

10.22092/IJMAPR.2023.359241.3201

شناسه دیجیتال (DOI):

نشریه علمی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران

20.1001.1.17350905.1402.39.1.9.4

شناسه دیجیتال (DOR):

جلد ۳۹، شماره ۱، صفحه ۱۳۷-۱۲۲ (۱۴۰۲)

بررسی سازگاری اثرهای دور آبیاری و عناصر NPK بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه زنجبیل (*Zingiber officinale* R.) در مناطق پاکدشت و لاهیجان

غلامرضا پورشعبان کنتشالی^۱، غلامعلی اکبری^{۲*}، ایرج اله دادی^۳ و الیاس سلطانی^۴

۱- دانشجوی دکترا، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران، پست الکترونیک: gakbari@ut.ac.ir

۳- استاد، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۴- دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ پذیرش: آذر ۱۴۰۱

تاریخ اصلاح نهایی: آذر ۱۴۰۱

تاریخ دریافت: تیر ۱۴۰۱

چکیده

به منظور بررسی سازگاری گیاه و اثرات دور آبیاری و عناصر پرمصرف NPK روی شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه زنجبیل (*Zingiber officinale* R.)، آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با ۹ تیمار و ۳ تکرار در دو منطقه پاکدشت (استان تهران) و لاهیجان (استان گیلان) در سال ۱۴۰۰ اجرا شد. عوامل آزمایشی شامل دور آبیاری در سه سطح (۴ (V1)، ۶ (V2) و ۸ (V3) روز) به عنوان عامل اصلی و عناصر پرمصرف NPK در سه سطح (N₃₅₀P₁₅₀K₂₅₀، (F1) N₃₀₀P₁₀₀K₂₀₀)، (F2) و (F3) (کیلوگرم در هکتار)) به عنوان عامل فرعی بودند. نتایج نشان داد که اثر آبیاری × NPK در منطقه پاکدشت روی صفات ارتفاع بوته، تعداد برگ در بوته، سطح برگ، تعداد شاخه در بوته، شاخص سطح برگ، وزن تر و خشک ریزوم و عملکرد ریزوم در سطح ۱٪ و قطر ساقه در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. بهترین تیمار در این منطقه، V1F2 بود. اثر آبیاری × NPK در منطقه لاهیجان روی صفات تعداد برگ در بوته و عملکرد ریزوم در سطح ۱٪ و ارتفاع بوته و قطر ساقه در سطح ۵٪ معنی‌دار شد. بهترین نتیجه در لاهیجان در تیمار V1F2 بدست آمد. همچنین از نظر صفات سطح برگ، تعداد شاخه در بوته و شاخص سطح برگ، V1 و F2 بهترین تیمارها در لاهیجان بودند. وزن تر و خشک ریزوم در تیمارهای V2 و F2 بهترین نتایج را داشتند. در مجموع، صفات مورد بررسی در اقلیم لاهیجان بر اقلیم پاکدشت برتری داشت و دور آبیاری هر ۴ روز برای پاکدشت و هر ۶ روز برای لاهیجان بهترین نتایج را داشتند.

واژه‌های کلیدی: کارایی مصرف آب، کود شیمیایی، عملکرد ریزوم، گیاهان معطر، گیاهان دارویی.



مقدمه

زنجبیل یک گیاه ادویه‌ای و دارویی است با نام علمی (*Zingiber officinale* R.) از خانواده (Zingiberaceae) که به دلیل ارزش‌های دارویی آن مورد توجه است (Chukwudi *et al.*, 2020). 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 نیمه‌گرمسیری جهان گسترش یافته‌اند (Kizhakkayil & Sasikumar, 2011). زنجبیل گیاهی مربوط به نواحی گرمسیری است که سازگاری زیادی با این محیط دارد (Chrubasik *et al.*, 2005). 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 (White, 2007). از دیرباز در طب عامیانه در هند و چین استفاده می‌شده است (Jaborova *et al.*, 2019). این ادویه یک چاشنی رایج برای غذاها و نوشیدنی‌های مختلف است که ریزوم تازه و خشک زنجبیل به‌طور گسترده‌ای در صنایع دارویی، غذایی، نوشیدنی و شیرینی‌سازی مصرف می‌شود (Jaborova *et al.*, 2021). ادویه‌جات به دلیل ارزش تأثیرگذاری بالا و قابلیت‌های صادراتی، عمده‌ترین کالاهایی هستند که برای افزایش اقتصاد کشاورزی هر کشور مفید می‌باشند (Fouad *et al.*, 2021). زنجبیل یکی از محبوب‌ترین و با ارزش‌ترین ادویه‌جات است که در جوامع بشری جهان اثرهای مفید آن به خوبی شناخته شده است (Ahmed *et al.*, 2021) که به صورت تازه و خشک مصرف می‌شود که هم در طب سنتی و هم در طب گیاهی برای درمان دستگاه گوارش، استفراغ، بیماری حرکت، سردرد و حالت تهوع بسیار مفید است (Abdel-Daim *et al.*, 2019). بسیاری از ترکیب‌های زیست فعال در زنجبیل شناسایی شده‌اند، مانند ترکیب‌های

فنولی و ترین. ترکیب‌های فنولی عمدتاً جینجرول‌ها، شوگول‌ها و پارادول‌ها هستند که فعالیت‌های زیستی مختلف زنجبیل را تشکیل می‌دهند (Stoner, 2013). در سال‌های اخیر مشخص شده است که زنجبیل دارای فعالیت‌های بیولوژیکی مانند فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی، ضد التهابی، ضد میکروبی و ضد سرطانی است (Zhang *et al.*, 2016).

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 (Meneghelli *et al.*, 2020). در آزمایشی نشان داده شد که تنش خشکی می‌تواند غلظت متابولیت‌های ثانویه را در گیاهان مختلف و برخی گیاهان دارویی از جمله زنجبیل افزایش دهد (Anjum *et al.*, 2016). همچنین گیاه زنجبیل در طول دوره رشد به مقدار زیادی آب نیاز دارد و نیاز به آبیاری مداوم در طول چرخه (۸ تا ۹ ماه) ضروریست (Kumar *et al.*, 2018). بنابراین، آبیاری مناسب یک روش مفید برای بهبود قابل توجه در بهره‌وری است (Pacheco *et al.*, 2016). از این رو برای انتخاب بهترین دور آبیاری در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان که دارای شرایط اقلیمی متفاوت هستند، امکان انتخاب یک نوع آبیاری یکسان مقدور نبوده، به همین دلیل در این آزمایش سه فاکتور آبیاری مختلف در نظر گرفته شده که بهترین تیمار آبیاری برای هر منطقه مشخص شود.

علاوه بر آبیاری برای افزایش عملکرد محصولات زراعی، استفاده از کود ضروریست و مقدار کافی کود برای افزایش عملکرد ریزوم باید شناخته شود تا از هدررفتن جلوگیری شود. افزایش میزان کود به‌طور قابل توجهی باعث افزایش عملکرد ریزوم در خانواده Zingiberaceae، مانند زنجبیل (*Z. officinale*) و زردچوبه (*Curcuma longa* L.) می‌شود (Akhter *et al.*, 2013). سه عنصر اصلی نیتروژن (N)، فسفر (P) و پتاسیم (K) نقش بسیار مهمی در رشد، عملکرد

کمی در مورد کشت گیاه زنجبیل در دنیا وجود دارد. در ایران نیز مطالعاتی در مورد خواص و تأثیرات پزشکی این گیاه بر روی انسان و دام انجام شده است ولی تاکنون در مورد کشت این گیاه در مزرعه مطالعه‌ای انجام نشده است. این آزمایش تلاش دارد با بررسی سازگاری، اثرهای دور آبیاری و مقادیر عناصر پرمصرف (NPK) را بر شاخص‌های رشد و عملکرد گیاه زنجبیل، با امکان تولید این گیاه در کشور، برای بهبود بخش تولید گیاهان دارویی کمک کرده و در این زمینه راهکارهای لازم را ارائه کند.

مواد و روش‌ها

این آزمایش‌ها در سال (۱۴۰۰) در دو مکان لاهیجان و پاکدشت اجرا گردید. مزرعه کشاورزی واقع در لاهیجان استان گیلان، ۴۵ کیلومتری شهر رشت (عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱ دقیقه شرقی، با ارتفاع ۲۰ متری از سطح دریا) و مزرعه تحقیقاتی 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 اردیبهشت‌ماه سال ۱۴۰۰ اجرا شد.

این آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی به صورت اسپلیت پلات با ۹ تیمار در ۳ تکرار اجرا گردید. در مجموع 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 کودی NPK در ۳ ترکیب (K:۲۰۰، P:۱۰۰، F1=(N:۳۰۰، K:۲۵۰، P:۱۵۰)، F2=(N:۳۵۰، K:۱۵۰، P:۵۰)، F3=(N:۲۵۰، K:۲۵۰، P:۵۰) کیلوگرم در هکتار. 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 شد و به آزمایشگاه خاک‌شناسی شرکت خاک بهین آزما انتقال یافت و نتایج طبق جدول ۱ بدست آمد.

و کیفیت گیاه دارند و از مهمترین عناصر مورد نیاز گیاه محسوب می‌شوند (Maathuis, 2009). بعد از آب، نیتروژن مسلماً یکی از مهمترین فاکتورها برای رشد و تولید گیاهان است. مدیریت ایده‌آل برای نیتروژن در جهت دستیابی به کارایی بالا در تولید و کشاورزی پایدار لازم و ضروریست. کمبود نیتروژن باعث کاهش بیوماس اندام‌های هوایی و کاهش عملکرد و کیفیت محصول می‌گردد. درحالی که زیاد بودن نیتروژن هم باعث بیماری و مشکلات محیطی دیگری می‌گردد (Yuan et al., 2015).

یکی از عوامل مؤثر بر رشد و عملکرد گیاهان، شرایط اقلیمی مناسب برای هر گیاه می‌باشد، همانطور که تأثیر عوامل اقلیمی بر گیاهان دارویی مختلف، متفاوت است. از مهمترین عوامل اقلیمی که تأثیر بسزایی بر کمیّت و کیفیت گیاهان دارویی می‌گذارد، می‌توان به درجه حرارت محیط، بارندگی، طول روز، نور خورشید، تبخیر و تعرق اشاره کرد (Mohammadi Dahcheshme et al., 2014). همچنین در آزمایشی گزارش شده که شرایط کشاورزی-اقلیمی بر تولید متابولیت‌های ثانویه در ریزوم زنجبیل تأثیر می‌گذارد، زمانی که همان رقم در دو مکان مختلف رشد می‌کند (Gaur et al., 2016). مطالعات برهم‌کنش ژنوتیپ و مکان، امکان شناسایی مکان‌های ایده‌آل را برای هر ژنوتیپ فراهم می‌کند که قابلیت عملکرد را به حداکثر می‌رساند و هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد (Oyekunle et al., 2017). چون اطلاعات کمی در مورد سازگاری این گیاه با شرایط آب و هوایی ایران وجود داشت، از این رو قابلیت کشت و سازگاری این گیاه در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان با دو شرایط آب و هوایی متفاوت (گرم و خشک، معتدل) بررسی شد.

در سال‌های اخیر استفاده از گیاه زنجبیل به دلیل اثبات اثرهای مفید آن، نداشتن اثرهای جانبی و همچنین سازگار بودن با سلامتی، روز به روز در حال افزایش است. با توجه به اینکه کشور ایران از جمله واردکنندگان این گیاه است، برای جلوگیری از خروج ارز، با تولید و صادرات این گیاه و فرآورده‌های آن می‌توان ارزآوری مناسبی را برای کشور ایجاد کرد. به غیر از چند کشور تولیدکننده زنجبیل، مطالعات

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

Table 1. Physical and chemical characteristics of experimental soil

Location of experiment	EC dS.m ⁻¹	pH	TNV %	OM %	Total N mg.kg ⁻¹	P mg.kg ⁻¹	K mg.kg ⁻¹	Clay %	Silt %	Sand %	Texture
Pakdasht, Tehran province	3.13	7.19	14.97	4.28	4100	17.21	1027	17	41	42	Loam
Lahijan, Gilan province	0.267	6.83	0.463	4.92	3900	8.86	423	25	33	42	Loam

ریزوم مورد استفاده از رقم (*Z. officinale*) بود که کشت به صورت دستی و بعد آبیاری به صورت قطره‌ای با نوار تیپ انجام شد. آبیاری تا مرحله شش برگگی در فواصل هر ۴ روز یک بار قبل از غروب آفتاب انجام گردید و هر دور آبیاری با فشار حدود ۱ اتمسفر و در مدت ۳ ساعت با نوار تیپ ۱۰ سانتی انجام شد و از مرحله شش برگگی به بعد تیمارهای آبیاری (۴، ۶، ۸ روز) تا پایان دوره رشد اعمال گردید. اندازه‌گیری مقدار حجم آبیاری با کنتور انجام شده و در هر مرتبه ۱/۵ مترمکعب آبیاری انجام شده است که برای هر مترمربع حدود ۲۴ لیتر آب مصرف شد. تعداد دفعات آبیاری طبق جدول ۲ در شهر لاهیجان به علت بارش باران‌های مؤثر کمتر از شهر پاکدشت شده است.

در هر کرت اصلی ۳ کرت فرعی و در داخل هر کرت فرعی ۴ ردیف کشت قرار گرفت. بعد از آماده شدن کرت‌ها و پس از ضد عفونی ریزوم زنجبیل، در هر کرت آزمایشی چهار ردیف کاشت به طول ۱/۸ متر کشت شد (فاصله ردیف از یکدیگر ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر). عمق کاشت ۵ سانتی‌متر و وزن هر ریزوم حدود ۴۰ گرم در نظر گرفته شد. فاصله هر کرت فرعی با کرت فرعی مجاورش ۵۰ سانتی‌متر و فواصل بین تکرارها هم ۱ متر فاصله رعایت گردید. به منظور تهیه بستر کاشت، عملیات خاک‌ورزی در زمین مورد نظر انجام شد. طبق تیمارها تمام فسفر و پتاس و یک سوم نیتروژن به عنوان کود پایه به خاک افزوده شد و بقیه نیتروژن در دو مرحله سه برگه شدن و هشت برگه شدن گیاه به صورت سرک داده شد.

جدول ۲- اثر تیمارهای دور آبیاری بر تعداد و حجم آبیاری در مزرعه زنجبیل (*Zingiber officinale*)Table 2. Irrigation cycle treatments effects on irrigation number and irrigation water volume in *Zingiber officinale* farm

Region	Irrigation cycle (day)	Irrigation number	Irrigation water volume (m ³)
Pakdasht	4	45	67.5
	6	35	52.5
	8	30	45
Lahijan	4	33	49.5
	6	27	40.5
	8	23	34.5

در طول مراحل داشت سله‌شکنی، مبارزه با علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد. صفات مورد مطالعه در این آزمایش، ارتفاع بوته، قطر ساقه، تعداد برگ در بوته، اندازه سطح برگ در بوته، تعداد شاخه در بوته و شاخص سطح برگ، میانگین وزن ریزوم، وزن خشک ریزوم، عملکرد در مترمربع و عملکرد در هکتار است. به منظور انجام محاسبات آماری از نرم‌افزار آماری SAS, Excel (نسخه ۹/۱) استفاده شد. مقایسه

برای تعیین LAI، از هر کرت سه بوته انتخاب و هر دو هفته یک بار نمونه برداری از برگ‌ها به صورت غیر تخریبی با روش ویژه (بدست آوردن ضریب تصحیح برگ زنجبیل) انجام شد و در پایان دوره رشد بوته‌های نمونه تخریب و بعد برگ‌ها را در دستگاه (leaf area meter) قرار داده و مساحت برگ‌ها را محاسبه کرده و با تقسیم مساحت سطح برگ‌ها بر واحد سطح نمونه برداری شده شاخص سطح برگ محاسبه گردید.

تعداد برگ در بوته

در مورد صفت تعداد برگ در بوته نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با تعداد برگ در بوته ۱۴۷ و ۱۶۸/۶۶ عدد بهترین تیمار بود که تحت تأثیر منطقه کاشت، تعداد برگ در بوته در منطقه لاهیجان ۱۴/۷۳٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت. تیمار V3F3 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با تعداد برگ در بوته ۵۶/۳۳ و ۷۷ عدد کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول‌های ۴ و ۵) که تحت تأثیر منطقه کاشت، تعداد برگ در بوته در منطقه لاهیجان ۳۶/۶۹٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت.

اندازه سطح برگ در بوته

همانطور که نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در سطح ۱٪ معنی‌دار شد ولی در منطقه لاهیجان اندازه سطح برگ در بوته تحت تأثیر هر دو فاکتور دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در سطح ۱٪ قرار گرفت، اما اثر متقابل بین آنها در منطقه لاهیجان معنی‌دار نشد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در منطقه پاکدشت با اندازه سطح برگ در بوته ۴۰۷۹/۵۷ سانتی‌متر بهترین تیمار بود. تیمار V3F3 در منطقه پاکدشت با اندازه سطح برگ در بوته ۹۷۹/۶۷ سانتی‌متر کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در منطقه لاهیجان بیشترین اندازه سطح برگ در بوته مربوط به دور آبیاری ۴ روز یک‌بار (V1) با اندازه ۴۲۷۳/۸ سانتی‌متر بود که نسبت به دور آبیاری ۸ روزه ۱۰۲٪ برتری نشان داد و بالاترین اندازه سطح برگ در بوته مربوط به عناصر پرمصرف (F2) با اندازه ۳۸۵۷/۴ سانتی‌متر بود که برتری ۳۲/۶۲٪ نسبت به عناصر پرمصرف (F3) نشان داد (جدول ۵).

میانگین‌ها با استفاده از روش LSD در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید. همچنین بررسی اثرهای متقابل با استفاده از روش برش‌دهی LSMEANS با دستور PDIF انجام شد.

نتایج

ارتفاع بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در سطح ۱٪ و در منطقه لاهیجان در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با ارتفاع ۹۶/۶۶ و ۱۰۴ سانتی‌متر بهترین تیمار بود که تحت تأثیر منطقه کاشت و ارتفاع بوته قرار گرفت که در منطقه لاهیجان ۷/۵٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت. تیمار V3F3 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با ارتفاع ۵۵/۶۶ و ۷۲/۳۳ سانتی‌متر کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول‌های ۴ و ۵) که تحت تأثیر منطقه کاشت، ارتفاع بوته در منطقه لاهیجان ۲۹/۹۴٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت.

قطر ساقه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان در سطح ۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با قطر ساقه ۱/۸۳ و ۱/۹۹ سانتی‌متر بهترین تیمار بود که تحت تأثیر منطقه کاشت، قطر ساقه در منطقه لاهیجان ۸/۷۴٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت. تیمار V3F3 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با قطر ۱/۰۴ و ۱/۴۲ سانتی‌متر کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول‌های ۴ و ۵) که تحت تأثیر منطقه کاشت، قطر ساقه در منطقه لاهیجان ۳۶/۵۳٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت.

جدول ۳- تجزیه واریانس برخی صفات مورفولوژیک زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK
 Table 3. ANOVA of some *Zingiber officinale* morphological traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments

(s.o.v)	d.f	Mean Square						
		Plant height	Stem diameter	Number of leaves per plant	Leaf area	Number of branches per plant	Leaf area index	
Pakdasht	Replication	2	113.03	0.02	81.14	16737.39	0.60	0.02
	Irrigation cycle (I)	2	1737.48**	0.68**	6666.7**	13574092.80**	31.77**	23.98**
	Experimental error ^a	4	15.03	0.0007	80.25	20275.36	0.16	0.03
	NPK	2	330.03**	0.07**	1592.48**	642695.65**	5.13**	1.13**
	I×NPK	4	24.53**	0.004*	455.09**	129012.78**	0.31**	0.22**
	Experimental error ^b	12	3.48	0.001	65.61	10107.67	0.045	0.01
	C.V. (%)	-	2.56	2.53	9.32	4.42	3.5	4.45
Lahijan	Replication	2	3.81	0.011	34.77	67144.93	0.038	0.10
	I	2	599.59**	0.22**	4038.11**	12491284.15**	19.67**	21.93**
	Experimental error ^a	4	1.64	0.0002	60.05	6959.23	0.17	0.01
	NPK	2	625.59**	0.15**	4027.44**	2062734.72**	12.42**	3.48**
	I×NPK	4	8.92*	0.0017*	275.22**	2940.29ns	0.08ns	0.006ns
	Experimental error ^b	12	2.64	0.00009	14.01	5519.17	0.03	0.012
	C.V. (%)	-	1.87	0.56	3.26	2.17	2.50	2.46

** , * and ns Significance at the level of 1%, 5% and none significance

جدول ۴- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK در منطقه پاکدشت

Table 4. Means comparison of some *Zingiber officinale* morphological traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments in Pakdasht region

Treatment	Plant height (cm)	Stem diameter (cm)	Number of leaves per plant	Leaf area per plant (cm ²)	Number of branches per plant	Leaf area index	
Pakdasht	V1F1	88b	1.72b	108.66b	3617.67b	7.96b	4.8b
	V1F2	96.66a	1.83a	147a	4079.57a	9.4a	5.42a
	V1F3	78c	1.60c	94c	3072.33c	7.2c	4.08c
	V2F1	70.33d	1.38ed	81.33cde	2042.20de	5.5e	2.71de
	V2F2	75.33c	1.43d	87.33cd	2215.53d	6.16d	2.94d
	V2F3	66.33ed	1.33e	74def	1942.07e	4.86fg	2.58e
	V3F1	60fg	1.20f	64fg	1198.33f	4.5g	1.59f
	V3F2	64.33ef	1.26f	69efg	1300.67f	5.1ef	1.72f
	V3F3	55.66g	1.04g	56.33g	979.67g	4.1h	1.29g

V1, 2, and 3: irrigation cycles at 4, 6, and 8 days levels, respectively; F1, 2, and 3: NPK elements at N₃₀₀P₁₀₀K₂₀₀, N₃₅₀P₁₅₀K₂₅₀, and N₂₅₀P₅₀K₁₅₀ (kg.ha⁻¹) levels, respectively. Means with the same letters are not significantly different (LSD test).

تعداد شاخه در بوته

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در سطح ۱٪ معنی‌دار شد ولی در منطقه لاهیجان اثر متقابل بین فاکتورها معنی‌دار نشد اما اندازه سطح برگ در بوته تحت تأثیر هر دو فاکتور دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در سطح ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در منطقه پاکدشت با تعداد شاخه در بوته ۹/۴ عدد بهترین

تیمار بود. تیمار V3F3 در منطقه پاکدشت با تعداد شاخه در بوته ۴/۱ عدد کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در منطقه لاهیجان بیشترین تعداد شاخه در بوته مربوط به دور آبیاری ۴ روز یک‌بار (V1) با تعداد ۹/۱۵ عدد بود که نسبت به دور آبیاری ۸ روزه ۴۷٪ برتری نشان داد و بالاترین تعداد شاخه در بوته مربوط به عناصر پرمصرف (F2) با اندازه ۸/۸۶ عدد بود که برتری ۳۵٪ نسبت به عناصر پرمصرف (F3) نشان داد (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین برخی صفات مورفولوژیک زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK

در منطقه لاهیجان

Table 5. Means comparison of some *Zingiber officinale* morphological traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments in Lahijan region

Treatment	Plant height	Stem diameter	Number of leaves per plant
	(cm)	(cm)	
V1F1	93.33c	1.84c	131b
V1F2	104a	1.99a	168.66a
V1F3	85d	1.68e	104.66d
V2F1	87d	1.72d	116c
V2F2	98b	1.87b	132.66b
V2F3	80e	1.63f	101.33d
V3F1	76.66f	1.52g	92.33e
V3F2	85d	1.65f	108.33cd
V3F3	72.33g	1.42h	77f

Treatment	Leaf area per plant	Number of branches	Leaf area index
	(cm ²)	per plant	
V1	4273.8a	9.15a	5.63a
V2	3910.5b	7.58b	5.15b
V3	2076.02c	6.2c	2.72c
F1	3494.33b	7.55b	4.61b
F2	3857.4a	8.86a	5.06a
F3	2908.59c	6.52c	3.84c

V1, 2, and 3: irrigation cycles at 4, 6, and 8 days levels, respectively; F1, 2, and 3: NPK elements at N₃₀₀P₁₀₀K₂₀₀, N₃₅₀P₁₅₀K₂₅₀, and N₂₅₀P₅₀K₁₅₀ (kg.ha⁻¹) levels, respectively.

Means with the same letters are not significantly different (LSD test).

شاخص سطح برگ (LAI)

براساس نتایج این آزمایش اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در

سطح ۱٪ معنی‌دار شد ولی در منطقه لاهیجان اثر متقابل بین فاکتورها معنی‌دار نشد اما اندازه سطح برگ در بوته تحت تأثیر هر دو فاکتور دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف

NPK در سطح ۱٪ قرار گرفت (جدول ۳). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در منطقه پاکدشت با شاخص سطح برگ ۵/۴۲ بهترین تیمار بود. تیمار V3F3 در منطقه پاکدشت با شاخص سطح برگ ۱/۲۹ کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در منطقه لاهیجان بیشترین شاخص سطح برگ مربوط به دور آبیاری ۴ روز یک‌بار (V1) با شاخص سطح برگ ۵/۶۳ بود که نسبت به دوره‌های آبیاری ۶ و ۸ روزه به ترتیب ۹/۳۲٪ و ۱۰۳٪ برتری نشان داد و بالاترین شاخص سطح برگ مربوط به عناصر پرمصرف (F2) با اندازه ۵/۰۶ بود که نسبت به تیمارهای F1 و F3 به ترتیب ۹/۷۶٪ و ۳۱/۷۷٪ برتری نشان داد (جدول ۵).

میانگین وزن ریزوم

در مورد صفت عملکردی میانگین وزن ریزوم، همانطور که نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر

متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در سطح ۱٪ معنی‌دار شد ولی در منطقه لاهیجان اندازه میانگین وزن ریزوم تحت تأثیر هر دو فاکتور دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در سطح ۱٪ قرار گرفت، اما اثر متقابل بین آنها در منطقه لاهیجان معنی‌دار نشد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در منطقه پاکدشت با میانگین وزن ریزوم در تک بوته ۳۰۴/۶۶ گرم بهترین تیمار بود. تیمار V3F3 در منطقه پاکدشت با میانگین وزن ریزوم در تک بوته ۸۲/۶۶ گرم کمترین نتایج را به خود اختصاص داد (جدول ۷). در منطقه لاهیجان بیشترین میانگین وزن ریزوم در تک بوته مربوط به دور آبیاری ۶ روز یک‌بار (V2) به مقدار ۳۰۰ گرم بود که نسبت به دور آبیاری ۴ و ۸ روزه به ترتیب ۳٪ و ۷۴٪ برتری نشان داد و بالاترین میانگین وزن ریزوم در تک بوته مربوط به عناصر پرمصرف (F2) به وزن ۲۸۴ گرم بود که نسبت به تیمارهای F1 و F3 به ترتیب ۱۲٪ و ۲۵٪ برتری نشان داد (جدول ۸).

جدول ۶- تجزیه واریانس برخی صفات عملکردی زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK

Table 6. ANOVA of some *Zingiber officinale* yield traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments

S.O.V.	d.f.	Mean Square			
		Rhizome fresh weight per plant	Rhizome dry weight per plant	Yield per m ²	Yield per hectare
Replication	2	127.25	2.11	9510.70	0.95
Irrigation cycle (I)	2	44572.92**	1481.44**	7835494.37**	783.54**
Experimental error^a	4	21.92	5.05	1963.54	0.19
Pakdasht					
NPK	2	10602.70**	398.77**	1890009.93**	189**
I×NPK	4	1404.53**	48.38**	24678.26**	2.46**
Experimental error^b	12	45.31	4.35	8107.81	0.81
C.V. (%)	-	4.02	6.47	4.03	4.03
Replication	2	62.48	62.48	19960.44	1.99
I	2	45756.92**	45756.92**	8078145.44**	807.81**
Experimental error^a	4	236.70	236.70	9709.72	0.97
Lahijan					
NPK	2	7330.70**	7330.70**	1290661**	12.90**
I×NPK	4	154.92ns	154.92ns	26879.28**	2.68**
Experimental error^b	12	121.96	121.96	2849.24	0.28
C.V. (%)	-	4.33	4.33	1.64	1.64

n.s., *, and **: non-significant, significant at 5%, and 1% probability levels, respectively.

جدول ۷- مقایسه میانگین برخی صفات عملکردی زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK در منطقه پاکدشت

Table 7. Means comparison of some *Zingiber officinale* yield traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments in Pakdasht region

Treatment	Rhizome fresh weight	Rhizome dry weight	Yield	Yield	
	per plant (g)	per plant (g)	(g.m ⁻²)	(ton.ha ⁻¹)	
V1F1	232b	44b	3093.67b	30.93b	
V1F2	304.66a	57.66a	4056.67a	40.56a	
V1F3	187.33c	35.33c	2494.67c	24.94c	
V2F1	152d	29.33d	2028.33d	20.28d	
Pakdasht	V2F2	183.66c	36c	2457c	24.57c
	V2F3	140.66e	27.33de	1881.67e	18.81e
	V3F1	96.33g	19.33f	1290.33g	12.90g
	V3F2	125f	24.66e	1676.67f	16.76f
	V3F3	82.66h	16.33f	1108.67h	11.08h

V1, 2, and 3: irrigation cycles at 4, 6, and 8 days levels, respectively; F1, 2, and 3: NPK elements at N₃₀₀P₁₀₀K₂₀₀, N₃₅₀P₁₅₀K₂₅₀, and N₂₅₀P₅₀K₁₅₀ (kg.ha⁻¹) levels, respectively.

Means with the same letters are not significantly different (LSD test).

جدول ۸- مقایسه میانگین برخی صفات عملکردی زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK در منطقه لاهیجان

Table 8. Means comparison of some *Zingiber officinale* yield traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments in Lahijan region

Treatment	Yield	Yield	
	(g.m ⁻²)	(ton.ha ⁻¹)	
V1F1	3697.67d	36.97d	
V1F2	4061.33b	40.61b	
V1F3	3458e	34.58e	
V2F1	3874.67c	38.74c	
Lahijan	V2F2	4316.33a	43.16a
	V2F3	3366.67e	33.66e
	V3F1	2108g	21.08g
	V3F2	2540.67f	25.40f
	V3F3	1824.67h	18.24h

Treatment	Rhizome fresh weight per plant	Rhizome dry weight per plant (g)	
	(g)		
V1	291.44a	43.44b	
V2	300a	51.55a	
V3	172.44b	32.77c	
Lahijan	F1	252.88b	42.77b
	F2	284a	47.33a
	F3	227c	37.66c

V1, 2, and 3: irrigation cycles at 4, 6, and 8 days levels, respectively; F1, 2, and 3: NPK elements at N₃₀₀P₁₀₀K₂₀₀, N₃₅₀P₁₅₀K₂₅₀, and N₂₅₀P₅₀K₁₅₀ (kg.ha⁻¹) levels, respectively.

Means with the same letters are not significantly different (LSD test).

جدول ۹- همبستگی صفات زنجبیل (*Zingiber officinale*) تحت تأثیر تیمارهای دور آبیاری و عناصر NPK

Table 9. Correlation of *Zingiber officinale* traits affected by irrigation cycle and NPK elements treatments

	Plant height	Stem diameter	Number of leaves per plant	Leaf area	Number of branches per plant	Leaf area index	Rhizome dry weight	Rhizome fresh weight	Yield per m ²	Yield per hectare
Lahijan	Plant height	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Stem diameter	0.98**	1	-	-	-	-	-	-	-
	Number of leaves per plant	0.97**	0.96**	1	-	-	-	-	-	-
	Leaf area	0.88**	0.93**	0.86**	1	-	-	-	-	-
	Number of branches per plant	0.97**	0.96**	0.96**	0.89**	1	-	-	-	-
	Leaf area index	0.88**	0.93**	0.85**	0.99**	0.89**	1	-	-	-
	Rhizome dry weight	0.73**	0.81**	0.66*	0.84**	0.64 ^{ns}	0.84**	1	-	-
	Rhizome fresh weight	0.84**	0.91**	0.79*	0.97**	0.81**	0.97**	0.93**	1	-
	Yield per m ²	0.84**	0.91**	0.72**	0.97**	0.81**	0.97**	0.93**	0.99**	1
	Yield per hectare	0.84**	0.91**	0.79*	0.97**	0.81**	0.97**	0.93**	0.99**	0.99**
	Plant height	Stem diameter	Number of leaves per plant	Leaf area	Number of branches per plant	Leaf area index	Rhizome dry weight	Rhizome fresh weight	Yield per m ²	Yield per hectare
Pakdasht	Plant height	1	-	-	-	-	-	-	-	-
	Stem diameter	0.98**	1	-	-	-	-	-	-	-
	Number of leaves per plant	0.97**	0.94**	1	-	-	-	-	-	-
	Leaf area	0.98**	0.98**	0.94**	1	-	-	-	-	-
	Number of branches per plant	0.98**	0.97**	0.97**	0.97**	1	-	-	-	-
	Leaf area index	0.98**	0.98**	0.94**	1	0.97**	1	-	-	-
	Rhizome dry weight	0.99**	0.96**	0.98**	0.96**	0.98**	0.96**	1	-	-
	Rhizome fresh weight	0.99**	0.96**	0.98**	0.95**	0.97**	0.95**	0.99**	1	-
	Yield per m ²	0.99**	0.96**	0.98**	0.96**	0.97**	0.96**	0.99**	0.99**	1
	Yield per hectare	0.99**	0.96**	0.98**	0.96**	0.97**	0.96**	0.99**	0.96**	0.99**

** , * and ns Significance at the level of 1%, 5% and none significance

کاشت، عملکرد تولید در منطقه لاهیجان ۶۴٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت.

بحث

نتایج این آزمایش نشان داد که شاخص‌های رشدی و عملکردی گیاه زنجبیل در منطقه لاهیجان در تمامی صفات برتری خاصی نسبت به منطقه پاکدشت داشت. یکی از دلایل می‌تواند وجود اقلیم معتدل شهر لاهیجان باشد. هرچقدر رطوبت محیط بیشتر باشد، نیاز گیاه به آبیاری هم کاهش می‌یابد. چون در مناطق مرطوب گیاه مقداری از سهم رطوبتی خود را از طریق هوا دریافت می‌کند. در آزمایشی مشابه بر روی گیاه زنجبیل نشان دادند که شاخص‌های رشد و عملکرد تیمارهای حاوی محتوای آب بیشتر تحت تأثیر مثبت‌تری قرار گرفتند و تنش شدید آب باعث کاهش عملکرد ریزوم زنجبیل در زنجبیل تجاری و آفریقایی شد (Gatabazi et al., 2018). عامل مؤثر دیگر، وجود خاک اسیدی‌تر در منطقه لاهیجان نسبت به پاکدشت است (جدول ۱) که جذب عناصر غذایی را برای گیاه زنجبیل راحت‌تر می‌کند. Fengman و همکاران (۲۰۲۰) در آزمایشی اثبات کردند که تنش شوری فرایند جذب نیتروژن را در برگ‌های گیاه زنجبیل مهار کرد، اما pH پایین باعث بهبود جذب نیتروژن تحت تنش شوری شد. یافته‌های آنان نشان داد که pH پایین آسیب اکسیداتیو را کاهش می‌دهد و جذب نیتروژن را تحت تنش شوری بیشتر می‌کند.

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد (جدول ۲) که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان بر روی صفات ارتفاع گیاه، قطر ساقه و تعداد برگ در بوته در سطح ۱٪ معنی‌دار شد، یعنی فاصله آبیاری هر ۴ روز یک‌بار و استفاده از ترکیب عناصر پرمصرف NPK با سطح (۲۵۰، ۱۵۰، ۳۵۰) F2: (۳۵۰) کیلوگرم بر هکتار، بهترین نتیجه را برای این صفات داشت. افزایش فاصله زمانی دور آبیاری از ۴ روز به ۸ روز باعث کاهش آب قابل دسترس ریشه گیاه می‌شود که این عامل باعث می‌گردد از یک‌سو جذب عناصر غذایی

وزن خشک ریزوم

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در منطقه پاکدشت در سطح ۱٪ معنی‌دار شد، اما اثر متقابل بین فاکتورها در منطقه لاهیجان معنی‌دار نشد ولی اثر دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 در منطقه پاکدشت با وزن خشک ریزوم ۵۷/۶۶ گرم بهترین تیمار شد که دارای ۸۱/۰۸٪ رطوبت بود. تیمار V3F3 در منطقه پاکدشت با وزن خشک ریزوم ۱۶/۳۳ گرم کمترین نتایج را به خود اختصاص داد که دارای ۸۰/۲۵٪ رطوبت بود (جدول ۷). در منطقه لاهیجان بیشترین وزن خشک ریزوم مربوط به دور آبیاری ۶ روز یک‌بار (V2) به مقدار ۵۱/۵۵ گرم بود که دارای ۸۲/۸۲٪ رطوبت بود و بالاترین وزن خشک ریزوم مربوط به عناصر پرمصرف (F2) به وزن ۴۷/۳۳ گرم شد که ۸۳/۳۴٪ رطوبت داشت (جدول ۸).

عملکرد در هکتار

در مورد صفت عملکرد در هکتار، نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل بین دوره‌های آبیاری و عناصر پرمصرف NPK در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان در سطح ۱٪ معنی‌دار شد (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار V1F2 (دوره‌های آبیاری ۴ روزه و عناصر پرمصرف (N:۳۵۰، P:۱۵۰، K:۲۵۰) کیلوگرم در هکتار) در منطقه پاکدشت و تیمار V2F2 (دوره‌های آبیاری ۶ روزه و عناصر پرمصرف (N:۳۵۰، K:۲۵۰، P:۱۵۰) کیلوگرم در هکتار) در منطقه لاهیجان به ترتیب با وزن ۴۰/۵۶ و ۴۳/۱۶ تن در هکتار بهترین تیمارها بودند که تحت تأثیر منطقه کاشت، با توجه به حجم آب مصرف شده کمتر، عملکرد تولید در منطقه لاهیجان ۶٪ بر منطقه پاکدشت برتری داشت. تیمار V3F3 در هر دو منطقه پاکدشت و لاهیجان به ترتیب با وزن ۱۱/۰۸ و ۱۸/۲۴ تن در هکتار کمترین نتایج را به خود اختصاص دادند (جدول‌های ۷ و ۸) که تحت تأثیر منطقه

تولید برگ و تسریع پیری و متعاقب آن ریزش برگ‌ها که خود یکی از راهکارهای افزایش مقاومت گیاهان در برابر خشکی است، می‌شود. در این آزمایش با افزایش مقدار عناصر پرمصرف NPK افزایش تعداد و سطح برگ مشاهده شد که در تیمارهای کودی احتمالاً اثرهای مثبت عناصر غذایی پرمصرف در تأمین نیاز غذایی گیاه و در نتیجه باعث افزایش تعداد برگ و سطح برگ در بوته شده است. در آزمایشی مشابه بر روی گیاه زنجبیل با سطوح پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) و با چهار سطح کود نیتروژن (۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار) نشان داده شد که پتاسیم در بالاترین سطح (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) حداکثر تعداد برگ را تولید کرد و با افزایش مقدار نیتروژن تعداد برگ به صورت خطی افزایش یافت (Haque et al., 2007). نتایج تحقیقی بر روی گیاه مرزه نشان داد که مصرف همزمان عناصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم باعث افزایش تعداد برگ‌ها و شاخه‌دهی در این گیاه نسبت به نمونه شاهد شد (Arvin, 2020).

در این آزمایش با کاهش فاصله زمانی دوره‌های آبیاری از ۸ روز به ۴ روز روند افزایشی تعداد شاخه در بوته مشاهده شد. بنابراین می‌تواند به دلیل تأمین آب کافی، عناصر قابل دسترس بهتر در اختیار گیاه قرار گیرد و به افزایش تعداد شاخه در بوته منجر شود. یکی از صفات مورفولوژیک که بر ظرفیت تولید گیاهان بسیار اثرگذار است، قدرت پنجه‌زنی بوته می‌باشد. کاهش سطح برگ و رشد گیاه و کاهش تولید مواد فتوسنتزی و ماده خشک در شرایط تنش کم آبی از مهمترین دلایل کاهش پنجه در بوته است. مشابه این آزمایش، از سه تیمار آبیاری بر روی گیاه زنجبیل مشاهده شد که در دسترس بودن آب و خاک رشد گیاه را بهبود بخشیده و بیشترین تعداد شاخه را در بوته ایجاد کرد (Mofokeng et al., 2015). در تیمارهای کودی با افزایش سطح NPK تعداد شاخه در بوته افزایش یافت که در آزمایشی مشابه، کاربرد کود NPK تعداد برگ، تعداد شاخه‌های فرعی، فاصله میان‌گره، وزن تر و خشک، وزن کل و عملکرد کل در گیاه خرزهره (*Nerium oleander L.*)

محدود شود و از سوی دیگر گیاه برای کاهش تعرق اقدام به بستن روزنه‌ها کند، در نتیجه از ورود CO₂ ممانعت شود و کاهش فتوسنتز و رشد گیاه را دربر داشته باشد. مطالعه‌ای مشابه نشان داد که ارتفاع بوته، قطر ساقه، قطر طبق و تعداد شاخه در بوته گلرنگ تحت تأثیر رژیم‌های کم آبیاری به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابند (Nabipour et al., 2007). از میان تمام عناصر غذایی گیاهان، نیتروژن به‌عنوان محدودکننده‌ترین ماده غذایی شناخته می‌شود و با توجه به نقش این عنصر در بیوسنتز ترکیب‌های متعدد از جمله اسیدهای نوکلئیک، اسیدهای آمینه و پروتئین‌ها نقش مهمی در فیزیولوژی و متابولیسم گیاهان ایفاء می‌کند (Ghiasi et al., 2019). به همین دلیل، در این آزمایش با افزایش مقدار نیتروژن، پتاسیم و فسفر در خاک رشد رویشی به‌ویژه ارتفاع بوته افزایش چشمگیری نشان داد. در آزمایشی مشابه زیست‌توده ارتفاعی زنجبیل را به افزایش کاربرد نیتروژن نسبت دادند (Attoe & Osodeke, 2009). در مطالعه‌ای دیگر با کوددهی ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، قطر ساقه را ۲/۰۲ سانتی‌متر در گیاه زنجبیل قرمز گزارش کردند (Teixeira & Loges, 2008). علت دیگر، ممکن است پتاسیم از طریق افزایش ظرفیت اسمزی سبب جذب آب شده که تورم و افزایش حجم سلول را به دنبال خواهد داشت و از طریق فعال کردن آنزیم‌های مؤثر در رشد و در نهایت افزایش تقسیم سلول‌های مرستمی باعث افزایش ارتفاع گیاه شود. در آزمایشی مشابه بر روی گیاه زنجبیل با سطوح پتاسیم (۰، ۱۰۰، ۱۳۰ و ۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) نشان داده شد که پتاسیم در بالاترین سطح (۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) بیشترین ارتفاع بوته را تولید کرد (Haque et al., 2007).

در این آزمایش با افزایش فاصله زمانی دوره‌های آبیاری از ۴ روز به ۸ روز روند کاهش تعداد و سطح برگ مشاهده شد (جدول ۹). کاهش سطح برگ در گیاه راهبردی برای بهبود تحمل به خشکی است که سبب کاهش اتلاف آب و تعرق و متعاقب آن کوچک شدن اندازه سلول‌ها، کاهش تقسیم سلول‌های مرستمی و کند شدن رشد برگ، توقف

مقاومت مکانیکی خاک در برابر رشد ریشه، کاهش تهویه، کاهش حرکت آب و مواد غذایی از دلایل اصلی برای کم شدن عملکرد است. با افزایش مقدار سطح عناصر پرمصرف NPK در این آزمایش، عملکرد نیز افزایش داشته است که می‌تواند به دلیل در دسترس‌تر بودن عناصر مورد نیاز گیاه، تغذیه مناسب‌تری انجام شود. در آزمایشی مشابه قبلاً دریافتند که استفاده از عناصر درشت مغذی NPK رشد و عملکرد زنجبیل را افزایش می‌دهد (Ebeniro et al., 2017).

با توجه به نتایج این آزمایش صفات میانگین وزن ریزوم و وزن خشک ریزوم با افزایش سطوح NPK در هر دو منطقه با افزایش خطی همراه بود که می‌تواند به دلیل تأثیر عناصر پرمصرف بر روی آنزیم‌های موجود در خاک در جهت جذب مواد مغذی برای گیاه باشد. محققان دریافتند که کودهای معدنی فعالیت اوره‌آز و کاتالاز خاک را به میزان قابل توجهی افزایش می‌دهند (Jaborova et al., 2021). یافته‌های مشابه نشان داد که با مصرف NPK:[100,60,60] کیلوگرم بر هکتار محتوای نیتروژن، پتاسیم، فسفر و عملکرد ریزوم زنجبیل افزایش یافت. مقدار زیاد مواد معدنی به‌ویژه پتاسیم برای کشت موفق زنجبیل مناسب است و عدم رعایت تعادل بین این عناصر باعث عملکرد کم و کیفیت پایین ریزوم می‌شود (Lujiu et al., 2015). در مطالعه‌ای دیگر نشان دادند که رشد و عملکرد ریزوم (*Z. zerumbet*) به میزان کود NPK مصرفی بستگی دارد (Goh et al., 2018). در مجموع این تحقیق که در دو منطقه پاکدشت و لاهیجان انجام شد، نشان داد که گیاه زنجبیل، گیاهی با نیاز رطوبتی و مصرف غذایی بالاست و با توجه به تغییرات اقلیمی و نگرانی آینده کشور در مورد منابع آب و نهاده‌های بخش کشاورزی پیشنهاد می‌گردد که برای استفاده کمتر از کودهای شیمیایی این گیاه در خاک‌های غنی‌تر و برای مصرف آب کمتر، در شهرهایی با شرایط آب و هوایی معتدل کشت شود. این گیاه سازگاری بهتری با شرایط آب و هوایی لاهیجان نسبت به پاکدشت داشت.

را افزایش داد (Ananth & Kumar, 2012). در آزمایشی دیگر افزایش پارامترهای رشدی زنجبیل (*Z. officinale*) (R. Asafa & Akanbi,) نسبت دادند (2018).

شاخص سطح برگ نشانگر ظرفیت فتوسنتزی گیاه بوده و به تعداد و اندازه برگ‌ها در هر مرحله از رشد بستگی دارد، به‌طور کلی سطح برگ به‌عنوان معیار اندازه‌گیری سیستم فتوسنتزی پذیرفته شده است. بدیهی است که تأثیر کود شیمیایی به‌ویژه در اوایل دوره رشد موجب توسعه و گسترش سطح برگ می‌شود و کمبود رطوبت از طریق کاهش تولید، رشد و افزایش پیری برگ‌ها و شاخص سطح برگ را کاهش می‌دهد. در مطالعه‌ای مشابه گزارش کردند که نیتروژن و مدیریت آب، شاخص سطح برگ بالاتر (LAI) را در تیمارهای مناسب آبیاری برای گیاه (*Perlagonium sidoides*) ایجاد کرد (Mofokeng et al., 2015).

نتایج این تحقیق در مورد شاخص‌های عملکردی، عملکرد در مترمربع و عملکرد در هکتار نشان داد که بهترین تیمار در منطقه پاکدشت V1F2 (دوره‌های آبیاری هر ۴ روز و عناصر پرمصرف NPK با سطح (K:۲۵۰, P:۱۵۰, F2=(N:۳۵۰ کیلوگرم در هکتار و بهترین تیمار در منطقه لاهیجان V2F2 (دوره‌های آبیاری هر ۶ روز و عناصر پرمصرف NPK با سطح (K:۲۵۰, P:۱۵۰, F2=(N:۳۵۰ کیلوگرم در هکتار بود که نشان‌دهنده این موضوع است که وجود رطوبت در هوا و کاهش تبخیر و تعرق در منطقه لاهیجان باعث شد که گیاه زنجبیل با کاهش آبیاری از ۴ روز به ۶ روز عملکرد بهتری از خود ثبت کند. دلیل دیگر می‌تواند این باشد که آبیاری مازاد در منطقه باعث سفتی خاک شده و حرکت ریزوم را که بخش اصلی عملکرد گیاه محسوب می‌شود در خاک با سختی مواجه نماید. در تحقیقی بر روی حیوانات کاهش جذب نیتروژن، پتاسیم و فسفر توسط گیاه با افزایش فشردگی خاک و کاهش غلظت این عناصر در بافت‌های گیاه و کاهش عملکرد گزارش شده است (Rahman et al., 2005). در خاک‌های فشرده

- rainforest zone of Nigeria. Nigerian Agricultural Journal, 48(2): 158-164.
- Fengman, Y., Xuena, L. and Bili, C., 2020. Low pH altered salt stress in antioxidant metabolism and nitrogen assimilation in ginger (*Zingiber officinale*) seedlings. Physiologia Plantarum Journal, 168: 648-659.
 - Fouad, A., Hegazy, A.E., Azab, E., Khojah, E. and Kapiel, T., 2021. Boosting of antioxidants and alkaloids in *Catharanthus roseus* suspension cultures using silver nanoparticles with expression of CrMPK3 and STR genes. Journal of Plants, 10(10): 2202.
 - Gatabazi, D., Marais, D., Steyn, M.J., Araya, H.T., Mofokeng, M.M. and Mokgehle, S.N., 2018. Evaluating growth, yield, and water use efficiency of African and commercial ginger species in South Africa. Water Journal, 11(3): 548.
 - Gaur, M., Das, A., Sahoo, R.K., Mohanty, S., Joshi, R.K. and Subudhi, E., 2016. Comparative transcriptome analysis of ginger variety Suprabha from two different agro-climatic zones of Odisha. Genomics Data, 9: 42-43.
 - Ghiasi Oskooi, M., Agha Alikhani, M., Sefidkon, F., Mokhtasi Bidgoli, A. and Ayari, M., 2019. Effects of nitrogen rate and plant density on grain yield and nitrogen use efficiency of blessed thistle. Journal of Crops Improvement, 20(3): 645-654.
 - Goh, S., Abdullah, T.L., Hassan, S.A. and Stanslas, J., 2018. Breaking dormancy and effects of shade level and NPK fertilizer rates on yield of (*Zingiber zerumbet* R.). Agriculture Journal, 8(12): 198.
 - Haque, M.M., Rahman, A.K.M.M., Ahmed, M., Masud, M.M. and Sarker, M.M.R., 2007. Effect of nitrogen and potassium on the yield and quality of ginger in hill slope. International Journal of Sustainable Crop Production, 2(6): 10-14.
 - 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.
 - Jabborova, D., Davranov, K. and Egamberdieva, D., 2019. Antibacterial, antifungal and antiviral properties of medicinal plants: 51-65. In: Egamberdieva, D. and Tiezzi, A., (Eds.). Medically Important Plant Biomes: Source of Secondary Metabolites. Springer, 351p.
 - Kizhakkayil, J. and Sasikumar, B., 2011. Diversity, characterization and utilization of ginger: A review. Plant Genetic Resources, 9(3): 464-477.
 - 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.

References

- Abdel-Daim, M.M., El-Tawil, O.S., Bungau, S.G. and Atanasov, A.G., 2019. Applications of antioxidants in metabolic disorders and degenerative diseases: mechanistic approach. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2019: 4179676.
- 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.
- Akhter, S., Noor, S., Islam, M., Masud, M., Talukder, M. and Hossain, M., 2013. Effect of potassium fertilization on the yield and quality of ginger (*Zingiber officinale*) grown on a k deficient terrace soil of level barind tract (AEZ 25) in northern bangladesh. Electronic International Fertilizer Correspondent, 35: 13-18.
- Ananth, V.A. and Kumar, R.S., 2012. Effect of growth substances on growth and flower yield of Nerium (*Nerium oleander* L.). Indian Journal Plant Science, 1: 187-191.0
- Anjum, S.A., Xie, X.Y., Wang, L.C., Saleem, M.F., Man, C. and Lei, W., 2016. Morphological, physiological and biochemical responses of plants to drought stress. Asian Journal of Accounting Research, 6(9): 2026-2032.
- Arvin, P., 2020. Study of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on physiological, morphological parameters and essential oil content in safflower (*Satureja hortensis* L.). Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 32(2): 260-279.
- Asafa, R.F. and Akanbi, W.B., 2018. Growth and rhizome yield of ginger (*Zingiber officinale* R.) as influenced by propagule size and nitrogen levels in Ogbomoso, South-western Nigeria. International Letters of Natural Sciences, 67: 35-45.
- Attoe, E.E. and Osodeke, V.E., 2009. Effects of NPK on growth and yield of ginger (*Zingiber officinale* R.) in soils of contrasting parent materials of Cross River State. Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry, 8: 1-9.
- Chrubasik, S., Pittler, M.H. and Roufogalis, B., 2005. Zingiberis rhizome: A comprehensive review on the ginger effect and efficacy profiles. Phytomedicine, 12(9): 684-701.
- Chukwudi, U.P., Agbo, C.U., Echezona, B.C., Eze, E.I., Kutu, F.R. and Mavengahama, S., 2020. Variability in morphological, yield and nutritional attributes of ginger (*Zingiber officinale*) germplasm in Nigeria. Research on Crops, 21(3): 634-642.
- Ebeniro, C., Amadi, C. and Lenka, D., 2017. Effect of incorporating NPK 15-15-15 with cow dung on growth, yield and economics of ginger production in

- Assessment of early maturing maize hybrids and testing sites using GGE biplot analysis. *Crop Science*, 57(6): 2942-2950.
- 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. *Revista Agrarian*, 9(33): 263-273.
 - Rahman, M.H., Hara, M. and Hoque, S., 2005. Growth and nutrient uptake of grain legumes as affected by induced compaction in Andisol. *International Journal of Agriculture & Biology*, 5: 740-743.
 - Stoner, G.D., 2013. Ginger: Is it ready for prime time? *Cancer Prevention Research*, 6(4): 257-262.
 - Texeira, M.C.F. and Loges, V., 2008. *Alpinia*: cultivation and commercialization. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, 14: 9-14.
 - White, B., 2007. Ginger. a review: *American Family Physicians*, 75: 1689-1691.
 - Yuan, Z., Ata-Ul-Karim, S.T., Cao, Q., Lu, Z., Cao, W., Zhu, Y. and Liu, X., 2015. Indicators for diagnosing nitrogen status of rice based on chlorophyll meter readings. *Field Crops Research*, 185: 12-20.
 - Zhang, M., Viennois, E., Prasad, M., Zhang, Y., Wang, L., Zhang, Z., Han, MK., Xiao, B., Xu, C. and Srinivasan, S., 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.
 - International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 2: 2546-2551.
 - Lujiu, L., Fang, C., Jiajia, W., Dianli, Y. and Pingping, W., 2015. Ginger yield and quality influenced by potassium fertilization. *Better Crops with Plant Food*, 99: 14-15.
 - Maathuis, F.J., 2009. Physiological functions of mineral macronutrients. *Current Opinion in Plant Biology*, 12: 250-258.
 - Meneghelli, C.M., Krause, M.R., Schmidt, J., Colombo, J.N. and Vieira, G.H.S., 2020. Performance of ginger crop under different irrigation depths. *Bioscience Journal*, 36(3): 783-791.
 - Mofokeng, M.M., Steyn, J.M., Du Ploy, C.P., Prinsloo, G. and Araya, H.T., 2015. Growth of (*Pelargonium sidoides*) DC. in response to water and nitrogen level. *South African Journal of Botany*, 100: 183-189.
 - Mohammadi Dahcheshme, N., Ghasemi Pirbaluti, A., Aghabarari, B. and Hamedi, B., 2014. Essential oil compounds, antibacterial property and antioxidant activity of different ecotypes of *Nigella sativa* L. in different habitats of Iran. *Journal of Ecophytochemistry of Medicinal Plants*, 3(4): 56-68.
 - Nabipour, M., Meskarabashee, M. and Yousefpour, H., 2007. The effect of water deficit on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10(3): 421-426.
 - Oyekunle, M., Haruna, A., Badu-Apraku, B., Usman, I.S., Mani, H., Ado, S.G., Olaoye, G., Obeng-Antwi, K., Abdulmalik, R.O. and Ahmed, H.O., 2017.

Study on plant adaptation and effects of irrigation and NPK elements on growth and yield parameters in *Zingiber officinale* R. in Pakdasht and Lahijan regions

Gh.R. Pourshaban Kateshali¹, Gh.A. Akbari^{2*}, I. Alahdadi³ and E. Soltani³

1- Ph.D. student, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran

2*- Corresponding author, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran, E-mail: gakbari@ut.ac.ir

3- Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran

Received: July 2022

Revised: November 2022

Accepted: November 2022

Abstract

To evaluate the plant adaptation and effects of irrigation cycles and NPK elements on growth and yield parameters of *Zingiber officinale* R., a split-plot experiment was conducted as a randomized complete block design with nine treatments and three replications in two regions including Pakdasht (Tehran province) and Lahijan (Gilan province) in 2021. The experimental factors included irrigation cycle at three levels (4 (V1), 6 (V2), and 8 (V3) days) as the main factor and NPK elements at three levels ($N_{300}P_{100}K_{200}$ (F1), $N_{350}P_{150}K_{250}$ (F2), and $N_{250}P_{50}K_{150}$ (F3) ($kg\cdot ha^{-1}$)) as the sub-factor. The results showed that the irrigation×NPK effects was significant on plant height, number of leaves per plant, leaf area, number of branches per plant, leaf area index, fresh and rhizome dry weight, and rhizome yield at the 1% probability level and on stem diameter at the 5% probability level in Pakdasht region. The V1F2 treatment was the best one in this region. In Lahijan region, the irrigation×NPK effects was significant on number of leaves per plant and rhizome yield at the 1% probability level and on plant height and stem diameter at the 5% probability level. The best result in Lahijan was obtained in the V1F2 treatment. Also, in terms of leaf area, number of branches per plant, and leaf area index, V1 and F2 was the best treatments in Lahijan. Fresh and rhizome dry weight had the best results in the V2 and F2 treatments. Overall, the studied traits in Lahijan climate were superior to Pakdasht climate and every 4 days irrigation for Pakdasht and every 6 days for Lahijan had the best results.

Keywords: Water use efficiency, chemical fertilizer, rhizome yield, aromatic plants, medicinal plants.