فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول- مقدمه

۱-۱ کلیات ۶

فصل دوم- بررسی منابع

۲-۱ گیاه شنبلیله ۹

۲-۱-۱ معرفی ۹

۲-۱-۲ تاریخچه ۱۰

۲-۱-۳ گیاه‌شناسی ۱۰

۲-۱-۴ نیازهای اکولوژیکی ۱۱

۲-۱-۵ ترکیبات شیمیایی موجود در برگ و بذر ۱۲

۲-۱-۶ خواص دارویی ۱۳

۲-۱-۷ سایر مصارف گیاه شنبلیله ۱۴

۲-۲ تنش خشکی ۱۵

۲-۲-۱ تعریف و اهمیت ۱۵

۲-۲-۲ عکس‌العمل گیاهان در برابر تنش خشکی ۱۶

۲-۲-۳ انتخاب منابع متحمل به خشکی ۱۸

۲-۲-۴ اثرات تنش خشکی بر گیاهان دارویی ۱۹

۲-۲-۴-۱ مرحله جوانه‌زنی ۱۹

۲-۲-۴-۲ رشد رویشی و زایشی ۲۳

۲-۳ جذب عناصر در گیاه ۲۷

۲-۴ شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ۳۱

۲-۴-۱ شاخص تحمل ۳۱

۲-۴-۲ شاخص میانگین تولید ۳۲

۲-۴-۳ شاخص میانگین هندسی تولید ۳۲

۲-۴-۴ شاخص تحمل تنش ۳۳

۲-۴-۵ شاخص حساسیت به تنش ۳۳

فصل سوم- مواد و روش‌ها

۳-۱ آزمایش جوانه‌زنی ۳۶

۳-۲ آزمایش مزرعه‌ای ۳۷

۳-۲-۱ ویژگی‌های جغرافیایی محل و زمان اجرای آزمایش ۳۷

۳-۲-۲ طرح آزمایش و عملیات زراعی ۳۷

۳-۲-۳ صفات مورد اندازه‌گیری در آزمایش مزرعه‌ای ۳۸

۳-۳ اندازه‌گیری عناصر در گیاه ۳۸

۳-۳-۱ عصاره‌گیری ۳۸

۳-۳-۲ اندازه‌گیری پتاسیم اندام هوایی ۳۹

۳-۳-۳ اندازه‌گیری کلسیم اندام هوایی به روش کمپلکسومتری ۳۹

عنوان صفحه

۳-۳-۴ اندازه‌گیری مجموع کلسیم و منیزیم اندام هوایی به روش کمپلکسومتری ۳۹
۳-۴ محاسبات آماری ۴۰
۳-۴-۱ تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین‌ها ۴۰
۳-۴-۲ محاسبه شاخص‌های تحمل به خشکی ۴۰
۳-۴-۳ محاسبه همبستگی‌ها ۴۰
۳-۴-۴ رسم نمودارهای سه بعدی ۴۰
۳-۴-۵ تجزیه به مؤلفه‌های اصلی ۴۰
۳-۴-۶- تجزیه خوشه‌ای ۴۰

فصل چهارم- نتایج و بحث

۴-۱ آزمایش جوانه‌زنی ۴۱
۴-۱-۱ درصد جوانه‌زنی ۴۲
۴-۱-۲ سرعت جوانه‌زنی ۴۲
۴-۱-۳ طول ساقه‌چه ۴۴
۴-۱-۴ طول ریشه‌چه ۴۵
۴-۱-۵ وزن خشک گیاهچه ۴۶
۴-۱-۶ بررسی همبستگی بین صفات در آزمایش جوانه‌زنی ۵۰
۴-۲ صفات مورد بررسی در آزمایش مزرعه‌ای ۵۱
۴-۲-۱ روز تا گل‌دهی ۵۱
۴-۲-۲ روز تا رسیدگی ۵۱
۴-۲-۳ ارتفاع بوته ۵۲
۴-۲-۴ تعداد انشعاب اولیه ۵۳
۴-۲-۵ تعداد غلاف در بوته ۵۳
۴-۲-۶ تعداد دانه در غلاف ۵۴
۴-۲-۷ تعداد دانه در بوته ۵۵
۴-۲-۸ وزن هزار دانه ۵۵
۴-۲-۹ عملکرد دانه در بوته ۵۶
۴-۲-۱۰ عملکرد بیولوژیک ۵۷
۴-۲-۱۱ عملکرد دانه ۵۹
۴-۲-۱۲ بررسی همبستگی بین صفات در آزمایش مزرعه‌ای ۶۶
۴-۳ میزان عناصر (کلسیم، منیزیم، پتاسیم) در گیاه ۶۹
۴-۳-۱ غلظت کلسیم در اندام هوایی ۶۹
۴-۳-۲ غلظت منیزیم در اندام هوایی ۶۹
۴-۳-۳ غلظت پتاسیم در اندام هوایی ۷۰
۴-۳-۴ بررسی همبستگی عناصر ۷۱
۴-۴ شاخص‌های تحمل به خشکی ۷۵
۴-۵ نمودار سه بعدی ۷۹

عنوان صفحه

۴-۶ نمودار بای‌پلات ۸۳
۴-۷ نمودار درختی توده‌ها ۸۷
۴-۸ نتیجه‌گیری ۹۰
۴-۹ پیشنهادات ۹۲
منابع ۹۳

فهرست جدول‌ها

عنوان صفحه

جدول ۳-۱: نام توده‌ها و منشأ آن‌ها ۳۵
جدول ۴-۱: تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش جوانه‌زنی ۴۷
جدول ۴-۲: مقایسه میانگین صفات جوانه‌زنی برای شش توده شنبلیله در چهار سطح خشکی ۴۸
جدول ۴-۳: مقایسه میانگین اثر متقابل سطوح تنش و توده در آزمایش جوانه‌زنی ۴۹
جدول ۴-۴: ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی توده‌های شنبلیله در آزمایش جوانه‌زنی ۵۰
جدول ۴-۵: تجزیه واریانس صفات اندازه‌گیری شده در آزمایش مزرعه‌ای ۶۱
جدول ۴- ۶: مقایسه میانگین صفات مورد بررسی در شش توده شنبلیله تحت تیمارهای تنش خشکی در آزمایش مزرعه‌ای ۶۳
جدول ۴-۷: مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و توده در آزمایش مزرعه‌ای ۶۵
جدول ۴-۸: ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی توده‌های شنبلیله در آزمایش مزرعه‌ای ۶۸
جدول ۴-۹: نتایج تجزیه واریانس اثر خشکی بر روی مقادیر عناصر در اندام هوایی شنبلیله ۷۲
جدول ۴-۱۰: مقایسه میانگین مقادیر عناصر برای شش توده شنبلیله تحت تیمارهای تنش خشکی..... ۷۳
جدول ۴-۱۱: مقایسه میانگین اثر متقابل خشکی و توده بر مقادیر عناصر در گیاه شنبلیله ۷۴
جدول ۴-۱۲: برآورد مقادیر شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش بر اساس میانگین عملکرد توده‌ها در آزمایش مزرعه‌ای ۷۷
جدول ۴-۱۳: ضرایب همبستگی بین شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش و عملکرد توده‌ها در آزمایش مزرعه‌ای ۷۸
جدول ۴-۱۴: نسبت واریانس توجیه شده، واریانس توجیه شده تجمعی، مقادیر ویژه و بردارهای ویژه (ضرایب) شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ۸۵
جدول ۴-۱۵: ضرایب همبستگی هر یک از مؤلفه‌ها با شاخص‌های تحمل و حساسیت به تنش ۸۵

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۴-۱: اثر متقابل تنش خشکی و توده بر عملکرد بیولوژیک در گیاه شنبلیله ۵۸
شکل ۴-۲: اثر متقابل تنش خشکی و توده بر عملکرد دانه در گیاه شنبلیله ۶۰
شکل ۴-۳: نمودار سه بعدی عملکرد دانه در محیط تنش (Y_S)، بدون تنش (Yp) و شاخص میانگین بهره‌وری (MP) برای شش توده شنبلیله ۸۰
شکل ۴-۴: نمودار سه بعدی عملکرد دانه در محیط تنش (Y_S)، بدون تنش (Yp) و شاخص میانگین هندسی بهره‌وری (GMP) برای شش توده شنبلیله ۸۱
شکل ۴- ۵: نمودار سه بعدی عملکرد دانه در محیط تنش (Y_S)، بدون تنش (Yp) و شاخص تحمل تنش (STI) برای شش توده شنبلیله ۸۲
شکل ۴-۶: نمودار چند متغیره بای‌پلات بر اساس دو مؤلفه اول و دوم و نحوه پراکنش شش توده شنبلیله ۸۶
شکل ۴-۷: دندروگرام بر مبنای ۱۴ صفت مورد بررسی مربوط به شش توده شنبلیله ۸۸
شکل ۴-۸: دندروگرام حاصل از شاخص‌های MP، GMP و STI مربوط به شش توده شنبلیله..... ۸۹

فصل اول

مقدمه

۱-۱- کلیات

خشکی مهم‌ترین تنش محیطی است که در عملکرد گیاهان زراعی مؤثر می‌باشد (حسنی و همکاران، ۱۳۸۲ و جی و همکاران، ۲۰۰۵). از کل مساحت دنیا حدود ۲۴/۲ درصد پتانسیل کشت را دارند اما فقط ۱۰/۶ درصد از این مناطق زیر کشت هستند (سینگ، ۲۰۰۵). اصولاً تنش خشکی در کشاورزی به شرایط کم آبی گفته می‌شود که در نتیجه آن عملکرد کمتر از حدی است که در شرایط مطلوب آب پیش‌بینی می‌شود (کوچکی و نصیری محلاتی، ۱۳۷۳). به طور کلی تنش رطوبتی زمانی اتفاق می‌افتد که میزان آب از دست رفته توسط تعرق بیشتر از آب جذب شده توسط ریشه باشد (تدین، ۱۳۸۸). خشکی به عنوان یکی از عوامل مهم تنش‌های محیطی است که در ۲۵ تا ۲۶ درصد از اراضی زیر کشت اتفاق می‌افتد (حسنی و همکاران، ۱۳۸۲). ایران یکی از مناطق خشک به شمار می‌آید و نیمی از مساحت کشور جزء مناطق نیمه‌خشک جهان به حساب می‌آید (آذرنیوند و جوادی، ۱۳۸۲). با توجه به اینکه موقعیت ایران از نظر اقلیمی در منطقه خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و وجود بحران آب در این مناطق، مسئله‌ساز می‌باشد، انتخاب گیاهان سازگار به این شرایط از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که لازمه آن کاشت گیاهان مقاوم به خشکی با نیاز آبی کم می‌باشد (صفرنژاد، ۱۳۸۲).

شناسایی و کاشت گیاهان مقاوم به خشکی با پتانسیل عملکرد بالا از اهمیت زیادی برخوردار است (گل پرور و همکاران، ۱۳۸۳). در این زمینه تعیین گیاهان دارویی متحمل به خشکی علاوه بر این خصوصیت و به لحاظ ارزش دارویی و اقتصادی حائز اهمیت می‌باشند. همچنین این گیاهان می‌توانند از لحاظ صادراتی قابل تأمل باشند (صمصام شریعت، ۱۳۷۴ و امیدبیگی، ۱۳۸۷). عمده‌ترین تأثیر تنش خشکی بر گیاهان دارویی به طور معمول جلوگیری از رشد گیاه و کاهش مواد مؤثره این گیاهان می‌باشد (جودی و همکارن، ۱۳۸۳).

اصلاح‌گران نبات برای دستیابی به نمونه‌های ژنتیکی متحمل به دنبال تنوع ژنتیکی در منابع ژنی محصولات می‌باشند. توده‌ها منابع مهم ژنتیکی برای بهبود محصولات در مناطق خشک هستند. زیرا آن‌ها مجموعه‌ایی از سازگاری‌ها به شرایط ناملایم را در طی مدت زمان طولانی کسب کرده‌اند. همچنین جمع‌آوری و تعیین صفات مختلف فیزیولوژیکی و آگرونومیکی توده‌ها، از مراحل اولیه در برنامه‌های اصلاح گیاه می‌باشد (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۲۰۰۹).

اعتقاد به خواص دارویی گیاهان در بین ملل مختلف اعتقادی دیرپاست و جوامع مختلف بسته به نوع نگرش به این مقوله، تاکنون از فواید آن بهره برده‌اند. در قرن حاضر تحقیقات گسترده‌ای بر روی گیاهان دارویی انجام گرفته و داروهای با ماده مؤثره طبیعی افق‌های جدیدی را برای جامعه پزشکان و داروسازان پژوهشگر گشوده است، به طوری که در حال حاضر حدود یک سوم داروهای مورد استفاده در جوامع انسانی را داروهای با منشأ طبیعی و گیاهی تشکیل می‌دهند و تلاش جهانی صنایع دارویی بر این متمرکز است که ساخت شیمیایی اقلام مربوط به دو سوم داروها به تدریج تقلیل و با منابع گیاهی جایگزین شوند (امیدبیگی، ۱۳۷۴).

اگرچه تا کنون تحقیقات وسیعی در رابطه با اثر خشکی بر محصولات زراعی انجام گرفته است اما در مورد گیاهان دارویی و معطر تحت شرایط کمبود آب مطالعات جامعی انجام نشده است. بنابراین برای درک موجودیت و ادامه حیات گیاهان دارویی در نواحی خشک، ارزیابی عملکرد و تعیین شرایط بهینه برای کشت آن‌ها نیاز به اطلاعات بیشتری در مورد عکس‌العمل آن‌ها به کمبود آب وجود دارد (لچامو و گوسلین، ۱۹۹۶). بنابراین تحقیق حاضر با توجه به اهداف زیر صورت گرفت:

۱- بررسی تنش خشکی ناشی از پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) بر سرعت و میزان جوانه‌زنی توده‌های مختلف گیاه دارویی شنبلیله.

۲- مقایسه توده‌های مختلف شنبلیله از نظر، عملکرد و خصوصیات مرتبط به آن در شرایط معمول و تنش خشکی در مزرعه.

۳- تعیین توده‌های حساس و متحمل به خشکی در گیاه شنبلیله.

فصل دوم

بررسی منابع

خشکی از عوامل کاهش محصولات زراعی در سراسر جهان به حساب می‌آید. با توجه به وسعت نگران کننده مناطق خشک و نیمه خشک در ایران (۹۰٪ کل مساحت کشور) و همچنین کاهش یافتن دسترسی به منابع آب، بایستی تمهیدات مناسبی برای استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی اندیشیده شود. تغییر الگوی کاشت و استفاده از گونه‌های جایگزین از جمله گیاهان دارویی متحمل به تنش خشکی می‌تواند امکان استفاده بهینه از منابع محدود آبی را فراهم سازد (جامی‌الاحمدی و همکاران، ۱۳۸۳).

گیاهان دارویی نقش مهمی در طب سنتی بسیاری از کشورها دارند. مطابق برآورد سازمان بهداشت جهانی (WHO)، ۸۰ درصد مردم دنیا برای مراقبت‌های بهداشتی اولیه به طور سنتی به گیاهان دارویی و تولیدات طبیعی وابستگی و تمایل دارند (متین، ۱۳۸۰).

امروزه افزایش تقاضا برای گیاهانی که مصارف دارویی و پزشکی دارند چشمگیر است و تعداد زیادی از گیاهان دارویی به طور تجاری کشت می‌شوند. از جمله این گیاهان شنبلیله است که به طور وسیعی در سراسر دنیا کشت می‌شود و بخش عمده‌ای از این نواحی شامل مناطق خشک و نیمه خشک- جایی که غلظت بالای نمک یکی از ویژگی‌های مهم خاک است- می‌باشد (هاسنی و همکاران، ۲۰۰۹).

فلور ایران به دلیل برخورداری از گونه‌های فراوان گیاهی و تفرق آن‌ها در دشت‌ها و کوه‌های آن یکی از منابع دارویی جهان به شمار می‌آید و نیز با توجه به نیاز صنایع دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی کشورمان به گیاهان دارویی به عنوان مواد اولیه تولیدات مذکور، کشت گیاهان دارویی به گونه‌ای در کشور ما توسعه یافته است که انجام تحقیقات و مطالعه در این زمینه را می‌طلبد (بقالیان، ۱۳۷۸).

۲-۱- گیاه شنبلیله

۲-۱-۱- معرفی

گیاهان دارویی (Medicinal plants) از منابع بالقوه الهی هستند که در صورت توجه لازم می‌توانند کاربردهای مناسبی در زمینه‌های دارویی و درمانی، غذایی، آرایشی و بالاخص اقتصادی داشته باشند. به علاوه، بسیاری از گیاهان دارویی و فرآورده‌های آن‌ها به صورت خام از کشور صادر می‌شوند در حالی که فرآورده‌های حاصل از آن‌ها با قیمت گزاف وارد می‌شوند. شنبلیله از قدیمی‌ترین گیاهان دارویی می‌باشد که عرب‌ها آن را حلبه و ایتالیایی‌ها آن را Fenugreek می‌نامند (زرگری، ۱۳۷۰).

گیاه شنبلیله با نام علمی *Trigonella foenum-graecum* L. از خانواده بقولات (Fabiaceae) است. شنبلیله گیاهی است یکساله و علفی که به عنوان گیاهی خوراکی و دارویی کشت می‌شود. این گیاه در فصل بهار کشت شده و دارای ساقه راست، برگ‌های سه تایی، گل‌های زرد متمایل به بنفش، میوه غلاف‌دار و دانه‌ای زرد رنگ است. موطن شنبلیله مدیترانه بوده و در آناتولی، سوریه، عراق، ایران، افغانستان، قفقاز، پاکستان، عربستان و اتیوپی می‌روید (هاشمی‌نژاد و بهادری، ۱۳۸۷).

شنبلیله دارای خواص متعدد دارویی از قبیل اثر تقویتی، ملین، اشتها آور، خلط آور و ضد تب، افزایش میزان شیر در دوران شیردهی و کاهنده قندخون است. همچنین شنبلیله دارای اسید نیکوتینیک یا نیاسین می‌باشد که این ویتامین عامل جلوگیری کننده از بیماری پلاگر می‌باشد. این گیاه دارای اثر گشادکننده‌گی عروق خونی بوده که از بروز سکته قلبی جلوگیری می‌کند. سابقه رشد این گیاه در ایران بسیار طولانی است و عمدتاً اندام‌های هوایی گیاه به صورت تازه برداشت و به بازار مصرف عرضه می‌گردد (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۳)

تعداد گونه‌های گزارش شده برای جنس تریگونلا بین ۷۰ تا ۲۶۰ گونه می‌باشد (مهرآفرین و همکاران، ۲۰۱۱). برخی از گونه‌های دارویی این جنس شامل: *T. foenum-graecum*، *T. balansae*، *T. corniculata*، *T. maritima*، *T. spicata*، *T.occulta*، *T. polycerata*، *T. calliceras*، *T. cretica*، *T. caerulea*، *T. lilacina*، *T. radiate* و *T. spinosa* می‌باشد. و معمولاً گونه *T. foenum-graecum* تنها گونه زراعی از این جنس است (پتروپولوس، ۲۰۰۲).

بر اساس فلور ایرانیکا ۳۲ گونه از گیاه شنبلیله در بسیاری از نقاط ایران پراکنش دارد. به عنوان گیاهی دارویی، زراعی و مرتعی حائز اهمیت فراوان بوده و در طب سنتی از آن استفاده زیادی به عمل می‌آید (ریاست و همکاران، ۱۳۸۴ب). همچنین مدت زمان طولانی است که شنبلیله به عنوان سبزی و محصول ادویه‌ای در تمام بخش‌های ایران کشت می‌شود و نواحی کشت شده در حدود ۴۰۰ هکتار می‌باشد. تولید سالانه شنبلیله در ایران ۸۰۰ تن و عملکرد دانه آن ۰/۸ تن در هکتار می‌باشد. هیچ پیشینه اصلاحی برای این گیاه در ایران وجود ندارد و معمولاً توده‌های محلی توسط کشاورزان مورد استفاده قرار می‌گیرند (صادق‌زاده اهری و همکاران، ۲۰۱۰).

۲-۱-۲- تاریخچه

در قدیم گیاهان نه تنها برای معالجه بیماری‌ها به کار گرفته می‌شدند، بلکه عنصر اصلی تهیه مواد مختلف گیاهی برای مومیایی و حفظ اجساد و جلوگیری از فساد آن‌ها و همچنین به عنوان ترکیباتی برای زیبایی و تهیه روغن‌های طبی و عطرها و نظایر آن‌ها نیز مورد استفاده قرار می‌گرفت (کازرانی و میوه‌چی لنگرودی، ۱۳۷۹).

سابقه مصرف شنبلیله به مصر باستان بر می‌گردد که برای آسان کردن زایمان و افزایش شیر مادران استفاده می‌شده است و هنوز هم به وسیله زنان مصری در التیام درد دوران قاعدگی به کار می‌رود. به علاوه به صورت پماد در درمان نقرس، تورم غدد، تومورها، زخم‌ها، جراحات و التهابات پوستی متعدد به کار می‌رفته است (اودی، ۱۹۹۳). از کاغذ نوشته‌هایی که از قبور کهن مصری‌ها بدست آمده چنین بر می‌آید که این گیاه در دوران قبل از میلاد مسیح برای درمان و کاهش تب مصرف می‌شده است. کشت این گیاه در قرون هشتم و نهم بعد از میلاد مسیح گسترده شده و در اروپای غربی و مرکزی مانند سایر گیاهان دارویی در صومعه‌ها از آن استفاده می‌شده است. حتی در اولین نسخه‌های خطی قرون وسطی، شنبلیله را به مقدار زیاد بر ضد بیماری‌ها سفارش کرده‌اند (نجف‌پور نوایی، ۱۳۷۳).

گیاه شنبلیله بومی نواحی وسیعی از ایران تا هند شمالی است و ارقام وحشی آن در چین، هند، مصر، اتیوپی، مراکش، اکراین، یونان، ترکیه و ... شناخته شده‌اند (پتروپولوس، ۲۰۰۲؛ آچاریا و همکاران، ۲۰۰۶). شنبلیله دارای قدمت بسیار طولانی کشت در ایران می‌باشد (نجف‌پور نوایی،۱۳۷۳). قدیمی‌ترین اطلاعات ثبت شده در مورد مصرف گیاهان در ایران مربوط به دوره هخامنشی است. طب گیاهی در آن دوران در ایران گسترش چشمگیری داشته است (کازرانی و میوه‌چی لنگرودی، ۱۳۷۹).

شنبلیله در نواحی مختلف ایران پرورش می‌یابد و از سبزی‌های مفیدی است که در تهیه اغذیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این گیاه خوراکی علاوه بر اثرات تغذیه‌ایی، موارد استفاده درمانی فراوانی از جمله اشتها آوری، پایین آورندگی قند و چربی خون و ضد درد را نیز دارا می‌باشد (زرگری، ۱۳۷۰). شنبلیله در ایران کمتر به حالت وحشی وجود دارد و غالباً در بیشتر نقاط کشور به طور وسیع کاشته می‌شود (قهرمان، ۱۳۶۵). رویشگاه‌های طبیعی این گیاه در ایران استان‌های آذربایجان غربی، اصفهان، لرستان، جنوب فارس، کرمان، بلوچستان، زاهدان، خراسان و سمنان گزارش شده است (نجف‌پور نوایی، ۱۳۷۳).

۲-۱-۳- گیاه‌شناسی

شنبلیله گیاهی یک‌ساله، علفی، ایستاده، تقریباً بدون کرک، با ریشه عمودی و به ارتفاع ۱۵ تا ۵۰ سانتی متر می‌باشد. ساقه آن منفرد، راست، تو خالی، با انشعابات کم، بدون کرک یا کرک‌های پراکنده، با شاخه‌های کوتاه و برگ‌دار است. برگ سه برگچه‌ای، متناوب، دمبرگ‌دار، با برگچه‌های بزرگ، واژ تخم مرغی یا پهن دراز، در قاعده کنجی، در بخش فوقانی دارای دندانه‌های ریز، در رو کمی کرک‌دار، گشوارک‌ها کوچک و کامل است. گلبرگ‌ها به رنگ سفید متمایل به زرد و گاهی در قاعده دارای لکه‌های بنفش، نسبتاً بزرگ به طول ۱۲ تا ۱۵ میلی‌متر، منفرد یا دوتایی، بدون پایه و واقع در کنار برگ‌ها است. کاسه کرک‌پوش، با دندانه‌های مساوی و کوتاه‌تر از بخش لوله‌ای می‌باشد. دانه‌های شنبلیله اندام دارویی گیاه را تشکیل می‌دهند. میوه یا نیام گیاه ایستاده به ابعاد ۰/۴ × ۱۵-۷ سانتی‌متر، فشرده، کمی کمانی و خم، با رگه‌های طولی و منتهی به نوک با

منقاری به طول ۳-۲ سانتی‌متر و محتوی ۱۰ تا ۲۰ دانه تخم مرغی، تقریباً صاف و به رنگ قهوه‌ایی یا حنایی رنگ می‌باشد (صمصام شریعت، ۱۳۷۴). دانه‌ها بسیار محکم و در طول آن یک شیار کم و بیش عمیق وجود دارد. وزن هزار دانه ۱۱/۵ تا ۱۱/۸ گرم است (امیدبیگی، ۱۳۸۷).

بذر شنبلیله در تاریکی جوانه می‌زند و تا یک الی دو سال از قوه رویشی مناسبی برخوردار است (امیدبیگی، ۱۳۸۷). زمان جوانه‌زنی در خاک معمولاً از ۳ تا ۱۰ روز متفاوت است. ۶ تا ۱۰ روز بعد از جوانه‌زنی گیاهچه‌ها اولین برگ را تولید می‌کنند، که معمولاً ساده است. بعد از ۵ تا ۸ روز اولین برگ سه برگچه‌ایی تولید می‌شود. رشد گیاه اصلی شامل نمو ساقه، گل‌ها، غلاف‌ها و بذرها می‌باشد. در کل دو تیپ گلدهی در شنبلیله وجود دارد، تیپ معمول آن که عادت رشد نامحدود است (ادامه رشد جوانه‌های انتهایی گیاه همزمان با گلدهی و تشکیل غلاف) و نیز تیپ رشد محدود. گل‌های کلیستوگام (clestogamous) شنبلیله در چهار مرحله مجزا شامل غنچه، گل کامل، گرده افشانی و باروری نمو می‌یابند (پتروپولوس، ۲۰۰۲).

گل‌های شنبلیله بین ساعت نه صبح تا شش بعد از ظهر باز می‌شوند و ساعت ۱۱/۳۰ صبح حداکثر شکوفایی را دارند. کلاله ۱۲ ساعت قبل از باز شدن گل بارور و آماده لقاح می‌شود و تا ۱۰ ساعت پس از باز شدن گل باروری آن ادامه می‌یابد (ادنان، ۱۹۸۲). در گیاه شنبلیله ۳۰ تا ۷۰ روز پس از سبز شدن بذرها، گل‌ها ظاهر می‌شوند و حدود ۷ الی ۱۸ روز گل‌ها روی گیاه مشاهده می‌شوند. غلاف‌ها ۶۰ تا ۹۰ روز پس از سبز شدن بذر می‌رسند (امیدبیگی، ۱۳۸۷). غلاف‌ها در چهار مرحله شامل رشد طولی، رشد عرضی، رشد اصلی و رسیدگی نمو می‌یابند. این گیاه بر اساس دوره رشدی و خصوصیات ظاهری در چهار گروه، خیلی زودرس (۸۰ تا ۸۵ روز)، زودرس (۸۰ تا ۹۰ روز)، متوسط تا دیررس (۹۰ تا ۱۰۰ الی ۱۱۵ روز) و خیلی دیررس (۱۲۰ تا ۱۴۰ روز) قرار می‌گیرد (پتروپولوس، ۲۰۰۲).

۲-۱-۴- نیازهای اکولوژیکی

گیاه شنبلیله در طول رویش به هوای گرم نیاز دارد. اگرچه در خاک‌های شنی و فقیر می‌روید ولی برای کشت انبوه این گیاه باید از خاک‌های آهکی و غنی از مواد غذایی استفاده کرد. آب کافی نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دانه دارد. PH خاک برای شنبلیله بین ۵/۵ تا ۸/۲ مناسب است (دیوک، ۱۹۸۲). این گیاه در خاک‌های شیرین بهترین رشد را داشته اما در خاک‌ها با شوری متوسط نیز می‌روید. به علاوه این گیاه تحمل شرایط خشکی شدید را ندارد (نیکنام و کیانی، ۱۳۸۳).

مواد و عناصر غذایی مناسب در خاک نقش عمده‌ای در افزایش عملکرد دانه شنبلیله دارد. توصیه می‌شود فصل پاییز هنگام آماده ساختن خاک ۴۰ تا ۶۰ کیلوگرم در هکتار اکسید فسفر و ۴۰ تا ۸۰ کیلوگرم در هکتار اکسید پتاس به عنوان مقادیر پایه به خاک اضافه شود. چنانچه زمین از ازت تهی باشد توصیه می‌شود در فصل بهار ازت به صورت سرک در اختیار گیاهان قرار گیرد که مقدار آن به وضعیت ازت در خاک بستگی دارد (برنات، ۱۹۹۳).

اوایل بهار (فروردین) زمان مناسبی برای کشت مستقیم بذر در زمین اصلی است. بذرها در ردیف‌هایی به فاصله ۲۵ سانتی‌متر کشت می‌شوند. عمق بذر شنبلیله موقع کاشت ۱ تا ۱/۵ سانتی‌متر مناسب است. برای هر هکتار زمین به ۲۰ تا ۲۵ کیلوگرم بذر با کیفیت مناسب نیاز می‌باشد. بذرهای شنبلیه را به صورت ردیفی و با

استفاده از ردیف‌کار غلات در ردیف‌های مورد نظر باید کشت کرد. پس از کاشت زمین را باید به مقدار کافی آبیاری کرد تا شرایط برای جوانه‌زنی آماده گردد (امیدبیگی، ۱۳۸۷).

رشد اولیه شنبلیله بسیار کند و بطئی است. از این رو پس از سبز شدن باید چند بار اقدام به وجین مکانیکی علف‌های هرز نمود. در طول رویش شنبلیله بیماری‌های قارچی ممکن است صدمه‌های زیادی به محصول وارد کنند. مهم‌ترین این بیماری‌ها عبارتند از قارچ عامل سفیدک سطحی یا پودری که سبب بروز لکه‌های سفید رنگ و کرکی در سطح ساقه و برگ می‌شود. در اواخر فصل با فاسد کردن سلول‌ها ایجاد لکه‌های قهوه‌ای می‌کند. برای مبارزه با این قارچ می‌توان از قارچ‌کش‌های گوگرددار استفاده نمود. قارچ عامل بوته‌میری نیز از بیماری‌های دیگری است که سبب خشک شدن گیاهان می‌شود. با تناوب کشت صحیح، ضدعفونی کردن بذرها قبل از کاشت و خارج کردن و سوزاندن بقایای گیاهان آلوده از زمین این بیماری‌ها را می‌توان کنترل کرد (ادنان، ۱۹۸۲ و برنات، ۱۹۹۳).

شنبلیله شش هفته پس از کاشت به گل می‌رود. غلاف‌ها معمولاً چهار تا پنج هفته پس از گل‌دهی آماده برداشت می‌شوند. فصل تابستان (تیر- مرداد) زمان مناسبی برای برداشت شنبلیله است و تأخیر در برداشت سبب ریزش بذر می‌شود. برداشت غلاف در روزهای گرم و خشک توصیه می‌شود. پس از برداشت، غلاف‌ها را باید بوجاری، تمیز و بسته‌بندی کرد (امیدبیگی، ۱۳۸۷). عملکرد پیکر رویشی خشک ۵ تن در هکتار و عملکرد دانه ۰/۸ تا ۱/۵ تن در هکتار می‌باشد (برنات، ۱۹۹۳).

شنبلیله در تثبیت ازت نقش عمده‌ای دارد. زمین‌هایی که در آن این گیاه کشت می‌شوند غنی از ازت خواهند بود. از این رو توصیه می‌شود پس از برداشت شنبلیله گیاهانی کشت شوند که نیاز آن به ازت زیاد باشد (امیدبیگی، ۱۳۸۷).

۲-۱-۵- ترکیبات شیمیایی موجود در برگ و بذر

برگ شنبلیله از زمان‌های قدیم تا امروز همواره از نظر غذایی مهم بوده و مورد مصرف قرار گرفته است. مواد با اهمیت در برگ شنبلیله عبارتند از: کلسیم، آهن، کاروتن، اسید اسکوربیک، پروتئین، تیامین و ریبوفلاوین. جوانه‌ها سرشار از ویتامین A و فسفر هستند. برگ‌ها حاوی ۳۵ کالری برای هر صد گرم ماده خشک می‌باشند. هر صد گرم برگ شامل۴/۶ گرم پروتئین، ۶/۲ گرم کربوهیدرات و ۰/۲ گرم چربی است. برگ‌ها و بافت‌هایی که رشد سریع دارند به تقریب حاوی ۸۰٪ کل ویتامین ث موجود در گیاه هستند و کمبود ازت و پتاسیم سبب کاهش مقدار این ویتامین می‌شود (نجف‌پور نوایی، ۱۳۷۳).

بذرهای شنبلیله حاوی موادی نظیر آلکالوئید تریگونلین (Trigonellin) به مقدار ۰/۱۲ تا ۰/۳۸ درصد، کولین و ساپونین‌های استروئیدی (شامل دیوزژنین (Diosgenin) و تریگوژنین (Trigogenin)) به مقدار ۰/۸ تا ۲/۲ درصد) و ترکیبات موسیلاژی پروتئین (۱۲ تا ۱۶ درصد) می‌باشد (برنات، ۱۹۹۳). سایر ترکیبات دانه عبارتند از : ترکیبات پروتئینی (۲۳ تا ۲۵ درصد) که از لحاظ وجود تریپتوفان (Tryptophan) غنی و از لحاظ اسیدهای آمینه گوگردی ضعیف هستند (نیوآل و همکاران، ۱۹۹۶)، اسید آمینه ۴- هیدروکسی ایزولوسین (Hydroxyisoleucine) به مقدار ۰/۰۹ درصد، املاح خصوصاً کلسیم و آهن، ویتامین‌ها نظیر ویتامین A، B_1 و C و اسید نیکوتینیک (Nicotinic Acid) (لیونگ و فوستر، ۱۹۹۶)، استرول‌ها، فنوگراسین (Foenugraecin)، روغن‌های ثابت حاوی اسیدهای غیر اشباع به مقدار ۶ تا ۱۰ درصد، روغن فرار به مقدار جزئی ۰/۰۱۵ درصد،

ترکیبات وقفه دهنده پروتئیناز (Proteinase inhibitors) (ویچل، ۱۹۹۴)، فلاونوئیدها از جمله اورینتین (Orientin)، ویتکسین (Vitexin) و کوئرستین (Quercetin)، همچنین ترکیبات کومارینی، چربی و مواد فیبری (نیوآل و همکاران، ۱۹۹۶).

۲-۱-۶- خواص دارویی

شنبلیله از نظر دارویی حائز اهمیت می‌باشد و در درمان بسیاری از بیماری‌ها از جمله دیابت، نقرس، سل و زخم معده مؤثر بوده و با توجه به درصد بالای آهن در این گیاه مورد استفاده بیماران خونی است. از ترکیبات شیمیایی شنبلیله می‌توان استروئیدها، آلکالوئیدهای تریگونلین، تریگوکومارین، نیکوتینیک اسید، پروتئین، کربوهیدرات، ویتامین‌های A، B_{12}، C، تیامین، ریبوفلاوین، نیاسین و بسیاری از عناصر معدنی از جمله کلسیم، آهن، سدیم و پتاسیم را نام برد (نیکنام و کیانی، ۱۳۸۳).

در فارماکوپه‌های معتبر از دانه‌های شنبلیله به عنوان دارو یاد شده و خواص درمانی آن مورد تأیید قرار گرفته است. در صنایع دارویی از مواد مؤثر دانه‌های این گیاه هورمون‌های جنسی، کورتیکوستروئیدها، ویتامین D و گلی‌کوزیدهای قلبی تهیه می‌شود (پیلای و نامبیار، ۱۹۸۲). ترکیبات موسیلاژی گیاه با داشتن خصوصیات التیام بخشی، محافظت کنندگی، ترمیم کنندگی و کاهنده تحریکات مخاط، مسئول بروز برخی از آثار دارویی متنوع دانه شنبلیله خصوصاً آثار موضعی آن می‌باشد (نیوآل و همکاران، ۱۹۹۶).

مطالعات فارماکولوژیک متعدد و کارآزمایی‌های بالینی زیادی بر روی آثار پایین آورنده قند و کلسترول خون دانه شنبلیله و عصاره‌های مختلف آن انجام گردیده و در اکثر این تحقیقات آثار فوق‌الذکر مورد تأیید قرار گرفته است. علاوه بر تأثیر فیزیکی ترکیبات فیبری، موسیلاژی و ساپونین‌های موجود در دانه که باعث تأخیر یا جذب ناقص و عدم جذب کربوهیدرات‌ها و کلسترول می‌گردند، برخی از سایر ترکیبات موجود در گیاه به عنوان عوامل اصلی این آثار معرفی گردیده‌اند. اسید آمینه ۴- هیدروکسی ایزولوسین که اسید آمینه اصلی موجود در دانه شنبلیله محسوب می‌شود، یکی از ترکیبات اصلی پایین آورنده قند خون ذکر گردیده که با مکانیسم احتمالی تحریک آزادسازی انسولین از پانکراس اثر خود را اعمال می‌کند. تریگونلین، اسید نیکوتینیک، فنوگراسین و ترکیبات کومارینی نیز در برخی از تحقیقات عامل اثر ضد دیابتی گیاه معرفی شده‌اند. نکته حائز اهمیت در مورد آثار ضد دیابت گیاه این است که پس از مصرف دانه شنبلیله، علائم کلینیکی دیابت خصوصاً پلی‌اوری (polyuria)، پلی‌دیپسی (polydypsia)، ضعف و بی‌حالی و کاهش وزن به نحو قابل توجهی بهبود می‌یابد (ویچل، ۱۹۹۴؛ لیونگ و فوستر، ۱۹۹۶؛ نیوآل و همکاران، ۱۹۹۶و ال- هابوری و رامان، ۱۹۹۸).

در طی آزمایشی که بر روی خاصیت ضد دیابتی شنبلیله انجام شد مشخص شد دانه‌های شنبلیله به سرعت سطوح قند خون را در بیماران دیابتی نوع یک (وابسته به انسولین) و نوع دو (مقاوم به انسولین) کاهش داده و سطوح کلسترول خون هر دو نوع بیماران دیابتی را نیز کاهش داد (تاشمن، ۲۰۰۹). در یک گزارش اثرات پایین آورندگی قند و چربی خون ناشی از عصاره آبی برگ‌های شنبلیله به اثبات رسیده است. از آنجا که این اثرات درمانی ناشی از دانه شنبلیله به ساپونین‌ها، ۴- هیدروکسی ایزولوسین موجود در دانه نسبت داده می‌شود، وجود هر یک از ترکیبات فوق در برگ‌های گیاه نیز محتمل می‌باشد (جوان و همکاران، ۱۹۹۷).

یکی از مهم‌ترین ترکیبات موجود در دانه شنبلیله ساپونین است که در اثر هیدرولیز به ساپوژنین تبدیل می‌شود. دیوسژین، ساپوژنین اصلی گیاه شنبلیله است و به راحتی به هورمون‌های استروئیدی تبدیل می‌شود. هورمون‌های استروئیدی و مشتقات نیمه صنعتی آن‌ها از نظر اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و در قالب قرص‌های ضد بارداری مصرف می‌شوند (نجف‌پور نوایی، ۱۳۷۴). ترکیبات ساپونینی و فنوگراسین موجود در شنبلیله به عنوان عوامل ضد التهاب، ضد میکروب و ضد ویروس گیاه معرفی شده‌اند (ویچل، ۱۹۹۴).

۲-۱-۷- سایر مصارف گیاه شنبلیله

برگ‌ها و دانه‌های شنبلیله به غیر از کابردهای دارویی (ضد دیابت، کاهنده کلسترول خون، ضد سرطان و ضد میکروب) در کشورهای مختلفی در سراسر دنیا برای اهداف متفاوت مصرف می‌شوند که از جمله آن در تهیه غذا شامل خورش با برنج در ایران، چاشنی پنیر در سوئیس، شربت و نوشیدنی تلخ در آلمان، ترکیب پودر دانه با آرد برای تهیه نان در مصر، در تهیه کاری و رنگ‌ها، مصرف گیاهچه‌های جوان آن به عنوان سبزی و از دانه بو داده آن به جای قهوه (در آفریقا) استفاده می‌شود (لوست، ۱۹۸۶ و بسچ و همکاران، ۲۰۰۳).

هودا و جود (۲۰۰۵) برای بهبود کیفیت نان آرد شنبلیله را که دارای مقادیر زیادی پروتئین، اسید آمینه لایزین و غنی از کلسیم، آهن و بتاکاروتن است با آرد گندم نان که دچار کمبود در اسید آمینه‌های ضروری لایزین و ترئونین است در چهار سطح ۵٪، ۱۰٪، ۱۵٪ و۲۰٪ مخلوط کردند. بررسی‌ها نشان داد که سطح ۱۵ درصدی بر صفات کیفی نان از جمله رنگ، طعم و مزه بسیار مؤثر بوده و می‌توان نان سالم‌تری را با حضور شنبلیله ایجاد کرد.

شنبلیله می‌تواند به عنوان یک محصول لگومی در اتحاد تناوب‌های کوتاه مدت کشت، تهیه علوفه خشک و تر در تغذیه دام، تثبیت نیتروژن در خاک و حاصلخیزی آن بسیار مفید باشد (مویر و همکاران، ۲۰۰۳). آچاریا و همکاران (۲۰۰۶) تنوع ژنتیکی معنی‌داری را در مورفولوژی، عادت رشدی، تولید بیومس و تولید دانه در میان ژنوتیپ‌های شنبلیله گزارش کردند و رقم Tristar را به دلیل تولید علوفه با کیفیت بسیار بالا برای کانادای غربی معرفی نمودند. همچنین آچاریا و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از ژنوتیپ‌های انتخابی از گونه *Trigonella foenum-graecum L.* محصولی را ایجاد کردند که عملکرد بالایی از علوفه ضد نفخ را تولید کرده و باعث افزایش شیر و گوشت دام‌ها شده است.

در بررسی اثر دگرآسیبی عصاره اندام‌های مختلف شنبلیله بر ۴ گونه زراعی و علف هرز شامل سویا، کنجد، تاج خروس و گاوپنبه، همبستگی منفی معنی‌داری بین سطوح مختلف عصاره و درصد جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و طول ساقه‌چه مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی نیز در کلیه گونه‌ها کاهش یافت و به طور کلی گاوپنبه حساسیت بیشتری به مواد دگر آسیب شنبلیله نشان داد (عزیزی و همکاران، ۱۳۸۹).

دانه شنبلیله برای نگهداری غلات انباری جهت جلوگیری از زیان حشرات به کار می‌رود. روغن دانه در لوازم آرایشی و مو به کار می‌رود و گیاه برای پرورش زنبور عسل بسیار مناسب است (نجف‌پور نوایی، ۱۳۷۳). گیاه شنبلیله مصارف زیادی دارد و به همین دلیل برنامه‌های اصلاحی برای تولید مناسب این محصول، مطابق با مصارف کنونی لازم می‌باشد. از جمله: محتوای بالای پروتئین دانه برای تغذیه انسانی و حیوانی، افزایش محتوای دیوزژنین دانه و نیز موسیلاژ (galactomannan) با نسبت مناسب مانوز به گالاکتوز (Man/Gal، ۴:۱) در مصارف صنعتی (پتروپولوس، ۲۰۰۲).

۲-۲- تنش خشکی

۲-۲-۱- تعریف و اهمیت

تنش‌های محیطی از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده الگوی پراکنش گیاهی در سراسر جهان هستند و تنش ناشی از کمبود آب نیز به سهم خود تعیین‌کننده بخشی از این پراکنش می‌باشد. مقدار آب موجود در خاک برای رشد گیاه دارای یک حد بهینه است و چنانچه به هر میزان از این حد کمتر یا بیشتر شود رشد گیاه را کاهش خواهد داد (احمدزاده، ۱۳۷۶). حدود ۳۵ درصد از سطح کره زمین متأثر از تنش خشکی است و از آن‌جا که کشور ایران با متوسط نزولات آسمانی ۲۴۰ میلی‌متر در زمره مناطق خشک و نیمه‌خشک طبقه‌بندی می‌گردد، لذا وقوع تنش خشکی در دوره رشد گیاهان زراعی امری اجتناب ناپذیر است (تدین، ۱۳۸۸).

بویر (۱۹۸۲) معتقد است که از میان تنش‌های محیطی که گیاهان زراعی طی فصل رشد در معرض آن‌ها هستند، کمبود رطوبت به مراتب تأثیر شدیدتری بر کاهش عملکرد دارد. تنش خشکی خطری برای تولید موفقیت‌آمیز محصولات زراعی در سراسر جهان است که بر بازده محصولات کشاورزی در اطراف جهان تأثیر می‌گذارد و ممکن است منجر به کاهش قابل توجه عملکرد شود (لودلو و موکو، ۱۹۹۰).

معمولاً گیاهان به دلیل تنش‌های موجود، تنها به ۲۵ درصد توان تولیدی خود می‌رسند و تقریباً از ۷۵ درصد توانایی‌های تولیدی آن‌ها استفاده نمی‌شود. در واقع تنش خشکی تقریباً بر هر فرآیندی از گیاه مؤثر است. برخی از اثرات مربوط به کاهش آماس، کاهش پتانسیل آب و کاهش پتانسیل اسمزی می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۸). عدم وجود رطوبت در غشاء سلولی منجر به تخریب و سوراخ شدن غشاء می‌شود. تنش درون دو لایه لیپیدی غشاء منجر به جابجایی پروتئین‌ها و از دست رفتن یکپارچگی غشاء سلولی و از بین رفتن فعالیت آنزیم‌ها که موجب فعالیت غشاء است می‌شود. علاوه بر آسیب به غشای سلولی، پروتئین‌های سیتوسل (cytosol) و اندامک‌های سلول ممکن است فعالیت‌شان کاهش یابد و یا حتی ممکن است در شرایط کم آبی از بین بروند. غلظت بالای الکترولیت سلولی به دلیل کم آبی پروتوپلاسم نیز ممکن است موجب تخریب متابولیسم سلولی شود (ماهاجان و توتجا، ۲۰۰۵).

خشکی در نتیجه بارندگی کم، دمای زیاد و وزش باد حادث می‌شود و واکنش گیاه به آن بستگی به مرحله‌ای از رشد دارد که خشکی در آن رخ می‌دهد (فرشادفر، ۱۳۷۹). حرارت، تشعشع، مواد غذایی، گازها و همچنین رطوبت بسته به دامنه مقدار آن‌ها در محیط، می‌توانند رشد و نمو گیاهان را افزایش و یا کاهش دهند. در واقع تنش خشکی به شرایطی اطلاق می‌شود که بر اثر آن میزان آب درون بافتی و سلول به شدت کاهش می‌یابد و روند رشد دچار رکود می‌شود (لویت، ۱۹۸۰).

تنش آب در گیاه به وضعیتی اطلاق می‌شود که در آن سلول‌ها از حالت آماس خارج شده باشند. تنش آبی زمانی رخ می‌دهد که سرعت تعرق بیش از سرعت جذب باشد. با کاهش مقدار آب در خاک و عدم جایگزینی آن، پتانسیل آب در منطقه توسعه ریشه‌ها کاهش یافته و پتانسیل آب در گیاه نیز به طرز مشابهی تقلیل می‌یابد. اگر شدت تنش آب زیاد باشد این امر باعث کاهش شدید فتوسنتز، مختل شدن فرآیندهای فیزیولوژیک و سرانجام خشک شدن و مرگ گیاه می‌گردد. علت اصلی ایجاد تنش آبی در گیاه افزایش تعرق یا کافی نبودن جذب آب و یا ترکیبی از این دو می‌باشد (علیزاده، ۱۳۷۸).

در مورد تنش خشکی تعاریف مختلفی ارائه شده است. ویتز (۱۹۷۱) خشکی را به عنوان دوره‌ای که در آن کمبود آب چه به صورت حاد یا مزمن بر رشد طبیعی گیاه اثر می‌گذارد تعریف می‌کند. گیبس (۱۹۷۵) عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب برای گیاه را به مفهوم تنش خشکی می‌داند. لویت (۱۹۸۰) تنش را نتیجه روند غیر عادی فرآیندهای فیزیولوژیکی دانست که از تأثیر یک یا ترکیبی از عوامل زیستی و محیطی حاصل می‌شود و آن‌ها را به دو دسته تنش‌های زیستی و تنش‌های غیر زیستی (فیزیکوشیمیایی) تقسیم‌بندی نمود. کرامر (۱۹۸۳) تنش خشکی را به عنوان نبود یا کمبود رطوبت در مراحل حساس رشد گیاه تعریف نموده است. معمول‌ترین تعریف از تنش خشکی توسط ادمیدز و همکاران (۱۹۹۲) مطرح شده است، بدین صورت که تنش خشکی هنگامی که تبخیر و تعرق پتانسیل (تقاضای تبخیر اتمسفر بالای برگ گیاه) از تبخیر و تعرق حقیقی (ظرفیت و توانایی ریشه‌ها برای استخراج آب از خاک) تجاوز نماید به وقوع می‌پیوندد.

به طور کلی تنش ناشی از کمبود آب را به عنوان جزئی از تنش‌های شوری و اسمزی معرفی می‌کنند. بنابراین می‌توان گفت که تنش ناشی از کمبود آب در اثر کاهش پتانسیل آب به وجود می‌آید (هاپکینز، ۱۹۹۷). تنش خشکی نقطه برخورد حداقل هفت تنش محیطی به شرح زیر است:

۱- محدودیت یا پایین بودن قابلیت دسترسی گیاه به رطوبت خاک.

۲- میزان تبخیر بالا ناشی از رطوبت پایین، افزایش دما، تابش خورشیدی زیاد و بادهای قوی. در این حالت پتانسیل اتلاف آب از برگ‌ها بیشتر از مقدار قابل جذب توسط ریشه‌ها است.

۳- دمای بالا که باعث افزایش تنفس و صدمه به فرآیندهای متابولیکی و ساختار سلولی می‌گردد.

۴- تابش زیاد خورشیدی، منجر به بازدارندگی نور و اکسیداسیون نوری و در نهایت مرگ برگ‌ها می‌شود.

۵- با خشک شدن خاک، سختی آن افزایش می‌یابد، که این امر می‌تواند به طرق گوناگون رشد ریشه را تحت تأثیر قرار دهد و بالطبع باعث کاهش رشد برگ و فتوسنتز، به ویژه در گیاهچه‌ها گردد.

۶- عدم توانایی دسترسی گیاه به مواد غذایی، به ویژه در افق‌های بالای خاک که به سرعت خشک می‌شود، ولی غنی‌ترین ناحیه از نظر مواد معدنی می‌باشد.

۷- تجمع نمک‌ها در لایه رویی خاک و اطراف ریشه‌ها، باعث ایجاد تنش اسمزی و سمیت می‌شود (توماس، ۱۹۹۷b).

۲-۲-۲- عکس‌العمل گیاهان در برابر تنش خشکی

واکنش گیاه به خشکی مجموعه‌ای از مکانیسم‌ها و برهم‌کنش‌ها را شامل می‌شود. لویت (۱۹۸۰) مکانیزم‌های مقاومت را به سه دسته تقسیم نموده است: فرار از خشکی (drought scape)، اجتناب از خشکی (drought Avoidance) و تحمل خشکی (drought tolerance). گیاهانی که نمی‌توانند از دوره‌های خشکی فرار کنند اساساً از طریق اجتناب از تنش یا تحمل خشکی می‌توانند به این شرایط سازگار شوند.

۱- فرار از خشکی:

توانایی گیاه برای تکمیل دوره زندگی قبل از کاهش رطوبت خاک را گریز از خشکی می‌گویند. واریته‌های زودرس دوره حساس زایشی خود را در مرحله رطوبت کافی تکمیل کرده و از تنش خشکی می‌گریزند (سینگ، ۲۰۰۵). کمبود آب بازتاب گسترده‌ای در رشد و پیشرفت و عملکرد اقتصادی گیاه خواهد داشت و تغییراتی در ساختمان بافت‌ها و اعضاء گیاهی و ساختمان ماکرومولکول‌ها و در هورمون‌های گیاهی خواهد

داشت که این تغییرات باعث می‌شود گیاه برای بقاء وارد مرحله زایشی شود (بلوم، ۱۹۸۸). فرار از خشکی مفیدترین شکل مقاومت است زیرا ژنوتیپ‌ها می‌توانند قبل از محدودیت شدید آب به محصول برسند (عبدمیشانی و شاه‌نجات بوشهری، ۱۳۷۶).

۲- اجتناب از خشکی:

به قابلیت گیاه از نظر نگهداری تورژسانس بالا در شرایط تنش رطوبتی خاک با استفاده از افزایش پتانسیل آبی گیاه یا از طریق کاهش پتانسیل اسمزی اجتناب از خشکی گفته می‌شود. بنابراین گیاه بدین وسیله از تنش و عواقب آن اجتناب می‌ورزد. اجتناب از تنش عموماً به دلیل خصوصیات مورفولوژیکی و آناتومیکی گیاه می‌باشد. این خصوصیات به نوبه خود نتیجه فرآیندهای فیزیولوژیکی هستند که در اثر خشکی به وجود می‌آیند. این صفات خشکی پسند (Xeromorphic) کمی بوده و ممکن است بر حسب شراط محیطی تغییر کند (لویت، ۱۹۸۰). گیاهان با این نوع مکانیزم کمترین میزان کاهش آب را در ساختمان و بافت‌های خود نشان می‌دهند که از طریق روش‌های متفاوتی مانند کاهش تعرق (مثل گیاهانی که اغلب ذخیره کننده آب نامیده می‌شوند) یا افزایش جذب آب (مثل گیاهانی که مصرف کننده آب نامیده می‌شوند) بدست می‌آید (سینگ، ۲۰۰۵).

۳- تحمل خشکی:

از نظر تکاملی، تحمل به خشکی همان توان زنده ماندن یک گونه از نسلی به نسل دیگر در شرایط محدودیت آب قابل دسترس است. مقاومت به خشکی در مفهوم کشاورزی شامل توان تولید اقتصادی یک محصول در شرایط آب قابل دسترس محدود می‌باشد (عبدمیشانی و شاه‌نجات بوشهری، ۱۳۷۶).

گیاهان می‌توانند از طریق توانایی خود در حفظ مقدار زیادی آب داخلی نسبت به خشکی مقاوم شوند یا آن را تحمل کنند. این امر از طریق عواملی که جذب آب را افزایش می‌دهند، از جمله سیستم‌های مؤثر و گسترده ریشه یا از طریق عواملی که تلفات آب را کاهش می‌دهند انجام می‌شود (کوچکی، ۱۳۷۶). گیاهان از طریق مکانیسم‌های مختلف از جمله بستن روزنه‌ها، ضخیم‌تر کردن کوتیکول، کاهش سطح تعرق کننده، افزایش وزن و طول ریشه، افزایش برخی پروتئین‌ها، بالا نگه داشتن شدت فتوسنتز، کاهش تنفس و تنظیم اسمزی می‌توانند در برابر خشکی مقاومت کنند (لویت،۱۹۸۰).

گیاه ممکن است حتی با وجود محتوای کم آب داخلی از تنش خشکی در امان بماند. این مکانیسم مقاومت تحمل به پسابیدگی (Dehydration Tolerance) است. گیاهانی که دارای این صفت هستند با تأمین مجدد رطوبت خاک بهبود می‌یابند. تحمل به پسابیدگی با حفظ فشار آماس در شرایط کمبود رطوبت و از طریق تنظیم اسمزی سلول‌ها یا احتمالاً تغییرات پروتوپلاسمی که باعث کاهش خسارت ناشی از پسابیدگی بافت می‌شود حاصل می‌شود. در حقیقت مقاومت به خشکی نتیجه یکسری از خصوصیات ظاهری و فیزیولوژیکی است که غالباً مستقل از هم بوده و اثر متقابل این خصوصیات هنوز به طور کامل مشخص نشده است (کوچکی، ۱۳۷۶).

مقاومت گیاهان به خشکی به میزان رطوبت خاک و ژنوتیپ گیاه بستگی دارد. بدین ترتیب که در مقدار معینی از رطوبت خاک توانایی عملکرد یک ژنوتیپ ممکن است بیشتر از ژنوتیپ دیگر باشد. بر اساس این امر مقاومت به خشکی باعث می‌شود تا گیاه در صورت مواجه شدن با کمبود آب توانایی رشد و نمو موفقیت آمیز خود را تا حدودی حفظ کند (رستمی و یزدی صمدی، ۱۳۷۰). به طور کلی ارقامی که در شرایط آبیاری

مناسب و آبیاری محدود عملکرد یکسان و پایدار دارند یا به عبارت دیگر تفاوت عملکرد آن‌ها ناچیز است از مقاومت نسبی به خشکی برخوردارند (فرشادفر، ۱۳۷۹). مقاومت به خشکی به وسیله هر یک از مکانیسم‌های فوق یا تلفیقی از آن‌ها در گیاه ایجاد می‌شود و هر کدام از این مکانیسم‌ها تحت تأثیر تعدادی صفت قرار می‌گیرند که اصلاح کنندگان نبات می‌توانند با استفاده از آن‌ها نسبت به ایجاد واریته‌های مناسب اقدام نمایند (تاری‌نژاد، ۱۳۷۷).

۲-۲-۳- انتخاب منابع متحمل به خشکی

منبع تحمل به خشکی ممکن است در ۱- ارقام زراعی ۲- نژادهای محلی ۳- گونه‌های وحشی ۴- ارقام نوترکیب قابل دسترس باشند.

۱- ارقام زراعی: تنوع ژنتیکی گسترده‌ای از تحمل به خشکی درگیاهان زراعی وجود دارد. با تکیه به این تنوع تعداد زیادی ازگیاهان زراعی اصلاح شده‌اند.

۲- نژادهای محلی: این نژادها برای کشت در محیط‌های محلی با شرایط خشک سازگار شده‌اند و عموماً به عنوان منبع قابل دسترس از مقاومت به خشکی در برنامه‌های اصلاحی مفید می‌باشند.

۳- گونه‌های وحشی: خویشاوندان وحشی گیاهان به دلیل قرار گرفتن درشرایط تنش خشکی به این محیط‌ها سازگار می‌شوند. تعداد زیادی از گیاهان وحشی منابع ژنتیکی بسیار خوبی در تحمل به خشکی هستند و می‌توانند برای انتقال این منابع ژنتیکی مورد استفاده قرار گیرند. اگرچه استفاده از این گونه‌ها دارای دو محدودیت جدی است: ۱- ممکن است توانایی کمی برای بقاء در برابر تنش طبیعی نسبت به واریته زراعی داشته باشد. ۲- انتقال صفات تحمل به خشکی از این گونه‌ها به گیاهان زراعی هزینه‌بر می‌باشد و ممکن است مشکلاتی مانند عدم امکان تلاقی و لینکاژ وجود داشته باشد.

۴- ارقام نوترکیب: ژن‌های بسیاری در گیاهان به عنوان منابع تحمل به خشکی شناسایی شده‌اند. به طور مثال ژن Rab در تولید آبسیزیک اسید برای ایجاد تحمل به خشکی نقش دارد. با انتقال این ژن‌ها با استفاده از مهندسی ژنتیک می‌توان گیاهان ترانس‌ژنیک تولید کرد. به طور مثال گیاهان ترانس‌ژنیک ۱۰ تا ۱۸ برابر بیش از گیاهان شاهد پرولین تولید کردند. پرولین ماده‌ای است که باعث تحمل به خشکی در گیاهان می‌شود (سینگ، ۲۰۰۵).

پس از این که منابع ژنتیکی تحمل به خشکی شناسایی شدند و انتقال به ارقام زراعی انجام شد به دلیل پیچیده بودن وراثت ژنتیکی در تحمل به خشکی باید انتخاب مناسبی انجام گیرد. در یک انتخاب مصنوعی خوب، صفت مورد نظر باید از موارد زیر پیروی کند (سینگ، ۲۰۰۵):

۱) تخمین و اندازه‌گیری آن آسان باشد.

۲) توارث‌پذیری بالایی داشته باشد.

۳) پیوستگی معنی‌داری با مقاومت به خشکی داشته باشد.

۴) پیوستگی مثبت با عملکرد تحت شرایط تنش نشان دهد.

پاسیورا (۱۹۸۳) معتقد است که مقاومت به خشکی با میزان عملکرد گونه‌های مختلف گیاهی در ارتباط است. گیاهان و ارقام زراعی مقاوم به خشکی آن‌هایی هستند که در شرایط تنش خشکی و در سال‌های کم

باران محصول یا تولید بیشتری داشته باشند و در عین حال قادر هستند تا حداکثر استفاده از عوامل محیطی مناسب را در سال‌های پر باران به عمل آورند.

یکی از مسائل مهم ارزیابی ارقام مقاوم به خشکی برآورد کمی معیارهای مقاومت به خشکی است. بسیاری از مطالعات انجام شده در مورد اثرات خشکی بر گیاهان زراعی در رابطه با جنبه‌های فیزیولوژیک روابط آب و گیاه متمرکز است، برعکس در رابطه با مسائل به‌نژادی آن کار کمتری صورت گرفته است (تاری‌نژاد، ۱۳۷۷). گروهی از به‌نژادگران گیاهی عملکرد و پایداری آن را در شرایط تنش به عنوان شاخص گزینش ارقام مقاوم پیشنهاد کردند (رستمی و یزدی صمدی، ۱۳۷۰).

رامیرز و کلی (۱۹۸۸) معتقد است که در محیط خشک تنوع ژنتیکی کمتر از شرایط نرمال بوده و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط نیز بالاست. همچنین اگر دو ژنوتیپ تحمل مشابهی به خشکی داشته باشند ژنوتیپ با عملکرد بالا در شرایط بدون تنش در موقع بروز تنش نیز عملکرد بیشتری تولید می‌کند.

انتخاب و جدا کردن ژنوتیپ‌های مفید از نظر تحمل به تنش به دو صورت انجام می‌گیرد:

الف) انتخاب مستقیم یا مشاهده‌ای که در مورد عملکرد مطلق تحت شرایط تنش کنترل شده اعمال می‌شود.

ب) انتخاب غیرمستقیم که از غربال کردن و انتخاب برای ویژگی‌های مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی که با تحمل به تنش محیطی همبستگی دارد. از آن‌جا که توارث‌پذیری عملکرد در شرایط تنش کاهش می‌یابد، بنابراین انتخاب از نظر مقاومت به خشکی بر مبنای عملکرد در شرایط کم بازده مانند تنش خشکی مؤثر نیست. از این رو به‌نژادی برای مقاومت به خشکی بایستی جدا از به کارگیری عملکرد به عنوان شاخص انحصاری انتخاب باشد که با در نظر داشتن مستقیم بعضی از جنبه‌های فیزیولوژیکی در انتخاب برای مقاومت به خشکی شناختی از عوامل مؤثر در ثبات عملکرد فراهم می‌شود (عبدمیشانی و شاه‌نجات بوشهری، ۱۳۷۶).

۲-۲-۴- اثرات تنش خشکی بر گیاهان دارویی

تنش خشکی بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه اثر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر افتادن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (آذرنیوند و جوادی، ۱۳۸۲). اگرچه تحقیقات وسیعی در رابطه با اثر تنش خشکی بر محصولات زراعی انجام گرفته است اما در مورد گیاهان دارویی و معطّر تحت شرایط کمبود آب مطالعات جامعی نشده است. بنابراین برای درک موجودیت و ادامه حیات گیاهان دارویی در نواحی خشک، ارزیابی عملکرد و تعیین شرایط بهینه برای کشت آن‌ها نیاز به اطلاعات بیشتری در مورد عکس‌العمل آن‌ها نسبت به کمبود آب وجود دارد (لچامو و گوسلین، ۱۹۹۶).

۲-۲-۴-۱- مرحله جوانه‌زنی

گیاهان در مرحله جوانه‌زنی و رشد اولیه حساسیت بیشتری به تنش‌های محیطی از جمله شوری و خشکی دارند. جوانه‌زنی بذر معمولاً بحرانی‌ترین مرحله تعیین کننده موفقیت یا شکست استقرار گیاه است (کافی و همکاران، ۱۳۸۴). بنابراین مرحله جوانه‌زنی اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد. آب یکی از عوامل اصلی فعال کننده جوانه‌زنی است و قابلیت دسترسی بذر به آب با کاهش پتانسیل اسمزی (مواد محلول) و پتانسیل ماتریک (مکش) کاهش می‌یابد. لذا پتانسیل آب محیط تأثیر مستقیمی بر سرعت جذب آب و جوانه‌زنی بذر دارد (رضایی و سلطانی، ۱۳۷۷).

از آنجایی که کاهش فرآیند جوانه‌زنی در اثر تنش خشکی می‌تواند به کاهش جذب آب توسط بذرها ارتباط داشته باشد. اگر جذب آب توسط بذر دچار اختلال شود و یا جذب آب به کندی صورت گیرد، فعالیت‌های متابولیکی جوانه‌زنی در داخل بذر به آرامی صورت خواهد گرفت. در نتیجه، مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و از این رو سرعت جوانه‌زنی نیز کاهش می‌یابد (حسینی و رضوانی مقدم، ۱۳۸۵). کمبود آب در مرحله جوانه‌زنی بر حسب طول مدت و شدت تنش موجب عدم جوانه‌زنی یا کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌شود (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳). یکی از خصوصیات اولیه که جهت به‌گزینی به کار برده شده است مقدار ریشه‌های جنینی و همین‌طور طول ریشه‌چه و ساقه‌چه است که همبستگی خوبی با بقای گیاه و عملکرد آن در شرایط تنش رطوبتی نشان داده است (کوچکی، ۱۳۷۶).

با توجه به این که در بیشتر موارد بافت‌های گیاهی عکس‌العمل مناسبی در محیط‌های کنترل مصنوعی پتانسیل آب (نظیر محلول شکر و نمک) نشان نمی‌دهند و با دخالت در تغذیه بافت‌ها، پتانسیل اسمزی را تعدیل می‌کنند، توجه به سوی مواد با جرم مولکولی بالا که نقشی در تغذیه بافت‌ها نداشته و جذب نمی‌شوند جلب شده است (فرخی و همکاران، ۱۳۸۳؛ کافی و همکاران، ۱۳۸۴؛ میچل و کافمن، ۱۹۷۳).

در میان مواد با جرم مولکولی بالا، پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) به دلیل ایجاد محلولی دارای شرایط مشابه طبیعی، بیشترین کاربرد را پیدا کرده است. همچنین از پلی‌اتیلن‌گلیکول و نمک‌های غیر آلی برای مطالعات مربوط به آماده‌سازی بذر گیاهان مختلف استفاده شده است و نتایج در بیشتر موارد نشان دهنده افزایش جوانه‌زنی و یکنواختی در جوانه‌زنی در بیشتر این مطالعات بوده است. استفاده از این روش برای کاشت گیاهانی که درصد جوانه‌زنی پایینی دارند و یا کاشت گیاهان در مناطق دارای شرایط نامطلوب خاک که تأثیر منفی بر جوانه‌زنی بذر دارند، بسیار مفید می‌باشد (غنی و همکاران، ۱۳۸۸).

ترکیبات پلی‌اتیلن‌گلیکول (PEG) نخستین بار در ۴۰ سال قبل در مطالعات فیزیولوژیک گیاهان به عنوان حامل همراه مواد تنظیم کننده رشد به کار رفته و در سال‌های اخیر به عنوان ترکیبات اسمزی مورد استفاده قرار گرفته است. عمده محققان نتایج رضایت‌بخشی را گزارش کرده‌اند و نشان داده‌اند که PEG معمولاً از نمک، شکر و یا دیگر ترکیبات آلی بهتر می‌باشد (جینز، ۱۹۷۴). برای انجام آزمایش تنش آبی این نکته مهم است که روابط آبی گیاهی که در معرض ماده اسمزی قرار گرفته است شبیه زمانی باشد که گیاه در خاک با پتانسیل اسمزی یکسان قرار گرفته است. وقتی یک محیط غذایی PEG با وزن مولکولی ۶۰۰۰ افزوده می‌شود تغییرات ایجاد شده در گیاه و روابط آبی آن بسیار شبیه به آنچه است که در خاک خشک انتظار می‌رود (کئوفمن و ایکارد، ۱۹۷۱).

به دلیل غیر یکنواختی محیط خاک و عدم کنترل عوامل محیطی در مزرعه، تحقیقات آزمایشگاهی اهمیت ویژه‌ای برای ارزیابی تحمل گیاهان به تنش خشکی خصوصاً در مرحله جوانه‌زنی دارد (ال- شارکاوی و اسپرینگول، ۱۹۷۷). همچنین با توجه به اهمیت مرحله جوانه‌زنی در استقرار گیاه و تعیین تراکم مطلوب و در نتیجه حصول عملکرد مناسب و نیز حساسیت این مرحله به تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، مطالعه و بررسی مقاومت جوانه‌زنی گیاهان در شرایط تنش خشکی ضروری و مهم به نظر می‌رسد. در ذیل بعضی از مطالعات انجام شده در اثر تنش خشکی بر روی گیاهان دارویی و بعضی گیاهان زراعی آورده شده است.