

## غرابالگری ژنوتیپ‌های پنبه از نظر کارایی و پاسخ به پتاسیم با استفاده از تجزیه خوشه‌ای

عبدالرضا قرنجیکی<sup>۱</sup>، اسماعیل دردی پور<sup>۲\*</sup>، عمران عالیشاه<sup>۳</sup> و فرشید قادری فر<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

<sup>۳</sup> دانشیار موسسه تحقیقات پنبه کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان

<sup>۴</sup> دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۱۰ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۵

### چکیده

بعضی از ژنوتیپ‌های پنبه، توانایی بیشتری در جذب پتاسیم از محیط رشد خود دارند و در پاسخ به مصرف کود پتاسیم نیز متفاوت‌اند. شناسایی این ژنوتیپ‌ها، راهبرد بسیار مؤثری برای تولید بهینه پنبه در خاک‌های دچار کمبود پتاسیم و مصرف بهینه کود پتاسیم می‌باشد. در این تحقیق، در شرایط کمبود و کفایت پتاسیم در محیط کشت هیدروپونیک، کارایی استفاده و پاسخ به پتاسیم ۲۵ ژنوتیپ مختلف پنبه، با استفاده از تجزیه خوشه‌ای مورد مقایسه و گروه‌بندی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کمبود پتاسیم منجر به کاهش معنی‌دار وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی ژنوتیپ‌های پنبه شد. همچنین با تأمین پتاسیم کافی برای گیاه، غلظت و جذب آن نیز در ریشه و اندام‌های هوایی پنبه افزایش یافت. تجزیه خوشه‌ای، ژنوتیپ‌های پنبه را از نظر کارایی استفاده پتاسیم (شرایط کمبود) به چهار گروه غیرکارا، نسبتاً کارا، کارا و بسیار کارا تقسیم نمود که در آن، ژنوتیپ‌های SKT133، سپید و مهر در خوشه کارا و ژنوتیپ‌های شایان، N2G80، گلستان و ساجدی در خوشه بسیار کارا قرار گرفتند. سایر ژنوتیپ‌ها در گروه غیرکارا یا نسبتاً کارا بودند. همچنین، در پاسخ به مصرف پتاسیم (شرایط کفایت) ژنوتیپ‌های پنبه به چهار خوشه غیرپاسخ‌ده، کم پاسخ‌ده، نسبتاً پاسخ‌ده و پاسخ‌ده گروه‌بندی شدند. بر این اساس، ژنوتیپ‌های ساحل، M13، ساجدی، تابلا دیلا و لطیف به عنوان ژنوتیپ‌های پاسخ‌ده شناسایی شدند. ژنوتیپ ساجدی که هم بسیار کارا و هم پاسخ‌ده به پتاسیم بود، برای استفاده در هر وضعیتی از پتاسیم قابل جذب خاک (کمبود یا کفایت)، توصیه می‌شود.

**واژه‌های کلیدی:** تجزیه خوشه‌ای، پنبه، تنوع ژنتیکی، کارایی پتاسیم

## مقدمه

پتاسیم یکی از عناصر ضروری و پرمصرف گیاه است که در بسیاری از فرآیندهای فیزیولوژیکی، متابولیکی و بیوشیمیایی آن نقش کلیدی دارد (مارشمن، ۱۹۹۵؛ منگل و کرکی، ۲۰۰۱). کمبود این عنصر در گیاه پنبه منجر به اختلال در رشد برگ و هدایت روزنه‌ای، کاهش شدت فتوسنتز، افت کارایی مصرف آب، نقصان در تشکیل غوزه و رشد ناکافی آنها می‌شود (لوپز و همکاران، ۲۰۰۸، مولینز و همکاران، ۲۰۱۰). این تغییرات منجر به کاهش محصول پنبه می‌شود و بر خصوصیات کیفی الیاف نیز اثرات مخربی دارد (فاجریا و همکاران، ۲۰۱۱؛ لوخاند و ردی، ۲۰۱۵).

تأمین پتاسیم کافی برای زراعت پنبه، غالباً یکی از چالش‌های جدی مدیریت تغذیه آن بوده و احتمال بروز کمبود پتاسیم در بسیاری از مناطق پنبه‌کاری وجود دارد (مولینز و بومستر، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، معرفی و توسعه کشت ارقام پرمحصول و زودرس پنبه که در یک دوره کوتاه‌تر، به مواد غذایی بیشتری هم نیاز دارند، به فراگیر شدن کمبود پتاسیم در بسیاری از خاک‌های زراعی دامن زده است (پتیگرو، ۲۰۰۳؛ لوپز و همکاران، ۲۰۰۸).

آزمایش‌های کودی چندین دهه قبل نشان داده بود که نه تنها در بین گونه‌های مختلف گیاهی، بلکه در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف یک گونه گیاهی نیز در جذب و بهره‌وری<sup>۱</sup> پتاسیم تفاوت وجود دارد (رنگل و دامون، ۲۰۰۸). با اینکه در پنبه نیز این تفاوت به اثبات رسیده بود، اما چون تحقیقات اولیه عمدتاً بر مقایسه ارقامی با زودرسی متفاوت متمرکز شده بود، اختلاف در جذب و استفاده پتاسیم به تفاوت در زودرسی نسبت داده شد (هالوی، ۱۹۷۶). چون از نظر تئوری، ارقام زودرس پنبه به علت عدم توسعه کافی ریشه در خاک و کوتاه‌تر شدن دوره رشد گیاه، قادر به جذب پتاسیم کمتری از خاک در مقایسه با ارقام دیررس هستند، این استدلال منطقی به نظر می‌رسید (اوسترهیوس و همکاران، ۲۰۱۳). به همین دلیل پیشنهاد شد که سطح بحرانی پتاسیم در آزمون خاک، برای ارقام زودرس باید بیشتر از ارقام دیررس تعریف شود (توپر و همکاران، ۱۹۹۶). اما، مطالعات پتیگرو و همکاران (۱۹۹۶) و پتیگرو (۱۹۹۹) نشان داد که بین ارقام زودرس، میان‌رس و دیررس پنبه، تفاوت معنی‌داری از نظر کارایی پتاسیم وجود ندارد. کاسمن و همکاران (۱۹۸۹) مشاهده کردند که با اینکه در جذب پتاسیم از خاک، تفاوت معنی‌داری در بین دو رقم پنبه وجود داشت، اما در جزءبندی پتاسیم جذب شده در اندام‌های گیاهی هر دو رقم، تفاوتی به دست نیامد. به همین دلیل، آنها استدلال کردند که جذب پتاسیم از خاک توسط گیاه، عامل اصلی اختلاف کارایی پتاسیم در ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف پنبه می‌باشد. البته، این محققین گزارش کردند که کارایی پتاسیم ارقام مختلف پنبه، فقط در سطوح پایین پتاسیم اختلاف معنی‌داری دارد و در سطوح بالای این عنصر، تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود.

چون در تحقیقات قبلی محققین، ارقام پنبه مورد مطالعه علاوه بر اختلاف در زودرسی، از نظر ژنتیکی نیز تفاوت داشتند، پتیگرو (۲۰۰۳) در آزمایشی مزرعه‌ای، چند جفت ژنوتیپ برگ پنجه‌ای و برگ معمولی پنبه را از نظر کارایی پتاسیم مورد مقایسه قرار داد. این جفت ژنوتیپ‌ها با اینکه از نظر خصوصیات ژنتیکی هم‌ژن بودند، ولی در زودرسی تفاوت داشتند؛ یعنی برگ پنجه‌ای‌ها زودرس‌تر از برگ معمولی‌ها بودند. نتایج نشان داد با اینکه کارایی پتاسیم در ژنوتیپ‌ها تفاوت داشت، اما زودرس بودن ژنوتیپ تأثیر معنی‌داری بر کارایی پتاسیم نشان نداد. تحقیقات بعدی ثابت کرد، با اینکه صفت زودرسی بر کارایی ارقام و ژنوتیپ‌های مختلف پنبه در جذب و بهره‌وری پتاسیم تأثیرگذار است، اما این اختلاف در کارایی ناشی از تفاوت‌های ژنتیکی آنها می‌باشد (اوسترهیوس و همکاران، ۲۰۱۳).

تفاوت ژنتیکی در جذب و بهره‌وری پتاسیم که مجموعاً کارایی استفاده پتاسیم<sup>۱</sup> نام دارد، در گیاهان مختلفی مثل سویا (دوساکرامنتو و روسولم، ۱۹۹۷؛ موریرا و همکاران، ۲۰۱۵)، برنج (یانگ و همکاران، ۲۰۰۴؛ فاجریا و همکاران، ۲۰۱۳)، گندم (دامون و رنگل، ۲۰۰۷، کریشناسامی و همکاران، ۲۰۱۴)، لوبیا (فاجریا و ملو، ۲۰۱۴؛ فاجریا و همکاران، ۲۰۱۵)، جو (وو و همکاران، ۲۰۱۱؛ کوزمانووا و همکاران، ۲۰۱۴)، کلزا (دامون و همکاران، ۲۰۰۷) و پنبه (پتیگرو، ۲۰۰۳؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ مخدوم و همکاران؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ وانگ و چن، ۲۰۱۲؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ ضیاءالحسن و همکاران، ۲۰۱۴) گزارش شده است.

مصرف کودهای شیمیایی در چند دهه گذشته روند افزایشی داشته و انتظار نمی‌رود که حداقل برای چند سال آینده، شیب مصرف معکوس شود (هفر و پرودوم، ۲۰۱۶). از طرف دیگر، در سال‌های اخیر توسعه کشاورزی به اراضی ضعیف و کم حاصلخیز که برای تولید محصول مناسب، به کودهای شیمیایی بیشتری نیاز دارند، افزایش روز افزون قیمت این نهاده و مشکلات زیست محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه آنها، آینده توسعه صنایع تولید کننده کودهای شیمیایی و مصرف آنها را به یکی از چالش‌های بزرگ جهانی تبدیل کرده است (رنگل و دامون، ۲۰۰۸). نکته قابل تامل آن است که بخش زیادی از کودهای شیمیایی مصرفی در کشاورزی، از دسترس گیاه خارج شده و کارایی استفاده آنها را به شدت کاهش می‌دهد. در حال حاضر، میانگین کارایی استفاده کودهای شیمیایی نیتروژن حدود ۵۰ درصد یا کمتر، فسفر کمتر از ۱۰ درصد و پتاسیم حدود ۴۰ درصد است (بالیگار و فاجریا، ۲۰۱۵).

راهکارهای متعددی برای افزایش کارایی نهاده‌های کودی وجود دارد. تأمین پایدار و بهینه نیاز غذایی گیاه از طریق کودهای کندرها، بهینه‌سازی جایگذاری کودها و الگوی کشت و کاربرد نظام‌های کشاورزی دقیق<sup>۲</sup> بعضی از راهکارهایی هستند که امروزه در تولید محصول معمول هستند (رنگل و

1- Potassium use efficiency

2- Precision agriculture

دامون، ۲۰۰۸). توسعه و بهره‌گیری از ارقام و ژنوتیپ‌های کارا در استفاده از عناصر غذایی، رویکرد دیگری است که هرچند در گذشته نیز مورد توجه بوده است (رنگل و مارشنر، ۲۰۰۵)، اما امروزه، راهکار مؤثری در کشاورزی کم‌نهاده برای افزایش کارایی استفاده کودهاست (فاجریا و ملو، ۲۰۱۴). ارقام و ژنوتیپ‌های کارا می‌توانند عناصر غذایی بیشتری را از محیط رشد جذب کرده و به ازای هر واحد از عنصر غذایی جذب شده، ماده خشک بیشتری را تولید کنند (فاجریا و همکاران، ۲۰۰۸).

پنبه یکی از محصولات راهبردی کشور است که بر اساس برنامه وزارت جهاد کشاورزی، تولید آن از ۲۴۳ هزار تن در سال ۱۳۹۴ باید به ۴۴۴ هزار تن در سال ۱۴۰۴ برسد. این درحالی است که سطح زیر کشت پنبه در طی این مدت باید تقریباً ثابت باقی بماند و حتی سطح زیر کشت پنبه آبی اندکی کاهش یابد. برای رسیدن به این تولید، هدف‌گذاری شده است که عملکرد پنبه از ۲۴۰۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۴، به ۳۷۵۰ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۴۰۴ برسد (خاوازی و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین پیش‌بینی می‌شود نیاز به کود پتاسیم در زراعت پنبه، بیش از ۸۰٪ افزایش یابد. بدیهی است که این نیاز کودی از طریق واردات آن تأمین خواهد شد. از این رو، شناسایی ژنوتیپ‌های کارا در استفاده از پتاسیم، یکی از راهبردهایی است که می‌تواند نیاز کودی را کاهش دهد (وایت و همکاران، ۲۰۱۰).

روش‌های مختلفی برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌های گیاهی از نظر کارایی و پاسخ به عناصر غذایی ارائه شده است (فاجریا و همکاران، ۲۰۰۸). تجزیه خوشه‌ای<sup>۱</sup> نیز روشی مرسوم در گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها نسبت به تغییرات عوامل فیزیولوژیکی و محیطی از جمله عناصر غذایی می‌باشد و در مطالعات مختلفی بکار گرفته شده است (وو و همکاران، ۲۰۱۱؛ موندیم و همکاران، ۲۰۱۳؛ ۲۰۱۵؛ مارکانتو و همکاران، ۲۰۱۶؛ آبایدو و همکاران، ۲۰۱۷؛ گیان آنساه و همکاران، ۲۰۱۶).

غربالگری ژنوتیپ‌ها از نظر کارایی استفاده و پاسخ به عناصر غذایی با استفاده از تجزیه خوشه‌ای، روش مفیدی برای گروه‌بندی آنها بوده و نتایج قابل اعتمادی را ارائه می‌دهد (آبایدو و همکاران، ۲۰۱۷). زیرا اغلب روش‌های غربالگری، از صفات و پارامترهای اندک و محدودی که عموماً شامل وزن خشک اندام هوایی گیاه و جذب یا غلظت پتاسیم آن است، برای گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، در روش ژانگ و همکاران (۲۰۰۷) مقدار کارایی برابر است با وزن خشک اندام هوایی تقسیم بر جذب پتاسیم آن. به همین دلیل با این روش‌ها، بعضی از پارامترهایی که ممکن است اهمیت و ارزش نسبی زیادی در تفکیک و شناسایی ژنوتیپ‌های کارا در استفاده و پاسخ به آن عنصر غذایی را داشته باشند، حذف می‌شوند، اما با روش غربالگری تجزیه خوشه‌ای می‌توان این نقایص را برطرف نمود، زیرا برای غربالگری ژنوتیپ‌ها با این روش، تعداد بی‌شمار صفت یا پارامتر، قابل استفاده و تجزیه و تحلیل است (پان و همکاران، ۲۰۰۸). این راهبرد منجر به معرفی ژنوتیپ‌هایی با قابلیت استفاده مؤثر از

## 1- Cluster analysis

عنصر یا عناصر قابل استفاده خاک، افزایش کارایی استفاده و بازده کودها و تولید محصول باصرفه اقتصادی بیشتر خواهد شد. همچنین، این منابع ژنتیکی می‌تواند در برنامه‌های اصلاح ارقام زراعی با کارایی بالا در استفاده یا پاسخ‌ده به کود نیز بکار رود (رنگل و دامون، ۲۰۰۸).

شناسایی، انتخاب و معرفی ژنوتیپ‌های برتر پنبه از نظر کارایی استفاده و پاسخ‌دهی به پتاسیم در ایران کمتر مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از این ژنوتیپ‌ها می‌تواند به افزایش بازده مصرف کودهای پتاسیمی و توسعه کشت پنبه در کشور کمک نماید.

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق که در سال ۱۳۹۳ انجام گردید، ابتدا بذور ۲۵ ژنوتیپ مختلف پنبه شامل ۱۳ رقم تجاری به نام‌های ساحل، مهر، بختگان، ارمغان، خورشید، ورامین، لطیف، شایان، ساجدی، کاشمر، گلستان، خرداد و سپید و ۱۲ ژنوتیپ خالص به عنوان بلی‌زوار<sup>۱</sup>، SKTBA3، تابلا دیلا<sup>۲</sup>، SKG، چوکورورا<sup>۳</sup>، NN2A19، N2G80، SKT133، NSKB23، M16، BC244 و M13 به صورت دستی، در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات پنبه کشور - گرگان کرک‌زدایی (از هر ژنوتیپ حدود ۱۰۰ گرم) و سپس با هیپوکلریت سدیم یک درصد ضدعفونی شدند. کرک‌زدایی با استفاده از اسید سولفوریک غلیظ (۹۸٪) انجام گردید. بلافاصله بعد از کرک‌زدایی و ضدعفونی بذور هر ژنوتیپ، ابتدا زیر شیر آب آبکشی شده و سپس ۳ بار با غوطه‌ور کردن در آب مقطر شستشو داده شدند بعد از این مراحل، بذور در زیر سایه روی یک سطح تمیز پهن شدند تا سطح خارجی آنها خشک شوند. بذور هر رقم و ژنوتیپ جهت تسریع در جوانه‌زنی، به مدت ۱۲ ساعت پیش تیمار آبی<sup>۴</sup> شده و سپس به‌طور جداگانه، در گلدان‌های پلاستیکی پر شده از شن شستشو یافته با اسید، کشت شدند تا جوانه زده و تولید گیاهچه کنند. تعداد ۳ گیاهچه ۷ روزه شبیه به هم (هم‌شکل و هم‌اندازه) از هر تیمار به گلدان‌های پلاستیکی حاوی ۲/۶ لیتر از محلول غذایی جانسون (جانسون و همکاران، ۱۹۵۷) منتقل شدند. غلظت عناصر محلول در دو هفته اول به اندازه نصف و در ادامه با غلظت کامل محلول جانسون بود. غلظت پتاسیم در این محلول غذایی نیز در دو غلظت متفاوت ۰/۰۲۵ (شرایط کمبود) و ۲/۵ میلی‌مولار (شرایط کفایت) از نمک کلرید سدیم تأمین شد. محلول غذایی در هر ۵ روز تعویض و pH آغازین آنها حدود ۶ واحد تثبیت گردید.

گلدان‌ها تا زمان برداشت گیاه (۴ برگی) در یک گلخانه شیشه‌ای برخوردار از نور طبیعی روز نگهداری شدند. نوع آزمایش فاکتوریل (۲۵ رقم و ژنوتیپ با ۲ غلظت پتاسیم) و در قالب طرح کاملاً

- 1- Bliizovar
- 2- Tabladilla
- 3- Chukurova
- 4- Hydropriming

تصادفی با ۳ تکرار بود. در طی زمان آزمایش، شرایط تقریباً مشابه برای همه گلدان‌ها فراهم شد. دمای روز - شب گلخانه، حدود ۲۸-۲۰ درجه سانتی‌گراد با رطوبت نسبی حدود ۷۲٪ بود. در پایان آزمایش، ریشه و بخش‌های هوایی گیاهچه‌ها، به‌طور مجزا برداشت شده و ابتدا با آب معمولی و سپس چند بار با آب مقطر شسته شده و جهت خشک شدن، به مدت ۲ روز در داخل آون الکتریکی با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس با ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند. سپس، غلظت پتاسیم در ریشه و اندام هوایی نمونه‌ها، به روش اکسیداسیون خشک<sup>۱</sup> اندازه‌گیری گردید (جونز و کیس، ۱۹۹۰). جذب پتاسیم به استفاده از فرمول زیر محاسبه گردید (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷):

$$KUP = SDW \times SKC \quad (۱)$$

KUP = جذب پتاسیم نمونه (میلی گرم)

SDW = وزن خشک (میلی گرم)

SKC = غلظت پتاسیم نمونه (درصد)

تجزیه واریانس داده‌ها شامل وزن خشک، غلظت پتاسیم و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی و مقایسه میانگین آنها با نرم‌افزار آماری MSTATC انجام گردید. به‌علت ناهمگونی واریانس‌های خطا<sup>۲</sup> در دو سطح کمبود و کفایت پتاسیم، مقایسه میانگین داده‌ها در هر سطح پتاسیم به‌طور جداگانه انجام شد (داسیلوا و گابلن، ۱۹۹۲، احمد و همکاران، ۲۰۰۱). تجزیه خوشه‌ای در هر سطح پتاسیم با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ صورت گرفت. داده‌های مورد استفاده برای تجزیه خوشه‌ای شامل صفات وزن خشک، غلظت پتاسیم و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی در سطح کمبود یا کفایت پتاسیم بود. برای گروه‌بندی خوشه‌های حاصل از تجزیه خوشه‌ای، از روش مارکانتته و همکاران (۲۰۱۶) استفاده شد. بر این اساس، کارایی استفاده و پاسخ به پتاسیم ژنوتیپ‌ها به صورت گروه‌بندی خوشه‌ای انجام گرفت. این گروه‌ها با توجه به میزان انحراف میانگین خوشه از میانگین کل و علامت آن (مثبت یا منفی) تعیین گردیدند.

## نتایج و بحث

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر پتاسیم، ژنوتیپ‌ها و اثر متقابل آنها بر وزن خشک، غلظت و مقدار جذب پتاسیم ریشه و اندام‌های هوایی معنی‌دار بود (جدول ۱).

- 
- 1- Dry oxidation
  - 2- Heterogeneity of error variances

جدول ۱: نتایج تجزیه واریانس اثرات پتاسیم، ژنوتیپ و متقابل آنها بر صفات رشدی گیاه و جذب پتاسیم

منبع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		جذب پتاسیم		غلظت پتاسیم		وزن خشک	
		ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی	ریشه	اندام هوایی
پتاسیم (K)	۱	۷۸۰۶۲۷**	۱۲۲۰۹۹۸۴**	۵۰/۳۴**	۹۷/۴۹**	۳۸۶/۳**	۱۱۷۸۹**
ژنوتیپ (G)	۲۴	۳۵۶۴**	۱۳۷۲۶۲**	۰/۰۵۰**	۰/۰۵۰**	۱/۰۸۹**	۴۲/۵۹**
K × G	۲۴	۳۲۸۸**	۹۹۰۷۹**	۰/۰۴۵**	۰/۰۲۶**	۱/۰۰۸**	۳۵/۴۷**
خطا	۱۰۰	۲۴۵/۶	۱۴۶۹	۰/۰۲۱	۰/۰۰۴	۰/۱۵۲	۱/۰۷۰
C.V. (%)	-	۱۳/۳۲	۵/۹۸	۱۱/۱۷	۴/۹۰	۲۰/۰۶	۹/۶۹

\*\* : معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

کمبود پتاسیم منجر به کاهش معنی دار وزن خشک ریشه و اندام هوایی شد. همچنین، با تأمین پتاسیم کافی برای گیاه، غلظت و جذب آن نیز در ریشه و اندام‌های هوایی پنبه افزایش یافت. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، میانگین وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی در سطح کفایت پتاسیم بطور قابل ملاحظه‌ای بیشتر از سطح کمبود آن است. این تغییرات در آزمایش‌های متعددی مشاهده شده است (کاسمن و همکاران، ۱۹۸۹؛ ژانگ و همکاران، ۲۰۰۷؛ هوا و همکاران، ۲۰۰۹؛ ضیاءالحسن و همکاران، ۲۰۱۱، یانگ و همکاران، ۲۰۱۱). به دلیل این‌که پتاسیم عنصری ضروری برای بسیاری از فرآیندهای رشدی گیاه نظیر رشد مریستمی، فعال‌سازی ATPase و آنزیم‌ها، سنتز پروتئین، افزایش هورمون‌های گیاهی، بهبود کارایی فتوسنتز و تسهیل انتقال مواد فتوسنتزی از برگ‌ها به سایر اندام‌هاست (منگل و کرکی، ۲۰۰۱)، بنابراین انتظار می‌رود با کمبود پتاسیم، جذب و در نتیجه رشد گیاه کاهش یابد.

بر اساس نتایج مقایسه میانگین داده‌ها، اختلاف وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌ها، در هر دو سطح پتاسیم از نظر آماری معنی دار بود (جدول ۲). تغییرات صفات مورد اندازه‌گیری در ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌ها به صورت زیر بود:

**وزن خشک ریشه و اندام هوایی:** وزن خشک ریشه ژنوتیپ‌ها در شرایط کمبود پتاسیم بین ۲۰ میلی‌گرم در M16 تا ۸۳ میلی‌گرم در ساجدی متغیر بود. ژنوتیپ‌های SKG و لطیف نیز به ترتیب با ۱۱۱ و ۲۶۷ میلی‌گرم دارای کمترین و بیشترین وزن خشک ریشه در شرایط کفایت پتاسیم بودند. در وزن خشک اندام هوایی، ژنوتیپ خورشید هم در شرایط کمبود و هم کفایت پتاسیم به ترتیب با ۱۱۹ و ۴۹۱ میلی‌گرم پایین‌ترین وزن خشک را داشت. ژنوتیپ ساجدی نیز با ۶۸۸ و ۱۲۳۷ میلی‌گرم به ترتیب دارای بیشترین وزن خشک ساقه در شرایط کمبود و کفایت پتاسیم بود.

**غلظت پتاسیم ریشه و اندام هوایی:** در سطح کمبود پتاسیم، BLV94 با ۰/۵۳۷ درصد و گلستان با ۰/۹۶۵ درصد به ترتیب کمترین و بیشترین غلظت پتاسیم ریشه را نشان دادند. در سطح کفایت پتاسیم نیز TBL94 و BC244 به ترتیب با ۱/۶۰۴ و ۲/۱۰۹ درصد دارای بالاترین و پایین‌ترین غلظت پتاسیم ریشه بودند. در اندام هوایی، ژنوتیپ‌های SKG و ساجدی به ترتیب با ۰/۳۵۸ و ۰/۶۶۹ درصد دارای بیشترین و کمترین غلظت پتاسیم در سطح کمبود بودند. در سطح کفایت نیز گلستان با ۱/۹۱۱ درصد و NN2A19 با ۲/۴۰۴ درصد پتاسیم کمترین و بیشترین مقدار را داشتند.

**جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی:** تغییرات جذب پتاسیم در شرایط کمبود پتاسیم توسط ریشه بین ۰/۱۲۸ میلی‌گرم در ژنوتیپ‌های ارمغان و خورشید تا ۰/۸۳۰ میلی‌گرم در ژنوتیپ گلستان دارای تغییرات بود. در شرایط کفایت پتاسیم نیز ژنوتیپ خورشید با ۱/۹۲۷ و لطیف با ۴/۹۱۲ میلی‌گرم به ترتیب بیشترین و کمترین جذب پتاسیم را داشتند. همچنین، در شرایط کمبود پتاسیم، خورشید با ۰/۵۷۸ میلی‌گرم و سپید با ۳/۲۷۷ میلی‌گرم پتاسیم به ترتیب کمترین و بیشترین جذب پتاسیم در اندام هوایی را داشتند. در شرایط کفایت نیز ژنوتیپ‌های خورشید با ۹/۸۲ میلی‌گرم و لطیف با ۲۸/۲۱ میلی‌گرم دارای کمترین و بیشترین جذب پتاسیم اندام هوایی بودند.

اختلاف ارقام و ژنوتیپ‌های گیاهی در تولید ماده خشک، غلظت و جذب پتاسیم در شرایط برابر تأمین عنصر، به‌علت اختلاف کارایی استفاده پتاسیم آنهاست که شامل کارایی جذب و کارایی بهره‌وری می‌باشد. کارایی جذب، توانایی ریشه‌های گیاه در جذب پتاسیم از محیط رشد در شرایط کمبود آن را نشان می‌دهد و کارایی بهره‌وری به‌معنی استفاده بیشتر از پتاسیم جذب شده یا استفاده مؤثرتر از هر واحد آن در اعمال فیزیولوژیکی و متابولیسمی گیاه است (رنگل و دامون، ۲۰۰۸). با اینکه هر یک از این توانایی‌های گیاه می‌تواند بطور جداگانه بروز کند، اما معمولاً چون این دو مکانیسم با هم اتفاق می‌افتد، مجموعاً به‌عنوان کارایی استفاده پتاسیم تعریف می‌شود (ضیاء الحسن و همکاران، ۲۰۱۱). اختلاف در کارایی استفاده پتاسیم در بین ژنوتیپ‌های پنبه در آزمایش‌های زیادی مشاهده شده است (پتیگرو، ۲۰۰۳؛ ژانگ و همکاران؛ ۲۰۰۷؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مخدوم و همکاران، ۲۰۰۷؛ یانگ و همکاران، ۲۰۱۱؛ وانگ و چن، ۲۰۱۲؛ جیانگ و همکاران، ۲۰۱۳؛ چن و همکاران، ۲۰۱۴).

در طول چند دهه گذشته، مخصوصاً در چند سال اخیر، مطالعات بیشتری نسبت به مقایسه کارایی استفاده و پاسخ به پتاسیم در ارقام و ژنوتیپ‌های گیاهی معطوف شده و بر اساس نتایج گروه‌بندی آنها با روش‌های مختلف، ژنوتیپ یا ژنوتیپ‌های برتر شناسایی شده و جهت کشت در خاک‌های دارای پتاسیم قابل استفاده متفاوت یا به منظور استفاده در برنامه‌های اصلاح گیاهی معرفی شده‌اند (رنگل و دامون، ۲۰۰۸، ضیاء الحسن و همکاران، ۲۰۱۴).



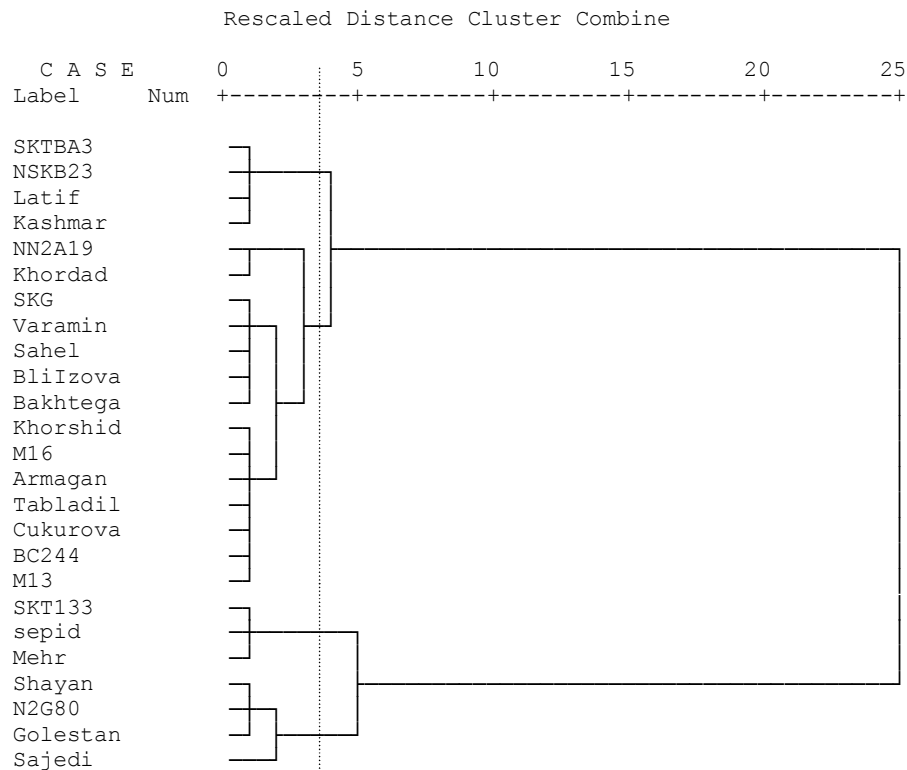
جدول ۲: نتایج مقایسه میانگین وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های پنبه

نام ژنوتیپ	وزن خشک (mg plant <sup>-1</sup> )						غلظت پتاسیم (%)						جذب پتاسیم ریشه (mg plant <sup>-1</sup> )												
	ریشه			اندام هوایی			ریشه			اندام هوایی			ریشه			اندام هوایی									
	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت	کمیود	کفایت							
ساحل	۲۷	۲۲۴	۲۵۲	۱۰۸۱	۰/۶۰۷	۱/۸۴۷	۰/۴۵۹	۲/۰۴۷	۰/۱۶۴	۴/۱۳۸	۱/۱۵۷	۲۲/۱۳	مهر	۶۴	۱۹۶	۴۴۳	۸۷۸	۰/۶۳۶	۱/۹۹۷	۰/۵۷۹	۲/۳۸۴	۰/۴۰۷	۳/۹۱۵	۲/۵۶۷	۲۰/۰۵
BLV94	۳۷	۱۸۹	۲۷۱	۹۰۱	۰/۵۳۸	۱/۷۷۷	۰/۴۷۶	۲/۱۰۳	۰/۱۹۹	۳/۳۵۹	۱/۳۹۱	۱۸/۹۵	بختگان	۴۲	۱۸۷	۳۱۰	۸۷۶	۰/۵۵۵	۱/۷۰۵	۰/۵۴۳	۲/۳۱۱	۰/۲۳۳	۳/۱۸۸	۱/۶۸۲	۱۹/۳۷
SKTBA3	۴۸	۱۶۳	۳۸۵	۷۶۲	۰/۷۶۵	۱/۷۰۹	۰/۳۹۷	۱/۹۹۵	۰/۳۶۷	۲/۷۸۶	۱/۵۲۸	۱۵۲/۰	ارمغان	۲۱	۲۶۰	۱۶۲	۱۲۰۹	۰/۶۱۰	۱/۸۷۹	۰/۵۳۶	۲/۳۱۹	۰/۱۲۸	۴/۸۸۶	۰/۸۶۸	۲۸/۰۴
TBL94	۳۲	۲۵۷	۲۶۱	۱۲۰۴	۰/۷۲۲	۱/۶۰۴	۰/۴۶۱	۱/۹۶۴	۰/۲۳۱	۴/۱۳۳	۱/۳۰۲	۲۳/۶۵	SKG	۳۷	۱۱۱	۳۱۰	۵۱۵	۰/۶۲۷	۲/۰۵۶	۰/۳۵۸	۲/۲۹۵	۰/۲۳۲	۲/۳۸۲	۱/۱۰۹	۱۱/۸۲
خورشید	۲۲	۱۰۵	۴۹۱	۱۱۹	۰/۵۸۲	۱/۸۳۵	۰/۴۸۶	۲/۰۰۰	۰/۱۲۸	۱/۹۲۷	۰/۵۷۸	۹/۸۲	ورامین	۳۷	۱۸۶	۳۳۳	۹۰۱	۰/۶۴۶	۱/۸۴۴	۰/۴۲۶	۱/۹۶۲	۰/۲۳۹	۳/۴۳۰	۱/۴۲۰	۱۷/۶۸
CUK94	۲۸	۲۳۶	۲۳۷	۱۱۱۲	۰/۷۵۰	۲/۰۰۷	۰/۵۰۵	۲/۲۰۲	۰/۲۱۰	۴/۷۳۷	۱/۱۹۷	۲۴/۴۹	NSKB23	۵۴	۱۳۲	۳۸۴	۵۸۸	۰/۷۷۴	۱/۹۰۸	۰/۳۷۶	۱/۹۸۵	۰/۴۱۸	۲/۵۱۹	۱/۴۴۳	۱۱/۶۷
لطیف	۵۰	۲۶۷	۱۴۳۴	۳۹۰	۰/۶۵۴	۱/۸۴۰	۰/۴۴۹	۱/۹۶۷	۰/۳۲۷	۴/۹۱۲	۱/۷۵۰	۲۸/۲۱	سایان	۷۹	۱۷۱	۵۴۵	۸۰۴	۰/۸۷۵	۱/۹۷۷	۰/۵۶۶	۲/۰۸۰	۰/۶۹۱	۳/۳۸۱	۱۶/۷۲	
SKT133	۶۶	۱۷۴	۵۱۸	۹۰۲	۰/۶۳۰	۱/۸۳۹	۰/۶۰۲	۲/۱۵۵	۰/۴۱۶	۳/۱۲۰	۱/۹۴۴	۱۹/۴۴	ساجدی	۸۳	۲۲۱	۶۸۸	۱۲۳۷	۰/۹۵۷	۱/۹۵۲	۰/۷۹۴	۲/۰۲۴	۰/۷۳۱	۴/۳۱۳	۲۵/۰۴	
کاشمر	۵۰	۱۸۶	۳۹۰	۸۲۶	۰/۷۲۰	۱/۹۹۹	۰/۴۲۲	۲/۱۵۰	۰/۳۶۰	۳/۷۱۹	۱/۶۴۶	۱۷/۷۶	گلستان	۸۶	۱۹۶	۶۱۴	۹۱۳	۰/۹۶۵	۱/۷۳۷	۰/۴۸۴	۱/۹۱۱	۰/۸۳۰	۲/۹۶۹	۱۷/۴۵	
N2G80	۸۲	۲۰۲	۶۰۳	۱۰۰۸	۰/۸۰۵	۱/۹۵۵	۰/۴۵۶	۲/۲۱۱	۰/۶۶۰	۳/۹۵۰	۲/۸۵۰	۲۴/۲۹	NN2A19	۲۲	۲۰۶	۲۴۱	۱۰۳۶	۰/۷۳۶	۲/۰۴۱	۰/۶۱۰	۲/۴۰۴	۰/۱۶۲	۳/۲۰۴	۲۴/۹۱	
خرداد	۳۸	۱۸۸	۳۱۳	۹۷۷	۰/۸۳۲	۱/۶۹۹	۰/۵۸۰	۲/۰۸۹	۰/۳۱۶	۳/۱۹۴	۱/۸۱۵	۲۰/۴۱	M16	۲۰	۱۲۴	۱۶۴	۵۵۱	۰/۶۵۰	۱/۶۸۱	۰/۴۹۶	۲/۰۲۲	۰/۱۳۰	۳/۰۸۵	۱۱/۱۴	
M13	۲۴	۲۰۶	۱۱۲۸	۱۱۲۸	۰/۷۲۱	۱/۹۱۷	۰/۴۱۲	۱/۹۳۴	۰/۱۷۳	۳/۹۴۹	۰/۹۱۱	۲۱/۸۱	BC244	۲۲	۱۶۶	۲۱۰	۸۲۴	۰/۶۷۳	۲/۱۰۹	۰/۴۵۴	۲/۲۲۸	۰/۱۴۸	۳/۵۰۱	۱۸/۳۶	
سپید	۶۷	۱۹۳	۹۹۶	۹۹۶	۰/۶۶۳	۱/۸۲۶	۰/۶۲۹	۲/۲۲۲	۰/۴۴۴	۳/۵۲۹	۲/۲۷۷	۲۲/۱۳	میانگین	۴۶	۱۹۰	۳۵۵	۹۲۶	۰/۷۰۸	۱/۸۷۰	۰/۴۹۷	۲/۱۱۱	۰/۳۳۶	۳/۵۴۵	۱۹/۵۳۹	
LSD (%5)	۱۲/۳۲	۳۴/۹۵	۳۴/۹۵	۸۱/۷۳	۰/۱۶۸	۰/۲۸۹	۰/۱۰۶	۰/۱۳۶	۰/۱۰۳	۰/۸۹۷	۰/۹۱۶	۲/۳۸۱													

گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات مورد مطالعه در شرایط کمیود پتاسیم، با استفاده از الگوریتم وارد<sup>۱</sup> و داده‌های استاندارد شده انجام گرفت (شکل ۱). محل برش دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس نتایج تجزیه تابع تشخیص نشان داد که تمایز گروه‌ها با چهار خوشه بدست می‌آید (جدول ۳). با توجه به این که برش در چهار خوشه دارای لامبدای ویلکس<sup>۲</sup> کمتر و کای اسکوئر بالاتری نسبت به دو یا سه خوشه است، می‌توان این خوشه‌بندی را انجام داد. همچنین، با توجه به رابطه  $\sqrt{n/2}$  که در آن n تعداد نمونه‌ها (ژنوتیپ‌ها) و نتیجه آن حدود مناسب تعداد خوشه‌ها را نشان می‌دهد، نتیجه خوشه‌بندی را تایید می‌کند (حبیب‌پور گتایی و صفری شالی، ۱۳۸۸).

1- Ward

2- Wilks' lambda



شکل ۱: دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های پنبه در شرایط کمبود پتاسیم

در خوشه اول ژنوتیپ‌های SKTBA3، NSKB23، لطیف و کاشمر قرار گرفتند. خوشه دوم شامل NN2A19، خرداد، SKG، ورامین، ساحل، بلی‌زوار، بختگان، خورشید، M16، ارمغان، تابلاذیل، چوکوروا، BC244 و M13 بود. ژنوتیپ‌های SKT133، سپید و مهر در خوشه سوم گروه‌بندی شدند و چهار ژنوتیپ شایان، N2G80، گلستان و ساجدی نیز در خوشه چهارم جای گرفتند.

جدول ۳: تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌ها در شرایط

کمبود پتاسیم

تعداد گروه‌ها	سطح احتمال	ویلکس لامبدا	کی - دو
۲	۰/۰۰۰	۰/۲۰۳	۳۵/۹
۳	۰/۰۰۰	۰/۰۲۷	۷۴/۰
۴	۰/۰۰۰	۰/۰۱۳	۸۸/۶

جدول ۴، میانگین و درصد انحراف خوشه‌ها از میانگین کل گروه‌ها را در شرایط کمبود پتاسیم نشان می‌دهد. بر اساس نتایج خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها و با توجه به میانگین و درصد انحراف خوشه‌ها از میانگین کل، ۲۵ ژنوتیپ پنبه را از نظر کارایی استفاده پتاسیم می‌توان به چهار گروه شامل غیرکارا<sup>۱</sup>، نسبتاً کارا<sup>۲</sup>، کارا<sup>۳</sup> و بسیار کارا<sup>۴</sup> تفکیک نمود.

جدول ۴: میانگین و درصد انحراف خوشه‌ها از میانگین کل گروه‌ها از نظر وزن خشک (میلی‌گرم بر گیاه)، غلظت (درصد) و جذب پتاسیم (میلی‌گرم بر گیاه) ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های پنبه در شرایط کمبود پتاسیم

صفت مورد مطالعه در اندام‌های هوایی	خوشه ۱		خوشه ۲		خوشه ۳		خوشه ۴	
	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف
وزن خشک ریشه	۵۰/۵	۱۰/۹	۲۹/۲	-۳۵/۸	۶۵/۷	۴۴/۳	۸۲/۵	۸۱/۲
غلظت پتاسیم ریشه	۰/۷۳	۳/۴۶	۰/۶۶	-۶/۹۸	۰/۶۵	-۸/۶۶	۰/۹۰	۲۷/۵
جذب پتاسیم ریشه	۰/۳۷	۹/۴۳	۰/۱۹	-۴۲/۸	۰/۴۲	۲۵/۶	۰/۷۴	۱۲۱
وزن خشک اندام هوایی	۳۸۷	۸/۹۶	۲۴۳	-۳۱/۶	۴۹۴	۳۹/۰	۶۱۲	۷۲/۳
غلظت پتاسیم اندام هوایی	۰/۴۱	-۱۷/۴	۰/۴۹	-۲/۲۸	۰/۶۰	۲۱/۴	۰/۵۴	۹/۳۲
جذب پتاسیم اندام هوایی	۱/۵۹	-۱۲/۰	۱/۱۸	-۳۴/۹	۲/۹۹	۶۵/۲	۳/۳۵	۸۵/۳

در گروه غیرکارا (خوشه دوم) که میانگین تمام صفات آن کمتر از میانگین کل است، ژنوتیپ‌ها پتاسیم کمتری جذب کرده و کارایی استفاده پتاسیم کمتری دارند. کمترین مقدار ماده خشک مربوط به همین خوشه است. خوشه اول که در آن ژنوتیپ‌های نسبتاً کارا قرار دارند، از نظر صفات ریشه دارای میانگین بیشتری نسبت به میانگین کل هستند، اما غلظت و جذب پتاسیم اندام هوایی آن کمتر از میانگین کل است. با این حال، میانگین وزن خشک اندام هوایی که صفت مهمی در کارایی ژنوتیپ است، در مقایسه با میانگین کل بیشتر می‌باشد. به عبارت دیگر، ژنوتیپ‌های این خوشه توانسته‌اند به ازای هر واحد پتاسیم جذب شده، ماده خشک بیشتری نسبت به میانگین کل ۲۵ ژنوتیپ تولید کنند. در خوشه سوم که ژنوتیپ‌های کارا قرار دارند، میانگین تمام صفات مورد مطالعه خوشه، به استثنای غلظت پتاسیم ریشه، بیشتر از میانگین کل ژنوتیپ‌ها است. ژنوتیپ‌های این خوشه، هم توانایی بیشتری در جذب پتاسیم از محیط رشد داشته و هم ماده خشک بیشتری را نسبت به میانگین کل ژنوتیپ‌ها تولید کرده‌اند. ژنوتیپ‌های بسیار کارا که خوشه چهارم را تشکیل می‌دهد، همانند خوشه سوم، در تمام

- 1- Non-efficient
- 2- Moderately efficient
- 3- Efficient
- 4- Highly efficient

صفات مورد مطالعه؛ حتی از نظر غلظت پتاسیم در ریشه، نسبت به میانگین کل برتری دارند. اما مقدار این برتری، به جز در غلظت پتاسیم اندام هوایی، بسیار بیشتر از خوشه سوم می‌باشد، یعنی جذب پتاسیم و تولید ماده خشک به‌وسیله ژنوتیپ‌های این خوشه بیشتر از سایر ژنوتیپ‌ها است. کاهش غلظت پتاسیم اندام هوایی در این خوشه احتمالاً به علت آن است که در اثر تولید ماده خشک بیشتر، اثر رقت به‌وجود آمده است. مارکاته و همکاران (۲۰۱۶) نیز که چند ژنوتیپ پنبه را از نظر کارایی فسفر مطالعه کردند، تقریباً همین گروه‌بندی را بدست آوردند. ژنوتیپ‌های بسیار کارا جهت کشت در خاک‌های کم حاصلخیز که کود کمتری نیز دریافت می‌کنند، بسیار مناسب بوده و راهکار مؤثری برای استفاده در کشاورزی کم‌نهاد هستند (ریچ و همکاران، ۲۰۱۴).

شکل ۲ نتایج گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها در سطح کفایت پتاسیم با استفاده از الگوریتم وارد و با داده‌های استاندارد شده را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها (جدول ۵) نیز ژنوتیپ‌ها را در ۴ خوشه تفکیک کرد که دلایل آن قبلاً توضیح داده شد. خوشه اول، ژنوتیپ‌های بلی‌زوار، SKT133، سپید، بختگان، خرداد، ورامین، گلستان، SKTBA3، شایان، کاشمر و BC244 را شامل شدند. خوشه دوم را ژنوتیپ‌های خورشید، NSK23، M16 و SKG تشکیل دادند. خوشه سوم شامل ژنوتیپ‌های ارمغان، چوکوروا، مهر، N2G80 و NN2A19 بود. در خوشه چهارم نیز ژنوتیپ‌های ساحل، M13، ساجدی، تابلا دیلا و لطیف جای داشتند.

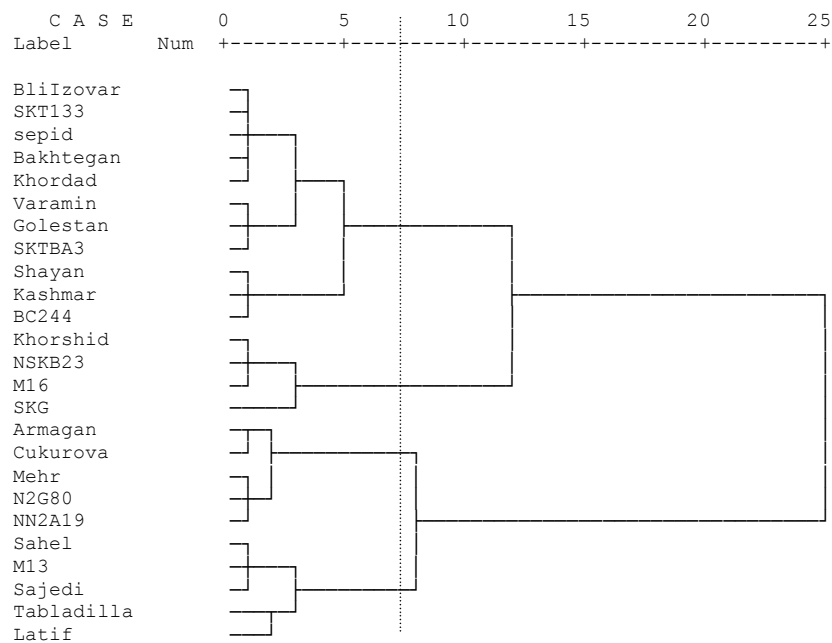
در جدول ۶، میانگین و درصد انحراف هر یک از خوشه‌ها از میانگین کل ژنوتیپ‌ها در شرایط تأمین پتاسیم کافی ارائه شده است. بر اساس این جدول و تغییرات وزن خشک، غلظت و جذب پتاسیم، ژنوتیپ‌ها را می‌توان از نظر پاسخ به پتاسیم به گروه‌های مختلفی تقسیم نمود. با توجه به نتایج خوشه‌بندی ژنوتیپ‌ها و میانگین و درصد انحراف خوشه‌ها از میانگین کل، ۲۵ ژنوتیپ پنبه از نظر پاسخ به پتاسیم در چهار گروه مختلف غیرپاسخ‌ده<sup>۱</sup>، کم پاسخ‌ده<sup>۲</sup>، نسبتاً پاسخ‌ده<sup>۳</sup> و پاسخ‌ده<sup>۴</sup> قرار گرفت.

در گروه غیرپاسخ‌ده (خوشه دوم) ژنوتیپ‌هایی قرار دارند که علی‌رغم اینکه غلظت پتاسیم آنها نزدیک به میانگین کل است، اما وزن خشک و جذب پتاسیم بسیار پایینی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها دارند. این ژنوتیپ‌ها پاسخ مناسبی نسبت به مصرف کود پتاسیم نشان نمی‌دهند (کلمنت - بیلی و گواتمی، ۲۰۰۷). خوشه اول که شامل ژنوتیپ‌های کم پاسخ‌ده است، تمام صفات انحراف منفی از میانگین کل دارند. با اینکه این خوشه از نظر انحراف، شبیه به خوشه غیرپاسخ‌ده است (انحراف منفی)، اما مقدار آن در مقایسه با خوشه غیرپاسخ‌ده، بسیار کمتر بوده و میانگین صفات این خوشه نزدیک به

- 
- 1- Non-Responsive
  - 2- Low responsive
  - 3- Moderately responsive
  - 4- Responsive

میانگین کل است. این ژنوتیپ‌های پنبه برای استفاده در کشاورزی مخصوصاً در اراضی که نیاز به مصرف مقادیر متناهی از کودهای پتاسیم دارند، توصیه نمی‌شود (رنگل و دامون، ۲۰۰۸). گروه نسبتاً پاسخ‌ده که شامل ژنوتیپ‌های خوشه سوم می‌باشد، از نظر تمام صفات مورد مطالعه، از میانگین بالاتری نسبت به میانگین کل برخوردار هستند. ژنوتیپ‌های پاسخ‌ده در خوشه چهارم قرار دارند. غلظت پتاسیم این گروه نه تنها کمتر از گروه نسبتاً پاسخ‌ده (خوشه سوم) است، بلکه حتی از میانگین کل نیز پایین‌تر می‌باشد. با این حال، ژنوتیپ‌های این خوشه نسبت به خوشه سوم برتری دارند، زیرا با اینکه جذب پتاسیم آن تقریباً مشابه با گروه نسبتاً پاسخ‌ده است، اما از وزن خشک بیشتری نسبت به این گروه (خوشه سوم) برخوردارند، یعنی ژنوتیپ‌های این گروه به ازای هر واحد پتاسیم جذب شده، ماده خشک بیشتری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها تولید کرده‌اند. از طرف دیگر، اثر رقت در این گروه بسیار مشهودتر و محتمل‌تر از سایر گروه‌ها است. این گروه از ژنوتیپ‌ها از نظر زراعی و کودی مزیت نسبی بیشتری دارند (رنگل و دامون، ۲۰۰۸).

Rescaled Distance Cluster Combine



شکل ۲: دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌های پنبه و فاصله اقلیدسی در شرایط کفایت پتاسیم

جدول ۵: تجزیه تابع تشخیص برای تعیین محل برش دندروگرام حاصل از تجزیه خوشه‌ای بر اساس صفات مورد

مطالعه ژنوتیپ‌های پنبه در شرایط کفایت پتاسیم			
تعداد گروه‌ها	سطح احتمال	ویلکس لامبدا	کی - دو
۲	۰/۰۰۰	۰/۳۷۶	۲۲/۰
۳	۰/۰۰۰	۰/۱۳۷	۴۳/۷
۴	۰/۰۰۰	۰/۰۶۷	۵۶/۷

با اینکه تفاوت اجزای فیزیولوژیکی گیاه می‌تواند عامل تأثیرگذاری بر استفاده از عناصر غذایی توسط ژنوتیپ‌های مختلف باشد، اما این ویژگی عموماً تحت تأثیر عوامل ژنتیکی است (بالیگار و فاجریا، ۲۰۱۵). تفاوت ژنتیکی در بین ژنوتیپ‌های مختلف گیاهی در پاسخ به مصرف عناصر غذایی از جمله نیتروژن در برنج (فاجریا و بالیگار، ۲۰۰۳)، فسفر در گندم (فاجریا و بالیگار، ۱۹۹۹؛ جیل و همکاران، ۲۰۰۴)، روی در گندم (رنگل و گراهام، ۱۹۹۵)، منگنز در برنج (فاجریا و همکاران، ۲۰۰۸) و بور در پنبه (شاه و همکاران، ۲۰۱۴) گزارش شده است. چنین تفاوت‌های ژنتیکی در پاسخ به مصرف پتاسیم نیز در گیاهان وجود دارد (پتیگرو، ۲۰۰۸؛ رنگل و دامون، ۲۰۰۸؛ وایت و همکاران، ۲۰۱۰). چون از یک طرف، پتاسیم عنصر بسیار کلیدی در تولید پنبه بوده و اثر مستقیمی بر صفات کمی و کیفی آن دارد (مخدوم و همکاران، ۲۰۰۷) و از طرف دیگر، به علت توانایی پایین سیستم ریشه‌ای این گیاه در جذب پتاسیم از خاک، کمبود این عنصر در پنبه در مقایسه با گیاهان زراعی دیگر با شیوع و شدت بیشتری رخ می‌دهد (کوب، ۱۹۸۱)، مطالعات زیادی درباره پاسخ ژنوتیپ‌های مختلف نسبت به پتاسیم انجام شده است (استوارت و مورگان، ۲۰۱۶).

جدول ۶: میانگین و درصد انحراف خوشه‌ها از میانگین کل گروه‌ها از نظر وزن خشک (میلی‌گرم بر گیاه)، غلظت

(درصد) و جذب پتاسیم (میلی‌گرم بر گیاه) ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های پنبه در شرایط کفایت پتاسیم

صفت مورد مطالعه در اندام‌های هوایی	خوشه ۱		خوشه ۲		خوشه ۳		خوشه ۴	
	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف	میانگین	درصد انحراف
وزن خشک ریشه	۱۸۱	-۴/۲۷	۱۱۸	-۳۷/۸	۲۲۰	۱۵/۹	۲۳۵	۲۲/۸
غلظت پتاسیم ریشه	۱/۸۳	-۱/۸۵	۱/۸۷	۰/۰۲	۱/۹۷	۵/۷۲	۱/۸۴	-۱/۶۷
جذب پتاسیم ریشه	۳/۳۴	-۵/۹۲	۲/۲۰	-۳۷/۸	۴/۳۴	۲۲/۴	۴/۲۹	۲۰/۹
وزن خشک اندام هوایی	۸۸۰	-۴/۹۶	۵۳۶	-۴۲/۱	۱۰۴۹	۱۳/۲	۱۲۱۷	۳۱/۴
غلظت پتاسیم اندام هوایی	۲/۱۰	-۰/۴۹	۲/۰۸	-۱/۶۷	۲/۲۸	۸/۲۳	۱/۹۹	-۵/۸۳
جذب پتاسیم اندام هوایی	۱/۸۵	-۵/۳۶	۱/۱۱	-۴۳/۱	۲۴/۰	۲۲/۶	۲۴/۲	۲۳/۷

### نتیجه گیری

جذب پتاسیم توسط ژنوتیپ‌های پنبه در شرایط کمبود پتاسیم پایین بود، از این رو، غلظت پتاسیم و وزن خشک ریشه و اندام‌های هوایی کاهش نشان داد. تجزیه خوشه‌ای توانست چهار ژنوتیپ پنبه شامل شایان، N2G80، گلستان و ساجدی را در گروه بسیار کارا جدا کند. این ژنوتیپ‌ها برای کشت در خاک‌هایی که از نظر مقدار پتاسیم قابل استفاده، ضعیف هستند و کود پتاسیم مناسبی نیز دریافت نمی‌کنند، توصیه می‌شود. در شرایط کفایت پتاسیم نیز ساحل، M13، ساجدی، تابلا دیلا و لطیف ژنوتیپ‌های پاسخ‌ده بودند. این ژنوتیپ‌ها برای کشت در خاک‌هایی حاصلخیز (پتاسیم قابل استفاده بالا) و یا در اراضی که کود پتاسیم کافی دریافت می‌کنند، مناسب می‌باشند. همچنین، این ژنوتیپ‌ها را می‌توان در برنامه‌های به‌نژادی گیاه از نظر جذب بالای پتاسیم خاک و یا استفاده مؤثر از کود پتاسیمی بکار برد. ژنوتیپ ساجدی که هم بسیار کارا و هم پاسخ‌ده به پتاسیم بود، برای استفاده در هر وضعیت پتاسیم قابل جذب خاک یا مصرف کود پتاسیم مناسب است.

### سپاسگزاری

از ریاست محترم و همکاران آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات پنبه کشور و گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان که همکاری بسیار زیادی مبذول داشته و زمینه اجرای این تحقیق را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

### منابع

1. Aamer M., Sabir M.F., and Sadiq M.A. 2014. Exploiting genotypic variability among cotton cultivars for potassium use efficiency. *Dev. Country Stud.*, 4: 7-12.
2. Abaidoo, R., Dare, M.O., Killani, S., and Opoku, A. 2017. Evaluation of early maturing cowpea (*Vigna unguiculata* L.) germplasm for variation in phosphorus use efficiency and biological nitrogen fixation potential with indigenous rhizobial populations. *J. Agric. Sci.* 155: 102-116.
3. Ahmad, Z., Gill, M.A., Qureshi, R.H., Hamud-ur-rehman, and Mahmood, T. 2001. Phosphorus nutrition of cotton cultivars under deficient and adequate levels in solution culture. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 171-187.
4. Baligar, V.C., and Fageria, N.K. Nutrient use efficiency in plants: An overview. 2015. pp. 1-14. *In: A. Rakshit et al. (eds.), Nutrient use efficiency: From basics to advances.* Springer, New Delhi, India.
5. Cassman, K.G., Roberts, B.A., Kerby, T.A., Bryant, D.C., and Higashi S.L. 1989. Soil potassium balance and cumulative cotton response to annual potassium additions on a vemiculitic soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 53: 805 – 812.

6. Chachar K.M., Chachar Q.I., Chachar N.A., Chachar S.D., and Chachar M.H. 2015. Genotypic variation for potassium uptake and utilization efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). J. Agric. Tech. 11: 839-853.
7. Chen, J., and Gabelman, W.H. 1999. Potassium-transport rate from root to shoot unrelated to potassium-use efficiency in tomato grown under low-potassium stress. J. Plant Nutr. 22:621-631.
8. Chen, Y., Wen, Y., Wang, J., Zhang, X., and Chen, D. 2014. Cotton potassium uptake and use efficiency vary with potassium application rates and soil potassium nutrition levels. Journal of Food Agriculture and Environment. 12. 221-227.
9. Clement-Bailey, J., and Gwathmey, C.O. 2007. Potassium effects on partitioning, yield, and earliness of contrasting cotton cultivars. Agron. J. 99, 1130-1136.
10. Cope, J.T. 1981. Effects of 50 years of fertilization with phosphorus and potassium on soil test levels and yields at six locations. Soil Sci. Soc. Am. J. 45: 342-347.
11. Damon, P.M., and Rengel, Z. 2007. Wheat genotypes differ in potassium efficiency under glasshouse and field conditions. Aus. J. Agric. Res. 58: 816-825.
12. Damon, P.M., Osborne, L.D., and Rengel, Z. 2007. Canola genotypes differ in potassium efficiency during vegetative growth. Euphytica. 156: 387-397.
13. Da Silva, A.E., and Gabelman, W.A. 1992. Screening maize inbred lines for tolerance to low-P stress conditions. Plant Soil 146: 181-187.
14. Do Sacramento, L.V.S., and Rosolem C.A. 1997. Efficiency of K utilization by soybean cultivars. pp. 167-168. In: T. Ando et al. (eds.) Plant nutrition for sustainable food production and environment. Developments in plant and soil sciences, vol. 78. Springer, Dordrecht
15. Fageria, N.K., and Baligar, V.C. 1999. Phosphorus-use efficiency in wheat genotypes. J. Plant Nutr. 22: 331-340.
16. Fageria, N.K., and Baligar, V.C. 2003. Methodology for evaluation of lowland rice genotypes for nitrogen use efficiency. J. Plant Nutr. 26:1315-1333.
17. Fageria, N.K., and Melo, L.C. 2014. Agronomic evaluation of dry bean genotypes for potassium use efficiency. J. Plant Nutr. 37: 1899-1912.
18. Fageria, N.K., Baligar, V.C., and Jones, C.A. 2011. Growth and mineral nutrition of field crop. 3<sup>rd</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, Florida. 560 pp.



19. Fageria, N.K., Filho, M.P.B., and Da Costa, J.G.C. 2001. Potassium use-efficiency in common bean genotypes. *J. Plant Nutr.* 24:1937-1945.
20. Fageria, N.K., Filho, M.P.B., and Moreira, A. 2008. Screening upland rice genotypes for manganese-use efficiency. *Commun. Soil Sci. Plant Analys.* 39:2873-2882.
21. Fageria, N.K., Knupp, A.M., and Moraes, M.F. 2013. Phosphorus nutrition of lowland rice in tropical lowland soil, *Commun. Soil Sci. Plant Analys.* 44:20, 2932-2940,
22. Fageria, N.K., Melo, L.C., and Knupp, A.M. 2015. Dry bean genotype evaluation for potassium-use efficiency. *Commun. Soil Sci. Plant Analys.* 46:1061-1075.
23. Gill, H., Singh, A., Sethi, S., and Behl, R. 2004. Phosphorus uptake and use efficiency in different varieties of bread wheat (*Triticum Aestivum* L.). *Arch. Agron. Soil Sci.* 50: 563-572.
24. Gyan Anshah, S., Adu-Dapaah, H., Kumaga, F., Gracen, V., and Nartey, F.K. 2016. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) genotypes for phosphorus use efficiency. *Acta Hort.* 1127: 373-380.
25. Habibpour gatabi, K., and Safari shali, R. 2009. Comprehensive manual for using SPSS in survey researches. Louye publishing, Tehran, Iran, 862 P.
26. Halevy, J. 1976. Growth rate and nutrient uptake of two cotton cultivars grown under irrigation. *Agron. J.* 68:701-705.
27. Heffer, P., and Prud'homme, M. 2016. Fertilizer Outlook 2016-2020. 84<sup>th</sup> IFA annual conference, 30 May-1 June, Moscow, Russia.
28. Hua, H.B., Li, Z.H., and Tian, X.L. 2009. Mechanism of tolerance to potassium deficiency between Liaomian 18 and NuCOTN99B at seedling stage. *Acta Agron. Sin.* 35:475-482.
29. Jiang, C.C., Chen, F., Gao, X.Z., Lu, J.W., Wan, K.Y., Nian, F.Z., Wang, Y.H. 2008. Study on the nutrition characteristics of different K use efficiency cotton genotypes to k deficiency stress. *Agric. Sci. China.* 7(6): 740-745.
30. Jiang, C.C., Hao, Y.S., Wang, X.L., Wang, D., and Lei, J. 2013. Effect of K on dry matter accumulation and distribution and changes of root-zone K in different cotton genotypes. *J. Food Agric. Environ.* 11:604-608.
31. Johnson, C.M., Stout, P.R., Broyer, T.C., and Carlton, A.B. 1957. Comparative chlorine requirements of different plant species. *Plant Soil* 8:337-353.
32. Jones, J.B., and Case, V.W. 1990. Sampling, handling, and analyzing plant tissue samples. Pp. 389-427. *In: R.L. Westerman (ed.), Soil testing and plant analysis.* SSSA, Madison, WI, USA.
33. Kerby, T.A., and Adams, F. 1985. Potassium nutrition of cotton. Pp. 843- 860. *In: R. D. Munson (ed.) potassium in agriculture.* ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
34. Khavazi, K., Balali, M.R., Bazargan, K., Tehrani, M.M., Rezaee, H., Asadi

- Rahmani, H., Gheibi, M.N., Davoodi, M.H., Saadat, S., Moshiri, F., and Davatgar, N. 2014. Comprehensive soil fertility and plant nutrition program 2014-2025, Vol I. Soil and Water Research Institute Press, Tehran, Iran (in persian).
35. Krishnasamy, K., Bell, R.W., and Ma, Q. 2014. Wheat responses to sodium vary with potassium use efficiency of cultivars. *Front. Plant Sci.* 5: 1-10.
36. Kuzmanova, L., Kostadinova, S., and Ganusheva, N. 2014. Efficiency of potassium in barley genotypes. *Turk. J. Agric. Nat. Sci. Spec. Is.* 1: 584-589.
37. Lokhande, S., and Reddy, K.R. 2015. Reproductive performance and fiber quality responses of cotton to potassium nutrition. *Am. J. Plant Sci.* 6: 911-924.
38. López, M., El-Dahan, M.A.A., and Leidi, E.O. 2008. Genotypic variation in potassium uptake in dryland cotton. *J. Plant Nut.* 31: 1947-1962.
39. Makhdum, M.I., Pervez, H., and Ashraf, M. 2007. Dry matter accumulation and partitioning in cotton (*Gossypium hirsutum*L.) as influenced by potassium fertilization. *Biol. Fert. Soils* 43: 295-301.
40. Marcante, N.C., Takashi, M., Pereira, B.I., and Antonio, C.M. 2016. Phosphorus uptake and use efficiency of different cotton cultivars in savannah soil (Acrisol). *Acta Sci. Agron.* 38(2): 239-247.
41. Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. 2<sup>nd</sup> ed. Academic press London, UK. 889 pp.
42. Mengel, K., and Kirkby, E.A. 2001. Principles of plant nutrition. 5<sup>th</sup> ed. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 849 pp.
43. Moreira, A., Moraes, L.A.C., and Fageria, N.K. 2015. Variability on yield, nutritional status, soil fertility, and potassium-use efficiency by soybean cultivar in acidic soil. *Commun. Soil Sci. Plant Analys.* 46(19): 2490-2508.
44. Mulins, G.L., and Burmester, C.H. 2010. Relation of growth and development to mineral nutrition. Pp. 97-105. *In: J.M. Stewart et al. (eds.). Physiology of cotton.* Springer publications, N.Y. USA.
45. Mundim, G.B., and Viana, J.M.S. 2013. Genetic diversity and path analysis for nitrogen use efficiency in popcorn inbred lines. *Euphytica* 191:291-299.
46. Oosterhuis, D.M., Loka, D.A. and Raper, T.B. 2013. Potassium and stress alleviation: Physiological functions and management of cotton. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 176: 331-343.
47. Pan, X.W., Li, W.B., Zhang, Q.Y., Li, Y.H. and Liu, M.S. 2008. Assessment on phosphorus efficiency characteristics of soybean genotypes in phosphorus-deficient soils. *Agric. Sci. in China* 7: 958-969.
48. Pettigrew, W.T. 1999. Potassium deficiency increase specific leaf weight and leaf glucose levels in field-grown cotton. *Agron. J.* 91: 962-968.
49. Pettigrew, W.T. 2003. Relationships between insufficient potassium and crop maturity in cotton. *Agron. J.* 95: 1323-1329.
50. Pettigrew, W.T. 2008. Potassium influences on yield and quality production for

- maize, wheat, soybean and cotton. *Physiol. Plant.* 133: 670-681.
51. Pettigrew, W.T., Heitholt, J.J. and Meredith, Jr W.R. 1996. Genotypic interactions with potassium and nitrogen in cotton of varied maturity. *Agron. J.* 88: 89-93.
52. Reich, M., Aghajanzadeh, T., De Kok, L.J. 2014. Physiological basis of plant nutrient use efficiency - concepts, opportunities and challenges for its improvement. Pp. 1-27. *In: M.J. Hawkesford et al. (eds.), Nutrient use efficiency in Plants.* Springer.
53. Rengel, Z., and Damon, P.M. 2008. Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiol. Plant.* 133: 624-636.
54. Rengel, Z., and Graham, R.D. 1995. Wheat genotypes differ in Zn efficiency when grown in the chelate-buffered nutrient solution. I. Growth. *Plant and Soil* 176, 307-316.
55. Rengel, Z., and Marschner, P. 2005. Nutrient availability and management in the rhizosphere: exploiting genotypic differences. *New Phytol.* 168: 305-312.
56. Saykhula, A., Chatzistathisa, T., Chatzissavvdish, C., Koundourasc, S., Theriosa, I., and Dimassi, K. 2013. Potassium utilization efficiency of three olive cultivars grown in a hydroponic system. *Sci. Hort.* 162: 55-62.
57. Shah, J.A., Zia-ul-hassan, Rajpar, I., and Sial, M.A. 2014. Evaluating boron-use-efficiency of twenty cotton genotypes of Pakistan. *Pak. J. Agri. Agril. Engg. Vet. Sci.* 30:147-158.
58. Stewart, M., and Morgan, G.D. 2016. Impact of soil applied potassium on cotton yield and profitability. *Better crops* 100(3): 19-22.
59. Tupper, G.R., Calhoun, D.S., and Ebelhar, M.W. 1996. Sensitivity of early-maturing varieties to potassium deficiency. *Proceedings of Beltwide Cotton Production Research Conference*, 9-12 Jan. National Cotton Council of America: Nashville, TN. pp. 625-628.
60. Wang, L., and Chen, F. 2012. Genotypic variation of potassium uptake and use efficiency in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175: 303-308.
61. Wang, Y., and Wu, W.H. 2015. Genetic approaches for improvement of the crop potassium acquisition and utilization efficiency. *Curr. Opin. Plant Biol.* 25: 46-52.
62. White, P.J., Hammond, J.P., King, G.J., Bowen, H.C., Hayden, R.M., Meacham, M.C., Spracklen, W.P., and Broadley, M.R. 2010. Genetic analysis of potassium use efficiency in *Brassica oleracea*. *Ann. Bot.* 105: 1199-1210.
63. Wu, J. Zhang, X., Li, T., Yu, H., and Huang P. 2011. Differences in the efficiency of potassium (K) uptake and use in barley varieties. *Agric. Sci. Chin.* 10(1): 101-108.
64. Yang, F., Wang, G., Zhang, Z., Eneji, A.E., Duan, L., Li, Z., and Tian, X. 2011. Genotypic variations in potassium uptake and utilization in cotton. *J. Plant Nutr.*

- 34: 83-97.
65. Yang, X.E., Liu, J.X., Wang, W.M., Ye, Z.Q. and Luo, A.C. 2004. Potassium internal use efficiency relative to growth vigor, potassium distribution, and carbohydrate allocation in rice genotypes. *J. Plant Nutr.* 27: 837-852.
66. Zhang, Z., Tian, X., Duan, L., Wang, B., He, Z., and Li Z. 2007. Differential responses of conventional and Bt-transgenic cotton to potassium deficiency. *J. Plant Nutr.* 30: 659-670.
67. Zia-ul-hassan, Arshad, M., and Khalid, A. 2011. Evaluating potassium-use-efficient cotton genotypes using different ranking methods. *J. Plant Nutr.* 34: 1957-1972.
68. Zia-ul-Hassan, Kubar, K.A., Rajpar, I., Shah, A.N., Tunio, S.D., Shah, J.A., and Maitlo, A.A. 2014. Evaluating potassium-use-efficient of five cotton genotypes of Pakistan. *Pak. J. Bot.* 46: 1237-1242.