بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

ارزیابی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گلرنگ به آلودگی کادمیوم در شرایط آبکشت

پایان‌نامه کارشناسی ارشد زراعت

لایق مرادی

استاد راهنما

دکتر پرویز احسان‌زاده

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده کشاورزی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته زراعت آقای لایق مرادی

تحت عنوان

ارزیابی برخی پاسخ‌های فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های گلرنگ به آلودگی کادمیوم در شرایط آبکشت

در تاریخ ۱۷ /۶/ ۱۳۹۲ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه	دکتر پرویز احسان‌زاده
۲- اساتید مشاور پایان نامه	دکتر مرتضی زاهدی دکتر حسن کریم مجنی
۳- استاد داور	دکتر قدرت اله سعیدی
۴- استاد داور	دکتر علی اکبر رامین
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر جهانگیر خواجه‌علی

تقدیر و تشکر

سپاس خدایی را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند.

از پدر و مادرم که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم ونامشان دلیلی است بر بودنم چرا که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستیم بوده‌اند دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند، کمال تقدیر و تشکر را دارم.

از استاد با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر احسان‌زاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند، بی‌نهایت سپاسگزارم.

از اساتید صبور و با تقوا، جناب آقای دکتر مجنی و دکتر زاهدی که زحمت مشاوره این پایان‌نامه را متقبل فرمودند صمیمانه سپاسگزارم.

از اساتید فرزانه و دلسوز جناب آقای دکتر سعیدی و دکتر رامین که زحمت بازخوانی و داوری این پایان‌نامه را تقبل نمودند تشکر می‌کنم.

از تمامی دوستان و همکلاسی‌های عزیزم به ویژه آقایان یحیی‌ذمه، فدائیان و قنبری که مرا در انجام این پایان-نامه یاری نمودند صمیمانه تشکر می‌کنم.

لایق مرادی

شهریور ۱۳۹۲

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

تقدیم به

پدرم کوهی استوار و حامی من در تمام طول زندگی

مادرم سنگ صبوری که الفبای زندگی به من آموخت

خواهر و برادرانم به پاس دلگرمی و محبت‌هایشان

فهرست مطالب

عنوان.....صفحه

فهرست مطالب.....هشت

چکیده..... ۱

فصل اول: مقدمه ۲

فصل دوم: بررسی منابع ۵

۲-۱-تاریخچه و پراکنش جغرافیایی گلرنگ..... ۵

۲-۲- خصوصیات گیاه‌شناسی ۶

۲-۳- سازگاری ۷

۲-۴- مراحل رشد و نمو ۸

۲-۵- موارد استفاده گلرنگ ۸

۲-۶- تعریف فلزات سنگین ۹

۲-۷- آلودگی آب و خاک به عناصر سنگین ۹

۲-۸- کادمیوم..... ۱۰

۲-۹- منابع کادمیوم درخاک ۱۱

۲-۹-۱- منابع طبیعی ۱۱

۲-۹-۲- نهاده‌های مورد مصرف در کشاورزی ۱۲

۲-۹-۲- لجن فاضلاب ۱۲

۲-۹-۳- رسوبات جوی ۱۲

۲-۹-۲- سایر منابع کادمیوم..... ۱۳

۲-۱۰- کادمیوم در گیاه ۱۳

۲-۱۱- پاسخ گیاهان به حضور فلزات سنگین در محیط ۱۵

۲-۱۲- تفاوت‌های ژنوتیپی گیاهان از نظر جذب و انتقال کادمیوم..... ۱۶

۲-۱۳- جذب کادمیوم از خاک ۱۷

۲-۱۴- انتقال کادمیوم از ریشه به ساقه..... ۱۷

۲-۱۵- تاثیر کادمیوم بر گیاه ۱۸
۲-۱۶- تاثیر تنش فلزات سنگین بر محتوای پرولین ۱۸
۲-۱۷- تغییر در میزان فتوسنتز ۱۹
۲-۱۸- تغییر در میزان کلروفیل ۲۰
۲-۱۹- تاثیر کادمیوم بر فلورسانس کلروفیل ۲۰
۲-۲۰- تاثیر کادمیوم بر پراکسیداسیون لیپیدی ۲۲
۲-۲۱- تغییر در شاخص سطح برگ و برخی دیگر از پارامترهای فیزیولوژیک ۲۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۳

۲-۱-محل اجرای آزمایش، مواد ژنتیکی و طرح آماری ۲۳
۲- ۲- تهیه نشا ۲۳
۲- ۳- تهیه محلول غذایی ۲۳
۲- ۴- انتقال نشاها، نحوه اعمال تیمار کادمیوم و مراقبتهای طی دوره رشد ۲۴
۲-۵-صفات مورد بررسی و نحوه اندازه‌گیری آنها ۲۵
۲-۵-۱ فلورسانس کلروفیل برگ ۲۵
۲-۵-۲- محتوای کلروفیل برگ ۲۵
۲-۵-۳- محتوای پرولین برگ ۲۶
۲-۵-۴- تبادلات گازی ۲۶
۲- ۵-۵- شاخص پایداری غشا ۲۶
۲-۵-۶- میزان پراکسیداسیون لیپیدها ۲۷
۲-۵-۸- غلظت کادمیوم ۲۸
۲-۵-۹-وزن خشک اندام هوایی و ریشه ۲۸
۲- ۶- تجزیه آماری ۲۹

فصل چهارم: نتایج و بحث ۳۰

۴-۱- فلورسانس کلروفیل برگ ۳۰
۴-۲- پارامترهای تبادلات گازی ۳۱
۴-۲-۱- سرعت فتوسنتز خالص (A) برگ ۳۱

۴-۲-۲- هدایت روزنه‌ای (g_s) برگ ۳۳
۴-۲-۳- غلظت داخلی دی اکسیدکربن (C_i) برگ ۳۴
۴-۳- محتوای کلروفیل برگ ۴۱
۴-۴- محتوای کاروتنوئید برگ ۴۲
۴-۵- محتوای پرولین برگ ۴۶
۴-۶- شاخص پایداری غشا ۴۷
۴-۷- پراکسیداسیون لیپید ۴۸
۴-۸- صفات مورفولوژیک ۵۴
۴-۸-۱- میزان سطح برگ در گیاه ۵۴
۴-۸-۲- ارتفاع گیاه ۵۵
۴-۸-۳- وزن خشک اندام هوایی ۵۶
۴-۸-۴- وزن خشک ریشه ۵۷
۴-۹- غلظت کادمیوم ۶۱
۴-۹-۱- غلظت کادمیوم در ریشه ۶۱
۴-۹-۲- غلظت کادمیوم در اندام هوایی ۶۲
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۶۷
۵-۱- نتیجه‌گیری ۶۷
۵-۲- پیشنهادات ۶۸
منابع ۶۹

فهرست جداول

عنوان.....صفحه

جدول ۲-۱ ترکیب شیمیایی و غلظت عناصر مورد استفاده در محلول غذایی پایه ۲۶

جدول ۴-۱- نتایج تجزیه واریانس سرعت فتوسنتز خالص ۳۷

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین‌های سرعت فتوسنتز خالص ۳۸

جدول ۴-۳- نتایج تجزیه واریانس غلظت کلروفیل a ۴۵

جدول ۴-۴- مقایسه میانگینهای غلظت کلروفیل a ۴۶

جدول ۴-۵-نتایج تجزیه واریانس غلظت پرولین ۵۱

جدول ۴-۶- مقایسه میانگین‌های پرولین ۵۲

جدول ۴-۷- نتایج تجزیه واریانس ارتفاع ساقه ۵۹

جدول ۴-۲- مقایسه میانگین‌های ارتفاع ساقه ۶۰

جدول ۴-۹- نتایج تجزیه واریانس غلظت کادمیوم ریشه ۶۴

جدول ۴-۱۰- مقایسه میانگین‌های غلظت کادمیوم ریشه ۶۵

فهرست اشکال

عنوان.....صفحه

شکل ۴-۱- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای فتوسنتز خالص. ۳۹

شکل ۴-۲- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای هدایت روزنه‌ای.....۴۰

شکل ۴-۳- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای دی‌اکسید کربن داخل روزنه‌ای. ۴۱

شکل ۴-۴- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای شاخص پایداری غشا. ۵۳

شکل ۴-۵- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای پراکسیداسیون لیپید. ۵۴

شکل ۴-۶- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای سطح برگ. ۶۱

شکل ۴-۷- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای غلظت کادمیوم ریشه. ۶۶

شکل ۴-۸- میانگین‌های اثر متقابل ژنوتیپ و کادمیوم برای غلظت کادمیوم اندام هوایی.....۶۷

چکیده:

کادمیوم یکی از فلزات سنگین است که در نتیجه فعالیت‌های عمده صنعتی، شهری و کشاورزی تولید و باعث آلودگی محیط زیست می‌شود. تجمع فلزات سنگین در زمین‌های کشاورزی و آلودگی خاک و در نهایت انتقال این عناصر به محصولات در مناطق صنعتی یکی از مهمترین مسایل زیست محیطی محسوب می‌شود که زندگی گیاهان، حیوانات و انسان را تهدید می‌کند. از این رو به منظور بررسی اثر کادمیوم بر برخی پارامترهای فیزیولوژیکی ژنوتیپ‌های گلرنگ آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار و در محیط آبکشت در گلخانه آموزشی دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۱ اجرا گردید. چهار سطح کادمیوم شاهد (صفر) و ۱/۵، ۳ و ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و شش ژنوتیپ گلرنگ شامل اراک۲۸۱۱، کوسه، نبراسکا ۱۰، C_{111} K_{12}, و S_{149} به عنوان فاکتورهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. پارامترهای ارتفاع گیاه، سطح برگ در گیاه، وزن خشک اندام هوایی، وزن خشک ریشه، فلورسانس کلروفیل (F_0، F_m، F_v/F_m)، سرعت فتوسنتز خالص *(A)* برگ، هدایت روزنه‌ای *(gs)* برگ، غلظت داخلی دی اکسیدکربن (C_i) برگ، محتوای کلروفیل برگ، محتوای کاروتنوئید برگ، میزان پرولین برگ، شاخص پایداری غشا، پراکسیداسیون لیپید و غلظت کادمیوم در ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد. محتوای پرولین ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ با افزایش سطح کادمیوم افزایش یافت و بیشترین افزایش در سطح ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم و به میزان ۱۲۱/۳٪ نسبت به سطح شاهد مشاهده شد. سطح ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم به ترتیب منجر به کاهش۸۴/۴، ۵۰/۵، ۵۰، ۳۱/۸، ۳۲/۹ و ۱۱/۲ درصد میانگین سطح برگ در گیاه، سرعت فتوسنتز خالص *(A)*، میزان *gs*، محتوای کلروفیل کل، محتوای کاروتنوئید و کارایی کوانتومی فتوسنتز شد. با افزایش شدت آلودگی میزان پراکسیداسیون لیپد در همه ژنوتیپ‌ها افزایش یافت. ژنوتیپ نبراسکا با ۷۷ درصد افزایش از سطح شاهد به سطح ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بیشترین و ژنوتیپ‌های k_{12} وC_{111} به ترتیب با ۶۱ و ۶۰ درصد افزایش کمترین افزایش در میزان پراکسیداسیون لیپید را نشان داد. در سطح ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر ژنوتیپ C_{111} با ۴۴/۰۷ درصد کاهش کمترین و ژنوتیپ اراک با ۶۲/۱ درصد کاهش بیشترین کاهش میزان پایداری غشا را از خود نشان داد، که این امر نشان می‌دهد میزان نشت الکترولیت در ژنوتیپ اراک بیشتر از سایر ژنوتیپ‌های گلرنگ تحت سطح ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم بوده و این ژنوتیپ نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها به تنش اکسیداتیو حساس‌تر بود. غلظت کادمیوم اندام هوایی و ریشه در سطح ۴/۵ میلی‌گرم در لیتر کادمیوم نسبت به سطح شاهد به ترتیب افزایش حدود ۵۲ و ۱۵۶ برابری را نشان داد. غلظت کادمیوم اندام هوایی در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه کمتر از غلظت این عنصر در ریشه بود. تیمار کادمیوم منجر به کاهش وزن خشک اندام هوایی در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه شد که این امر می‌تواند به دلیل کاهش سطح فتوسنتزکننده گیاه، کاهش محتوای کلروفیل، کاهش محتوای کاروتنوئید وکاهش کارایی فتوسنتز در گیاهان تیمار شده با کادمیوم باشد. از نتایج این آزمایش می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که کادمیوم سبب تغییر جدی در خصوصیات فیزیولوژیک و رشد گلرنگ گشته و برخی تفاوت‌ها بین ژنوتیپ‌های گلرنگ از این نظر وجود دارد.

کلمات کلیدی: کادمیوم، گلرنگ، پرولین، کلروفیل، پراکسیداسیون لیپید، شاخص پایداری غشا

فصل اول

مقدمه

گیاهان دانه روغنی از نظر تامین انرژی مورد نیاز انسان و دام در بین محصولات زراعی از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و از جمله با ارزش‌ترین محصولات بخش کشاورزی به شمار می‌روند. [۸]. مصرف روغن گیاهی با توجه به افزایش جمعیت و تغییر الگوی غذایی مردم در حال افزایش است. لذا با عنایت به اینکه بخش زیادی از روغن مورد نیاز کشور از طریق واردات تامین می‌گردد، افزایش تولید و کیفیت محصولات دانه روغنی در داخل کشور بسیار حائز اهمیت می‌باشد. خوشبختانه بسیاری از گیاهان دانه روغنی دارای سازگاری وسیعی با شرایط اقلیمی کشور می‌باشند و امکان تولید دانه‌های روغنی در داخل کشور فراهم است [۷۵].

گلرنگ با نام علمی (*Carthamus tinctorius* L.) گیاهی یک ساله متعلق به خانواده گل کاسنی می-باشد. از بین کشورهای تولید کننده گلرنگ هندوستان با داشتن حدود ۶۰ درصد سطح زیر کشت جهانی بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است و ایالات متحده آمریکا با عملکرد ۱۴۸۵ کیلوگرم در هکتار بالاترین متوسط عملکرد جهانی را در بین کشورهای تولید کننده گلرنگ داراست [۶۶، ۱۳۹]. کشت گلرنگ در کشور رواج چندانی ندارد، که به نظر می‌رسد دلایل عمده آن عدم ترویج کاشت آن و پایین بودن عملکرد دانه ارقام و توده‌های مورد استفاده بوده است [۶۳]. دانه گلرنگ دارای ۲۵ تا ۴۵ درصد

روغن است. روغن گلرنگ به طور میانگین دارای ۵ تا ۱۰ درصد از انواع اسیدهای چرب اشباع شده، ۱۲ تا ۲۵ درصد اسید اولئیک، ۷۰ تا ۸۰ درصد اسید لینولئیک و مقدار ناچیزی اسید لینولنیک است [۵]. کنجاله دانه گلرنگ معمولا حاوی حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد پروتئین و ۳۳ تا ۵۰ درصد فیبر و ۱ تا ۳ درصد روغن است. از جمله کاربردهای گلرنگ، مصرف روغن آن به عنوان ماده خام جهت افزودن به مواد رنگی، ورنی، جوهر چاپ و فیلم، نوار مغناطیسی و روغن جلا، استفاده از گلچه‌های آن به عنوان ماده اولیه جهت استخراج پیگمان‌های رنگی به منظور افزودن به مواد غذایی ، نوشیدنی‌ها و رنگ آمیزی الیاف و استفاده از کنجاله آن برای تغذیه دام را نام برد. هم‌چنین دانه ریز و کم روغن گلرنگ با پوست سفید و یا انواع پوست عادی نیز به عنوان غذای پرندگان به بازار عرضه شده است [۲].

آلوده شدن منابع آب و خاک به فلزات سنگین به عنوان یک مشکل جهانی در حال گسترش محسوب می‌شود که در نتیجه‌ی افزایش فعالیت‌های صنعتی نظیر معدن کاوی، استخراج و ذوب فلزات، همچنین کاربرد کودها، سموم، قارچ‌کش‌های کشاورزی و غیره می‌باشد، که سلامتی بشری و زیست بوم را به خطر می‌اندازد [۱۴۷].کادمیوم به عنوان یک فلز سنگین دارای سمیت بالایی برای موجودات زنده بوده و یکی از ماندگارترین عناصر آلوده کننده محیط زیست می‌باشد [۶۷، ۱۴۷]. کادمیوم برای فعالیت‌های فیزیولوژیکی در گیاه ضروری نبوده و برای گیاه بسیار سمی می‌باشد و این سمیت حتی در غلظت‌های پایین نیز وجود دارد [۱۸۷]. امروزه بیشتر زمین‌های کشاورزی در سطح جهان به دلیل استفاده دراز مدت ازکودهای فسفاته، لجن فاضلاب‌ها و سایر منابع آلودگی به غلظت‌های کم تا متوسط کادمیوم آلوده شده‌اند. به دلیل اینکه کادمیوم در سیستم گیاه و خاک متحرک بوده و در آب نیز بسیار محلول است، به آسانی از طریق ریشه جذب و در بافت‌ها تجمع پیدا می‌کند. گفته می‌شود که غلظت کادمیوم در اندام‌های گیاه از ترتیب ریشه>ساقه>برگ>دانه برخوردار است [۶۷، ۸۱]. زمانیکه کادمیوم به میزان بالایی به وسیله‌ی گیاهان جذب می‌گردد منجر به ظهور علایم مختلف فیتوتوکسیتی، لوله شدن برگ‌ها، زرد شدن، کاهش رشد ریشه و شاخساره، قهوه‌ای شدن نوک برگ‌ها و در نهایت مرگ گیاه می‌گردد [۱۴۱]. سمیت کادمیوم می‌تواند منجر به القای تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی در گیاه شامل کاهش رشد گیاه، زرد شدن برگ‌ها و نکروزه شدن برگ و ریشه، عدم توازن در مواد مغذی، متابولیسم کلروفیل، تغییراتی در متابولیسم نیتروژن، میزان آب، تغییرات سیتولوژیکی و تغییراتی در بیان ژن‌ها گردد [۶۶]. یون کادمیوم (Cd^{2+}) باعث تغییر در کارکرد غشاها از طریق تاثیر در ترکیب لیپید و فعالیت‌های آنزیم‌های کلیدی مرتبط با غشاها مانند H^+_ATPase می‌گردد [۱۱۰].

با توجه به اینکه مطالعات صورت گرفته بر روی گلرنگ به ویژه در ارتباط با پاسخ‌های فیزیولوژیک آن به تنش فلزات سنگین در دنیا و بالاخص ایران اندک بوده، مطالعه حاضر به منظور بررسی پاسخ‌های فیزیولوژیک شش رقم گلرنگ به آلودگی کادمیوم در شرایط آبکشت صورت پذیرفت تا با توجه به نتایج به دست آمده متحمل‌ترین و حساس‌ترین ارقام نسبت به آلودگی کادمیوم در بین ژنوتیپ‌های مورد مطالعه گردد.

فصل دوم

بررسی منابع

۲-۱-تاریخچه و پراکنش جغرافیایی گلرنگ

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) از جمله قدیمی‌ترین محصولات زراعی است که توسط بشر مورد کشت و کار قرار گرفته است و در حال حاضر این گیاه در بیش از ۶۰ کشور جهان از جمله ایران، ایالات متحده، هند، مکزیک، شرق دور و نزدیک و شمال آسیا کشت می‌شود [۵۷]. گلرنگ در مصر بیش از ۴۰۰۰ سال قبل تولید شده و استفاده از آن در چین از حدود ۲۲۰۰ سال پیش معمول بوده است [۱۷۷]. واویلوف سه منطقه هندوستان، افغانستان و اتیوپی را به عنوان مبدا کشت گلرنگ معرفی نموده است [۶]. به لحاظ تنوع گلرنگ، نولز [۱۰۹] فرضیه‌ای با عنوان مراکز تشابه ارائه نمود. بر اساس این فرضیه مراکز تشابه، مبدا یا مراکز تنوع نبوده بلکه تنها دارای انواع مشابه گلرنگ می‌باشند. براساس فرضیه نولز مراکز تشابه شامل هفت منطقه است:

۱- خاور دور: چین، ژاپن و کره
۲- هند، پاکستان و بنگلادش
۳- خاور میانه: افغانستان،ترکیه و جنوب شوروی سابق تا اقیانوس هند

۴- مصر

۵- سودان: حاشیه رود نیل در شمال سودان و جنوب مصر

۶- اتیوپی

۷- اروپا: فرانسه، پرتغال، اسپانیا، رومانی و ایتالیا

۲-۲- خصوصیات گیاه‌شناسی

گلرنگ گیاهی یک ساله، متعلق به خانواده مرکبه و دیپلوئید است. گلرنگ دارای ریشه‌های مستقیم و توسعه یافته با ریشه‌های جانبی زیاد است و در خاک‌های عمیق و نفوذ پذیر در صورت فراهم بودن رطوبت می‌تواند تاعمق ۲ تا ۳ متری رشد کند. ریشه‌های جانبی می‌تواند حدود ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر رشد نمایند. ساقه گلرنگ استوانه‌ای، سخت و در قسمت پایه نسبتا ضخیم است و با رشد ساقه‌های جانبی در قسمت فوقانی و افزایش شاخه‌ها باریک می‌شود. ساقه اصلی تولید ساقه‌های فرعی می‌نمایدکه از ارتفاع ۲۰ الی ۴۵ سانتی‌متری ساقه اصلی شروع به نمو می‌نمایند. ارتفاع بوته به ۴۰ تا بیش از ۱۵۰ سانتی‌متر می‌رسد [۵، ۶]. زاویه بین ساقه اصلی و شاخه نیز یک ویژگی مربوط به واریته است که ممکن است از ۱۰ تا ۹۰ درجه تغییر کند. برگ‌ها بیضی شکل، بدون دم‌برگ و دندانه‌دار، بدون کرک و به رنگ سبز تیره براق بوده و با آرایش مارپیچی روی ساقه قرار دارند. شکل برگ‌ها در قسمت‌های مختلف ساقه یکسان نیست. بزرگ‌ترین برگ‌ها در وسط ساقه اصلی ظاهر می‌شود [۵، ۶]. طول برگ‌ها بسته به رقم معمولا ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر و عرض آن‌ها ۲/۵ تا ۵ سانتی-متر می‌باشد. حاشیه برگ‌ها به اشکال مختلفی نظیر مضرس، بدون بریدگی، با بریدگی عمیق و ناقص دیده می‌شود [۵]. در انتهای هر شاخه یک گل آذین تولید می‌شود و لذا گلرنگ جزء گیاهان رشد محدود گل انتهایی می‌باشد. گل آذین گلرنگ طبق نامیده می‌شود. هر گل گلرنگ شامل پنج گلبرگ بوده و جام گلچه-های آن پیوسته و لوله مانند است. تعداد پرچم‌ها پنج عدد است که در ناحیه میله مستقل می‌باشند و در قسمت بساک به یکدیگر متصل بوده و به صورت یک لوله درآمده‌اند که کلاله را در برمی‌گیرند [۶]. تعداد گلچه‌ها در هر طبق بسته به واریته و شرایط محیطی بین ۲۰ تا ۱۸۰ عدد متغیر است و هر گل می‌تواند مولد یک دانه باشد [۴، ۵]. تولید طبق‌ها ۷۵ تا ۸۰ روز پس از سبز شدن شروع و به مدت دو تا سه هفته بسته به شرایط محیطی، تراکم و تفاوت ارقام ادامه می‌یابد. هر طبق ۱۵ تا ۳۰ دانه تولید می‌کند [۲، ۵]. میوه گلرنگ از نظر

گیاه‌شناسی آکن (فندقه) نامیده می‌شود و شبیه به دانه کوچک و مستطیل شکل آفتابگردان بوده ولی پوسته آن فیبر بیشتری داشته و ضخیم‌تر است. دانه گلرنگ به رنگ‌های زرد، سفید، سیاه یا کرم دیده می‌شود. وزن هزار دانه گلرگ معمولا از ۲۰ تا ۵۰ گرم متغیر می‌باشد [۲، ۵ و ۶].

۲-۳- سازگاری

گلرنگ محصول نواحی خشک است و در شرایط خشک بهتر می‌تواند گل‌دهی و دوره پر شدن دانه را بگذراند. این گیاه از عرض جغرافیایی ۴۰ درجه جنوبی تا بیش از ۵۰ درجه شمالی و از ارتفاع صفر تا نزدیک به ۳۰۰۰ متر از سطح دریا و بسته به عرض جغرافیایی کاشت می‌شود. در دشت‌های ایران این گیاه تا ارتفاع حدود ۲۵۰۰ متر از سطح دریا قابل کشت می‌باشد [۱۷۷]. این گیاه در مراحل مختلف رشد خود به مقادیر مختلف گرما نیازمند است. در مرحله روزت بسیاری از انواع پاییزه این گیاه دانه روغنی می‌توانند در برابر درجه حرارت‌های پایین مقاومت نمایند. در مرحله غنچه‌دهی درجه حرارت‌های کمتر از صفر می‌تواند باعث بروز صدمات زیادی در این گیاه شود. درجه حرارت مطلوب برای رشد گلرنگ حدود ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. در مرحله گرده افشانی حساسیت گیاه به حرارت بالا زیاد خواهد بود [۶]. گلرنگ سازگاری زیادی به انواع خاک‌ها دارد اما خاک‌های عمیق، حاصلخیز و با زهکشی مناسب و pH خنثی تا کمی قلیایی برای گلرنگ مناسب است. این گیاه هم‌چنین تولید قابل قبولی در خاک‌های درشت بافت با ظرفیت نگهداری کم آب، هنگامی که بارش باران و یا توزیع رطوبت کافی است، دارد [۵]. رطوبت خاک یک عامل حیاتی در کشت گلرنگ بوده و کلیه مراحل رشد آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. گیاه در مرحله روزت بیشترین مقاومت را در برابر رطوبت از خود نشان می‌دهد. رطوبت نسبی زیاد هوا در هنگام گل‌دهی علاوه بر اختلال در باروری گل و تشکیل بذر، باعث هجوم شدید عوامل بیماری‌زا می‌شود [۶]. برای کشت دیم گلرنگ به طور کلی بارندگی حدود ۶۰۰ میلی‌متر برای رشد مناسب است. گیاه در مرحله روزت به دلیل تبخیر کم و درجه حرارت‌های پایین به آب کمتری نیاز دارد. ولی در مرحله ساقه‌دهی و غنچه رفتن به آب کافی به منظور جبران کمبود آب در اثر تبخیر نیازمند است. حداکثر میزان مصرف آب در دوره گل‌دهی است و بعد از گل‌دهی نیاز آبی گلرنگ شدیدا کاهش می‌یابد [۴، ۵ و ۶].

۲-٤- مراحل رشد و نمو

مراحل نمو گلرنگ شامل سبز شدن، دوره روزت، طویل شدن ساقه، تشکیل ساقه‌های جانبی، گل‌دهی و رسیدگی است [۱۳۵]. پس از سبز شدن گیاه، میان‌گره‌های ساقه رشد نکرده و برگ‌ها به حالت افقی روی سطح زمین قرار می‌گیرند، این مرحله از رشد را روزت می‌گویند. با پیدایش اولین تحریکات گل‌دهی، میان-گره‌ها شروع به رشد می‌کنند و گیاه به ساقه می‌رود. همراه با افزایش رشد طولی ساقه، مریستم انتهایی به صورت گل آذین در می‌آید و گل آذین به صورت یک تکمه در انتهای ساقه اصلی مشاهده می‌گردد. این مرحله را مرحله رویت طبق یا تکمه‌دهی می‌گویند. تداوم رشد طبق به مرحله گلدهی می‌انجامد. غالبا گلرنگ تا مرحله گلدهی حدود دو سوم از طول دوره رشد خود را طی نموده است. رشد دانه‌ها غالبا حدود ۴ هفته پس از گرده افشانی تکمیل می‌شود. در مرحله رسیدگی کامل حداقل ۷۵ درصد طبق‌ها کاملا قهوه‌ای شده و دانه به سهولت از طبق جدا می‌شوند. طول دوره رشد گلرنگ به طور کلی بین ۱۲۰ تا ۱۸۰ روز متغیر است [۵].

۲-۵- موارد استفاده گلرنگ

این گیاه در صنعت غذایی و طب سنتی استفاده گسترده‌ای داشته و از مصر قدیم تا بابل و در آسیای صغیر و شرق هند مصرف می‌شده است. بذور گلرنگ منبع غنی از مواد معدنی نظیر آهن، منگنز، مس و روی، ویتامین‌ها (تیامین و بتا کاروتن) و توکوفرول (آلفا، بتا و گاما) می‌باشد [۶۰، ۱۱۶]. چون این گیاه جهت خوش رنگ کردن و طعم دادن به غذاها، شیرینی‌ها و شربت‌ها کاربرد دارد، بنابراین به خاطر در دسترس و ارزان بودن، به جای زعفران و به عنوان زعفران تقلبی کاربرد دارد. مواد رنگی آن عبارتند از کارتامین و کارتامیدین که در رنگ آمیزی پارچه‌ها و آشپزی به کار می‌روند [۶۴، ۱۷۵]. علاوه بر این اریترو-آلکان ۶،۸ دیولس، سافلاور زرد نیز از ترکیبات آن می‌باشد [۱۹۴]. عصاره استخراجی از گلبرگ‌های گلرنگ دارای خواص دارویی مهمی از جمله ضد فشار خون، ضد تومور، آنتی اکسیدان و آرام کننده اعصاب می‌باشد. جوشانده آن به عنوان قاعده‌آور و ضد التهاب شناخته شده است [۳]. گلرنگ به عنوان گیاهی دانه روغنی و به منظور استحصال روغن صنعتی و تولید مارگارین درمناطق مختلف جهان کشت می‌شود [۹۱، ۱۷۰]. دانه گلرنگ داری ۲۵ تا ۴۵ درصد روغن است. روغن این گیاه کیفیت قابل ملاحظه‌ای دارد، میزان اسید لینولئیک

آن بین ۷۳ تا ۸۵ درصد است که بالاترین مقدار در بین گیاهان دانه روغنی می‌باشد. روغن گلرنگ به عنوان ماده خام جهت افزودن به مواد رنگی، ورنی، جوهر چاپ فیلم، نوار مغناطیسی، روغن جلا و همچنین در سرخ کردن و تهیه غذاهای سرد به دلیل پایداری در دماهای بالا و پایین استفاده می‌شود [۳، ۵].

۲-٦- تعریف فلزات سنگین

فلزات سنگین[1]، عناصری با وزن اتمی ۶۳/۵۴ تا ۲۰۰/۵۹ گرم بر مول و وزن مخصوص بیش از ۵/۵ گرم بر سانتی متر مکعب هستند. این عناصر شامل عناصر مرکزی جدول تناوبی و نیز فلزات انتقالی می‌باشند و ممکن است به صورت آزاد، اکسید و سولفید در طبیعت وجود داشته باشند. خطرات بهداشتی ناشی از تجمع فلزات سنگین در زنجیره غذایی[2] و ورود آن به بدن انسان و تاثیر بر سلامت انسان امروزه کاملا شناخته شده است. علاوه بر آن فلزات سنگین به دلیل ماهیت خاصی که دارند از آلاینده‌های مهم محیط زیست می‌باشند [۱۲۶، ۱۶۴ و ۱۶۵]. اگرچه برخی از فلزات سنگین برای رشد بیولوژیک لازم‌اند، ولی غلظت‌های کمی بیش از حد آستانه آنها می‌تواند برای حیات گیاهی و جانوری بسیار خطر آفرین باشد. از جمله فلزات سنگین کادمیوم[3]، کروم، سرب، جیوه، روی، نیکل و ... می‌باشندکه در حال حاضر به صورت مختلف وارد محیط شده‌اند و می‌توانند به بدن انسان وارد گردند [۳۶، ۴۹].

۲-۷- آلودگی آب و خاک به فلزات سنگین

یکی از پیامدهای ناخوشایند صنعتی شدن و تمایل به درآمد بیشتر در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه، افزایش آلایندگی و در نتیجه بروز فجایع زیست محیطی است. آلودگی آب و خاک به عناصر سنگین به دنبال فرآیند ذوب و ریخته‌گری فلزات، دفن کنترل شده و یا کنترل نشده زباله، سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، و استفاده از لجن فاضلاب، کودها، سموم و قارچ‌کش‌ها در فعالیت‌های کشاورزی رخ می-دهد و با گسترش روز افزون صنعت این آلودگی‌ها رو به افزایش است [۵۶]. بخش اعظم آلاینده‌های معدنی را فلزا ت سنگین تشکیل می‌دهند، فلزات سنگین نسبت به آلاینده‌های آلی مشکلات متفاوتی را در خاک ایجاد می‌کنند. چون فلزات سنگین در مقایسه با آلاینده‌های آلی، نمی‌توانند با روش‌های شیمیایی و

1- Heavy metals
2- Food chain
3- Cadmium