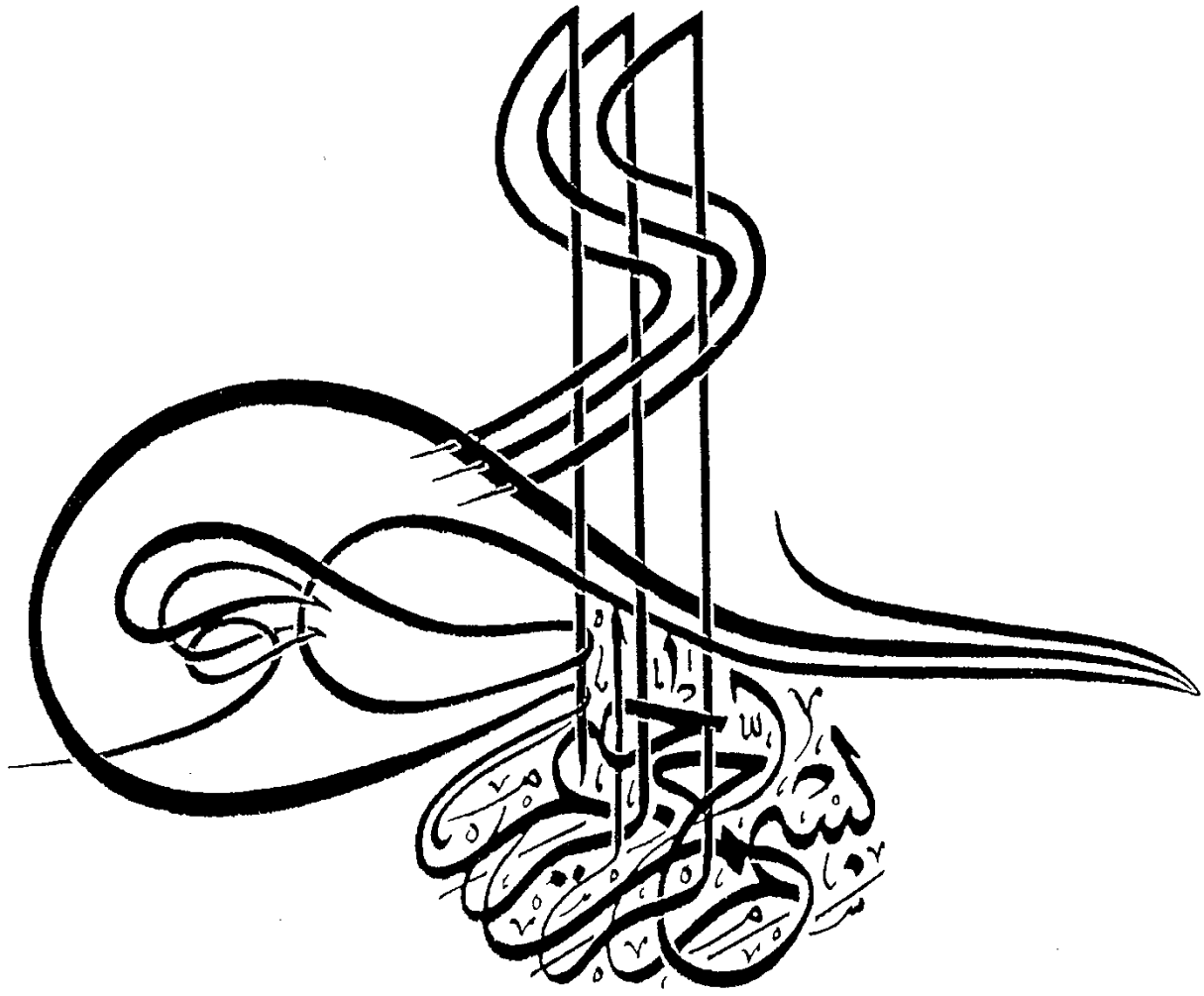
بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ های فسکیوی بلند و نتاج گزینش شده آنها از جوامع پلی کراس

پایان‌نامه کارشناسی ارشد اصلاح نباتات

مریم ابراهیمیان

اساتید راهنما

دکتر محمد مهدی مجیدی

دکتر آقافخر میرلوحی

۱۳۸۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی اصلاح نباتات مریم ابراهیمیان

تحت عنوان

بررسی تحمل به خشکی ژنوتیپ های فسکیوی بلند و نتاج گزینش شده آنها از جوامع پلی کراس

در تاریخ ۸۹/۱۲/۱۱ توسط کمیته‌ی تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمد مهدی مجیدی
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر آقافخر میرلوحی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	دکتر مهدی قیصری
۴- استاد داور	دکتر مهدی رحیم‌ملک
۵- استاد داور	دکتر جمشید رزمجو
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر احمد ریاسی

کلیه حقوق مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این رساله متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

فهرست مطالب ..... هشت
چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲
۱-۱ کلیات ۲
۱-۲ اهداف ۴

فصل دوم: بررسی منابع ۶
۲-۱ اهمیت گیاهان علوفه‌ای و گراس‌ها ۶
۲-۲ فسکیوی بلند (Tall fescue) ۷
۲-۲-۱ تاکسونومی و سیتوژنتیک ۷
۲-۲-۲ خصوصیات گیاهشناسی و پراکندگی جغرافیایی ۷
۲-۲-۳ سازگاری ۸
۲-۲-٤ ارقام رایج و متداول ۸
۲-۳ خشکی و آثار آن بر گیاه ۹
۲-۴ انتخاب و راهکارهای اصلاحی در شرایط تنش خشکی ۹
۲-۵ مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان زراعی ۱۰
۲-۵-۱ فرار از خشکی ۱۱
۲-۵-۲ اجتناب از خشکی ۱۱
۲-۵-۳ تحمل به خشکی ۱۲
۲-۶ شاخص‌های انتخاب برای مقاومت به خشکی ۱۲
۲-۷ مطالعه روابط صفات با تجزیه و تحلیل چند متغیره ۱۳
۲-۷-۱ همبستگی بین صفات و تجزیه و تحلیل ضرایب مسیر ۱٤
۲-۷-۱ رگرسیون گام به گام ۱٤
۲-۷-۲ تجزیه به عامل‌ها ۱۵

فصل سوم: مواد و روشها ۱۶
۳-۱ موقعیت جغرافیایی محل اجراء طرح ۱۶
۳-۲ مواد ژنتیکی، طرح آماری و نحوه اجرای طرح ۱۷
۳-۳ صفات مورد بررسی و نحوه اندازهگیری ۲۱
۳-۴ شاخص های تحمل وحساسیت به خشکی ۲۳
۳-۵ تجزیه وتحلیل های آماری ۲۵

فصل چهارم: نتایج و بحث ۲۸

۴-۱ آمار توصیفی، ضریب تغییرات فنوتیپی و ژنتیکی و قابلیت توارث‌پذیری عمومی ۲۸
۴-۲ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات زراعی و فنولوژیک ۳۳
٤-۲-۱ عملکرد علوفه خشک، عملکرد علوفه تر و درصد ماده خشک ۳٦
٤-۲-۲ نسبت برگ به ساقه ۵۰
٤-۲-۳ تعداد ساقه بارور و قطر یقه ۵۵
٤-۲-٤ ارتفاع بوته ٦۵
٤-۲-۵ طول برگ پرچم و عرض برگ پرچم ٦۷
٤-۲-٦ روز تا گرده‌افشانی ۷۱
۴-۳ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین صفات فیزیولوژیک ۷۴
٤-۳-۱ محتوای آب نسبی برگ برداشت اول و دوم ۷٤
٤-۳-۲ محتوای کلروفیل و کاراتنوئید ۷۵
٤-۳-۳ محتوای پرولین ۷۷
۴-۴ همبستگی بین صفات ۹۱
۴-۵ تجزیه رگرسیون مرحله‌ای ۱۰۱
۴-۶ تجزیه علیت (تجزیه ضرایب مسیر) ۱۰۳
۴-۷ تجزیه به عامل‌ها ۱۰۴
۴-۸ تجزیه خوشه‌ای ۱۱۲
٤-۸-۱ گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها براساس صفات مورفولوژیک ۱۱۲
٤-۸-۲ گروه‌بندی ژنوتیپ‌ها بر اساس صفات فیزیولوژیک ۱۱۲
۴-۹ شاخص های تحمل و حساسیت به خشکی در فسکیوی بلند ۱۲۰
٤-۹-۱ تجزیه واریانس و مقایسه میانگین شاخص‌ها ۱۲۰
٤-۹-۲ همبستگی بین شاخص‌ها ۱۲٦
٤-۹-۳ بررسی نمودار سه بعدی در شاخص‌ها ۱۳۱
٤-۹-٤ تجزیه به مولفه‌های اصلی و ترسیم بای‌پلات ۱۳٦
٤-۹-۵ تجزیه خوشه‌ای بر اساس شاخص‌ها ۱٤۱

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۱۴۵
۵-۱ نتیجه‌گیری ۱۴۵
۵-۲ پیشنهادها ۱۴۷
منابع ۱۴۹

چکیده

کمبود آب یکی از مهمترین عوامل محدود کننده در تولید محصولات زراعی در نواحی خشک و نیمه خشک دنیا است. عدم وجود منابع آب کافی برای تولید گیاهان علوفه ای بویژه گراس‌ها و حفظ کیفیت آنها یکی از بزرگترین محدودیت‌ها در مراتع کشور به شمار می رود. فسکیوی بلند یکی از گراس‌های سردسیری است که از تحمل به خشکی بالایی برخوردار است. اگرچه این گیاه در ایران پراکنش بالایی دارد ولی مطالعات اصلاحی اندکی بویژه در مورد تحمل به تنش خشکی در آن انجام شده است. این مطالعه با هدف بررسی تأثیر تنش خشکی و زمان گلدهی بر برخی صفات مورفولوژیک، فنولوژیک و فیزیولوژیک در۷۵ ژنوتیپ فسکیوی بلند (*Festuca arundinace*) (۲۵ ژنوتیپ زودرس و ۲۵ ژنوتیپ دیررس انتخاب شده از نتاج پلی‌کراس به همراه ۲۵ ژنوتیپ والدی) انجام شد. ژنوتیپ‌ها در دو محیط رطوبتی (تنش و عدم تنش) و در هر محیط بصورت طرح دوبار خرد شده برای سه گروه طی دو سال (۱۳۸۸ و ۱۳۸۹) در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در شرایط مزرعه، مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان دادکه تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کلیه صفات به جز دیرزیستی، روز تا خوشه‌دهی، روز تا گرده افشانی و طول برگ پرچم داشت. بین گروه‌ها از نظر صفات تعداد ساقه بارور، عرض برگ پرچم، روز تا گرده افشانی، درصد ماده خشک برداشت اول و دوم، عملکرد خشک رشد مجدد، نسبت برگ به ساقه، محتوای پرولین و کاراتنوئید اختلاف معنی‌داری مشاهده شد. نتایج نشان داد که گروه زودرس نسبت به والدین و گروه دیررس از عملکرد و نمود بهتری برخوردار بود. تفاوت بین ژنوتیپ‌ها برای کلیه صفات به غیر از محتوای آب نسبی برگ برداشت دوم و نسبت مجموع کلروفیل به کاراتنوئید معنی‌دار بود که حاکی از تنوع بالا از نظر صفات مختلف می‌باشد. از آنجایی که وراثت‌پذیری اکثر صفات نیز بالا بود می‌توان نتیجه گرفت که قسمت اعظم این تنوع احتمالاً مربوط به آثار ژنتیکی است. نتایج نشان داد عملکرد علوفه خشک با روز تا خوشه دهی و روز تا گرده افشانی همبستگی منفی و با ارتفاع بوته، قطر یقه، تعداد ساقه و بسیاری دیگر از صفات مورفولوژیک همبستگی فنوتیپی و ژنتیکی مثبت داشت بنابراین می‌توان با انتخاب غیر مستقیم به ژنوتیپ‌هایی با عملکرد مطلوب دست یافت. بر مبنای نتایج رگرسیون گام به گام، در شرایط عدم تنش رطوبتی تعداد ساقه و در شرایط تنش رطوبتی قطر یقه بیشترین تنوع عملکرد علوفه را توجیه نمودند و می توانند به عنوان یک شاخص در گزینش قابل توصیه باشند. تجزیه به عامل‌ها، برای کلیه صفات، در شرایط عدم تنش رطوبتی هشت عامل و در شرایط تنش رطوبتی هفت عامل پنهانی را مشخص نمود که بیش از ۸۰ درصد از تنوع موجود را توجیه نمودند. در هر دو محیط رطوبتی (تنش و عدم تنش) با استفاده از تجزیه خوشه‌ای ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا از سایر ژنوتیپ‌ها جدا شدند. در میان شاخص‌های مورد استفاده، شاخص تحمل به تنش و میانگین هندسی به عنوان بهترین شاخص‌ها برای گزینش بهترین ژنوتیپ‌ها، تحت شرایط تنش رطوبتی معرفی شدند. در نهایت نتایج نشان داد که تنوع ژنتیکی زیادی بین ژنوتیپ های مورد مطالعه برای تحمل به تنش خشکی وجود دارد و در هر گروه (زودرس، دیررس و والدین) می توان نسبت به شناسایی ژنوتیپ های برتر که بتوانند برای ایجاد واریته های ساختگی مناسب مورد استفاده قرار گیرند، اقدام کرد. .

کلمات کلیدی: فسکیوی بلند، تنش خشکی، زمان گلدهی، وراثت‌پذیری، شاخص تحمل به خشکی

فصل اول
مقدمه

۱-۱ کلیات

جمعیت جهان با سرعت قابل توجهی در حال افزایش است و انتظار می رود تا اواخر سال ۲۰۳۰ به ده میلیارد نفر برسد [٦٧]. از طرف دیگر عملکرد محصولات زراعی دراثر تنش های غیر زیستی مختلف کاهش می یابد. به این علت، کاهش عملکرد ناشی از تنش های غیر زیستی در همه کشورها مورد توجه قرار گرفته است و در بین تنش های غیر زیستی، خشکی مهمترین تنش است که رشد و تولید گیاهان زراعی را درسراسر جهان محدود می‌سازد [۱۱۳].

طبق برآورد آتلین و فری [۳۳] حدود ٢٦ درصد از زمین‌های قابل کشت دنیا در مناطق خشک قرار دارند. به علاوه، به دلیل گرم شدن کره زمین و نوسانات توزیع بارندگی ممکن است خطر قرار گرفتن گیاهان در معرض خشکی افزایش یابد. تقریباً همه گونه‌های گیاهی تحمل به تنش خشکی را نشان می‌دهند اما توانایی گونه‌ها و واریته‌های مختلف در این زمینه متفاوت است [۱۰۸].

به طور کلی مناطق خشک جهان در محدوده بین عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۰ درجه شمالی و جنوبی قرار دارند [١٦]. ایران با میانگین بارندگی ۲۵۲ میلیمتر و میزان تبخیر و تعرق شدید که ٦ درصد بیشتر از حد متعارف جهانی می‌باشد، جزء سرزمین های خشک دنیا محسوب می‌شود. ازطرفی خشکسالی‌هایی که تقریبا هر ۳۰ سال یک بار اتفاق می‌افتد چالش های جدی چون تخریب مراتع و کاهش شدید تولید در گیاهان زراعی از جمله گیاهان علوفه‌ای را برای کشور به دنبال دارد [٦].

کشت و تولید گیاهان علوفه‌ای به عنوان ماده اولیه در تامین مواد پروتئینی و لبنی در حفظ وسلامت و امنیت غذایی کشور و همچنین نیل به خودکفایی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است [۱٦]. گیاهان علوفه‌ای متداول در کشور عمدتاً شامل یونجه، اسپرس و شبدر می‌باشد که از لحاظ پروتئین، غنی هستند ولی مصرف آنها به تنهایی انرژی مورد نیاز دام را تأمین نمی‌کند به همین جهت، توسعه و ترویج کشت گراس-های علوفه‌ای به عنوان مکمل لگوم‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای در افزایش تولید فراورده‌های دامی خواهد داشت.از طرفی در شرایط ایران قسمت اعظم علوفه دامی از طریق مراتع و بخش کمتر آن از طریق زراعی حاصل می‌شود به عنوان مثال در ایران حدود ۹۰ درصد تولید گوشت قرمز وابسته به مراتع است. بنابراین مراتع کشور جهت تعلیف دام‌ها و همچنین به لحاظ تاثیرات حفاظتی برای آب، خاک و منابع ژنتیکی بسیار ارزشمند می‌باشند [۲٤]. نگاهی به وضع پوشش مراتع نشان می‌دهد که فراوانی گیاهان خانواده گندمیان در میان گیاهان مرتعی قابل توجه است. این گیاهان به دلیل دارا بودن مواد غذایی مناسب و بازدهی نسبتاً بالا در واحد سطح، علوفه خوبی تولید می‌کنند و از گیاهان خوب مرتعی به شمار می‌آیند [۳]. بنابراین نقش مهمی در میزان تولید مرتع و پایداری آنها دارند زیرا در موازنه نسبت انرزی به پروتئین نقش داشته و بیش از همه موجب مصرف نیتروژن تثبیت شده توسط لگوم‌ها می‌شوند [٥٦]. علاوه بر این گراس‌های علوفه‌ای و چمنی می‌توانند خاک را در مقابل فرسایش بادی و آبی حفظ کرده و موجب بهبود و تثبیت ساختمان خاک شوند. گراس‌های علوفه‌ای و چمنی برای ایجاد چمنزارها، پارک‌ها و مقاصد تفریحی و ورزشی نیز کاربرد دارند [۱٥]. در بین گراس‌های علوفه‌ای، فستوکا یک جنس بزرگ و متنوع با ٤٥۰ گونه می باشد. این جنس شامل گونه‌های چند ساله دارای محصول علوفه‌ای زیاد، مقاوم به تنش های محیطی و با سازگاری وسیع است که برای اهداف کشاورزی، حفاظت خاک و تولید علوفه مورد کشت و کار قرار می‌گیرد [۲۳]. در ایران گونه‌های مهم جنس فستوکا مانند فستوکا روبرا[۱]، فستوکا پراتنسیس[۲] ، فستوکا اوینا[۳] و فسکیوی بلند[٤] در مناطق مختلف رویش دارند. فسکیوی بلند از مهمترین گونه‌های این جنس در دنیا می‌باشد که به منظور تولید علوفه، حفاظت خاک و احداث چمن بکار می‌رود [۱۰۲]. بیشترین سطح زیر کشت . فسکیوی بلند در دنیا متعلق به ایالات متحده آمریکا است و در حدود ١٤ میلیون هکتار گزارش شده است [۱٤۳]. توسعه و کشت آن به دلیل چندین خصوصیت مطلوب شامل سازگاری با دامنه وسیعی از شرایط آب و هوا و خاک، عملکرد خوب علوفه، سهولت در استفاده از علوفه، فصل طولانی چرا، مقاومت به بسیاری از

۱– *Festuca rubra* L

۲ - *F. pratensis*

۳ - *F. ovina* L

٤ – *F. arundinacea* Schreb

تنش‌ها از جمله خشکی، مقاومت به بسیاری از بیماری‌ها و از جمله حشرات مضر، تولید بذر عالی، حفاظت از خاک و سایر موارد می‌باشد [۸۳، ۸٤ و ۱٤٤]. زراعت این گیاه در ایران مرسوم نیست ولی در مراتع سردسیر کشور از جمله دامنه‌های زاگرس و البرز، در استانهای آذربایجان، قزوین، تهران، همدان، لرستان، خراسان و فارس پراکنش دارد [۱۳۴]. همچنِن این گراس توانایی آن را دارد که به صورت مخلوط با سایر لگوم‌های علوفه‌ای به‌کار رود. از علوفه آن می‌توان به شکل چرای مستقیم، تولید علوفه خشک و نیز علوفه سیلو استفاده کرد [۱٤٤].

طی سال‌های گذشته ژرم پلاسم متنوعی از فسکیوهای داخل و خارج کشور در دانشگاه صنعتی اصفهان جمع‌آوری و تنوع ژنتیکی بین و درون آنها از طریق روشهای فنوتیپی و نشانگرهای مولکولی بررسی شده است. همچنین ژنوتیپ‌ها و والدین مناسب برمبنای ارزیابی‌های فنوتیپی و مولکولی انتخاب و پس از پلی-کراس و تشکیل جوامع نیمه خواهری، قابلیت ترکیب‌پذیری آنها (GCA) تعیین و مقدمات ایجاد واریته‌های ترکیبی پرتولید و نیز مناسب فراهم شده است[۲۲ و۱۱۵]. با این حال هیچ گونه اطلاعی در رابطه با میزان تحمل به خشکی والدین گزینش شده اولیه و نیز نتاج آنها در جوامع پلی‌کراس و ارتباط بین خصوصیات مهم تحت شرایط تنش در والدین و نتاج انتخابی آنها وجود ندارد. بر این اساس این پژوهش اهداف زیر را دنبال کرد:

۱-۲ اهداف

۱. ارزیابی ژنوتیپ‌های فسکیوی بلند تحت شرایط عادی و تنش خشکی براساس خصوصیات مورفولوژیک، زراعی و فیزیولوژیک و شناسایی والدین متحمل.

۲. گزینش ژنوتیپ‌های برتر (بر اساس عملکرد و خصوصیات فنوتیپی) درون نتاج پلی-کراس، گروه‌بندی فنولوژیک آنها و ارزیابی آنها تحت شرایط کم‌آبیاری.

۳. بررسی ارتباط بین خصوصیات مختلف تحت شرایط عادی وشرایط کم‌آبیاری در سه گروه والدین، زودرس و دیررس با استفاده از روشهای آماری پشرفته.

٤. شناسایی و معرفی ژنوتیپ های متحمل بر اساس شاخص‌های تحمل به تنش در والدین و هر یک از گروه‌های فنولوژیک نتاج.

فصل دوم
بررسی منابع

۲-۱ اهمیت گیاهان علوفه‌ای و گراس‌ها

اهمیت گیاهان علوفه‌ای درتعلیف دام، ودرنتیجه تامین نیاز انسان به فرآورده های دامی غیرقابل انکار است. دراکثرکشورهای جهان تحقیق درامرتولید علوفه ومدیریت وبهره‌برداری درمقایسه با تحقیق وپژوهش درزمینه سایر محصولات زراعی، مورد بی‌توجهی واقع شده است. کمبودکمی وکیفی علوفه باعث عدم تعادل بین دام ومرتع شده ودرنتیجه بخش وسیعی از پوشش گیاهی کشور را به نابودی کشانده است. ایران دارای ۹۰ میلیون هکتار مرتع است که بیشتر مراتع ایران به‌دلیل واقع شدن در مناطق خشک و نیمه‌خشک و چرای مفرط از نوع مرتع درجه سه می‌باشند. تخریب مراتع کشور با رشد شدیدی همراه است، در حالی که احیاء مراتع مشکل و از نظر اقتصادی پرهزینه است [۹۳].

گیاهان علوفه ای باداشتن برخی مزیت‌ها از قبیل تولید بهتر درشرایط نامساعد مانند اراضی شیب دار، تأثیر درحاصلخیزی خاک و مقاوم بودن نسبت به بسیاری از بیماری‌ها باید بیش از پیش مورد حمایت و تحقیق قرار گیرند. در این میان گراس‌های علوفه‌ای می‌توانند جایگاه خاصی داشته باشند. از دیدگاه کشاورزی پایدار، کشت و کار گراس‌های علوفه ای ضمن اینکه از هدر رفتن حاصلخیزی خاک توسط عمل فرسایش در اثر شستشو جلوگیری می کنند، هم‌زمان در تولید علوفه برای دام و متعاقب آن غذای پروتئینی انسان نقش ویژه‌ای دارند [۹۳].

گراس‌های علوفه‌ای را می‌توان براساس سازگاری به دو گروه اصلی ، تقسیم کرد. گراس‌های علوفه‌ای سردسیر مانند فسکیوی بلند (tall fescue) و بلوگراس (bluegrasses) که به آب و هوای سرد سازگار شده‌اند به طوری که در ماه‌های گرم به صورت محدودی رشد می‌کنند و گراسهای علوفه‌ای گرمسیر مانند گراس برمودا، (bermudagrass) گراس صدپا، (centipedegrass) و چمن خزنده (zoysiagrass) ،که بهترین رشد را در طول ماه‌های گرم تابستان دارند و در طول فصل سرد رشدشان متوقف می‌شود. بیشتر چمن‌ها جزء گراس‌های علوفه‌ای گرمسیر هستند. فسکیوی بلند و بلو گراس تنها گراس‌های علوفه‌ای سردسیر هستند که به عنوان چمن نیز استفاده می‌شوند [۱۵۷]. حساسیت بلو گراس به گرما باعث شده که برای خیلی از مناطق مناسب نباشد [۱٤۰] در حالی که فسکیوی بلند با دامنه سازگاری وسیع به عنوان پرکاربردترین گراس علوفه‌ای شناخته شده است [۱۲۹]

۲-۲ فسکیوی بلند (Tall fescue)

۲-۲-۱ تاکسونومي و سیتوژنتیک

گونه *F. arundinacea* معروف به فسکیوی بلند با نام فارسی علف برهنی، متعلق به جنس فستوکا[۱]، طایفه پوآ[۲] ۰(فستوسه[۳])، زیر خانواده پوئیده[٤] (فستوکوئیده[٥]) و خانواده پوآسه[٦] (گراس) می‌باشد [۵۹]. در این گونه، جمعیت‌های سیتوتیپ متفاوتی از تتراپلوئید تا دکاپلوئید وجود دارد. اما بیشترین اکوتیپ‌ها به شکل آلوهگزاپلوئید ٤۲ ۲X ۲n هستند. با استفاده از هیبریداسیون in situ ثابت گردید که گونه تتراپلوئید *F. arundinacea Var. glaucescens* در دو ژنوم (FgFg1) و گونه دیپلوئید *F. pratensis* در یک ژنوم (Fp) به صورت هیبرید طبیعی در ترکیب ژنتیکی این گونه مشارکت کرده و گونه آلوهگزاپلوئید *F. arundinacea* ($FpFpFgFgFg_1Fg_1$) را به جود آورده‌اند [۱۰٦].

۲-۲-۲ خصوصیات گیاهشناسي و پراکندگي جغرافیایي

فسکیوی بلند بومی اروپا است ولی به طور طبیعی در مناطقی از آفریقا، آمریکای شمالی و جنوبی،

۱- Festuca

۲- Poeae

۳- Festuceae

٤- Pooidea

٥- Festucoideae

٦- Poaceae

آسیای شرقی و جنوبی به وفور دیده می‌شود [۱۲۹]. پراکنش جغرافیایی بسیار وسیع این گیاه نشان دهنده قابلیت سازگاری و تنوع بسیار زیاد آن می‌باشد. وجود خودناسازگاری باعث ایجاد درجه بالایی از دگرگرده‌افشانی و آلوگامی و در نهایت تنوع و پتانسیل تغییر پذیری در فسکیوی بلند شده است.

هر بوته فسکیوی بلند ده‌ها تا صدها ساقه تولید می‌کند. گل‌آذین به صورت خوشه‌ای مرکب به طول ۱۰ تا ۳۰ سانتیمتر و هر شاخه گل دهنده دارای ۱۰ سنبلچه و در هر سنبلچه ۵-۳ گل وجود دارد [۹۴، ۱۲۱ و ۱۵۵]. فسکیوی بلند دارای سیستم ریشه‌ای عمیق و گسترده است که می‌تواند تا ۱/۵ متر در خاک فرو رود و در نتیجه علاوه بر ایجاد نفوذپذیری مناسب در خاک، هر ساله مقادیر زیادی ماده آلی از تجدید حیات سیستم ریشه‌ای باقی می‌گذارد [۱۱]. وزن هزار دانه آن حدود ۲ گرم و هکتولیتر آن ۱۸ کیلوگرم می‌باشد. دارای نمو طولانی است و در بهار، تابستان و پاییز محصول خوبی می‌دهد. کیفیت علوفه آن زمانی که برگهاجوان هستند خوب و به مرور زمان کاهش می‌یابد [۷۸].

۲-۲-۳ سازگاري

فسکیوی بلند دارای قابلیت خوب برای سازگاری با شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت می‌باشد. در محیط‌های بسیار سرد، که هیچ یک از گراس‌های علوفه‌ای گرمسیر نمی‌توانند رشد کنند، تا محیط‌های بسیار گرم، که هیچ یک از گراس‌های علوفه‌ای سردسیر نمی‌توانند زنده بمانند پراکنش دارد. خاک‌های کاملا رسی را به خوبی تحمل کرده و به دامنه وسیعی از اسیدیته خاک (از ۵/۵ تا ۷) سازگار می‌باشد. فسکیوی بلند بهترین رشد را در شرایط کاملا آفتابی خواهد داشت به شرط این که درجه حرات آنقدر شدید نباشد که موجب خشکی شود، با این وجود قادر است شرایط سایه را نیز به خوبی تحمل کند. درمورد تحمل به خشکی، این گونه از اکثر گراس‌های سرد سیر متحمل‌تر، اما از گراسهای گرمسیر ضعیف‌تر است. ولی در مجموع نیاز آبی کمی دارد تنها به اندازه‌ای که از پژمرده شدن و قهوه‌ای شدن در تابستان جلوگیری شود [۱۴۷].

۲-۲-۴ ارقام رایج و متداول

اولین ارقام علوفه‌ای فسکیوی بلند ارقام Alta و Kentucky31 بودند که به ترتیب در سالهای ۱۹۴۰ و ۱۹۴۳ و اولین ارقام چمنی فسکیوی بلند ارقام Rebel، Falcon و Olympic بودند که به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۱ و ۱۹۸۲ در ایالات متحده آمریکا آزاد شدند [۵۲]. در حال حاظر ارقام مختلفی از فسکیوی بلند در دست است و هر ساله ترکیبات جدیدی نیز از آنها تولید می‌شوند. ارقامی از فسکیوی بلند که اخیرا به طور موفقیت‌آمیز تولید شده‌اند شامل Dynasty ، Gala، سری‌های Rebel ، Falcon III، Falcon IV، Southeast و Padre می‌باشند. این ارقام تولید شده دارای رنگ تیره‌تر و رشد کمتری نسبت به ارقام اصلی

می‌باشند. به طور معمول بذر فسکیوی بلند به صورت ترکیبی از چند رقم به فروش می‌رسد. رقم کنتوکی ۳۱ (Kentucky 31)، یک رقم قدیمی از فسکیوی بلند است که بافتی بسیار خشن وزبر دارد. بوته آن انبوه است ولی به علت دوام و پایداری بسیار زیاد هنوز یک رقم متداول می‌باشد [۱۵۳].

۲-۳ خشکی و آثار آن بر گیاه

با توجه به اینکه بیش از ٦٠ درصد سطح کره زمین به مناطق خشک و نیمه خشک تعلق دارد [۸۵]، تحقیقات کشاورزی به خصوص در زمینه افزایش عملکرد در شرایط خشکی می‌تواند نقش مهمی از طریق توسعه فن‌آوری های جدید در بهبود امنیت غذایی ایفاء نماید [۱۳۳].

در مورد خشکی تعاریف مختلفی ارائه شده است. کرامر [۱۰۷] خشکی را به عنوان نبود یا کمبود رطوبت در مراحل حساس رشد گیاه تعریف نموده است. ویتز [۱۵۱] خشکی را دوره‌ای که کمبود آب چه به صورت حاد و چه به صورت مزمن رشد گیاه را تحت تاثیر قرار می‌دهد و مانع رشد طبیعی آن می‌شود، تعریف می‌نماید. خشکی در واقع یک رویداد هواشناختی است که با عدم وقوع بارندگی در یک دوره زمانی همراه می‌باشد، دوره‌ای که به اندازه کافی بلند است تا باعث تخلیه رطوبتی خاک و تنش کمبود آب همراه با کاهش پتانسیل آب در بافت های گیاهی گردد. اما از دیدگاه کشاورزی، خشکی عبارت است از ناکافی بودن مقدار و توزیع آب قابل استفاده در طی دوره رشد گیاه که این امر موجب کاهش بروز توان کامل ژنتیکی گیاه می‌گردد و گیاه را از رسیدن به حداکثر توان محصول دهی باز می‌دارد [۱۱۸]. کمبود آب زمانی در گیاه اتفاق می‌افتد که میزان تعرق و دفع آب بیش از جذب آن باشد. در اثر خشکی ایجاد شده، ترکیبی از عوامل فیزیکی و محیطی باعث تنش در داخل گیاه شده، در نهایت تولید را کاهش می-دهند [۵۵].

۲-۴ انتخاب و راهکارهای اصلاحی در شرایط تنش خشکی

اگر چه وراثت‌پذیری پایین و اثر متقابل بالای محیط و ژنوتیپ در مورد صفات کمی از جمله عملکرد باعث می‌شود که دستیابی به بهترین حالت از طریق انتخاب، دور از انتظار باشد ولی به طور معمول اصلاح گیاهان برای عملکرد بر اساس انتخاب صورت می‌گیرد [۳۳ و ٤١]. پر واضح است که داشتن اطلاعات فیزیولوژی و مولکولی گیاه به شناخت عوامل محدود کننده عملکرد کمک می‌کند [۵۳].

در شرایط تنش صفات ویژه‌ای به طور مستقیم یا غیر مستقیم عملکرد را تحت تاثیر قرار می‌دهند که از جمله این صفات می‌توان به سیستم ریشه‌ای، پتانسیل آبی برگ، پتانسیل آبی دمگل، تنظیم اسمزی و

محتوای آب نسبی برگ اشاره کرد [۹۷]. انتخاب براساس این صفات می‌تواند در نهایت باعث افزایش عملکرد در شرایط تنش شود. صفات مورد نظر باید دارای چند ویژگی باشند :

۱- تحت شرایط تنش با عملکرد همبستگی ژنتیکی داشته باشند.
۲- وراثت‌پذیری بالایی داشته باشند.
۳- پایدار و قابل اندازه‌گیری باشند.
۴- باعث کاهش عملکرد در شرایط عدم تنش، نشوند [٦٤].

بونز و همکاران [٤٧] نشان دادند که انتخاب بر اساس تولید ریشه عمیق در گیاه فسکیوی بلند می‌تواند در بهبود تحمل به خشکی بسیار موثر باشد. گزارشات اخیر نشان داد که گونه‌های متحمل به خشکی می‌توانند از دو طریق مانع اتلاف آب در شرایط کمبود شوند. یکی کاهش سطح برگ و دوم بستن روزنه‌ها [۱۰۹، ۳۱، ۱۰۹]. البته باید توجه داشت که این راهکارها بر روی بیومس گیاه تاثیر شدیدی نداشته باشند [۶۶]. کاندن و همکاران [٦٠] سه فرایند مهم در بهبود کارایی آب مصرفی در گیاهان زراعی را اینگونه توصیف کردند:

۱. افزایش جذب آب.
۲. افزایش تولید بیومس از طریق کنترل دفع آب.
۳. افزایش تولید محصول نهایی از طریق بهبود تولید بیومس.

در مجموع قابلیت تولید گیاهان بسیار متاثر از تنش‌های محیطی به ویژه کم‌آبی است. واکنش سلولی و مولکولی گیاهان به تنش بسیار پیچیده است که شامل دریافت پیام‌های محیطی وانتقال این پیام‌ها به سلول می‌شود [۳۰، ٤٨ و ۹۱]. به منظور بهبود تحمل به خشکی در گیاهان زراعی علاوه بر انتخاب، استفاده از روش‌های مولکولی مانند انتقال ژن مقاومت به خشکی می‌تواند بسیار مطلوب باشد [١٥٦] به عنوان مثال برای افزایش تحمل به خشکی فسکیوی بلند، به عنوان مهمترین گراس سردسیری ژن آرابیدپسیس DREB1A/CBF3 را همراه با پروموتور rd29A وارد ژنوم این گیاه کرده‌اند این انتقال باعث افزایش محتوای پرولین ودر نهایت تحمل به خشکی گردیده است [١٦١].

۲-۵ مکانیسم‌های مقاومت به خشکی در گیاهان زراعی

درک مکانیزم‌های مقاومت به خشکی در اصلاح گیاهان زراعی برای مناطق مستعد خشکسالی ضرورت دارد. اصلاح ژنتیکی عملکرد، تحت شرایط تنش، نیازمند تشخیص فرآیندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی مقاومت به خشکی به عنوان معیاری جهت انتخاب می‌باشد. ضمن اینکه اهمیت آگاهی از اثر

متقابل این مکانیزم‌ها در گیاه و نقش آنها در کارکرد کلی گیاه قابل توجه است. گیاهان جهت مقابله با خشکی ۳ استراتژی متفاوت را به کار می برند: [۱۳۰].

۱- فرار از خشکی[۱] ۲- اجتناب از خشکی[۲] ۳ - تحمل به خشکی[۳]

۲-۵-۱ فرار از خشکي

در فرار از خشکی گیاه درمراحل اولیه تنش به مرحله زایشی می رسد، یعنی در یک چرخه زندگی کوتاه، دانه تولید می‌کند. زودرسی معمول‌ترین و ساده‌ترین صفت برای اصلاح مقاومت به خشکی است. زودرسی این قابلیت را به گیاه می‌دهد که عملکرد خود را پیش از شروع خشکی ارائه نماید وقوع تنش خشکی باعث زودرسی نسبی می‌گردد. ژنوتیپ‌های زودرس که رشد سریعتری دارند، بیشتر آب‌های در دسترس را مصرف می‌کنند و لذا کمتر از ژنوتیپ‌های کند رشد و دیررس در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرند [۴۴]. استفاده از این مکانیسم بیشتر برای گیاهان بذری، در مناطقی که دوره خشکی با دوره دانه بندی گیاه مصادف می‌شود اهمیت دارد. در این شرایط کاشت ژنوتیپ‌های زودرس و یا تنظیم تاریخ کشت اجازه گریز از خشکی را به گیاه می‌دهد [۱۵۰]. ولی این مکانیسم در مورد گیاهان علوفه‌ای مانند فسکیوی بلند که عملکرد بوته‌ای هدف نهایی است ظاهرا نقش زیادی ندارد.

۲-۵-۲ اجتناب از خشکي

برخی از گیاهان زراعی با افزایش جذب رطوبت از خاک و یا محدود کردن هدر رفت آب از طریق حفظ آب‌گیری سلولی، علی‌رغم کاهش در پتانسیل آب گیاه، از خشکی اجتناب می کنند [۴۴]. در واقع اجتناب از خشکی ممکن است نتیجه به حداکثر رساندن جذب آب از طریق افزایش رشد ریشه و یا به حداقل رساندن کاهش آب از طریق بسته شدن روزنه‌ها، کرک‌های گیاهی، کاهش سطح برگ، پیری برگ‌های مسن‌تر و غیره باشد [۷۱]. مطالعات روی مقاومت به خشکی گراس‌های علوفه‌ای نشان داد که فسکیوی نقره‌ای (*Festuca Ovina*) به علت داشتن ریشه‌های بلند و جذب آب از لایه‌های عمیق خاک، و نیز چمن خزنده (Zoysia japonica) با توانایی در کاهش سرعت تبخیر نسبت به جذب آب، از گراس‌های علوفه‌ای بسیار مقاوم نسبت به خشکی محسوب می‌شوند [۱۶۲].

۱- Drought Escaping

۲- Drought Avoidance

۳- Drought Tolerance

۲-۵-۳ تحمل به خشکی

مکانیسم‌هایی نظیر تنظیم اسمزی که به موجب آن گیاه فشار تورژسانس سلول‌ها را تحت شرایط کاهش پتانسیل آب خاک حفظ می‌کند، به عنوان مکانیسم های تحمل به خشکی شناخته شده‌اند [۱۳۰]. به نظر بلوم [٤٥] تنظیم اسمزی به‌علت افزایش مواد محلول داخل سلول، و نه از طریق کاهش مقدار آب سلول می‌باشد [۹۰].

۲-۶ شاخص‌های انتخاب برای مقاومت به خشکی

اصلاح برای تحمل به تنش خشکی همواره با مشکلات خاص خود مواجه بوده است که از بزرگترین آنها پیچیدگی صفت تحمل به تنش خشکی و عدم وجود معیارها و روش‌های موثر برای گزینش ژنوتیپ-های متحمل می‌باشد. هال [۸۱] اندازه‌گیری مقاومت به خشکی را با مقایسه ارتباط عملکرد یک ژنوتیپ در شرایط مساعد با عملکرد همان ژنوتیپ در شرایط خشکی تعریف کرد. بلوم [٤٤] اظهار داشت که حساسیت به خشکی بهتر است به عنوان تابعی از کاهش در عملکرد تحت تنش خشکی اندازه‌گیری شود. تعدادی از محققین اعتقاد به انتخاب تحت شرایط مساعد را دارند [٤٠، ۱۳۵ و ۱٤۹] و عده‌ای نیز انتخاب تحت شرایط تنش را پیشنهاد کردند [٥٤ و ۷٥]. در حالی که تعداد زیادی از محققین راه میانه را در پیش گرفتند واعتقاد به انتخاب تحت هردو شرایط تنش و غیر تنش را دارند [٥۰، ٥۸، ٦۸ و ۷۰]. این انتخاب به وسیله تعدادی شاخص انتخاب، که براساس یک سری روابط ریاضی بین شرایط تنش و عدم تنش برقرار می‌گردد، صورت می پذیرد. متخصصین فیزیولوژی معتقدند برای بازدهی بیشتر در اصلاح ارقام متحمل به خشکی باید شاخص‌هایی را که در شناسایی پایداری عملکرد ارقام در شرایط تنش موثرند شناسایی نموده وآنها را علاوه بر عملکرد به عنوان معیارهای انتخاب مورد استفاده قرارداد. به طور کلی ارقامی که برای عملکرد بالا در شرایط عادی(بدون تنش) انتخاب شده‌اند ممکن است در شرایط تنش عملکرد مناسبی نداشته باشند در حقیقت یک رقم متحمل به تنش را باید در شرایط تنش ارزیابی و سپس انتخاب نمود [٦٥].

شاخص‌های متعددی برای انتخاب ژنوتیپ‌ها بر مبنای وضعیت عملکرد آنها در محیط‌های دارای تنش و بدون تنش پیشنهاد شده است که بر مبنای آنها ژنوتیپ‌های دارای وضعیت یکنواخت در شرایط بدون تنش و تنش شناسایی می‌شوند. حساسیت به خشکی یک ژنوتیپ معمولا براساس میزان کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی برآورد می شود [٤٦]. بر همین اساس فیشر شاخص حساسیت به تنش (SSI[۱]) را پیشنهاد کرد، و نشان داد که این شاخص مستقل از عملکرد بالاقوه نیست [۷۰]. رزیل و هالمبین [۱۳٦]

[۱]-Stress susceptibility index

شاخص تحمل (TOL[۱]) را به صورت اختلاف عملکرد محیط تنش و بدون تنش تعریف کردند وشاخص دیگر را به صورت میانگین حسابی عملکرد (MP[۲]) در دو محیط تنش و عدم تنش پیشنهاد نمودند. ارقامی که در شرایط با رطوبت مناسب و نیز در شرایط کم آبیاری عملکرد با ثبات‌تری داشته باشند و یا به عبارت دیگر تفاوت عملکرد آنها در هر دو شرایط حداقل باشد، تحمل نسبی بیشتری به خشکی خواهند داشت. فرناندز [٦٨] با بررسی عملکرد در دو محیط تنش و بدون تنش ارقام لوبیا را از نظر واکنش به دو محیط، به ٤ گروه تقسیم کرد:

گروه A- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در هر دو محیط تنش و عدم تنش.

گروه B- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط عدم تنش.

گروه C- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد بالا در محیط تنش.

گروه D- ژنوتیپ‌های دارای عملکرد پایین در هر دو محیط تنش و عدم تنش.

انتخاب بر اساس شاخص SSI سبب گزینش ژنوتیپ‌هایی با عملکرد بالا در شرایط تنش می‌شود، در حالی که ممکن است ژنوتیپ‌های انتخاب شده، در شرایط عدم تنش دارای عملکرد بالا یا پایین باشند. بنابراین این شاخص قادر به تفکیک گروه A از گروه C نمی‌باشد. در این راستا فرناندز [٦٨] برای شناسائی ارقام گروه A شاخص تحمل به تنش (STI[۳]) را ارائه نمود. همچنین وی اظهار داشت که مناسب‌ترین معیار انتخاب برای تنش شاخصی است که قادر به تشخیص گروه A از سایر گروه‌ها باشد. مقدار بالای این شاخص برای ژنوتیپ نمایان‌گر تحمل به خشکی بهتر و عملکرد بالقوه بیشتر آن ژنوتیپ است.

فرناندز [٦٨] با توجه به این که شدت تنش خشکی در سال‌های مختلف متفاوت است، جهت تعیین میزان مقاومت ژنوتیپ‌ها به تنش از میانگین هندسی (GMP[٤]) ژنوتیپ‌ها در دو محیط استفاده کرد. میانگین هندسی حساسیت کمتری به اختلاف بین عملکرد در شرایط دیم و آبی دارد. لذا میانگین هندسی برای جدا کردن ژنوتیپ‌هایی که در هر دو محیط عملکرد برتری دارند، شاخص بهتری نسبت به شاخص‌های TOL و شاخص متوسط محصول‌دهی (MP) است.

۲-۷ مطالعه روابط صفات با تجزیه و تحلیل چند متغیره

علوم کشاورزی با موجود زنده در ارتباط است که طبیعتاً صفات مختلف برهم کنش ویژه‌ای را در شرایط آب و هوائی متفاوت دارا می‌باشند. بعنوان مثال مقاومت گیاه به شرایط تنش محیطی در نتیجه

۱-Tolerance index

۲-Mean productivity

۳ - Stress tolerance index

٤- Geometric mean productivity

هماهنگی و ارتباط بین قسمتهای مختلف گیاه صورت می‌گیرد. هدف کلی از تجزیه چند متغیره، در نظر گرفتن همزمان چندین متغیر است که با یکدیگر در ارتباط بوده و هر یک از آنها در ابتدای تجزیه داده‌ها از نظر محقق دارای اهمیت یکسان می‌باشد [۹۸]. برخی از روش‌های معمول تجزیه و تحلیل چند متغیره مورد استفاده در کشاورزی در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۷-۱ همبستگي بين صفات و تجزيه و تحليل ضرايب مسير

برای رسیدن به اهداف مطلوب در برنامه‌های به‌نژادی، شناخت ویژگی‌های ژنتیکی صفات و روابط و نحوه تأثیر گذاری آن‌ها بر یکدیگر یکی از مبانی تصمیم‌گیری در مورد طراحی و اجرای روش‌های مختلف اصلاحی می‌باشد. بررسی چگونگی ارتباط بین صفات به‌وسیله محاسبه ضرایب همبستگی ساده و همچنین تجزیه ضرایب مسیر است که بیشتر با استفاده از رگرسیون چند متغیره انجام می‌گیرد. این روش امکان آزمون روابط علّی بین دو یا چند متغیر را فراهم می‌کند، که ممکن است به صورت مستقل، وابسته، گسسته یا پیوسته، پنهان یا آشکارا، در یک معادله خطی بکار روند. در واقع تحلیل مسیر مشخص می‌کند که هر متغیر مستقل تا چه حد بر روی متغیر وابسته بطور مستقیم و غیر مستقیم اثر دارد، بنابراین با استفاده از تحلیل مسیر می‌توان اثر مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای مستقل بر متغیرهای وابسته را محاسبه کرد [۹۸]. تجزیه ضرایب مسیراز این نظر که ماهیت واقعی ارتباط بین صفات را آشکار می‌سازد، بسیار مفید می‌باشد [۳۶] مزیت اصلی تجزیه ضرایب مسیر بر ضرایب همبستگی این است که می‌تواند اثر مستقیم هر جزء عملکرد و همچنین اثرها غیر مستقیم آن را از طریق دیگر صفات جدا نماید. از این جهت در مطالعات مختلف برای تشخیص مهمترین جزء مؤثر بر عملکرد از آن استفاده می‌شود. همچنین این نتایج می‌تواند در هنگام تصمیم‌گیری برای تعریف یک شاخص انتخاب مناسب برای گزینش ژنوتیپ‌های برتر استفاده شود. ترنس پوآل [۱۴۵] با مطالعاتی که روی اسپرس در شرایط تنش خشکی انجام داد، نشان داد تنش خشکی به طور مستقیم روی قابلیت هضم و به طور غیر مستقیم روی نسبت برگ به ساقه و زمان رسیدگی تاثیر می‌گذارد. مطالعات تجزیه علیت در شرایط خشکی روی شبدر قرمز و ایرانی نشان داد که حاصلخیزی خاک مهمترین عامل روی عملکرد دانه می‌باشد . نیز خشکی در زمان تشکیل بذر بیشترین خسارت را بر عملکرد دانه وارد می کند [۹۲].جعفری و گودرزی [۴] با مطالعه روی یونجه نشان دادند ارتفاع بوته وتعداد ساقه تاثیر مستقیم و مثبت، تاریخ گلدهی تاثیر غیر مستقیم و منفی بر عملکرد علوفه دارد.

۲-۷-۱ رگرسیون گام به گام

وقتی تعداد متغیرهای مستقل زیاد باشد، برای پیدا کردن معادله رگرسیون روش‌های متعددی وجود خواهد داشت. ولی متداول‌ترین روش، روش گام به گام است. در این روش متغیرها بر اساس نظم تعیین

شده که محقق آن را مشخص می‌کند یکی پس از دیگری وارد معادله رگرسیون می‌شوند. بدین ترتیب که ابتدا مهم‌ترین عامل رگرسیون که باعث افزایش هرچه سریعتر ضریب تبیین می‌شود، وارد معادله رگرسیون گردد، به همین ترتیب متغیر بعدی تعیین می‌گردد [۹۸]. بهشتی و بهبودی‌فرد [۳۹] با مطالعاتی که در شرایط خشکی روی سورگوم انجام دادند، با استفاده از رگرسیون مرحله‌ای نشان دادند که عملکرد دانه به طور شایسته‌ای (R^2=٪۹۹) به وسیله عملکرد بیولوژیک و شاخص‌های برداشت پیشگویی می‌شوند.

۲-۷-۲ تجزیه به عامل‌ها

تجزیه به عامل‌ها یکی از روش‌های آماری چند متغیره است که بین مجموعه فراوانی از متغیرها که به ظاهر بی‌ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. این روش مختص موضوعاتی با داده‌های انبوه است، زیرا تحلیل جداول عددی بزرگ با روش آمار کلاسیک که تا کنون مورد مطالعه قرار گرفته، ساده نیست. بنابراین، برای تحلیل چنین داده‌هایی روش تجزیه به عامل‌ها را به‌کار می‌برند که توان کافی برای تجزیه و تحلیل داده‌های انبوه را دارد [۹۸].

تجزیه به عامل‌ها بر این فرض مبتنی است که متغیرهای مشاهده شده (اندازه‌گیری شده)، ترکیب‌های خطی از متغیرهای فرضی (با عامل‌های) زیربنایی‌تر هستند؛ یعنی وجود یک مجموعه از عامل‌های زیربنایی و یک مجموعه از متغیرهای مشاهده شده، مفروض گرفته می‌شود. بین این دو مجموعه یک رابطه خاص وجود دارد و روش تجزیه به عامل‌ها این رابطه را بکار می‌گیرد تا به استنباطی درباره آن عامل‌ها برسد[منصورفر، روش‌های پیشرفته آماری]. تجزیه به عامل‌ها نوعی روش آماری است که هدف کاربردی آن، ارائه مجموعه‌ای از متغیرها بر حسب تعداد کمتری از متغیرهای فرضی است. به بیان دیگر، در تحلیل عاملی تعداد زیادی از متغیرها بر حسب تعداد کمی از ابعاد یا سازه‌ها بیان می‌شود. این سازه، فاکتور یا عامل نامیده می‌شود. یکی از اهداف اصلی تکنیک تحلیل عاملی، کاهش ابعاد داده‌هاست، یعنی کاهش دهنده تعداد متغیرها است [۹۸]. از تجزیه به عاملها در بررسی رابطه عملکرد و اجزای عملکرد روی ماشک استفاده شد و ۱۳ متغیر، در نوع بهاره به ۴ متغیر و در نوع پاییزه به ۹ متغیر در اولین عامل کاهش یافت [۹۰].