Iranian Journal of Cotton Researches
ISSN: 2345-5306

Evaluation of the effects of tillage systems and plant density on yield and some physiological traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars

Fatemeh Dinkou[1], Mohammad Reza Dadashi[2], Mohammad Barzali[3*], Taher Shahi[4], Omran Alishah[5]

[1] PhD student in Agrotechnology-Physiology of Crop Plants, Department of Agriculture, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
[2] Associate Professor, Department of Agriculture, Gorgan branch, Islamic Azad University, Gorgan, Iran
[3] (Corresponding Author) Assistant Professor, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Golestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Crop and Horticultural Science Research Department, Gorgan, Iran, Email: m.barzali@areeo.ac.ir
[4] Assistant Professor, Department of Agriculture, Azad Shahr branch, Islamic Azad University, Azad Shahr, Iran
[5] Department of Plant Breeding, Cotton Research Institutes of Iran (CRII), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Gorgan, Iran

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2026-06-02
Accepted: 2026-07-27

Keywords:
Double-cropped cotton
No-tillage
Logistic growth model
Principal component analysis (PCA)
Yield

ABSTRACT

Background and objectives: Conventional agricultural practices, particularly intensive tillage and continuous monocropping, remain the dominant production systems for cotton worldwide. However, improper management of these practices may accelerate soil nutrient depletion and threaten the sustainability of cotton production. In Golestan Province, northern Iran, double-cropped cotton following wheat is increasingly practiced, but the shortened growing season requires appropriate selection of tillage system, cultivar, and plant density. Therefore, this study was conducted to evaluate the effects of different tillage systems, cotton cultivars, and plant densities on physiological characteristics, yield, yield components, biomass accumulation, and growth parameters of double-cropped cotton.

Materials and methods: A factorial split-plot experiment based on a randomized complete block design with four replications was conducted at Aliabad Katoul, Golestan Province, I. R. Iran. Tillage system, including conventional tillage, conservation tillage, and no-tillage, was assigned to the main plots. Cotton cultivars (Sajedi and Golestan) and plant densities (66, 83, 111, and 166 thousand plants ha^{-1}) were arranged factorially within the subplots. Growth duration, plant height, number of fruiting branches, boll shedding percentage, boll number per plant and per unit area, boll weight, seed cotton yield, lint yield, lint percentage, and total biomass were determined. Biomass accumulation was described using a logistic growth model. Data were subjected to analysis of variance using SAS software, and treatment means were compared by Duncan's multiple range test at the 5% probability level.

Results: Tillage system significantly affected all measured traits except the number of fruiting branches per plant and boll number per plant. Cultivar significantly influenced all traits except plant height, boll number per plant, and lint percentage, whereas plant

density significantly affected all studied characteristics. The no-tillage system produced the greatest plant height (102.1 cm), growth duration (112.2 days), seed cotton yield (2,846 kg ha^{-1}), and total biomass (8,264 kg ha^{-1}). Compared with Sajedi, the Golestan cultivar exhibited superior seed cotton yield (2,779 vs. 2,437 kg ha^{-1}) and total biomass (8,007 vs. 7,021 kg ha^{-1}). The plant density of 111 thousand plants ha^{-1} resulted in the highest seed cotton yield (2,968 kg ha^{-1}), boll number per unit area (87.06 bolls m^{-2}), and total biomass (8,550 kg ha^{-1}). The tillage × cultivar interaction indicated that Golestan under no-tillage achieved the longest growth period (115.1 days), the highest number of fruiting branches per unit area (114.50 m^{-2}), and the greatest lint yield (1,089 kg ha^{-1}). Logistic growth analysis demonstrated that the density of 111 thousand plants ha^{-1} initiated the rapid biomass accumulation phase earlier (approximately 49 days after emergence) and exhibited the highest mean and maximum biomass accumulation rates, indicating greater dry matter partitioning efficiency. Principal component analysis (PCA) revealed that the first two principal components explained 84.61% of the total variation (49.12% and 35.49%, respectively), and identified the combination of no-tillage × Golestan cultivar × 111 thousand plants ha^{-1} as the most desirable treatment based on overall agronomic performance.

Conclusion: The combination of no-tillage, the Golestan cultivar, and a plant density of 111 thousand plants ha^{-1} is recommended as the optimum management strategy for double-cropped cotton production in Golestan Province. This treatment improved growth characteristics, increased boll number per unit area and reproductive biomass accumulation, reduced boll shedding, and enhanced seed cotton yield by approximately 22% compared with lower plant densities. In addition to improving productivity, this management system reduces tillage operations and preserves crop residues, thereby contributing to the adoption of regenerative and sustainable cotton production systems.

Cite this article: Dinkou, F., Dadashi, M.R., Barzali, M., Shahi, T., Alishah, O. (2026). Evaluation of the effects of tillage systems and plant density on yield and some physiological traits of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) cultivars. *Iranian Journal Cotton Researches*, 14 (1), 17-39.

© The author(s)
10.22092/ijcr.2026.372994.1258

Publisher: Cotton Research Institute of Iran

مجله پژوهش‌های پنبه ایران

شاپا: ۲۳۴۵-۵۳۰۶

ارزیابی اثرات خاک‌ورزی و تراکم بوته بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام پنبه

فاطمه دینکو[۱]، محمدرضا داداشی[۲]، محمد برزعلی[۳]*، طاهر شاهی[۴]، عمران عالیشاه [۵]

[۱] دانشجوی دکتری اگرو تکنولوژی- فیزیولوژی گیاهان زراعی، گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

[۲] گروه کشاورزی، واحد گرگان، دانشگاه آزاد اسلامی، گرگان، ایران.

[۳] استادیار زراعت، بخش زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران، رایانامه: m.barzali@areeo.ac.ir

[۴] گروه کشاورزی، واحد آزادشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، آزادشهر، ایران.

[۵] استاد، موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران.

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۵/۳/۱۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۵/۵

واژه‌های کلیدی:
کشت دوم پنبه
بدون خاک‌ورزی
مدل رشد لجستیک
تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) و عملکرد

چکیده

سابقه و هدف: شیوه‌های کشاورزی مرسوم از جمله خاک‌ورزی مکرر و کشت تک‌محصولی، اگرچه هنوز روش‌های غالب تولید پنبه در جهان هستند، اما مدیریت نادرست آن‌ها می‌تواند خاک را از ریزمغذی‌ها تهی کرده و پایداری تولید را به مخاطره اندازد. از سوی دیگر، کشت دوم پنبه پس از گندم در استان گلستان به‌دلیل محدودیت فصل رشد، نیازمند انتخاب آگاهانه سیستم خاک‌ورزی، رقم مناسب و تراکم بهینه است. این پژوهش با هدف بررسی اثرات روش‌های مختلف خاک‌ورزی، ارقام پنبه و تراکم بوته بر شاخص‌های فیزیولوژیک، عملکرد و اجزای عملکرد، زیست‌توده و پارامترهای رشد در کشت دوم پنبه در استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار در یک مزرعه تحقیقاتی در شهرستان علی‌آباد کتول اجرا شد. فاکتور خاک‌ورزی در سه سطح (مرسوم، حفاظتی و بدون خاک‌ورزی) به عنوان کرت اصلی و فاکتورهای رقم (ساجدی و گلستان) و تراکم (۶۶، ۸۳، ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار بوته در هکتار) به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. صفاتی مانند طول دوره رشد، ارتفاع بوته، تعداد شاخه زایا، درصد ریزش غوزه، تعداد غوزه در بوته و واحد سطح، وزن غوزه، عملکرد کل وش و الیاف، درصد کیل و زیست‌توده کل اندازه‌گیری شد. برای مدل‌سازی تجمع زیست‌توده از معادله رگرسیون لجستیک استفاده شد. تجزیه واریانس با نرم‌افزار SAS و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (۵ درصد) انجام گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر خاک‌ورزی بر تمام صفات به‌جز تعداد شاخه زایا در بوته و تعداد غوزه در بوته معنی‌دار بود. اثر رقم بر کلیه صفات به‌جز ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته و درصد الیاف معنی‌دار گردید. اثر تراکم بوته بر همه صفات مورد بررسی معنی‌دار بود. سیستم بدون خاک‌ورزی بیشترین ارتفاع بوته (۱۰۲٫۱ سانتی‌متر)، طول دوره رشد (۱۱۲٫۲ روز)، عملکرد کل وش (۲۸۴۶ کیلوگرم در هکتار) و زیست‌توده کل (۸۲۶۴ کیلوگرم در هکتار) را تولید کرد. رقم گلستان نسبت به ساجدی از نظر عملکرد کل وش (۲۷۷۹ در مقابل ۲۴۳۷ کیلوگرم در هکتار) و زیست‌توده کل (۸۰۰۷ در مقابل ۷۰۲۱ کیلوگرم در هکتار) برتر بود. تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار نسبت به سایر تراکم‌ها، بالاترین عملکرد کل وش (۲۹۶۸

کیلوگرم در هکتار)، تعداد غوزه در واحد سطح (۸۷٫۰۶ غوزه در متر مربع) و زیست‌توده کل (۸۵۵۰ کیلوگرم در هکتار) را به خود اختصاص داد. اثر متقابل خاک‌ورزی × رقم نشان داد که رقم گلستان در شرایط بدون خاک‌ورزی بیشترین طول دوره رشد (۱۱۵٫۱ روز)، تعداد شاخه زایا در واحد سطح (۱۱۴٫۵۰ شاخه در متر مربع) و عملکرد الیاف (۱۰۸۹ کیلوگرم در هکتار) را دارد. مدل‌سازی لجستیک نشان داد که تراکم ۱۱۱ هزار بوته با شروع زودتر دوره تجمع سریع حدود ۴۹ روز و بیشترین مقادیر میانگین نرخ تجمع و حداکثر نرخ تجمع در زیست‌توده کل و زایشی، بالاترین کارایی تخصیص ماده خشک را فراهم می‌کند. تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)نیز مشخص ساخت که دو مؤلفه اول و دوم به‌ترتیب با ۴۹٫۱۲ درصد و ۳۵٫۴۹ درصد و در مجموع ۸۴٫۶۱ درصد واریانس را تبیین کرده و تیمار سیستم بدون خاک‌ورزی × رقم گلستان × تراکم ۱۱۱ هزار بوته از نظر ترکیب صفات زراعی در بهترین رتبه قرار دارد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این پژوهش، ترکیب سیستم بدون خاک‌ورزی، رقم گلستان و تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار به عنوان بهترین تیمار برای کشت دوم پنبه در استان گلستان توصیه می‌شود. این ترکیب با بهبود شاخص‌های رشد، افزایش تعداد غوزه در واحد سطح، افزایش نرخ تجمع زیست‌توده زایشی و کاهش ریزش غوزه، عملکرد کل وش را تا ۲۲ درصد نسبت به تراکم پایین افزایش داد و با کاهش هزینه‌های خاک‌ورزی و حفظ بقایای گیاهی، گامی به سوی کشاورزی احیاء کننده محسوب می‌شود.

استناد: دینکو، فاطمه؛ داداشی، محمدرضا ؛ برزعلی، محمد؛ شاهی، طاهر، عالیشاه، عمران (۱۴۰۵). ارزیابی اثرات خاک‌ورزی و تراکم بوته بر عملکرد و برخی شاخص‌های فیزیولوژیک ارقام پنبه. *مجله پژوهش‌های پنبه ایران*، ۱۴ (۱)، ۳۹-۱۷.

© نویسندگان
ناشر: موسسه تحقیقات پنبه کشور

10.22092/ijcr.2026.372994.1258

مقدمه

امروزه، شیوه‌های کشاورزی از جمله کشت تک‌محصولی و خاک‌ورزی مرسوم، همچنان روش‌های غالب تولید پنبه در بسیاری از نقاط جهان هستند. با این حال، مدیریت نادرست اجرای این شیوه‌ها می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی قابل توجهی از جمله تهی‌سازی خاک از ریزمغذی‌ها و بی‌ثباتی خاک سطحی را به همراه داشته باشد (ادواردز و همکاران، ۲۰۲۵). در این راستا، اتخاذ روش‌های کشاورزی احیاء کننده (مانند عملیات‌های بدون خاک‌ورزی و کم‌خاک‌ورزی) به‌عنوان راهکاری مؤثر برای بهبود سلامت خاک و افزایش بهره‌وری مصرف آب پیشنهاد شده است. شیوه‌های خاک‌ورزی حفاظتی که با حداقل اختلال در ساختار خاک همراه هستند، ضمن مدیریت بقایای گیاهی و آماده‌سازی زمین، به حفظ یکپارچگی فیزیکی خاک، بهبود حفظ رطوبت و افزایش سلامت زیستی خاک کمک می‌کنند که برای پایداری بلندمدت نظام‌های کشاورزی حیاتی تلقی می‌شود (بهاتارای و همکاران، ۲۰۲۵). تأثیرات منفی خاک‌ورزی مرسوم بر ماده آلی خاک در مطالعات متعددی اشاره شده است. اسمیت و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که اکسیداسیون سریع ماده آلی و کاهش ذخیره کربن آلی خاک از پیامدهای اصلی خاک‌ورزی مرسوم در مزارع پنبه است. همچنین، کومار و همکاران (۲۰۲۵a) گزارش کردند که در سال‌های خشک، عملکرد پنبه تحت سیستم‌های بدون خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی به‌طور معنی‌داری بیشتر از سیستم خاک‌ورزی مرسوم است.

از سوی دیگر، انتخاب رقم مناسب، هماهنگ با پویایی زیست‌توده جمعیت گیاهی در مراحل اصلی رشد، عامل تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد بالا محسوب می‌شود. مطالعه‌ای مبتنی بر مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای نشان داد که تأثیر تغییر ارقام بر درصد وش، عمدتاً ناشی از تفاوت در تخصیص زیست‌توده تولیدی به اندام‌های مختلف پنبه است (شی و همکاران، ۲۰۲۵).

تراکم بوته، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی، از طریق تأثیر بر ساختار تاج پوشش و شدت رقابت درون‌گونه‌ای، نقش کلیدی در بهره‌وری مصرف منابع بویژه در کاشت‌های دیرهنگام ایفا می‌کند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۶). در تراکم‌های پایین، عملکرد به‌دلیل تعداد کمتر بوته در واحد سطح کاهش می‌یابد، در حالی‌که در تراکم‌های بسیار بالا، رقابت شدید درون‌بوته‌ای موجب کاهش عملکرد در هر بوته می‌شود. برخی پژوهشگران تأکید دارند که تراکم بالای بوته پنبه (بیش از ۲۲ بوته در متر مربع) اگرچه با افزایش سطح برگ می‌تواند عملکرد الیاف در واحد سطح را افزایش دهد، اما ممکن است با کاهش وزن غوزه همراه باشد. از این رو، تراکم متوسط (۱۷ تا ۱۹ بوته در متر مربع) به عنوان گزینه بهینه پیشنهاد شده است (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۵؛ عادلی و همکاران،b ۲۰۲۵).

در سال‌های اخیر، مطالعات متعددی با تمرکز بر اثرات متقابل خاک‌ورزی، رقم و تراکم به‌ویژه در سیستم‌های کشت دوم پنبه و مناطق دیم، انجام شده است. دانگ و همکاران (۲۰۲۶) با بررسی سه عمق شخم مرسوم (۲۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متر) و سه تراکم (۱۷، ۲۱ و ۲۶ بوته در متر مربع) دریافتند که تراکم ۲۱ بوته در متر مربع نسبت به تراکم ۲۶ بوته، افزایش معنی‌داری در حجم ریشه و زیست‌توده ساقه و ریشه ایجاد کرد و بالاترین عملکرد کل وش در تیمار شخم ۶۰ سانتی‌متر همراه با تراکم ۲۱ بوته در متر مربع به‌دست آمد. در پژوهشی دیگر، کرونسکی و کیکلر (۲۰۲۴) گزارش کردند که در سیستم بدون خاک‌ورزی، تراکم ۱۱۴ هزار بوته پنبه در هکتار نسبت به تراکم ۶۷ هزار بوته، به‌طور میانگین در چهار سال، ۱۲ درصد عملکرد نهایی بیشتری دارد.

اهمیت اثرات متقابل خاک‌ورزی، رقم و تراکم در مطالعه چن و همکاران (۲۰۲۵b) نیز مورد تأکید قرار گرفته است. آن‌ها نشان دادند که در سیستم بدون خاک‌ورزی، استفاده از ارقام زودرس همراه با تراکم متوسط بهترین عملکرد را به‌همراه دارد، در حالی‌که در سیستم خاک‌ورزی مرسوم، ارقام دیررس پرمحصول

با رعایت تیپ رشدی (ارقام محدود با تراکم بالاتر و ارقام نامحدود با تراکم کمتر) عملکرد بهتری حاصل می‌کنند. مطالعه آنان نشان داد که انتخاب هماهنگ سه عامل مذکور می‌تواند عملکرد را تا ۲۵ درصد افزایش دهد. در ایران نیز پژوهش‌هایی درباره اثر تراکم بوته و سیستم‌های خاک‌ورزی بر عملکرد پنبه انجام شده است. مالی و همکاران (۲۰۲۳) در بررسی تراکم‌های مختلف بوته در کشت دوم پنبه پس از گندم در استان گلستان گزارش کردند که تراکم ۱۲۵ هزار بوته در هکتار نسبت به تراکم‌های ۴۱/۷ و ۶۲/۵ هزار بوته در هکتار، بیشترین عملکرد کل وش را تولید نمود که نشان‌دهنده اهمیت انتخاب تراکم مناسب در شرایط کشت دوم است. همچنین، ناصح و همکاران (۲۰۲۵) با بررسی اثر سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی و مرسوم بر پنج رقم پنبه (خرداد، کاشمر، ورامین، خورشیدی و ساجدی) نشان دادند که بیشترین عملکرد کل وش در تیمار کم‌خاک‌ورزی همراه با رقم ورامین و کمترین عملکرد در خاک‌ورزی مرسوم همراه با رقم ساجدی حاصل شد. این نتایج بیانگر آن است که پاسخ عملکرد پنبه نه‌تنها به نوع سیستم خاک‌ورزی، بلکه به ویژگی‌های ژنتیکی رقم نیز وابسته است.

برخی پژوهشگران برای تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای رشد و شناسایی عوامل مؤثر بر افزایش شاخص برداشت و عملکرد پنبه، از رویکردهای مدل‌سازی پیشرفته نظیر جنگل تصادفی[1] و معادلات ساختاری[2] استفاده کرده‌اند. یافته‌های آن‌ها حاکی از آن است که افزون بر تفاوت‌های ژنتیکی، عوامل محیطی مانند تراکم کشت و حاصلخیزی خاک نقش مهمی در تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی و تعیین نسبت زیست‌توده زایشی به کل دارند. این رویکرد ترکیبی امکان تحلیل عمیق‌تری از اثرات متقابل عوامل ژنتیکی و محیطی بر عملکرد پنبه را فراهم می‌آورد (یانگ و همکاران، ۲۰۲۵).

با وجود پژوهش‌های متعدد درباره اثر مستقل سیستم‌های خاک‌ورزی، تراکم بوته یا رقم بر عملکرد پنبه، اطلاعات اندکی درباره اثرات متقابل این سه عامل بر رشد رویشی، تجمع زیست‌توده، اجزای عملکرد و شاخص برداشت پنبه در شرایط کشت دوم، به‌ویژه درشرایط آب و هوائی استان گلستان، وجود دارد. افزون بر این، روابط بین تجمع زیست‌توده در مراحل مختلف رشد، اجزای عملکرد و عملکرد نهایی وش در چنین شرایطی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. ازاین‌رو، انجام پژوهشی جامع که بتواند اثر هم‌زمان این عوامل مدیریتی را بر ویژگی‌های رشدی و عملکردی پنبه تبیین کند، برای دستیابی به الگوی مدیریتی مناسب در کشت دوم ضروری به نظر می‌رسد.

با توجه به موارد فوق، پژوهش حاضر با هدف بررسی اثر متقابل سیستم‌های خاک‌ورزی، رقم و تراکم بوته بر عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص برداشت پنبه در کشت دوم انجام شد. همچنین، تغییرات زیست‌توده در مراحل مختلف رشد و ارتباط آن با عملکرد نهایی وش، روابط بین صفات رویشی، زایشی و عملکردی با استفاده از تحلیل‌های همبستگی و رگرسیونی، و تعیین مناسب‌ترین ترکیب خاک‌ورزی، رقم و تراکم بوته برای افزایش عملکرد پنبه در شرایط کشت دوم استان گلستان مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

توصیف محل مطالعه و شرایط اجرای آزمایش:

این آزمایش در سال ۱۴۰۴ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه آزاد اسلامی، واقع در مجاورت ایستگاه آب و هواشناسی سینوپتیک شهرستان علی‌آبادکتول (استان گلستان) انجام شد. ارتفاع محل از سطح دریای آزاد ۱۴۰ متر، طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی بود. بر اساس میانگین درازمدت ایستگاه سینوپتیک علی‌آباد کتول (میانگین بارندگی سالانه ۶۹۳ میلی‌متر، میانگین دمای سالانه حدود ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی متوسط حدود ۶۹

[1] Random Forest Model (RFM)
[2] Structural Equation Modeling (SEM)

درصد)، در طول دوره کشت دوم پنبه در این تحقیق بارندگی ۱۵۶ میلی‌متر در دوره خرداد تا مهر (که حدود ۲۵ درصد کمتر از میانگین درازمدت این ماه‌هاست) و دمای بالاتر از نرمال (میانگین دمای دوره ۲۵٫۸ درجه در مقابل میانگین بلندمدت حدود ۲۴ درجه) شرایطی گرم‌تر و خشک‌تر از حالت عادی داشته است. خلاصه مشخصات آب و هوایی در سال آزمایش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- آمار هواشناسی شهرستان علی‌آباد کتول در طی فصل رشد پنبه در سال ۱۴۰۴

ماه‌های سال	میزان بارندگی (mm)	میانگین دما (°C)	میانگین حداقل دما (°C)	میانگین حداکثر دما (°C)	حداقل مطلق دما (°C)	حداکثر مطلق دما (°C)	مجموع ساعت آفتابی (hour)	میانگین حداقل رطوبت (%)	میانگین حداکثر رطوبت (%)	میانگین رطوبت (%)	مجموع تبخیر (mm)	تعداد روزهای بارندگی (day)
خرداد	۷٫۸	۲۶٫۷	۲۰٫۰	۳۳٫۴	۱۳٫۲	۴۰٫۳	۲۶۴٫۹	۳۸٫۷	۸۱٫۳	۶۰٫۰	۲۱۵٫۶	۵
تیر	۶۴٫۷	۲۸٫۲	۲۳٫۵	۳۲٫۸	۱۷٫۳	۳۸٫۶	۱۶۴٫۸	۵۱٫۸	۸۶٫۸	۶۹٫۳	۱۸۳٫۹	۹
مرداد	۶٫۹	۲۷٫۴	۲۲٫۲	۳۲٫۶	۱۷٫۲	۴۱٫۲	۲۰۰٫۰	۴۸٫۶	۸۵٫۳	۶۷٫۰	۱۷۷٫۹	۸
شهریور	۵۷٫۸	۲۴٫۴	۱۹٫۱	۲۹٫۸	۱۶٫۱	۳۸٫۲	۲۱۴٫۱	۵۰٫۳	۸۷٫۷	۶۹٫۰	۱۵۶٫۹	۹
مهر	۷۰٫۰	۲۰٫۷	۱۴٫۷	۲۶٫۶	۹٫۸	۳۴٫۴	۲۱۱٫۳	۵۱٫۳	۹۰٫۵	۷۰٫۹	۱۰۳٫۳	۷
میانگین	۳۱٫۲۲	۲۵٫۸	۱۹٫۹	۳۱٫۷	۱۶٫۲	۳۸٫۲	۲۱۸٫۳	۴۵٫۲	۸۳٫۲	۶۴٫۴	۱۸۷٫۹	۵٫۲

بر اساس نتایج تجزیه فیزیکوشیمیایی خاک، بافت مزرعه از نوع سیلتی کلی لوم تعیین گردید (جدول ۲).

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش در شهرستان علی‌آباد کتول.

شن (%)	سیلت (%)	رس (%)	EC (dS/m)	pH	نیتروژن کل (%)	فسفر قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل استفاده ($mg.kg^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل TCA (%)	کربن آلی (%)	وزن مخصوص ظاهری ($g.cm^{-3}$)
۱۸	۵۰	۳۲	۱٫۴۳۹	۷٫۷	۱۸	۲٫۷۵	۲۲۱	۹	۱٫۸	۱٫۲۵

این آزمایش به‌صورت اسپلیت پلات فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار اجرا شد. در این طرح، فاکتور خاک‌ورزی در سه سطح به عنوان کرت اصلی، و فاکتورهای رقم پنبه (دو سطح) و تراکم بوته (چهار سطح) به عنوان فاکتورهای فرعی به‌صورت فاکتوریل در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. سطوح خاک‌ورزی عبارت بود از خاک‌ورزی مرسوم (شامل شخم عمیق پس از برداشت گندم با گاوآهن برگردان‌دار، سپس آماده‌سازی بستر کاشت با هرس بشقابی (دیسک)، تسطیح با لولر و در نهایت کاشت با ردیف‌کار)، خاک‌ورزی حفاظتی (شامل حفظ حداقل ۳۰٪ بقایای گندم بر روی سطح خاک با استفاده از گاوآهن قلمی غلتک‌دار (چیزل پکر)، و سپس کاشت با ردیف‌کار) و بدون خاک‌ورزی (کاشت با استفاده از دستگاه کارنده پنوماتیک شرکت مترماک[1] قابل استفاده در زمین‌های خاک‌ورزی نشده). ارقام مورد استفاده از بذور گواهی‌شده رقم ساجدی (با رشد محدود افقی، زودرس و مناسب برای کشت دوم، قابلیت کشت در تراکم‌های بالا و مناسب برای برداشت با کمباین و ظرفیت باردهی‌خوب) و رقم گلستان (با رشد نیمه‌محدود افقی، زودرس و مناسب برای کشت دوم، قابلیت کشت در تراکم‌های بالا و مناسب برای برداشت دستی یا کمباین و پُرمحصول) (مدیریت هماهنگی ترویج گلستان، ۲۰۲۲) و تراکم بوته در چهار سطح شامل ۶۶، ۸۲ و ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار

[1] MaterMac

بوته در هکتار که با تنظیم فاصله بین بوته‌های روی ردیف کاشت به ترتیب ۲۰، ۱۶، ۱۲ و ۸ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ثابت ۷۵ سانتی‌متر و پس از عملیات تُنک کردن در مرحله چهاربرگی بدست آمد. هر کرت آزمایشی شامل ۸ ردیف کاشت به طول ۱۲ متر بود.

بر اساس نتایج آزمون خاک و توصیه کودی، ۱۲۱کیلوگرم نیتروژن (از منبع اوره)، ۱۱۹ کیلوگرم فسفر (از منبع فسفات آمونیوم) و ۱۲۵ کیلوگرم پتاسیم (از منبع سولفات پتاسیم) در هکتار برای گیاه پنبه در نظر گرفته شد. تمامی کودهای فسفر و پتاسیم و یک‌سوم کود نیتروژن به‌عنوان کود پایه مصرف گردید و دوسوم باقیمانده نیتروژن طی دو نوبت به‌صورت سرک در مراحل شش برگی و شروع مرحله گل‌دهی به مزرعه داده شد. در تیمار خاک‌ورزی مرسوم، کودهای پایه پیش از آخرین عملیات دیسک با خاک مخلوط شدند. در تیمار خاک‌ورزی حفاظتی، کودها هم‌زمان با عبور دستگاه چیزل‌پکر در عمق مناسب قرار گرفتند و در تیمار بدون خاک‌ورزی نیز کودها به‌صورت نواری و هم‌زمان با کاشت، توسط دستگاه کارنده در مجاورت بذر قرار داده شدند. کاشت در یازدهم ماه خرداد با استفاده از بذور دلینته و ضدعفونی شده با سم بذرمال کاربوکسی تیرام انجام شد. در طول دوره داشت، علف‌های هرز بر اساس نیاز مزرعه و از طریق وجین دستی کنترل شدند. همچنین، به‌منظور کنترل آفات، عملیات سم‌پاشی در دو نوبت، در مراحل آغاز و اواخر قوزه‌بندی، با استفاده از اکسی‌دیمتون متیل (۱ لیتر در هکتار)، آوانت (۲۵۰ میلی‌لیتر در هکتار) و پیری‌پروکسی‌فن (۰/۷۵ لیتر در هکتار)، مطابق با توصیه‌های فنی، انجام شد. آبیاری در طول دوره رشد بر اساس نیاز گیاه و در چهار نوبت با فواصل ۱۰ تا ۱۴ روز انجام شد.

اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی و عملکرد: برای اندازه‌گیری طول دوره رشد (تعداد روز از تاریخ ظهور گیاهچه تا رسیدگی کامل)، ارتفاع بوته، تعداد شاخه‌های زایا (گل‌دهنده)، درصد ریزش غوزه در بوته، تعداد غوزه در بوته و در واحد سطح و وزن غوزه از هر کرت ۱۲ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و صفات مورد نظر ثبت شدند. برای تعیین درصد ریزش غوزه، از زمان شروع رشد زایشی، تعداد غوزه‌های ریخته و باقیمانده از همان ۱۲ بوته در هر کرت به‌طور روزانه شمارش و در انتها درصد ریزش غوزه با استفاده از رابطه تعداد غوزه ریزش یافته به تعداد کل غوزه شمارش شده، محاسبه گردید. همچنین در زمان رسیدگی الیاف، وش تولیدی پس از حذف اثر حاشیه (۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر واحد آزمایشی) برداشت و عملکرد به کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. میانگین وزن غوزه با جمع‌آوری ۱۰۰ غوزه از ۱۲ بوته نشانه‌گذاری شده در دو چین به‌دست آمد. برای جلوگیری از ایجاد خطای نمونه‌برداری، تمامی اندازه‌گیری‌های تکراری هر صفت توسط یک ارزیاب و مطابق دستورالعمل یکسان انجام شد.

سنجش تجمع زیست‌توده و تخصیص مواد فتوسنتزی: به‌منظور برآورد روند تجمع زیست‌توده، از زمان اولین ظهور جوانه گل، نمونه‌برداری به‌صورت دوره‌ای و با فاصله زمانی ۱۴ روز انجام شد (در روزهای ۴۰، ۵۴، ۶۸، ۸۲، ۹۶، ۱۱۰ و ۱۲۴ پس از سبز شدن گیاهچه). انتخاب این فاصله زمانی با هدف ثبت دقیق تغییرات پویای تجمع ماده خشک در مراحل مختلف رشد و فراهم نمودن تعداد کافی داده برای برازش مدل رگرسیون لجستیک انجام شد. در مطالعات پیشین بر روی پنبه نیز فاصله‌های زمانی ۱۴ تا ۱۵ روز برای پایش تجمع زیست‌توده و مدل‌سازی رشد توصیه و به‌کار گرفته شده است (خان و همکاران، ۲۰۲۰c؛ پاخرل و همکاران، ۲۰۲۳). در هر مرحله، هشت بوته به‌طور تصادفی از ردیف‌های میانی هر واحد آزمایشی برداشت و به بخش‌های ریشه، ساقه، برگ و اندام‌های زایشی تفکیک شدند. نمونه‌ها پس از خشک شدن در آون با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت تا رسیدن به وزن ثابت، برای محاسبه وزن خشک زیست‌توده مورد استفاده قرار گرفتند. برای مدل‌سازی تجمع زیست‌توده از معادله رگرسیون لجستیک (معادله ۱) استفاده شد (خان و همکاران،b ۲۰۲۰).

معادله (۱)

$$Y = \frac{A}{1 + be^{-kt}}$$

که در معادله (۱)، Y وزن زیست‌توده بر حسب کیلوگرم، A حداکثر تجمع زیست‌توده بر حسب کیلوگرم، t تعداد روز نمودار زیست‌توده توسط معادله محاسبه شدند. پس از برازش معادله لجستیک، ضرایب A، b و k استخراج و به‌عنوان پارامترهای ورودی برای محاسبه شاخص‌های t_M ، t_1، t_2، V_M، Δt و V_A در معادلات (۲) تا (۷) استفاده شدند که در معادلات فوق‌الذکر، t_M نقطه زمانی حداکثر رشد زیست‌توده بر حسب روز، V_M حداکثر نرخ تجمع زیست‌توده بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، t_1 (آغاز) و t_2 (پایان) دوره زمانی تجمع سریع زیست‌توده و Δt حداکثر دوره تجمع سریع زیست‌توده بر حسب روز می‌باشد.

معادله (۲) $t_M = \frac{\ln b}{k}\left(t_M = t, \frac{A}{2}\right)$

معادله (۳) $t_1 = \frac{\ln b - \ln(2+\sqrt{3})}{k}$

معادله (۴) $t_2 = \frac{\ln b + \ln(2+\sqrt{3})}{k}$

معادله (۵) $V_M = \frac{Ak}{4}$

معادله (۶) $\Delta t = t_2 - t_1$

معادله (۷) $V_A = \frac{Y_2 - Y_1}{\Delta t}$

Y_1 و Y_2 به‌ترتیب مقادیر زیست‌توده در زمان‌های t_1 و t_2 هستند. V_A نشان‌دهنده میانگین تجمع زیست‌توده در فواصل زمانی t_1 و t_2 و Δt مجموع دوره میانگین تجمع زیست‌توده بر حسب روز است. در این آزمایش پس از ثبت داده‌ها، نرمال بودن آنها با استفاده از آزمون شاپیرو–ویلک[1] بررسی شد. همچنین، مقادیر چولگی[2] و کشیدگی[3] به‌عنوان شاخص‌های تکمیلی برای ارزیابی شکل توزیع داده‌ها مورد استفاده قرار گرفت. در مواردی که فرض نرمال بودن برقرار نبود، با توجه به ماهیت داده‌ها از تبدیل‌های مناسب شامل جذر، لگاریتم یا معکوس استفاده شد. پس از انجام تبدیل، نرمال بودن داده‌ها مجدداً بررسی و سپس تجزیه واریانس با استفاده از نرم افزار آماری SAS 9.4 انجام گرفت. کلیه جداول و شکل‌ها بر اساس داده‌های اصلی (غیرتبدیل‌شده) گزارش شدند. در صورت معنی‌دار بودن اثر متقابل دو جانبه از روش برش‌دهی[4]، برای تفسیر اثرها استفاده گردید. مقایسه میانگین‌ها با آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد، محاسبه همبستگی بین صفات از روش پیرسون و برای ترسیم معادلات رگرسیونی و انجام تجزیه به مؤلفه‌های اصلی[5] از نرم افزار Origin Pro 2024 استفاده گردید.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳) نشان داد که اثر سیستم‌های خاک‌ورزی بر تمام صفات مورد بررسی، به‌جز تعداد شاخه زایا در بوته و تعداد غوزه در بوته، معنی‌دار بود. اثر رقم نیز بر کلیه صفات به‌جز ارتفاع گیاه، تعداد غوزه در بوته و درصد الیاف، معنی‌دار گردید. اثر تراکم کاشت بر تمامی صفات معنی‌دار بود. همچنین، اثر متقابل خاک‌ورزی × رقم بر صفات طول دوره رشد، تعداد شاخه زایا در بوته و در واحد سطح، و عملکرد الیاف معنی‌دار بود. اثر متقابل خاک‌ورزی × تراکم بر روی همه صفات مورد بررسی به‌جز تعداد شاخه زایا در بوته و تعداد شاخه زایا در واحد سطح معنی‌دار بود. با این‌حال، اثر متقابل سه‌جانبه خاک‌ورزی × رقم × تراکم بوته بر هیچ‌یک از صفات مورفولوژیک، اجزای عملکرد، عملکرد وش، عملکرد الیاف، درصد الیاف و زیست‌توده کل معنی‌دار نشد. این نتایج نشان می‌دهد که اگرچه هر یک از عوامل مورد مطالعه و برخی برهم‌کنش‌های دوگانه آن‌ها بر صفات مختلف پنبه مؤثر بودند، اما واکنش ارقام به تغییرات تراکم در سیستم‌های مختلف خاک‌ورزی از الگوی نسبتاً مشابهی پیروی کرده و ترکیب همزمان این سه عامل موجب ایجاد پاسخ متمایزی نسبت به اثرات مستقل یا دوگانه عوامل نگردید. بنابراین، تفسیر نتایج در ادامه بر پایه اثرات اصلی و برهم‌کنش‌های دوگانه معنی‌دار انجام شد.

[1] Shapiro–Wilk
[2] Skewness
[3] Kurtosis
[4] Slicing
[5] Principal Components Analysis (PCA)

جدول ۳- تجزیه واریانس اثرات خاک‌ورزی، رقم و تراکم بر صفات مورفولوژیک و اجزای عملکرد پنبه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات										
		ارتفاع گیاه	طول دوره رشد	تعداد شاخه زایا در بوته	تعداد شاخه زایا در واحد سطح	درصد ریزش غوزه در بوته	تعداد غوزه در بوته	تعداد غوزه در واحد سطح	وزن غوزه	عملکرد کل وش	عملکرد الیاف	درصد الیاف	زیست‌توده کل
بلوک	۳	۰/۰۱۱ ns	۲۷۱/۴ ns	۹/۰۷ ns	۴۶/۲ ns	۱۱/۰۵ ns	۷/۰۱ ns	۵۱/۰۲ ns	۰/۲۰۱ ns	۳۰۱۵۶ ns	۳۰۱/۵ ns	۱۰/۵۱ ns	۲۱۷۸۷۷ ns
خاک‌ورزی	۲	۰/۱۸۰ **	۳۹۵/۷ **	۶/۳ ns	۸۵۶/۱ **	۸۰/۱۱ **	۶/۵۸ ns	۱۵۷/۳ *	۱/۱۱۵ **	۹۹۸۱ *	۱۷۹۲/۳ *	۴۰/۱۲ *	۱۴۲۳۱۶۴۶ **
خطا (Ea)	۶	۰/۰۰۸	۲۹/۸۲	۶/۵۸۱	۴۱/۲۴	۹/۴۷	۴/۰۱	۴۷/۲۵	۰/۱۶۲	۲۸۲۶	۳۵۴/۲۱	۸/۴۱	۴۲۸۹۷۳
رقم	۱	۰/۰۰۳ ns	۳۴۰/۸ **	۱۹/۰۳ **	۱۰۹/۲ **	۱۷/۱ **	۰/۰۱ ns	۸۴/۵۲ **	۲/۰۲۱ **	۴۰۵۶ **	۷۸۱/۲ **	۵/۸۱ ns	۲۳۳۵۶۳۷ *
خاک‌ورزی × رقم	۲	۰/۰۰۲ ns	۳۲۸/۱ *	۷/۰۱ *	۱۰۴/۵ **	۴/۷۱ ns	۱/۹۱ ns	۱۴/۰۱ ns	۰/۴۱۵ ns	۶۰۷/۱ ns	۴۷۱/۴ *	۷/۰۳ ns	۵۰۹۰۴ ns
تراکم	۳	۰/۰۶۴ **	۴۰۱/۵ **	۳۱/۰۵ **	۱۱۱/۵ **	۲۰/۷۸ **	۶/۸۹ **	۹۱/۵۱ **	۲/۸۱ **	۳۰۹۱ **	۶۸۱/۵ **	۱۶/۸۵ **	۱۴۹۴۱۳۳ **
خاک‌ورزی × تراکم	۶	۰/۰۰۴ ns	۱۷/۲۱ ns	۱۹/۱۱ **	۹۹/۶۹ **	۴/۰۹ ns	۲/۲۱ ns	۱۷/۵۲ ns	۰/۳۳۲ ns	۵۸۸/۲ ns	۱۴۹/۲ ns	۵/۵۶ ns	۳۹۱۷۳ ns
رقم × تراکم	۳	۰/۰۰۷ ns	۳۶۲/۸ **	۲۴/۱۴ **	۲۶/۲۱ ns	۵/۰۸ ns	۹/۷۱ **	۶۵/۲۸ **	۱/۶۵ *	۲۸۷۱ **	۶۹۱/۲ **	۲۱/۷۴ **	۱۷۵۲۰۲ *
خاک‌ورزی × رقم × تراکم	۶	۰/۰۰۳ ns	۱۴/۱۶ ns	۲/۰۴ ns	۲۰/۰۵ ns	۳/۵۲ ns	۱/۴۱ ns	۱۰/۰۷ ns	۰/۴۰۵ ns	۸۹۱/۷ ns	۲۰۱/۶ ns	۵/۱۷ ns	۱۷۷۶ ns
خطا (Eb)	۶۳	۰/۰۰۳	۱۲/۰۴	۱/۴۴۶	۱۹/۵۲	۳/۵۹۱	۱/۳۲	۱۰/۷۷	۰/۳۱۴	۵۰۲/۶	۱۲۹/۸۷	۳/۵۰۲	۵۳۸۲۲
ضریب تغییرات		۱۰/۰۱	۱۱/۲۸	۱۴/۲۲	۱۸/۲۹	۷/۰۹	۱۶/۸۹	۱۴/۵۲	۶/۸۵	۱۹/۲۷	۱۳/۳۸	۹/۳۴	۱۴/۸۱

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱درصد ، * معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد و ns غیر معنی‌دار.

مقایسه میانگین صفات

ارتفاع گیاه: مقایسه میانگین ارتفاع بوته‌ها نشان داد که اگرچه بین دو رقم تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای مشاهده نشد، اما تیمار بدون خاک‌ورزی باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته نسبت به دو سطح خاک‌ورزی دیگر گردید (جدول ۴).

جدول ۴- مقایسه میانگین اثرات اصلی خاک‌ورزی، رقم و تراکم بوته بر صفات مورد ارزیابی پنبه[1]

سطوح فاکتورهای خاک‌ورزی، رقم و تراکم بوته		ارتفاع گیاه(cm)	طول دوره رشد (day)	تعداد شاخه زایا در بوت(No. per plant)	تعداد شاخه زایا در واحد سطح(No. per m^2)	ریزش غوزه در بوته(٪)	تعداد غوزه در بوته (No. per plant)	تعداد غوزه در واحد سطح (No. per m^2)	وزن غوزه (gr)	عملکرد کل وش (kg per ha)	عملکرد الیاف (kg per ha)	کیل (٪)	زیست‌توده کل (kg per ha)
خاک‌ورزی	مرسوم	۹۳/۷ b	۱۰۱/۹ c	۹/۸۴ a	۱۰۳/۰ b	۵۲/۹۵ a	۷/۴۲ a	۷۳/۲۲ b	۴/۴۱ b	۲۴۰۹ b	۹۳۱ b	۳۸/۶۵ a	۶۹۸۷ b
	حفاظتی	۹۶/۵ b	۱۰۶/۰ b	۱۰/۱۰ a	۱۰۵/۷ b	۴۹/۹۸ b	۷/۶۶ a	۷۵/۶۰ ab	۴/۵۵ ab	۲۵۶۸ ab	۹۶۲ ab	۳۷/۴۶ ab	۷۲۹۲ b
	بدون‌خاک‌ورزی	۱۰۲/۱ a	۱۱۲/۲ a	۱۰/۵۸ a	۱۱۱/۵ a	۴۸/۷۱ b	۸/۰۶ a	۷۹/۵۸ a	۴/۷۹ a	۲۸۴۶ a	۱۰۳۵ a	۳۶/۳۵ b	۸۲۶۴ a
رقم	ساجدی	۹۸/۷ a	۱۰۴/۰ b	۹/۸۹ b	۱۰۳/۴ b	۵۱/۵۵ a	۷/۳۵ a	۷۲/۵۴ b	۴/۴۹ b	۲۴۳۷ b	۹۲۰ b	۳۷/۷۶ a	۷۰۲۱ b
	گلستان	۹۶/۱ a	۱۰۹/۴ a	۱۰/۴۶ a	۱۱۰/۱ a	۴۹/۵۴ b	۸/۱۰ a	۷۹/۷۳ a	۴/۶۷ a	۲۷۷۸ a	۱۰۳۳ a	۳۷/۲۰ a	۸۰۰۷ a
تراکم (هزار بوته در هکتار)	۶۶	۹۳/۴ b	۱۰۴/۲ c	۱۰/۸۷ a	۷۲/۵ d	۴۸/۴۲ c	۹/۷۹ a	۶۵/۲۷ d	۴/۸۱ a	۲۳۵۸ d	۹۴۲ cd	۳۹/۹۵ a	۶۷۹۳ c
	۸۳	۹۷/۰ ab	۱۰۵/۴ bc	۱۰/۳۱ ab	۸۵/۹ c	۵۰/۹۴ b	۸/۱۹ b	۶۸/۲۶ c	۴/۷۵ a	۲۴۹۲ c	۹۸۸ b	۳۹/۶۴ a	۷۰۲۲ c
	۱۱۱	۹۹/۶ a	۱۰۶/۶ b	۱۰/۱۳ b	۱۱۲/۵ b	۴۷/۷۸ c	۷/۸۴ b	۸۷/۰۶ a	۴/۵۴ ab	۲۹۶۸ a	۱۰۶۳ a	۳۵/۸۳ b	۸۵۵۰ a
	۱۶۶	۹۹/۵ a	۱۱۰/۸ a	۹/۳۸ c	۱۵۵/۹ a	۵۵/۰۵ a	۵/۰۴ c	۸۳/۹۵ b	۴/۲۲ b	۲۶۱۴ b	۹۱۵ d	۳۴/۹۸ b	۷۶۹۱ b

[1] ستون‌هائی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیستند.

ژائو و پِرز (۲۰۲۵) معتقدند که سیستم بدون خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی مرسوم در کشت پنبه، به‌دلیل کاهش تبخیر آب و وجود بقایای گیاهی بر سطح خاک، اثرات مثبتی بر رشد و نمو گیاه از جمله افزایش ارتفاع بوته دارد. در مطالعه حاضر با افزایش تراکم بوته، ارتفاع بوته‌ها نیز افزایش یافت، اما این افزایش بین سه تراکم ۸۳، ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار بوته در هکتار معنی‌دار نبود (جدول ۴). در مطالعه شیه و همکاران (۲۰۲۵) نیز افزایش تراکم بوته از ۳۰ به ۶۰ هزار بوته درهکتار باعث افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته شد. در این خصوص می‌توان اظهار داشت که در تراکم‌های بالا، نسبت نور قرمز به نور دور قرمز کاهش می‌یابد. این کاهش به‌عنوان یک نشانه هشداردهنده برای رقابت بر سر نور در بین بوته‌های پنبه عمل کرده و زنجیره‌ای از واکنش‌های مولکولی را فعال می‌کند. در نتیجه، منابع فتوسنتزی به‌سمت طویل‌شدن ساقه هدایت می‌شوند تا گیاه بتواند نور بیشتری دریافت کند و تاج‌پوشش را از نظر جذب نور، فشرده‌تر و کارآمدتر سازد. این پاسخ، یک سازوکار فیزیولوژیکی تطابقی برای مقابله با رقابت نوری محسوب می‌شود. با این حال، افزایش ارتفاع بوته در تراکم‌های بسیار پایین نسبت به تراکم‌های بسیار بالا نیز گزارش شده است که آن را به عواملی نظیر تفاوت ژنتیکی ارقام، شیوه‌های زراعی و شرایط آب‌وهوایی (به‌ویژه دمای ابتدای فصل رشد) نسبت داده‌اند (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۱).

طول دوره رشد: مقایسه میانگین‌ها نشان داد که رقم گلستان تحت سیستم بدون خاک‌ورزی دارای طول دوره رشد بیشتری نسبت به دو سطح خاک‌ورزی دیگر است اما در رقم ساجدی تفاوتی بین خاک‌ورزی های حفاظتی و بدون خاک‌ورزی مشاهده نگردید (جدول ۵).

جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل خاک‌ورزی × رقم بر شاخص‌های رشدی و عملکردی پنبه

خاک‌ورزی	رقم	طول دوره رشد (day)		تعداد شاخه زایا در بوته (No. per plant)		تعداد شاخه زایا در واحد سطح (No. per m^2)		عملکرد الیاف (kg per ha)	
		ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان
	مرسوم	۹۹٫۴ b	۱۰۸٫۷ b	۹٫۵۲ b	۱۰٫۳۸ a	۹۹٫۲۸ b	۱۰۸٫۹۸ b	۸۷۲ b	۱۰۱۳ b
	حفاظتی	۱۰۴٫۶ a	۱۰۹٫۳ b	۱۰٫۱۷ a	۱۰٫۳۳ a	۱۰۶٫۸۰ a	۱۰۸٫۴۳ b	۹۸۰ a	۹۶۹ b
	بدون خاک‌ورزی	۱۰۳٫۴ a	۱۱۵٫۱ a	۹٫۸۱ ab	۱۰٫۸۴ a	۱۰۲٫۳۸ b	۱۱۴٫۵۰ a	۹۰۱ b	۱۰۸۹ a

[1] ستون‌هائی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیستند.

این نتیجه حاکی از سازگاری بهتر رقم گلستان با شرایط بدون خاک‌ورزی و نیاز آن به فصل رشد طولانی‌تر برای تکامل کامل غوزه‌ها است. در مقابل، کمترین طول دوره رشد در ترکیب خاک‌ورزی مرسوم با رقم ساجدی مشاهده شد که بیان‌گر زودرسی ژنتیکی این رقم در شرایط خاک‌ورزی مرسوم است. به‌طور کل افزایش طول دوره رشد پنبه تحت کشت در سیستم‌های بدون خاک‌ورزی را می‌توان به حفظ رطوبت بیشتر و تعدیل دمای خاک نسبت به خاک‌ورزی‌های مرسوم نسبت داد که سبب تأخیر در مراحل فنولوژیک و طولانی‌تر شدن دوره رشد می‌گردد (حررا و همکاران، ۲۰۲۵). در هر دو رقم افزایش افزایش تراکم از ۶۶ به ۱۱۱ هزار بوته در هکتار تاثیر معنی‌داری بر طول دوره رشد نداشت اما تراکم ۱۶۶ هزار بوته باعث افزایش طول دوره رشد گردید (جدول ۶). افزایش تراکم با کاهش نور و دمای تاج‌پوش، غنچه‌دهی و گلدهی را به تأخیر می‌اندازد. این تأخیر، مکانیسم تطابقی گیاه برای جذب نور بیشتر در شرایط رقابت و سایه است (چاپپا و همکاران، ۲۰۲۰).

جدول ۶- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × تراکم بر روی صفات مورفولوژیک، عملکرد و زیست‌توده پنبه

رقم		طول دوره رشد (day)		تعداد شاخه زایا در بوته (No. per plant)		تعداد غوزه در بوته (No. per plant)		تعداد غوزه در واحد سطح (No. per m^2)		وزن غوزه (gr)	
		ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان
تراکم (هزار بوته در هکتار)	۶۶	۱۰۱٫۰ b	۱۰۷٫۳ b	۱۰٫۵۲ a	۱۱٫۲۳ a	۹٫۱۶ a	۱۰٫۴۲ a	۶۱٫۰۴ d	۶۹٫۵۰ b	۴٫۷۴ a	۴٫۸۷ a
	۸۳	۱۰۳٫۴ b	۱۰۷٫۴ b	۱۰٫۰۱ a	۱۰٫۶۱ ab	۷٫۹۲ b	۸٫۴۶ b	۶۶٫۰۱ c	۷۰٫۵۱ b	۴٫۶۹ a	۴٫۸۲ a
	۱۱۱	۱۰۳٫۵ b	۱۰۹٫۸ b	۱۰٫۱۰ a	۱۰٫۱۶ bc	۷٫۵۸ b	۸٫۰۹ b	۸۴٫۱۹ a	۸۹٫۹۳ a	۴٫۴۷ ab	۴٫۶۰ ab
	۱۶۶	۱۰۸٫۲ a	۱۱۳٫۴ a	۸٫۹۱ b	۹٫۸۵ c	۴٫۷۳ c	۵٫۳۴ c	۷۸٫۹۳ b	۸۸٫۹۷ a	۴٫۰۹ b	۴٫۳۶ b

رقم		عملکرد کل وش (kg per ha)		عملکرد الیاف (kg per ha)		کیل (٪)		زیست‌توده کل (kg per ha)	
		ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان	ساجدی	گلستان
تراکم (هزار بوته در هکتار)	۶۶	۲۱۷۳ c	۲۵۴۳ b	۹۰۴ b	۹۶۹ bc	۴۱٫۷۱ a	۳۸٫۱۸ b	۶۲۶۰ c	۷۳۲۶ c
	۸۳	۲۳۲۴ bc	۲۶۶۱ b	۸۸۸ c	۱۰۹۱ ab	۳۸٫۲۸ b	۴۱٫۰۱ a	۶۶۹۴ bc	۷۳۵۰ c
	۱۱۱	۲۸۲۹ a	۳۱۰۷ a	۱۰۱۱ a	۱۱۱۲ a	۳۵٫۷۹ c	۳۵٫۸۶ bc	۸۱۴۹ a	۸۹۵۲ a
	۱۶۶	۲۴۲۳ b	۲۸۰۶ b	۸۶۷ c	۹۵۹ c	۳۵٫۷۸ c	۳۴٫۲۱ c	۶۹۸۱ b	۸۴۰۲ b

[1] ستون‌هائی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیستند.

یکی از نتایج قابل توجه این پژوهش، برتری عملکرد کل وش رقم گلستان نسبت به رقم ساجدی در تمامی سطوح تراکم، به‌ویژه تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار بود. اگرچه رقم ساجدی به دلیل تیپ رشد محدود و تاج‌پوشش متراکم، به‌عنوان رقمی مناسب برای کشت در تراکم‌های بالاتر معرفی شده است، اما نتایج این مطالعه نشان داد که رقم گلستان حتی در تراکم‌های بالا نیز عملکرد وش و الیاف بیشتری تولید کرد. این موضوع نشان می‌دهد که در شرایط کشت دوم، پتانسیل ژنتیکی رقم در تولید و تخصیص ماده خشک نقش تعیین‌کننده‌تری نسبت به صرف ویژگی‌های تاج‌پوشش بوته دارد. رقم گلستان با تولید زیست‌توده بیشتر، حفظ سطح برگ فعال برای مدت طولانی‌تر و انتقال مؤثرتر مواد فتوسنتزی به غوزه‌ها، توانست عملکرد بالاتری نسبت به رقم ساجدی ایجاد کند. بنابراین، اگرچه تیپ رشد محدود رقم ساجدی امکان سازگاری آن را با تراکم‌های بالا افزایش می‌دهد، اما این ویژگی به‌تنهایی برای دستیابی به عملکرد بیشتر کافی نبوده و در شرایط کشت دوم پس از گندم، ظرفیت بالاتر رقم گلستان در تولید ماده خشک و بهره‌وری فتوسنتزی عامل اصلی برتری عملکرد آن محسوب می‌شود.

اجزای عملکرد، عملکرد و زیست‌توده: مقایسه میانگین تعداد شاخه زایا در سطوح مختلف خاک‌ورزی نشان داد اگرچه رقم گلستان تفاوتی بین سطوح خاک‌ورزی نشان نداد، رقم ساجدی در خاک‌ورزی مرسوم تعداد کمتری نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی تولید کرد (جدول ۵). در سطوح خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی، تراکم‌های ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار بوته در هکتار تعداد شاخه زایا در بوته کمتری نسبت به تراکم ۶۶ هزار بوته در هکتار داشتند، اما در سطح بدون خاک‌ورزی، تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار تفاوت معنی‌داری با تراکم‌های پایین‌تر نداشت (جدول ۷). هوانگ و همکاران (۲۰۲۵) نیز نشان دادند که در سیستم بدون خاک‌ورزی، بقایای گیاهی روی سطح خاک رقابت اولیه برای نور را کاهش داده و اجازه می‌دهد شاخه‌های زایشی بیشتری در تراکم‌های متوسط تشکیل شوند. رقم ساجدی نسبت به رقم

گلستان تأثیرپذیری کمتری از تراکم نشان داد، اما در هر دو رقم تراکم ۱۶۶ هزار بوته در هکتار تعداد شاخه زایا در بوته کمتری نسبت به تراکم‌های ۶۶ و ۸۳ هزار بوته تولید کرد (جدول ۶).

جدول ۷- مقایسه میانگین جداگانه اثرات متقابل خاک‌ورزی × تراکم بر تعداد شاخه زایا در بوته

خاک‌ورزی		تعداد شاخه زایا در بوته (No. per plant)			تعداد شاخه زایا در واحد سطح (No. per m^2)		
		مرسوم	حفاظتی	بدون خاک‌ورزی	مرسوم	حفاظتی	بدون خاک‌ورزی
تراکم (هزار بوته در هکتار)	۶۶	۱۰٫۶۱ a	۱۰٫۸۳ a	۱۱٫۱۸ a	۷۰٫۷۵ d	۷۲٫۲۰ d	۷۴٫۵۵ d
	۸۳	۱۰٫۰۶ ab	۱۰٫۲۷ ab	۱۰٫۶۰ ab	۸۳٫۸۵ c	۸۵٫۵۶ c	۸۸٫۳۵ c
	۱۱۱	۹٫۷۵ bc	۹٫۹۵ bc	۱۰٫۶۹ ab	۱۰۸٫۳۰ b	۱۱۰٫۵۱ b	۱۱۸٫۸۳ b
	۱۶۶	۸٫۹۶ c	۹٫۳۴ c	۹٫۸۵ b	۱۴۹٫۲۶ a	۱۵۴٫۴۵ a	۱۶۴٫۱۳ a

[1] ستون‌هائی که دارای حداقل یک حرف مشترک باشند دارای تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد در آزمون چند دامنه‌ای دانکن نیستند.

در مقابل، تعداد شاخه زایا در واحد سطح در تیمار بدون خاک‌ورزی برای رقم گلستان بالاترین و برای رقم ساجدی کمترین مقدار را نسبت به خاک‌ورزی حفاظتی داشت (جدول ۵) و با افزایش تراکم در تمام سطوح خاک‌ورزی، این صفت به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (جدول ۴). خان و همکاران (۲۰۲۶) در مطالعه خود بر روی تراکم‌های ۱۵ تا ۱۰۵ هزار بوته، نشان دادند که افزایش تراکم تا ۸۷ هزار بوته، تعداد شاخه زایا در واحد سطح را به حداکثر می‌رساند. آنها اظهار داشتند که تراکم بالاتر تعداد بوته را در واحد سطح افزایش می‌دهد و اگرچه شاخه زایا در هر بوته کاهش می‌یابد، اما تعداد کل شاخه در واحد سطح افزایش می‌یابد.

در این مطالعه درصد ریزش غوزه در خاک‌ورزی مرسوم بیشتر از دو سطح دیگر بود. رقم گلستان ریزش کمتری نسبت به رقم ساجدی داشت و تراکم ۱۶۶ هزار بوته در هکتار بالاترین ریزش غوزه را نسبت به سایر تراکم‌ها دارا بود (جدول ۴). میانگین تعداد غوزه در بوته در تیمار بدون خاک‌ورزی به‌طور معنی‌داری بیشتر از خاک‌ورزی مرسوم بود ولی با خاک‌ورزی حفاظتی تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۴). با افزایش تراکم، این صفت در هر دو رقم کاهش یافت، هرچند بین تراکم‌های ۸۳ و ۱۱۱ هزار بوته تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۴). در این خصوص می‌توان اظهار نمود که ریزش غوزه در تراکم‌های بالا عمدتاً به‌دلیل کاهش نفوذ نور به لایه‌های میانی و پایین تاج‌پوش و تشدید رقابت درون گونه‌ای به‌ویژه برای نور است که میزان فتوسنتز هر بوته (منبع) را کاهش می‌دهد، در حالی‌که تعداد غوزه‌ها (مخزن) زیاد است. این عدم تعادل می‌تواند منجر به تحریک و افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده در ناحیه اتصال غوزه به شاخه یا ساقه گردیده و منجر به ریزش بیشتر غوزه شود (کومار و همکاران، ۲۰۲۵b؛ هو و همکاران، ۲۰۲۳).

تعداد غوزه در واحد سطح در تراکم‌های ۶۶ و ۸۳ هزار بوته کمتر از دو تراکم دیگر بود. رقم ساجدی در تراکم ۱۱۱ هزار بوته بیشترین مقدار را تولید کرد، در حالی‌که در رقم گلستان بین تراکم‌های ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار بوته تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). ژای و همکاران (۲۰۲۶) در مطالعه خود بر روی تراکم‌های ۶/۸ و ۱۱/۳ بوته در متر مربع، نشان دادند که افزایش تراکم به‌دلیل افزایش تعداد بوته در واحد سطح، تعداد غوزه در واحد سطح را تا ۱۴ درصد افزایش می‌دهد، اما افزایش بیشتر تراکم (بیش از ۱۱/۳ بوته در متر مربع) به‌دلیل رقابت شدید، نه‌تنها تعداد غوزه در واحد سطح را افزایش نمی‌دهد بلکه ممکن است آن‌را کاهش دهد. این یافته با نتایج تحقیق حاضر که نشان داد تراکم ۱۱۱ هزار بوته

(معادل ۱۱۱/۱ بوته در متر مربع) نقطه بهینه برای هر دو رقم است، مطابقت دارد.

وزن غوزه در تیمار بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم برتری معنی‌داری داشت (جدول ۴). تراکم‌های ۶۶، ۸۳ و ۱۱۱ هزار بوته در هر دو رقم اثر معنی‌داری نداشتند، اما تراکم ۱۶۶ هزار بوته باعث کاهش معنی‌دار این صفت در هر دو رقم نسبت به تراکم‌های ۶۶ و ۸۳ هزار بوته در هکتار گردید (جدول ۶). حیات و همکاران (۲۰۲۶) نیز در یک آزمایش دو ساله در سیستم کشت گندم-پنبه و تحت شرایط کشت دیرهنگام نشان دادند که تراکم ۸۷/۵ هزار بوته در هکتار نسبت به تراکم ۵۸/۳ هزار بوته در هکتار، ضمن افزایش ۱۹ درصدی عملکرد پنبه، تغییری در وزن غوزه ایجاد نکرد. اما در تراکم‌های بالاتر (۱۱۴ هزار بوته در هکتار)، کاهش وزن غوزه مشاهده شد. یافته‌های تحقیق حاضر تأیید می‌کند که تراکم‌های بسیار بالا با افزایش رقابت و کاهش دریافت نور در لایه‌های زیرین تاج‌پوشش، فعالیت فتوسنتزی را محدود کرده و وزن غوزه را کاهش داد اما در تراکم‌های کمتر در اوائل رشد توزیع نور بهتری در تاج پوشش و راندمان فتوسنتزی ظاهری بالاتری را به‌دلیل توزیع سطح برگ بیشتر در میانه تاج پوشش دارد که این امر راندمان انتقال محصولات فتوسنتزی را بهبود می‌بخشد زیرا غوزه‌ها به منبع اصلی فتوسنتز نزدیک‌تر هستند. در مقابل، تراکم‌های بیشتر نسبت شاخص سطح برگ را در تاج پوشش بالایی و نسبت غوزه‌ها را در تاج پوشش پایینی افزایش می‌دهد و منجر به توزیع نامتعادل برگ‌ها و غوزه‌ها می‌شود. در نتیجه، محصولات فتوسنتزی برای رشد زایشی نیاز به انتقال بیشتر دارند که باعث کاهش راندمان فتوسنتزی می‌شود این می‌تواند وزن بیشتر غوزه‌ها را در تراکم‌های کم نسبت به تراکم بیشتر توضیح دهد (چن و همکاران،a۲۰۲۵).

در مطالعه حاضر سیستم بدون خاک‌ورزی بالاترین عملکرد کل وش (۲۸۴۶ کیلوگرم در هکتار) و خاک‌ورزی مرسوم کمترین عملکرد کل وش (۲۴۰۹ کیلوگرم در هکتار) را تولید نمود (جدول ۴). این یافته با گزارش عادلی و همکاران (۲۰۲۵a) همسو است که عملکرد وش در سیستم بدون خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در سال چهارم تحقیق، ۴۱ درصد افزایش یافت. از آنجا که این پژوهش درقالب کشت دوم پنبه انجام شد، اهمیت انتخاب سیستم خاک‌ورزی مناسب بیش از شرایط کشت اول است. برتری سیستم بدون خاک‌ورزی را می‌توان به چندین سازوکار فیزیولوژیک و خاک‌شناختی نسبت داد. باقی ماندن بقایای گیاهی بر سطح خاک موجب کاهش تبخیر، حفظ رطوبت، تعدیل نوسانات دمای خاک، افزایش فعالیت زیستی میکروارگانیسم‌ها و بهبود پایداری خاکدانه‌ها می‌شود. این شرایط موجب توسعه بهتر ریشه، افزایش جذب آب و عناصر غذایی و در نهایت افزایش فتوسنتز و تجمع ماده خشک می‌شود. علاوه بر این، در کشت دوم پنبه که فرصت آماده‌سازی زمین محدود است، حذف عملیات شخم موجب حفظ رطوبت باقی‌مانده خاک و استقرار سریع‌تر گیاه می‌شود که نهایتاً عملکرد بالاتری را به همراه دارد (بهاتارای و همکاران، ۲۰۲۵؛ ادواردز و همکاران، ادواردز و همکاران، ۲۰۲۵؛ اسمیت و همکاران، ۲۰۲۵).

همچنین در رقم ساجدی، تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار به‌ترتیب ۳۰، ۲۲ و ۱۷ درصد و در رقم گلستان به ترتیب ۲۲، ۱۷ و ۱۱ درصد عملکرد کل وش بیشتری نسبت به تراکم‌های ۶۶، ۸۳ و ۱۶۶ هزار بوته در هکتار تولید کرد (جدول ۶). به‌نظر می‌رسد این برتری ناشی از ایجاد تعادل مناسب بین تعداد بوته در واحد سطح و عملکرد هر بوته باشد. در تراکم‌های متوسط، افزایش تعداد بوته موجب افزایش تعداد غوزه در واحد سطح، تسریع بسته‌شدن تاج‌پوشش، افزایش جذب تابش خورشیدی و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود. در نتیجه، کارایی استفاده از نور، آب و عناصر غذایی افزایش یافته و از رشد رویشی بیش از حد جلوگیری می‌شود. علاوه بر این، بسته‌شدن سریع‌تر تاج‌پوشش با کاهش رشد علف‌های هرز، سهم بیشتری از منابع محیطی را در اختیار گیاه پنبه قرار می‌دهد. در مقابل، افزایش تراکم به ۱۶۶ هزار بوته در هکتار موجب تشدید رقابت درون‌گونه‌ای برای نور، آب و

عناصر غذایی شد. این شرایط با کاهش نفوذ نور به لایه‌های میانی و پایینی تاج‌پوشش، کاهش فتوسنتز برگ‌های تحتانی، افزایش ریزش غوزه، کاهش تعداد غوزه در هر بوته و در نهایت کاهش عملکرد کل وش همراه بود. همچنین، تراکم‌های بسیار بالا با افزایش مصرف بذر، احتمال خوابیدگی بوته، کاهش تهویه داخل تاج‌پوشش و افزایش خطر بروز بیماری‌های قارچی، از نظر فنی و اقتصادی نیز مطلوب نیستند (نرش و همکاران، ۲۰۲۵).

بنابراین، به‌نظر می‌رسد تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار مناسب‌ترین تعادل را بین توسعه تاج‌پوشش، کارایی فتوسنتزی، تجمع زیست‌توده و تخصیص ماده خشک به اندام‌های زایشی ایجاد کرده است که در نهایت به بیشترین عملکرد کل وش منجر شد. این نتیجه با گزارش‌های کائو و همکاران (۲۰۲۴) مبنی بر برتری تراکم‌های متوسط در بهینه‌سازی استفاده از منابع محیطی و افزایش عملکرد پنبه همخوانی دارد.

این یافته در شرایط کشت دوم پس از گندم اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. زیرا کوتاه بودن فصل رشد، فرصت جبران رشد رویشی را محدود می‌سازد. در چنین شرایطی، انتخاب تراکم بهینه با تسریع استقرار و بسته‌شدن تاج‌پوشش، افزایش بهره‌برداری از تابش خورشیدی در هفته‌های نخست رشد و بهبود کارایی مصرف منابع، می‌تواند بخش قابل‌توجهی از محدودیت زمانی ناشی از تأخیر در کاشت را جبران کرده و عملکرد نهایی وش را افزایش دهد.

عملکرد الیاف در رقم ساجدی تحت خاک‌ورزی حفاظتی و در رقم گلستان تحت بدون خاک‌ورزی بیشترین بود (جدول ۵). هر دو رقم در تراکم ۱۱۱ هزار بوته بالاترین عملکرد الیاف را نشان دادند (جدول ۶) گرچه در رقم گلستان تراکم ۸۳ هزار بوته تفاوت معنی‌داری با آن نداشت. بررسی درصد کیل در سطوح مختلف خاک‌ورزی (جدول ۴) نشان داد که سطح خاک‌ورزی حفاظتی بیشترین میزان را تولید نموده هر چند که تفاوت معنی‌داری با دو سطح دیگر خاک‌ورزی نداشت. بالاترین درصد کیل در رقم ساجدی در سطح تراکم ۶۶ هزار بوته در هکتار و در رقم گلستان در سطح ۸۳ هزار بوته در هکتار مشاهده شد و بین تراکم‌های ۱۱۱ و ۱۶۶ هزار بوته در هکتار در هر دو رقم تفاوت معنی‌داری در این صفت مشاهده نشد (جدول ۶). سیستم بدون‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی حفاظتی به‌ترتیب باعث ۱۸ و ۱۴ درصد افزایش در درصد کیل شد (جدول ۴). شی و همکاران (۲۰۲۵) نیز بیان داشتند که درصد کیل عمدتاً تحت تأثیر ژنوتیپ و تراکم‌های پایین است و در تراکم‌های بالا به‌دلیل تأخیر در رسیدگی غوزه‌های بالایی، درصد کیل کاهش می‌یابد که با نتایج حاضر همخوانی دارد.

تجمع زیست‌توده و پارامترهای رشد: زیست‌توده کل در هر دو رقم، در تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار بالاترین میزان را داشت و پس از آن تراکم ۱۶۶ هزار بوته قرار گرفت. با این حال، بین تراکم‌های ۶۶ و ۸۳ هزار بوته در هکتار، در هیچ‌یک از دو رقم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۶). در نظام کشت گندم - پنبه، به دلیل محدود بودن طول فصل رشد و تأخیر در تاریخ کاشت، سرعت تجمع زیست‌توده و انتقال ماده خشک به اندام‌های نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد مطلوب دارد. ازاین‌رو، تیمارهایی که موجب افزایش نرخ تجمع ماده خشک در مراحل اولیه و میانی رشد می‌شوند، می‌توانند بخشی از محدودیت‌های زمانی کشت دوم را جبران کرده و زمینه افزایش عملکرد نهایی وش را فراهم آورند. نتایج این پژوهش نیز نشان داد که تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار با ایجاد تعادل مناسب بین تعداد بوته در واحد سطح و رقابت درون‌گونه‌ای، بیشترین زیست‌توده را تولید نمود. در همین راستا دینگ و همکاران (۲۰۲۴) گزارش کردند که عملکرد وش رابطه مثبت و معنی‌داری با میزان زیست‌توده انباشته‌شده از مرحله اوج گلدهی به بعد دارد و افزایش زیست‌توده در تراکم بهینه را ناشی از بهبود جذب تابش، افزایش کارایی مصرف نور و تخصیص مؤثرتر ماده خشک به اندام‌های زایشی دانستند.

نتایج حاصل از مدل لجستیک (جدول ۸) نشان داد که با افزایش تراکم کاشت از ۶۶ به ۱۱۱ هزار بوته

در هکتار، زمان شروع دوره تجمع سریع زیست‌توده کل (t_1) از حدود ۵۴ روز به حدود ۴۹ روز پس از سبز شدن کاهش یافت.

جدول ۸- مقادیر ویژه[1] تجمع زیست‌توده بوته‌های پنبه تحت تأثیر تراکم‌های مختلف گیاهی و رقم تحت سیستم بدون خاک‌ورزی*

بخش‌ها و اندام‌های گیاهی	رقم	تراکم (هزار بوته در هکتار)	دوره زمانی تجمع سریع					سریع‌ترین نقطه تجمع	
			t_1(DAE)	t_2(DAE)	Δt(d)	V_A (kg per ha per d)	V_M (kg per ha per d)	At DAE	
زیست‌توده کل بوته	ساجدی	۶۶	۵۳٫۸	۹۶٫۵	۴۲٫۷	۸۵٫۱	۹۷٫۵	۷۲٫۸	
		۸۳	۵۳٫۴	۹۷٫۲	۴۳٫۸	۹۳٫۴	۱۰۷٫۵	۷۳٫۱	
		۱۱۱	۴۸٫۹	۹۴٫۲	۴۵٫۳	۱۰۵٫۹	۱۲۲٫۹	۶۹٫۹	
		۱۶۶	۴۸٫۱	۹۰٫۲	۴۲٫۱	۹۴٫۲	۱۰۶٫۲	۶۶٫۴	
		میانگین	**۵۱٫۱**	**۹۴٫۵**	**۴۳٫۵**	**۹۴٫۷**	**۱۰۸٫۵**	**۷۰٫۶**	
زیست‌توده اندام زایشی	ساجدی	۶۶	۵۰٫۹	۹۳٫۴	۴۲٫۵	۲۶٫۷	۳۰٫۸	۷۳٫۲	
		۸۳	۵۱٫۲	۹۳٫۸	۴۲٫۶	۲۹٫۵	۳۴٫۱	۷۲٫۹	
		۱۱۱	۴۸٫۱	۹۱٫۹	۴۳٫۸	۳۵٫۱	۳۹٫۱	۷۰٫۲	
		۱۶۶	۴۵٫۳	۸۸٫۱	۴۲٫۸	۳۰٫۶	۳۲٫۲	۶۸٫۱	
		میانگین	**۴۸٫۹**	**۹۱٫۸**	**۴۲٫۹**	**۳۰٫۵**	**۳۴٫۱**	**۷۱٫۱**	
زیست‌توده اندام رویشی	ساجدی	۶۶	۵۲٫۱	۹۷٫۹	۴۵٫۸	۶۰٫۲	۶۶٫۲	۷۵٫۲	
		۸۳	۵۲٫۳	۹۷٫۱	۴۴٫۸	۶۳٫۴	۷۳٫۲	۷۴٫۶	
		۱۱۱	۴۸٫۲	۹۵٫۷	۴۷٫۵	۷۳٫۵	۸۳٫۶	۷۳٫۳	
		۱۶۶	۴۶٫۹	۹۱٫۷	۴۴٫۸	۶۵٫۲	۷۶٫۵	۶۹٫۱	
		میانگین	**۴۹٫۹**	**۹۵٫۶**	**۴۵٫۷**	**۶۵٫۶**	**۷۴٫۹**	**۷۳٫۱**	
زیست‌توده کل بوته	گلستان	۶۶	۵۳٫۳	۹۸٫۴	۴۵٫۱	۱۰۱٫۲	۱۱۵٫۴	۷۵/۴	
		۸۳	۵۲٫۸	۹۸٫۰	۴۵٫۰	۱۰۱٫۹	۱۱۶٫۲	۷۵٫۹	
		۱۱۱	۴۹٫۴	۹۵٫۸	۴۶٫۴	۱۱۹٫۶	۱۳۶٫۳	۷۲٫۶	
		۱۶۶	۴۶٫۹	۹۳٫۷	۴۶٫۸	۱۱۱٫۰	۱۲۶٫۶	۷۰٫۳	
		میانگین	**۵۰٫۶**	**۹۶٫۵**	**۴۵٫۸**	**۱۰۸٫۴**	**۱۲۳٫۶**	**۷۳٫۶**	
زیست‌توده اندام زایشی	گلستان	۶۶	۵۲٫۳	۹۵٫۰	۴۲٫۸	۳۴٫۱	۳۷٫۷	۷۳٫۷	
		۸۳	۵۲٫۹	۹۶٫۴	۴۳٫۵	۳۳٫۱	۳۷٫۳	۷۴٫۶	
		۱۱۱	۴۹٫۰	۹۳٫۷	۴۵٫۱	۳۹٫۲	۴۳٫۳	۷۱٫۴	
		۱۶۶	۴۶٫۶	۹۱٫۷	۴۴٫۷	۳۶٫۱	۴۰٫۸	۶۹٫۲	
		میانگین	**۵۰٫۲**	**۹۴٫۲**	**۴۴٫۰**	**۳۵٫۶**	**۳۹٫۸**	**۷۲٫۲**	
زیست‌توده اندام رویشی	گلستان	۶۶	۵۳٫۳	۹۹٫۵	۴۶٫۲	۶۸٫۱	۷۷٫۷	۷۶٫۴	
		۸۳	۵۳٫۶	۹۹٫۵	۴۵٫۹	۶۹٫۱	۷۸٫۹	۷۶٫۵	
		۱۱۱	۴۹٫۳	۹۶٫۹	۴۷٫۶	۸۱٫۵	۹۲٫۲	۷۳٫۳	
		۱۶۶	۴۷٫۴	۹۴٫۷	۴۷٫۳	۷۵٫۲	۸۵٫۷	۷۰٫۹	
		میانگین	**۵۰٫۹**	**۹۷٫۷**	**۴۶٫۸**	**۷۳٫۵**	**۸۳٫۸**	**۷۴٫۳**	

*DAE: تعداد روز بعد از ظهور گیاهچه، V_M: حداکثر نرخ تجمع زیست‌توده بر حسب کیلوگرم در هکتار در روز، t: حداکثر دوره تجمع سریع زیست‌توده بر حسب روز، V_A: میانگین تجمع زیست‌توده در فواصل زمانی t_1 و t_2 و Δt: مجموع دوره میانگین تجمع زیست‌توده بر حسب روز.

[1] Eigen values

این کاهش قابل توجه، حاکی از شروع زودتر رشد سریع در تراکم‌های بالاتر است که به‌دلیل افزایش رقابت اولیه برای نور و تسریع در بسته شدن تاج‌پوش رخ می‌دهد. وانگ و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه خود به‌طور مشابه گزارش کردند که در تراکم‌های بالاتر، زمان رسیدن به حداکثر نرخ تجمع زیست‌توده به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد زیرا تاج‌پوش سریع‌تر بسته شده و همراه با افزایش شاخص سطح برگ، گیاهان زودتر وارد مرحله حداکثر جذب نور می‌شوند. در رقم ساجدی، تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار نسبت به تراکم‌های ۶۶، ۸۳ و ۱۶۶ هزار بوته، به‌ترتیب میانگین تجمع زیست‌توده (V_A) کل را ۲۴، ۱۴ و ۱۲ درصد و حداکثر نرخ تجمع زیست‌توده (V_M) را ۲۶، ۱۴ و ۱۶ درصد افزایش داد. در رقم گلستان نیز همین تراکم نسبت به تراکم‌های یادشده، میانگین تجمع زیست‌توده را به‌ترتیب ۱۸، ۷ و ۸ درصد و V_M را ۱۹، ۱۶ و ۹ درصد افزایش داد. این افزایش چشمگیر در تجمع زیست‌توده، دلیل اصلی بیشترین زیست‌توده کل و عملکرد در تراکم ۱۱۱ هزار بوته است. خان و همکاران (۲۰۲۰c) گزارش کردند که بیشترین میانگین تجمع زیست‌توده و حداکثر نرخ تجمع زیست‌توده در اندام‌های تولیدمثلی در تراکم بهینه مشاهده شد و افزایش عملکرد در این تراکم به‌طور مستقیم به تجمع بیشتر زیست‌توده در اندام‌های زایشی نسبت داده شد. نتایج تحقیق حاضر نیز تأیید می‌کند که تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هر دو رقم، بیشترین نرخ‌های تجمع زیست‌توده را به همراه دارد. طول دوره تجمع سریع (Δt) در تراکم ۱۱۱ هزار بوته برای زیست‌توده کل در مقایسه با تراکم ۶۶ هزار بوته در رقم ساجدی بیشتر از رقم گلستان بود. این تفاوت بین ارقام نشان‌دهنده واکنش متفاوت آن‌ها به افزایش تراکم است که می‌تواند به تفاوت در تیپ رشدی ارقام نسبت داده شود. رقم ساجدی با رشد محدود افقی، توانایی بیشتری در حفظ دوره رشد سریع در تراکم بالا دارد در حالی‌که رقم گلستان با رشد نیمه‌محدود، به تراکم‌های بالا حساسیت بیشتری نشان می‌دهد. زودترین دوره زمانی تجمع سریع زیست‌توده اندام زایشی بین سطوح مختلف تراکم بوته در هر دو رقم، در سطح ۱۱۱ هزار بوته در هکتار مشاهده شد (جدول ۸).

بررسی زیست‌توده اندام‌های زایشی نشان داد که زودترین زمان شروع دوره تجمع سریع و همچنین بالاترین طول دوره تجمع سریع (Δt) در هر دو رقم، در تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار مشاهده شد. طول دوره تجمع سریع زیست‌توده زایشی در این تراکم نزدیک به ۴۵-۴۴ روز بود که نسبت به تراکم‌های پایین‌تر طولانی‌تر بود. این یافته با گزارش وو و همکاران (۲۰۲۵) مطابقت دارد که نشان دادند در تراکم بهینه، تاج‌پوشش ساختاری متعادل با توزیع یکنواخت نور در لایه‌های میانی و پایینی دارد که منجر به افزایش کارایی فتوسنتزی و در نتیجه تجمع بیشتر زیست‌توده در اندام‌های زایشی می‌گردد و در تراکم‌های فراتر از حد بهینه، اگرچه شاخص سطح برگ افزایش می‌یابد، ولی کارایی فتوسنتز لایه‌های زیرین به شدت کاهش یافته و در نتیجه عملکرد نهایی افت می‌کند. در تحقیق حاضر نیز تراکم ۱۱۱ هزار بوته با ایجاد تعادل مناسب بین رشد رویشی و زایشی، شرایط بهینه را برای تخصیص مواد فتوسنتزی به غوزه‌ها فراهم کرده است.

در رقم ساجدی، تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار نسبت به تراکم‌های ۶۶، ۸۳ و ۱۶۶ هزار بوته، میانگین تجمع زیست‌توده زایشی را به‌ترتیب ۳۱، ۱۹ و ۱۵ درصد و حداکثر نرخ تجمع را ۲۷، ۱۵ و ۲۱ درصد افزایش داد. در رقم گلستان نیز همین تراکم نسبت به تراکم‌های یادشده، میانگین تجمع زیست‌توده زایشی را به ترتیب ۱۵، ۱۸ و ۹ درصد و حداکثر نرخ تجمع را ۱۹، ۱۷ و ۸ درصد افزایش داد. خان و همکاران (۲۰۲۰a) نیز گزارش کردند که افزایش عملکرد پنبه در تراکم بهینه به‌دلیل افزایش زیست‌توده اندام‌های زایشی ناشی از تراکم متوسط و فصل رشد طولانی‌تر است که امکان استفاده بهتر از منابع موجود را فراهم می‌کند. همچنین، زمان وقوع حداکثر نرخ تجمع برای زیست‌توده زایشی در تراکم ۱۱۱ هزار بوته در رقم گلستان حدود ۷۱ روز پس از سبز شدن بود که نسبت

به تراکم ۶۶ هزار بوته (۷۳ روز) کمی زودتر اتفاق افتاد. این تأخیر کمتر نشان‌دهنده کارایی بالاتر تخصیص مواد فتوسنتزی به اندام‌های زایشی در تراکم بهینه است. در مقابل، در تراکم ۱۶۶ هزار بوته، اگرچه زمان طول دوره تجمع سریع نسبتاً حفظ شد، ولی میانگین نرخ تجمع و حداکثر نرخ تجمع برای زیست‌توده زایشی در هر دو رقم کاهش یافت. این کاهش حاکی از آن است که افزایش بیش از حد تراکم، به‌دلیل تشدید رقابت و کاهش نور دریافتی در لایه‌های میانی و پایینی تاج‌پوش، ظرفیت فتوسنتزی جمعیت را محدود کرده و تخصیص ماده خشک به غوزه‌ها را کاهش می‌دهد.

بررسی دوره زمانی تجمع سریع زیست‌توده اندام رویشی نشان داد که تیمار ۱۶۶ هزار بوته در هکتار سریع‌ترین فواصل زمانی تجمع زیست‌توده رویشی را حاصل نموده است. این یافته نشان می‌دهد که در تراکم‌های بسیار بالا، گیاهان با شدت بیشتری به سمت رشد رویشی سوق داده می‌شوند تا بتوانند از طریق افزایش ارتفاع و سطح برگ، در رقابت برای نور پیروز شوند. با این‌حال، بیشترین طول دوره تجمع سریع (Δt) در تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار در هر دو رقم اتفاق افتاد (نزدیک به ۴۷ روز برای رقم ساجدی و نزدیک به ۴۸ روز برای رقم گلستان). این بدان معناست که اگرچه در تراکم ۱۶۶ هزار بوته فرآیندهای رشد سریع رویشی زودتر شروع می‌شوند، اما در تراکم ۱۱۱ هزار بوته این فرآیندها برای مدت طولانی‌تری ادامه می‌یابند که حاکی از تعادل بهتر بین منابع فتوسنتزی اختصاص یافته به رشد رویشی در مقابل رشد زایشی است. هوانگ و همکاران (۲۰۲۵) در مطالعه خود گزارش کردند که ترکیب تراکم بالا (۸ بوته در متر مربع) با سرزنی دیرهنگام، ضمن تأخیر در پیری برگ و افزایش کلروفیل و کارایی فتوسنتزی، تجمع زیست‌توده رویشی را در سطح مطلوبی حفظ کرده و از رشد بیش از حد رویشی جلوگیری می‌کند.

در رقم ساجدی، تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار نسبت به تراکم‌های ۶۶، ۸۳ و ۱۶۶ هزار بوته، میانگین تجمع زیست‌توده رویشی را به ترتیب ۲۲، ۱۶ و ۱۳ درصد و حداکثر نرخ تجمع را ۲۶، ۱۴ و ۹ درصد افزایش داد. در رقم گلستان نیز همین تراکم نسبت به تراکم‌های یادشده، میانگین تجمع زیست‌توده رویشی را به‌ترتیب ۲۰، ۱۸ و ۸ درصد و حداکثر نرخ تجمع را ۱۹، ۱۷ و ۸ درصد افزایش داد. نکته جالب توجه اینکه هر دو رقم در تراکم ۱۶۶ هزار بوته نسبت به تراکم ۱۱۱ هزار بوته، افزایش قابل توجهی در میانگین تجمع زیست‌توده رویشی و حداکثر نرخ تجمع رویشی نداشتند و در برخی موارد حتی کاهش نشان دادند. این موضوع حاکی از آن است که فراتر از آستانه تراکم بهینه، گیاهان دیگر توانایی افزایش متناسب نرخ تجمع زیست‌توده رویشی را ندارند و منابع محدود به سمت حفظ بقاء و نه تولید توده رویشی اضافی هدایت می‌شوند. لی و همکاران (۲۰۲۵) نشان دادند که تراکم بالا اگرچه شاخص سطح برگ را افزایش می‌دهد، اما در تراکم‌های بیش از حد بهینه، کیفیت برگ‌های لایه‌های پایینی کاهش یافته و توانایی فتوسنتزی آن‌ها محدود می‌شود. بنابراین، اگرچه رشد رویشی ظاهراً حفظ می‌شود، کارایی واقعی آن در تولید مواد فتوسنتزی برای حمایت از غوزه‌ها کاهش می‌یابد که در نهایت به کاهش عملکرد منجر می‌شود. این مکانیسم می‌تواند توضیح دهد که چرا در تحقیق حاضر، علی‌رغم شروع زودتر تجمع سریع در تراکم ۱۶۶ هزار بوته، عملکرد نهایی در این تراکم کمتر از تراکم ۱۱۱ هزار بوته بود. به‌عبارت دیگر، کمیت رشد رویشی در تراکم‌های خیلی بالا افزایش می‌یابد اما کیفیت آن کاهش می‌یابد.

به‌طور کل در خصوص تجمع زیست‌توده اندام‌های مختلف بوته‌های پنبه می‌توان اظهار داشت که تخصیص منابع به اندام‌های زایشی یا رویشی نشان‌دهنده تخصیص بهینه منابع توسط گیاه است و گیاهان در واکنش به محدودیت‌های محیطی، منابع محدود را به اندام‌هایی اختصاص می‌دهند که بیشترین بهره‌وری از آن را دارند تا بقا تضمین شود. در تولید کشاورزی، هدف اصلاح نباتات، افزایش تخصیص منابع به اندام‌های زایشی است و اصلاح ارقام پنبه با بهبود ژنتیکی، نقش مهمی در افزایش عملکرد ایفا کرده

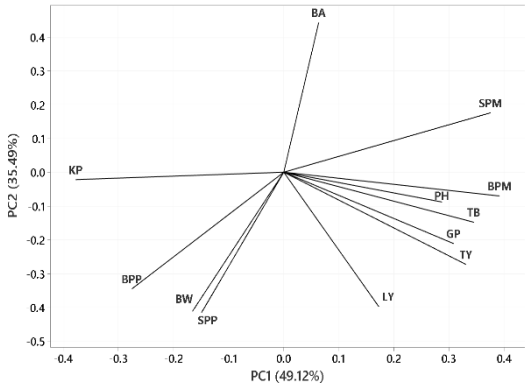
است. بنابراین، ارقام پنبه عامل بنیادی در تخصیص زیست‌توده آن محسوب می‌شوند (ژو و همکاران، ۲۰۲۵).

همبستگی بین صفات و تحلیل مؤلفه‌های اصلی: بر اساس ماتریس همبستگی (جدول ۹)، عملکرد کل وش همبستگی مثبت و معنی‌داری با تعداد غوزه در واحد سطح (۰٫۸۹**)، زیست‌توده کل (۰٫۸۵**) و طول دوره رشد (۰٫۷۶*) داشت. این یافته تأکید می‌کند که افزایش عملکرد در درجه اول ناشی از افزایش تعداد غوزه در واحد سطح و افزایش زیست‌توده کل است، نه افزایش وزن غوزه. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که تعداد غوزه در واحد سطح و زیست‌توده کل دو صفت کلیدی برای گزینش در جهت افزایش عملکرد پنبه در کشت دوم هستند که مطابق با یافته‌های یانگ و همکاران (۲۰۲۵) است. همچنین به منظور شناسایی الگوهای همبستگی بین صفات و تعیین سهم هر یک از صفات در تغییرات کل داده‌ها، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی بر روی کلیه صفات مورفولوژیک، عملکردی و زیست‌توده انجام شد. نتایج این تحلیل در شکل (۱) ارائه شده است.

جدول ۹- ضرایب همبستگی بین صفات مورد مطالعه ارقام پنبه#.

	TB	KP	LY	BW	BPM	BPP	BA	SPM	SPP	PH	GP
TY	۰٫۸۵ **	-۰٫۷۲ **	۰٫۸۵**	۰٫۱۴ ns	۰٫۸۹ **	-۰٫۱۱ ns	-۰٫۴۳ ns	۰٫۵۰ ns	۰٫۱۸ ns	۰٫۶۲ ns	۰٫۷۶ *
GP	۰٫۷۷ *	-۰٫۶۶ns	۰٫۵۷ ns	۰٫۱۹ ns	۰٫۶۴ ns	-۰٫۲۱ ns	-۰٫۱۹ ns	۰٫۵۶ ns	۰٫۱۸ns	۰٫۶۷ ns	
PH	۰٫۳۶ ns	-۰٫۶۳ns	۰٫۳۹ ns	-۰٫۰۱ ns	۰٫۵۹ ns	-۰٫۴۱ ns	-۰٫۱۰ ns	۰٫۵۳ ns	-۰٫۱۴ns		
SPP	-۰٫۰۱ ns	۰٫۳۴ns	۰٫۵۱ ns	۰٫۹۲ **	-۰٫۲۵ ns	۰٫۸۷ **	-۰٫۸۰ **	-۰٫۵۹ ns			
SPM	۰٫۶۸ ns	-۰٫۸۴**	۰٫۰۵ ns	-۰٫۶۷ ns	۰٫۷۹ *	-۰٫۸۸ **	۰٫۵۱ ns				
BA	-۰٫۱ns	-۰٫۱۳ ns	-۰٫۷۱ ns	-۰٫۷۹ *	-۰٫۰۴ ns	-۰٫۸۰ **					
BPP	-۰٫۳۲ ns	۰٫۵۹ ns	۰٫۳۱ ns	۰٫۸۶ **	-۰٫۵۰ ns						
BPM	۰٫۸۶ **	-۰٫۸۷ **	۰٫۵۷ ns	-۰٫۳۳ ns							
BW	-۰٫۱۱ ns	۰٫۴۰ ns	۰٫۴۹ ns								
LY	۰٫۶۶ ns	-۰٫۲۴ ns									
KP	-۰٫۶۹ ns										

≠ (TY) عملکرد کل وش، (GP) طول دوره رشد، (PH) ارتفاع گیاه، (SPP) تعداد شاخه زایا در بوته، (SPM) تعداد شاخه زایا در واحد سطح، (BA) درصد ریزش غوزه در بوته، (BPP) تعداد غوزه در بوته، (BPM) تعداد غوزه در واحد سطح، (BW) وزن غوزه، (LY) عملکرد الیاف، (KP) درصد الیاف و (TB) زیست‌توده کل.ns: غیر معنی دار. * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪.



شکل ۱- نمودار تجزیه به مؤلفه‌های اصلی (PCA) صفات مورد مطالعه تحت سطوح مختلف فاکتورهای خاک‌ورزی، رقم و تراکم بوته در پنبه

اختصارات: (TY) عملکرد کل وش، (GP) طول دوره رشد، (PH) ارتفاع گیاه، (SPP) تعداد شاخه زایا در بوته، (SPM) تعداد شاخه زایا در واحد سطح، (BA) درصد ریزش غوزه در بوته، (BPP) تعداد غوزه در بوته، (BPM) تعداد غوزه در واحد سطح، (BW) وزن غوزه، (LY) عملکرد الیاف، (KP) درصد الیاف و (TB) زیست‌توده کل

دو مؤلفه اول (PC1) و دوم (PC2) در مجموع ۸۴٫۶۱ درصد (۴۹٫۱۲ + ۳۵٫۴۹) از واریانس کل داده‌ها را تبیین کردند که نشان‌دهنده کارایی بالای این دو مؤلفه در تبیین ساختار همبستگی بین صفات و کاهش ابعاد داده‌ها است. مؤلفه اصلی اول (PC1) با ۴۹٫۱۲ درصد واریانس نشان می‌دهد که تمامی صفات به‌جز درصد الیاف دارای بار مثبت هستند و صفات مرتبط با رشد، عملکرد و اجزای عملکرد را در یک جهت قرار می‌دهد. این بدان معناست که تیمارهایی (ترکیبات خاک‌ورزی، رقم و تراکم) که امتیاز بالایی در مؤلفه اول دارند، به‌طور همزمان دارای عملکرد وش بیشتر، زیست‌توده بیشتر، تعداد غوزه و شاخه زایا بیشتر در واحد سطح، و دوره رشد طولانی‌تر هستند. در مؤلفه اصلی دوم که ۳۵٫۴۹ درصد واریانس را تبیین می‌کند، درصد ریزش غوزه با بار عاملی ۰٫۴۵ بیشترین بار مثبت را دارد و بقیه صفات دراین مولفه دارای بار منفی یا صفر هستند. بنابراین مولفه دوم یک مؤلفه تضاد بین ریزش غوزه و کیفیت/عملکرد است. تیمارهایی که امتیاز بالایی در مولفه دوم دارند، ریزش غوزه زیاد و در مقابل عملکرد الیاف، تعداد شاخه زایا، وزن غوزه و سایر صفات عملکردی کمتری دارند. برعکس، تیمارهایی با امتیاز منفی در مولفه دوم، ریزش غوزه کم و عملکرد الیاف، وزن غوزه و سایر صفات مثبت بالایی دارند. به‌طور کل نتایج تجزیه به مولفه‌های اصلی نشان می‌دهد که در این مطالعه، افزایش عملکرد نه از طریق افزایش وزن غوزه یا عملکرد تک بوته، بلکه عمدتاً از طریق افزایش تعداد غوزه و شاخه زایا در واحد سطح حاصل شده است. این یافته با نتایج جدول همبستگی که در آن عملکرد کل وش با تعداد غوزه در واحد سطح همبستگی بالا و معنی‌داری (**۰٫۸۹)داشت، کاملاً هماهنگ است (جدول ۹). ایسان و همکاران (۲۰۲۶) دریافتند که تعداد غوزه در بوته، تعداد شاخه‌های زایشی در بوته و وزن غوزه همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد پنبه دانه در هر بوته دارند و بیشترین واریانس توسط مؤلفه اول (PC1) تبیین می‌شود. برخلاف تجزیه واریانس که هر صفت را به صورت مستقل بررسی می‌کند، تجزیه مؤلفه‌های اصلی امکان ارزیابی همزمان روابط بین صفات و تیمارها را فراهم ساخت و نشان داد تیمار بدون خاک‌ورزی × رقم گلستان × تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار در ناحیه مرتبط با بیشترین عملکرد، زیست‌توده و اجزای عملکرد قرار گرفت. همچنین مدل لجستیک نشان داد که برتری این تیمار تنها ناشی از افزایش زیست‌توده نهایی نبود، بلکه ناشی از افزایش سرعت تجمع ماده خشک و طولانی‌تر شدن دوره تجمع سریع زیست‌توده نیز بود.

نتیجه گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در شرایط کشت دوم پنبه پس از گندم، موفقیت تولید بیش از آنکه به اثر یک عامل منفرد وابسته باشد، حاصل مدیریت هم‌زمان سیستم خاک‌ورزی، انتخاب رقم مناسب و تراکم بهینه بوته است. در میان تیمارهای بررسی‌شده، سیستم بدون‌خاک‌ورزی همراه با رقم گلستان و تراکم ۱۱۱ هزار بوته در هکتار، با افزایش تعداد شاخه‌های زایا و غوزه در واحد سطح، تجمع بیشتر زیست‌توده، عملکرد بالاتر وش و الیاف و کاهش درصد ریزش غوزه، مناسب‌ترین ترکیب مدیریتی برای شرایط اقلیمی استان گلستان شناخته شد. برتری رقم گلستان نسبت به رقم ساجدی نشان داد که در شرایط کشت دوم، ظرفیت ژنتیکی بیشتر این رقم در تولید و تخصیص ماده خشک به اندام‌های زایشی، توانست مزیت تیپ رشد محدود رقم ساجدی در تراکم‌های بالاتر را جبران کرده و عملکرد بیشتری تولید کند. همچنین، اگرچه افزایش تراکم بوته تا ۱۱۱ هزار بوته در هکتار موجب

بهبود رشد و عملکرد شد، افزایش بیشتر تراکم به ۱۶۶ هزار بوته در هکتار به دلیل تشدید رقابت درون‌گونه‌ای برای نور، آب و عناصر غذایی، افزایش ریزش غوزه و کاهش عملکرد را در پی داشت. از سوی دیگر، مدل‌سازی لجستیک نشان داد که بیشترین نرخ تجمع زیست‌توده در فاصله حدود ۷۰ تا ۱۰۰ روز پس از سبز شدن رخ می‌دهد. ازاین‌رو، تأمین به‌موقع آب و عناصر غذایی و مدیریت مناسب مزرعه در این دوره، نقش تعیین‌کننده‌ای در دستیابی به عملکرد مطلوب دارد. از نظر کاربردی، استفاده از سیستم بدون‌خاک‌ورزی علاوه بر کاهش عملیات آماده‌سازی زمین و هزینه‌های تولید، با افزایش حدود ۲۲ درصدی عملکرد نسبت به تراکم‌های پایین‌تر، می‌تواند سودآوری و پایداری نظام کشت گندم- پنبه را افزایش دهد. با این حال، از آنجا که این پژوهش تنها در یک سال زراعی انجام شد و کارایی سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی تحت تأثیر شرایط اقلیمی سالانه به‌ویژه میزان بارندگی و دما قرار دارد، پیشنهاد می‌شود این مطالعه در سال‌های متوالی و در مناطق مختلف پنبه‌کاری کشور تکرار شود تا پایداری نتایج و امکان تعمیم آن‌ها با اطمینان بیشتری ارزیابی گردد.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری سرکار خانم فاطمه دینکو، دانشجوی دکتری اگرو تکنولوژی-فیزیولوژی گیاهان زراعی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گرگان با عنوان «ارزیابی اثرات روش‌های مختلف خاک‌ورزی و تراکم بوته بر برخی شاخص‌های مرفولوژیک و فیزیولوژیک ارقام پنبه در کشت دوم بعد از گندم» است. بدین‌وسیله از حسن همکاری مسئولان و اساتید این دانشگاه بویژه گروه کشاورزی تشکر می‌گردد.

منابع

1. Adeli, A., Brooks, J. P., Miles, D., Read, Q., Haung, Y., Feng, G., Johnie N., and Jenkins, J. N. 2025a. Integrated effects of tillage, fertilizer sources and a rye cover crop on dryland cotton production. Agronomy Journal, 117(2), e70019.
2. Adeli, A., Smith, R., and Johnson, T. 2025b. Nitrogen use efficiency in cotton under varying plant densities. Field Crops Research, 312, 108243.
3. Bhattarai, A., Liu, Y., Smith, A., Liakos, V., and Vellidis, G. 2025. Economic risk analysis of precision cotton irrigation scheduling method under conservation tillage. Agronomy Journal, 117, e70127. https://doi.org/10.1002/agj2.70127.
4. Cao, N., Hou, J., Hu, W., Li, H., Lin, J., Chen, G., Wan, S., and Hu, S. 2024. Optimum plant density improved cotton (*Gossypium hirsutum* L.) root production capacity and photosynthesis for high cotton yield under plastic film mulching. Agronomy, 14, 1040.
5. Chapepa, B., Mudada, N., and Mapuranga, R. 2020. The impact of plant density and spatial arrangement on light interception on cotton crop and seed cotton yield: an overview. Journal of Cotton Research, 3(1), 18. https://doi.org/10.1186/s42397-020-00059-z
6. Chen, Y., Evers, J. B., Mamat, P., Wang, X., Huo, X., Yang, M., Zhang, Y., Sun, S., Zhang, Z., Wang, S., Xiang, D., Li, J., Zhang, P., and Zhang, L. 2025a. Row configuration and chemical topping affect fruit spatial distribution, yield and quality of machine-harvested cotton. Industrial Crops and Products, 225, 120538.
7. Chen, Y., Evers, J. B., Mamat, P., Wang, X., Huo, X., Yang, M., Zhang, Y., Sun, S., Zhang, Z., Wang, S., Xiang, D., Li, J., Zhang, P., and Zhang, L. 2025b. Integrated crop management: Synergistic effects of tillage, cultivar maturity group, and plant density on cotton yield and fiber quality. Field Crops Research, 318, 109489.
8. Ding, J., Ji, M., Alkahtani, J., Li, H., Liu, Y., Zhou, F., Zhao, Z., Dong, S., Chen, Y., and Zhang, X. 2024. Influence of population biomass accumulation during different growth periods on agronomic traits and cotton yield. Agronomy, 14, 2625.
9. Dong, J., Liu, H., Guo, Y., Meng, Q., Xu, Y., Shen, X., Zhang, K., and Sun, K. 2026. Deep vertical rotary tillage and planting density enhance salt leaching and water productivity via

root-mediated processes in saline cotton fields. Journal of Integrative Agriculture, https://doi.org/10.1016/j.jia.2026.01.023.
10. Edwards, J. L., Wagner, K. L., Gregory, L. F., Stoodley, S. H., Ochsner, T. E., and Borsuah, J. F. 2025. Employing cover crops and no-till in southern Great Plains cotton production to manage runoff water quantity and quality. Water, 17(15), 2283.
11. Golestan Agricultural Extension Coordination Management. 2022. Quantitative and qualitative characteristics of new cotton cultivars. Educational Media Office of the Agricultural Jihad Organization of Golestan Province, No. 291. (In Persian)
12. Hayat, M. A. B., Rasul, F., Haq, M. Z. U., Aslam, M. T., Sattar, M. N., SAl Hashedi, S. A., Ghafoor, A., and Munir, M. 2026. Optimal combination of canopy management and planting density for yield enhancement in late-sown cotton. BMC Plant Biology, 26, 323.
13. Herrera-Franco, G., Martínez, P., and Zhao, L. 2025. Water and soil conservation under conservation tillage in cotton fields. Soil & Tillage Research, 235, 105921.
14. Hu, T., Liu, Z., Jin, D., Chen, Y., Zhang, X., and Chen, D. 2023. Effects of growth regulator and planting density on cotton yield and N, P, and K accumulation in direct-seeded cotton. Agronomy, 13, 501. https://doi.org/10.3390/agronomy13020501.
15. Huang, Y., Wang, T., Luo, X., Wu, J., Deng, Y., Kong, Q., Yang, X., Xiao, S., and Tang, F. 2025. High planting density combined with delayed topping improves short fruiting branch cotton yield by enhancing biomass accumulation, canopy light interception and delaying leaf senescence. Agronomy, 15(6), 1495.
16. Isong, A., Balu, P. A., and Ramakrishnan, P. 2026. Association and principal component analysis of yield and its components in cultivated cotton. Electronic Journal of Plant Breeding, 17(1), 1689.
17. Khan, A., Najeeb, U., Xiangjun, K., Munsif, F., Jie, Z., and Zhou, R. 2020a. Leaf nitrogen metabolism during reproductive phase is crucial for sustaining lint yield of densely populated cotton genotypes. Agronomy Journal, 112(5), 4031-4044. https://doi.org/10.1002/agj2.20159
18. Khan, B. E., Madjebi, C., Khan, Z., Han, Y., Lei, Y., Zhi, X., Xiong, S., Jiao, Y., and Li, Y. 2026. Photosynthetic efficiency and light interception of the lower canopy influence cotton yield under high planting density. Journal of Cotton Research, 9, 16.
19. Khan, N., Han, Y., Xing, F., Feng, L., Wang, Z., Wang, G., Yang, B., Fan, Z., Lei, Y., Xiong, S., and Li, X. 2020b. Plant density influences reproductive growth, lint yield and boll spatial distribution of cotton. Agronomy, 10 (1), 14.
20. Khan, N., Xing, F., Feng, L., Wang, Z., Xin, M., Xiong, S., Wang, G., Chen, H., Du, W., and Li, Y. 2020c. Comparative yield, fiber quality and dry matter production of cotton planted at various densities under equidistant row arrangement. Agronomy, 10 (2), 232.
21. Kornecki, T. S., and Kichler, C. M. 2024. Effects of different cereal rye seeding rates, cotton seeding rates, planter type, and working speeds on no-till cotton. Agriculture, 14 (12), 2207.
22. Kumar, A., Smith, B. T., Jones, C. D., and Lee, J. 2025a. Yield stability and fiber quality of cotton in transition to no-till systems in the US Cotton Belt. Field Crops Research, 310, 108973.
23. Kumar, S., Jones, M. T., Wang, Y., and García, A. 2025b. Source-sink relations and photosynthetic efficiency of cotton at varying plant densities. Plants, 14(5), 1023.
24. Li, Y., Chen, Z., and Kumar, S. 2025. Varietal responses of cotton to tillage and planting density in arid regions. Journal of Arid Environments, 212, 104976.
25. Mali, M., Heravi, P., and Hosseinpour; J. 2023. Investigating the yield of new cotton cultivars affected by planting date and plant density. Iranian Journal Cotton Researches, 11 (2), 83-102. (In Persian)
26. Naresh, D., Adarsh, D., and Santhosh, G. 2025. Performance of high density planting system and closer spacing systems in cotton (*Gossypium* hirsutum L.) under Suryapet District. International Journal of Research in Agronomy, 8(5), 692-694.

27. Naseh, M., Babaeian, M., and Esmaeilian, Y. 2025. Effect of conservation tillage on yield and yield components of cotton cultivars. Iranian Journal Cotton Researches, 13 (1), 47-62. (In Persian)
28. Pokhrel, A., Virk, S., Snider, J. L., Vellidis, G., Hand, L. C., Sintim, H. Y., Parkash, V., Chalise, D. P., Lee, J. M., and Byers, C. 2023. Estimating yield-contributing physiological parameters of cotton using UAV-based imagery. Front. Plant Science, 14, 1248152.
29. Shi, L., Sun, Z., He, L., Liu, G., and Liang, C. 2025. Effect of variety and site on the allometry distribution of seed cotton composition. Agronomy, 15, 989.
30. Smith, J., Johnson, A., and Davis, R. 2025. Long-term effects of intensive tillage on cotton soil structure in arid regions. Soil & Tillage Research, 215, 105789.
31. Wang, Q., Chen, H., Han, Y., Xing, F., Wang, Z., Feng, L., Wang, G., Yang, B., Lei, Y., and Xiong, S. 2024. Effect of spatial-temporal light competition on cotton yield and yield distribution. Agronomy 2021, 11, 2346.https://doi.org/10.3390/agronomy11112346.
32. Wu, Y., Tang, C., Du, M., Tian, J., Yang, M., Zhang, Y., and Zhang, W. 2025. Optimizing chemical topping in cotton: Effects of planting density and variety sensitivity to mepiquat chloride. Field Crop Research, 327, 109914. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2025.109914
33. Xie, Z., Qin, Y., Xie, X., Tu, X., Liu, A., and Zhou, Z. 2025. Short-season direct-seeded cotton cultivation under once-only irrigation throughout the growing season: Investigating the effects of planting density and nitrogen application. Plants, 14(12), 1864.
34. Yang, X., Yu, W., Li, Q., Zhong, D., He, J., and Dong, H. 2025. Latitude, planting density, and soil available potassium are the key driving factors of the cotton harvest index in arid regions. Agronomy, 15, 743.
35. Zhai, M., Wei, X., Pan, Z., Xu, Q., Qin, D., Li, J., Zhang, J., and Wang, L. 2026. Optimizing plant density and canopy structure to improve light use efficiency and cotton productivity: Two years of field evidence from two locations. Industrial Crops and Products, 222, 119946.
36. Zhang, M., Liu, Q., and Patel, R. 2025. Plant density and cotton canopy architecture responses under different tillage systems. Crop Science, 65(1), 112-124.
37. Zhang, N., Xu, W., Feng, L., Ma, Y., Li, L., Fan, Z., Li, X., Yang, B., Wan, S., and Li, Y. 2021. Influence of planting density on the agronomic characteristics and yield of machine picked cotton in southern Xinjiang. Journal of Agricultural Science and Technology, 23(11), 172-180.
38. Zhang, P., Wang, S., Zhang, Y., Sun, H., Zhang, K., Bai, Z., Zhu, L., Wang, Z., Dong, H., Liu, L., and Li, C. 2026. Integrated management of sowing date, density and nitrogen reduces environmental footprints while sustaining cotton yield in the Yellow River Valley. European Journal of Agronomy, 174, 127975.
39. Zhao, L., and Pérez, M. 2025. Soil organic carbon sequestration and aggregate stability in conservation cotton systems under Mediterranean climate. Agriculture, Ecosystems & Environment, 328, 108456.
40. Zhou, H., Chen, J., Ding, X., Qin, Q., and Han, L. 2025. Future climate change will strengthen cotton production but have substantial environmental costs-A focus on Xinjiang by APSIM modelling. Journal of Cleaner Production, 491, 144803.