل آبیاری× کود (V×F)							
V1F1	۰/۲۱^{ab}	۸/۲۴^{a}	۹/۸۸^{bc}	۲/۷۸^{ef}	۲۵/۰۵^{cd}	۳/۹۵^{ef}	۸/۷۹^{de}
V1F2	۰/۱۲^{e}	۵/۸۷^{b}	۷/۴۲^{d}	۲/۷۳^{ef}	۳۰/۲۲^{a}	۴/۷۸^{bc}	۱۰/۵۴^{bc}
V1F3	۰/۲۴^{a}	۹/۲۱^{a}	۱۰/۰۲^{bc}	۲/۲۲^{f}	۲۳/۰۳^{d}	۳/۵۵^{f}	۷/۸۷^{e}
V2F1	۰/۱۸^{bcd}	۶/۲۸^{b}	۱۰/۴۶^{b}	۳/۲۴^{de}	۲۷/۶۸^{abc}	۴/۵۰^{cd}	۹/۸۸^{c}
V2F2	۰/۲۰۵^{ab}	۱/۳۹^{de}	۱۳/۱۳^{a}	۴/۳۳^{bc}	۲۶/۱۱^{bcd}	۴/۵۶^{cd}	۹/۹۸^{c}
V2F3	۰/۱۹۵^{abc}	۲/۶۴^{cd}	۱۰/۱۴^{b}	۳/۷۸^{cd}	۲۸/۶۱^{ab}	۴/۸۶^{bc}	۱۰/۷۱^{bc}
V3F1	۰/۱۴^{cde}	۲/۴۷^{d}	۹/۵۷^{bc}	۴/۶۴^{b}	۲۸/۹۱^{ab}	۵/۱۹^{b}	۱۱/۲۵^{ab}
V3F2	۰/۱۸۵^{bc}	۳/۹^{c}	۱۴/۰۳^{a}	۳/۶۵^{cd}	۲۲/۸۶^{d}	۴/۱۱^{de}	۸/۹^{d}
V3F3	۰/۱۴^{de}	۰/۹۵^{e}	۸/۴۲^{cd}	۵/۸۹^{a}	۲۷/۵۷^{abc}	۵/۷^{a}	۱۲/۱۲^{a}

اعدادی که در هر ستون حداقل دارای یک حرف مشترک باشند فاقد تفاوت معنی‌دار براساس آزمون LSD است

یافته‌ها حکایت از آن دارد که تیمار V3F3، در ترکیبات آلفا کورکومن، بتا بیسابولن به ترتیب با عدد ۵/۸۹ و ۵/۷ بالاترین درصد اسانس را به خود اختصاص داد، امکان دارد که کاهش مقدار آب آبیاری و افزایش فاصله دورهای آبیاری از چهار روز به هشت روز برای گیاه ایجاد تنش خشکی نموده باشد و به‌عبارت‌دیگر کمبود آب درصد اسانس گیاهان دارویی و معطر را افزایش دهد زیرا سبب می‌شود که متابولیت‌های بیشتری در گیاه تولید شده و این مواد از اکسیداسیون در سلول‌ها جلوگیری می‌کنند(پرادان و همکاران، ۲۰۱۷).

بررسی اسانس و ترکیب آلفا زینجبرن در منطقه پاکدشت نشان داد که این ترکیب بالاترین درصد اجزای تشکیل‌دهنده اسانس زنجبیل را در این منطقه داشت. در آزمایشی مشابه دو ترکیب آلفازینجیبرن و بتا سسکویی فلاندرن را به‌عنوان اجزای اصلی هر کدام از عصاره‌ها معرفی کردند (بهارگاوا و همکاران، ۲۰۱۲). تیمارهای V1F2، V3F1، V2F3 و V2F1 در ترکیب آلفا زینجبرن بیشترین مقدار اسانس را به خود اختصاص دادند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در هر سه دوره آبیاری و در هر سه ترکیب کودی نتایج متفاوتی در خصوص این صفت مشاهده می‌شود با این حال، برخی گزارش‌ها حاکی از آن است که در برخی گونه‌های گیاهی، آبیاری بهینه موجب بالا رفتن تجمع اسانس شده و در برخی دیگر هیچ تأثیری بر مقدار آن ندارد. این نتایج متفاوت به این علت است که در گیاهان دارویی تولید، درصد اسانس و اجزای تشکیل‌دهنده آن علاوه بر نوع تنش، به‌شدت تنش، گونه گیاهی، مرحله نمو، شرایط اقلیمی و جغرافیایی بستگی دارد (قاسمی پیربوطی و همکاران، ۲۰۱۷).

با توجه به نتایج آزمایش صفت بتا سسکویفلاندرن در تیمارهای V3F3 و V3F1 با مقدار ۱۲/۱۲ و ۱۱/۲۵ درصد بیشترین مقدار را بین تیمارهای مختلف از خود نشان دادند و کمترین مقدار مربوط به تیمارهای V1F1 و V1F3با مقدار ۸/۷۹ و ۷/۸۷ درصد بود. در دور آبیاری چهار روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب کودی درصد این صفت با افزایش همراه بود ولی در دور آبیاری هشت روزه با افزایش مقدار دوز ترکیب کودی صفت بتا سسکویفلاندرن با افت همراه شد، می‌تواند به این دلیل باشد که کمبود آب مورد نیاز گیاه باعث عدم جذب عناصر غذایی توسط ریشه گیاه می‌شود و عدم جذب برخی عناصر باعث بالا رفتن سطح آن عنصر در خاک شده که نتیجه عکس (مضر) را برای گیاه خواهد داشت. در خاک‌های آهکی و قلیایی مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، فسفر قابل جذب برای گیاه ممکن است تحت تأثیر کربنات کلسیم و تبدیل به فسفات کلسیم، به شکل غیرقابل

جذب برای گیاه تبدیل شود (سعیدی و همکاران، ۲۰۱۴) یا عنصر نیتروژن که در توسعه و تقسیم سلول‌های جدید حاوی اسانس و بیوسنتز اسانس و مواد مؤثره گیاهان دارویی نقش مهمی ایفاء می‌کند، ولی مصرف نیتروژن در سطوح بالا منجر به کاهش قابل توجه اسانس می‌شود (امیدبیگی و همکاران، ۲۰۰۳).

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی مواد مؤثره موجود در زنجبیل یکی از عوامل بسیار مهم در استفاده از این گیاه دارویی است، به همین جهت در بررسی تأثیر تیمارهای آب و کود بر روی این گیاه مشخص شد که اثر متقابل دورهای آبیاری و ترکیب عناصر پرمصرف NPK در این آزمایش بر اسانس و ترکیبات شیمیایی اسانس زنجبیل معنی‌دار شد. شناسایی ترکیبات شیمیایی اسانس و تغییر درصد آن‌ها در شرایط مختلف آبیاری و تغذیه‌ای برای کنترل کیفی کشت و تولید گیاه زنجبیل ضروری است. در زنجبیل ترکیبات فعال ترپن‌ها فراوان است؛ مانند کامفن، جرانیال، آلفا کورکومن، آلفا زینجیبرن، بتا بیسابولن، بتا سسکویفلاندرن که از ترکیبات اصلی اسانس‌های زنجبیل محسوب می‌شوند و همانطور که در این آزمایش مشخص شد آلفا زینجیبرن ترکیب اصلی اسانس گیاه زنجبیل قرار گرفت. درصد اسانس و ترکیبات موجود در آن به عوامل مختلفی وابسته بود که از آن جمله می‌توان به نحوه آبیاری، عناصر غذایی موجود در خاک و مقدار کودهایی که به خاک افزوده می‌شود، جنس خاک، استرس‌های محیطی مختلف از قبیل تنش‌های خشکی، رطوبت و استرس ناشی از کمبود مواد غذایی در خاک اشاره کرد. نتایج این آزمایش نشان داد، برخی ترکیبات موجود در اسانس زنجبیل با تأمین آب کافی و عناصر غذایی پرمصرف برای گیاه و برخی از ترکیبات با ایجاد تنش آبی و کمبود عناصر NPK دچار افزایش می‌گردند، این پدیده می‌تواند به دلیل مسیر مشترک تشکیل این ترکیب‌ها در گیاهان وابسته باشد که اختلاف دورهای آبیاری و ترکیب عناصرNPK باعث تغییراتی در ترکیب اسانس‌ها می‌شود. تغییر در ترکیبات اسانس می‌تواند به دلیل اثر دورهای آبیاری بر فعالیت آنزیم‌های دخیل در بیوسنتز مونوترپن‌ها باشد. به عبارتی می‌توان گفت کمبود عناصر غذایی و کاهش حجم آبیاری تأثیر بر تجمع مونوترپن‌ها در گیاه زنجبیل دارد. امید است در صنایع داروسازی یا صنایع غذایی در صورت نیاز بیشتر به هر یک از ترکیبات اسانس زنجبیل، با انجام پژوهش‌های بیشتر بتوان با کنترل میزان آبیاری و مواد غذایی موجود در خاک، در افزایش ترکیب مورد نظر تأثیرگذار شد.

تشکر و قدردانی

در پایان لازم است از شبکه آزمایشگاهی فناوری‌های راهبردی معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری به دلیل تخفیف خدمات آزمایشگاهی این پژوهش و تمام افرادی که در انجام این آزمایش با ما همکاری داشتند، بویژه مدیر محترم گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات و اساتید محترم دانشکدگان ابوریحان دانشگاه تهران صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

فهرست منابع

1. Abdel-Daim, M.M., El-Tawil, O.S., Bungau, S.G. and Atanasov, AG. 2019. Applications of Antioxidants in Metabolic Disorders and Degenerative Diseases: Mechanistic Approach. Oxidative Medicine and Cellular Longevity.4179676:1-3.
2. Ahmed, H.I.S., Badr, A., El-Shazly, H.H., Watson, L., Fouad, A.S. and Ellmouni, F.Y. 2021. Molecular Phylogeny of Trifolium L. Section Trifolium with Reference to Chromosome Number and Subsections Delimitation. Journal of Plants. 10(10)1985: 1-14.
3. Ara, R., Ratna, M., Sarker, R., Ahmed, M.M. and Rahman, M.M. 2019. Effect of rhizome cut on the yield of ginger. International Journal of Applied Research. 5(11): 242-246.

4. Bhargava, S., Dhabhai, K., Batra, A., Sharma, A. and Malhotra, B. 2012. *Zingiber officinale*: Chemical and phytochemical screening and evaluation of its antimicrobial activities. J. Chem. Pharm. 4: 360 -364.
5. Chukwudi, UP., Agbo, CU., Echezona, BC., Eze, EI., Kutu, F.R. and Mavengahama, S. 2020. Variability in morphological, yield and nutritional attributes of ginger (*Zingiber officinale*) germplasm in Nigeria. Res. Crop. 21: 634-42.
6. El-Gohary, A.E., El-Gendy, A.G., Hendawy, S.F., El-Sherbeny, S.E., Hussein, M.S. and Geneva, M. 2015. Herbage yield, essential oil content and composition of summer savory (*Satureja hortensis* L.) as affected by sowing date and foliar nutrition. Genetics and Plant Physiology. 5(2): 170-178.
7. El-Abd, S.O., El-Saied, H.M. and Mahmoud, M.H. 2008. Response of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) on urea application rate under water deficit conditions in Cairo, Egyptian Journal of Horticulture, 54(3): 255-263.
8. Ghasemi Pirbalouti, A. and Craker, L.E. 2015. Diversity in chemical compositions of essential oil of myrtle leaves from various natural habitats in south and southwest Iran. Journal of Forestry Research. 26(4):971-981.
9. Ghassemi Pirbalouti, A., Malekpoor, F., Salimi, A., Golparvar, A. and Hamedi, B. 2017. Effects of foliar of the application chitosan and reduced irrigation on essential oil yield, total phenol content and antioxidant activity of extracts from green and purple basil. Acta Scientlarum. Polonorum Hortorum Cultus. 16(6):177–186.
10. Jabborova, D., Choudhary, R., Karunakaran, R., Ercisli, S., Ahlawat, J., Sulaymanov, K. and Jabbarov, Z. 2021. The Chemical Element Composition of Turmeric Grown in Soil–Climate Conditions of Tashkent Region, Uzbekistan. Journal of Plants. 10(10)1426:1-11.
11. Ji, K., Fang, L., Zhao, H., Li, Q., Shi, Y., Xu, C., Wang, Y., Du, L., Wang, J. and Liu, Q.2017. Ginger oleoresin alleviated gamma-ray irradiation-induced reactive oxygen species via the Nrf2 protective response in human mesenchymal stem cells. Oxid. Med. Cell. Longev, 1480294.
12. Kizhakkayil, J. and Sasikumar, B. 2011. Diversity, characterization and utilization of ginger: A review. Plant Genetic Resources, Cambridge. 9(3): 464-477.
13. Kumar, M., Dubey, S., Dwivedi, P.K., Yadav, A.K. and Kumar, M. 2018. Influence of Different Mulch Materials on Vegetative Growth and Yield of Ginger (*Zingiber officinale* R.) under Drip Irrigation System. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, Tamilnadu. 2: 2546-2551.
14. Losak, T. and Richter, R. 2004. Split nitrogen doses and their efficiency in poppy (*Papaver somniferum* L.) nutrition. Lant, Soil and Environment. 50(11): 484-488.
15. Maathuis FJ. 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. Current opinion in plant biology. 12: 250-258.
16. Meneghelli, CM., Krause, M.R., Schmidt, J., Colombo, J.N. and Vieira, G.H.S. 2020. Performance of ginger crop under different irrigation depths. Biosci Journal. 36(3):783-791.
17. Mirshekari, B., Javanshir, A. and Aliari, H. 2009. Effects of irrigation intervals, nitrogen rate and splitting on essence yield of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) grown in semiarid area. Journal of Horticulture, Environment and Biotechnology. 50(4): 285-289.
18. Omidbaigi, R., Hassani, A. and Sefidkon, F. 2003. Essential oil content and composition of sweet basil (*Ocimum basilicum*) at different irrigation regimes. Journal of Essential Oil Bearing Plants. 6(1): 104-108.
19. Pacheco, A., Lopes, A.S., Oliveira, G.Q., France, A. and Silva, L.E. 2016. Different methods of irrigation management and nitrogen fertilization doses in the components of productivity and efficiency in the use of water. Agrarian Magazine Dourados. 33: 263-273.
20. Pirzad, A., Alyari, H., Shakiba, M.R. Zehtab-Salmasi, S. and Mohammadi, A. 2006. Essential oil content and composition of German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) at different irrigation regimes. Journal of Agronomy. 5(3): 451-455.
21. Pradhan, J., Sahoo, S. K., Lalotra, S. and Sarma, R.S. 2017. Positive impact of abiotic stress on medicinal and aromatic plants. International Journal of Plant Sciences. 12 (2):309-313.

22. Prasad, S., Tyagi, A.K.2015. Ginger and its constituents: role in prevention and treatment of gastrointestinal cancer. Gastroent. Res. Pract, 142979.
23. Saidi, S.M., Khajeh Hosseini, M., Rizwani Moghadam, P. and Shahandeh, H. 2014. The relationship between soil phosphorus solubility and nitrogen absorption and its effect on the phosphorus harvest index of Syahdane. Iranian Crop Science. 46(25): 1-36.
24. Shibamoto, T., Sandra, P. and Bicchi, C. 1987. Retention indices in essential oil analysis, in capillary gas chromatography in essential oil analysis. Huething Verlag, New York. 74 - 259.
25. Soltani, A., 2012. The use of SAS software in statistical analysis. Mashhad University Jihad. 6:1-184
26. Stoner, G.D. 2013. Ginger: Is it ready for prime time? Cancer Prev. 6:257–262.
27. Whitem, B. 2007. Ginger, a review. American Family Physicians. 75: 1689-1691.
28. Yeh, H., Chuang, C., Chen, H., Wan, C., Chen, T. and Lin, L. 2014. Bioactive components analysis of two various gingers (*Zingiber officinale* R.) and antioxidant effect of ginger extracts. LWT-Food Sci. Technol. 55:329–334.
29. Zhang, M., Viennois, E., Prasad, M., Zhang, Y., Wang, L., Zhang, Z., Han, M.K., Xiao, B., Xu, C., Srinivasan, S. and et al. 2016. Edible ginger-derived nanoparticles: A novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer. Biomaterials**.** 101:321–340.

Combined Effects of Irrigation Interval and Composition of Macronutrients on Changes in Essential Oil and Chemical Compounds of Ginger (*Zingiber officinale* R.)

G.Pourshaban- Kateshali, GH. Akbari[1], I.Alahdadi, and E. Soltani

Ph.D. Candidate in Agrotechnology, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. **Pourshaban.gh@ut.ac.ir**

Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. **gakbari@ut.ac.ir**

Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. **alahdadi@ut.ac.ir**

Associate Prof., Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. **elias.soltani@ut.ac.ir**

Received: December 2022 and Accepted: February 2023

Abstract

To evaluate the changes in essential oil and chemical compounds of ginger plant under the influence of irrigation interval and NPK macronutrients, an experiment was carried out using randomized complete blocks in the form of a split plot with 9 treatments and 3 replications in Pakdasht Region, in 2021. Treatments included irrigation internals at three levels: V1=4, V2=6, and V3=8 days, as the main factor, and NPK at three levels, F1= (N: 300, P: 100, K: 200), F2= (350, 150, 250), F3 :(250, 50, 150) ($kg.ha^{-1}$) as the sub-factor. Extraction of essential oil in this research was done by distillation with water using a Cloninger machine, and the analysis of essential oil compounds was done by gas chromatograph, and 34 chemical compounds were identified. The main components of essential oil in terms of percentage included (α-zingiberene=23.65), (geranial=11.09), (camphene=9.58), (β-sesquiphellandrene =8.43), (β-bisabolene=3.75) and (α-curcumene=2.6). These 6 compounds included 59.1% of the total ginger essential oil, and the other 28 compounds made up only 40.9% of the total essential oil. The results of analysis of variance showed that the interaction effect of irrigation and studied fertilizers on essential oil and main compounds of ginger essential oil were significant at the 1% probability level. The best treatments for essential oil and camphene traits were V1F3, geranial V3F2, α-zingiberene V1F2, and for three traits of α-curcumene, β-bisabolene, and β-sesquiphellandrene was V3F3. Some of the compounds in ginger essential oil were increased by optimal irrigation and supply of essential nutrients for the plant, but some compounds increased under water stress and insufficiency of NPK.

Keywords: Zingiberene, Rhizome, Antioxidants, Medicinal plants, Aromatic plants

[1] - Corresponding author: gakbari@ut.ac.ir