بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه اراک

دانشکده علوم پایه

کارشناسی ارشد رشته زیست شناسی (فیزیولوژی گیاهی)

مطالعه تاثیرات آلودگی هوا بر گیاهان زراعی یونجه (*Medicago sativa*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) از منطقه صنعتی پالایشگاه شازند

پژوهشگر:

سعید حسین آبادی

استاد راهنما:

دکتر فریبا امینی

استاد مشاور:

دکتر مهری عسگری

تابستان ۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحیم

مطالعه تاثیرات آلودگی هوا بر گیاهان زراعی یونجه (*Medicago sativa*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) از منطقه صنعتی پالایشگاه شازند

توسط

سعید حسین آبادی

پایان نامه

ارائه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی به عنوان بخشی از فعالیت های

تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته فیزیولوژی گیاهی

از

دانشگاه اراک

اراک - ایران

ارزیابی و تصویب شده توسط کمیته پایان نامه با درجه .....

دکتر فریبا امینی (استاد راهنما) ..... استادیار

دکتر مهری عسگری (استاد مشاور) ..... استادیار

دکتر مجید مهدیه مدعو داخلی) ..... استادیار

تابستان ۱۳۹۲

حمد و ثنا مخصوص خداوندی است که عطش علم و دانش را در وجودمان به ودیعه نهاد تا ظلمت جهل و نادانی را به روشنایی فهم و کمال بیاراییم.

شایسته ترین سپاس‌ها را تقدیم می کنم به استاد راهنمای عزیزم سرکار خانم دکتر امینی که در تمام طول دوران پروژه صمیمانه و دلسوزانه مرا یاری کردند، با آرزوی سلامتی و توفیق روزافزون از درگاه باری تعالی برای استاد فرزانه‌ام.

از استاد مشاور محترم، سرکار خانم دکتر عسگری، صمیمانه قدردانی می‌کنم و برایشان آرزوی توفیق روزافزون دارم. از داور محترم جناب آقای دکتر مهدیه که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را تقبل کردند کمال تشکر را دارم.

این پایان نامه با حمایت مالی حوزه معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه اراک انجام شد، دراین خصوص از مسئولین مربوطه تشکر به عمل می آید.

تقدیم به

همسرم

که همواره پشتیبان و پناه من در روزهای سخت و شیرین زندگی ام بوده است.

چکیده

مطالعه تاثیرات آلودگی هوا بر گیاهان زراعی یونجه (*Medicago sativa*) و لوبیا (*Phaseolus vulgaris*) از منطقه صنعتی پالایشگاه شازند

سعید حسین آبادی

گیاهان در اثر آلودگی هوا تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک برگشت‌پذیر و غیربرگشت‌پذیری را نشان می دهند. بنابراین پارامترهای بیوشیمیایی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا مهیا کنند. مقاومت و پاسخ گیاهان به آلاینده‌های هوا متفاوت است. این اختلاف به وسیله فاکتورهایی از قبیل غلظت آلاینده‌ها و توزیع زمانی آنها، ژنوتیپ گیاه، فعالیت فیزیولوژیکی، عوامل هواشناسی، وضعیت تغذیه گیاهان و دیگر فاکتورهای محیطی ایجاد می‌شود. اثرات آلاینده‌های هوای پالایشگاه اراک بر میزان رنگیزه‌ها، کربوهیدرات‌های محلول و غیراحیائی، پرولین، پروتئین، کلسیم و فسفر برگ و ریشه گیاهان یونجه و لوبیا موضوع این تحقیق است. همچنین مقاومت این گیاهان به آلودگی هوا مطالعه می‌شود. نمونه‌های گیاهان از دو منطقه به طور همزمان برداشت و میزان پارامترهای فوق بررسی گردید. نتایج نشان داد که آلودگی هوا باعث افزایش معنی‌دار (در سطح 5%) کلروفیل a، b و کل، آنتوسیانین، کربوهیدرات‌های غیراحیایی برگ، کربوهیدرات‌های محلول، پرولین، پروتئین، کلسیم و فسفر در ریشه و برگ یونجه و کاهش معنی‌دار کلروفیل a، b و کل، کارتنوئید، کربوهیدرات‌های محلول، کربوهیدرات‌های غیراحیایی، پروتئین و کلسیم در گیاه لوبیا شد. همچنین آنتوسیانین، پرولین و فسفر لوبیا تحت تاثیر آلودگی هوا به طور معنی‌دار افزایش یافت در صورتی‌که کاروتنوئید و کربوهیدرات‌های محلول ریشه یونجه و کلسیم ریشه لوبیا تغییر معنی‌داری نشان نداد. در این مطالعه تغییرات پارامترهای بیوشیمیایی یونجه را می‌توان به مقاومت این گیاه نسبت به آلودگی هوا نسبت داد و بررسی پارامترهای بیوشیمیایی لوبیا حساسیت این گیاه به آلودگی هوا را نشان می‌دهد.

کلیدواژه ها: منطقه صنعتی، آلودگی هوا، یونجه، لوبیا

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: کلیات و اهداف

1-1- آلودگی هوا 1

۱-۱-۱-تعریف آلودگی هوا 1

۱-۱-۲-انواع آلاینده‌ها و منابع آلودگی هوا ۲

۱-۲-آلودگی هوا و گیاهان 4

۱-۲-۱-جذب و ورود آلاینده‌ها به گیاهان 7

۱-۲-۲-مکانیزم عمل آلاینده‌ها 8

۱-۲-۳-تأثیرآلودگی هوا برعوامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه 9

1-2-3-1-تأثیر آلودگی هوا بر رنگیزه‌های گیاه 10

1-2-3-2-تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌های گیاه 11

1-2-3-3-تأثیر آلودگی هوا بر اسیدآمینه پرولین 13

1-2-3-4-تأثیرآلودگی هوا بر پروتئین‌های گیاه 14

1-2-3-5-تأثیر آلودگی هوا بر عناصر گیاه 15

۱-۳-گیاهان مورد مطالعه 16

۱-۳-۱-یونجه 16

۱-۳-۲-لوبیا ۱۷

1-4- اهداف پایان نامه

۱۷

فصل دوم: مواد و روش‌ها

۲-۱-منطقه مورد مطالعه ۱۹

۲-۲-نمونه‌برداری از دو منطقه پاک و آلوده ۲۰

۲-۳-روش اندازه‌گیری پارامترهای فیزیولوژیک در گیاهان مورد مطالعه ۲۱

۲-۳-۱-اندازه‌گیری رنگیزه‌های فتوسنتزی برگ ۲۱

2-3-1-1-کلروفیل ۲۱

2-3-1-2-کاروتنوئید ۲۲

۲-۳-۲-اندازه‌گیری رنگیزه غیرفتوسنتزی آنتوسیانین ۲۲

عنوان **صفحه**

۲-۳-۳-اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های محلول ۲۳
۲-3-۳-1-استخراج کربوهیدرات‌های محلول ۲۳
۲-3-۳-2- روش اندازه‌گیری کربوهیدرات محلول ۲۳
2-3-۳-3- رسم منحنی استاندارد کربوهیدرات محلول ۲۳
2-3-٤- اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های غیراحیایی ۲٤
2-3-٤-1- روش اندازه‌گیری کربوهیدرات‌های غیراحیایی ۲٤
2-3-٤-2- رسم منحنی استاندارد کربوهیدرات غیراحیایی ۲٤
2-3-٥- اندازه‌گیری اسیدآمینه پرولین ۲٥
2-3-٥-1- روش اندازه‌گیری پرولین ۲٥
2-3-٥-2- رسم منحنی استاندارد پرولین ۲٥
2-3-٦- اندازه‌گیری پروتئین محلول ۲٥
2-3-٦-1- روش استخراج پروتئین ۲٦
2-3-٦-2- تهیه بافر استخراج ۲٦
2-3-٦-3- تهیه معرف برادفورد ۲٦
2-3-٦-4- آماده‌سازی محلول استاندارد پروتئین ۲٦
2-3-٦-5- اندازه‌گیری پروتئین ۲۷
2-3-۷- اندازه‌گیری عناصر در برگ و ریشه ۲۷
2-3-۷-1- استخراج و تهیه عصاره گیاهی ۲۷
2-3-۷-2- اندازه‌گیری عنصر کلسیم در برگ و ریشه ۲۸
2-3-۷-3- اندازه‌گیری عنصر فسفر در برگ و ریشه ۲۸
2-4-تجزیه و تحلیل آماری ۲۸

فصل سوم: نتایج

3-1-تأثیر آلودگی هوا بر رنگیزه‌های گیاه ۲۹
3-1-1-تأثیر آلودگی هوا بر کلروفیل گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۲۹
3-1-2-تأثیر آلودگی هوا بر کلروفیل گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۰
3-1-3- تأثیر آلودگی هوا بر نسبت کلروفیل *a/b* گیاهان مورد مطالعه، در مناطق پاک و آلوده ۳۱
3-1-4- تأثیر آلودگی هوا بر کاروتنوئید گیاهان مورد مطالعه، در مناطق پاک و آلوده ۳۲
۳-۱-٥- تأثیر آلودگی هوا بر آنتوسیانین گیاهان مورد مطالعه، در مناطق پاک و آلوده ۳۳

2-3- تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌ها ۳٤

عنوان **صفحه**

3-2-1- تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌های محلول گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۳٤

3-2-2- تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌های محلول گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۵

3-2-3- تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌های غیراحیایی گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۳٦

3-2-4- تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌های غیراحیایی گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۷

3-3- تأثیر آلودگی هوا بر پرولین ۳۸

3-3-1-تأثیر آلودگی هوا بر پرولین گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۳۸

3-3-2-تأثیر آلودگی هوا بر پرولین گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۹

3-4- تأثیر آلودگی هوا بر پروتئین ٤۰

3-4-1-تأثیر آلودگی هوا بر پروتئین گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤۰

3-4-2-تأثیر آلودگی هوا بر پروتئین گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۱

3-5- تأثیر آلودگی هوا بر عناصر ٤۲

3-5-1- تأثیر آلودگی هوا بر کلسیم گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤۲

3-5-2- تأثیر آلودگی هوا بر کلسیم گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۳

3-5-3- تأثیر آلودگی هوا بر فسفر گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤٤

3-5-4- تأثیر آلودگی هوا بر فسفر گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۵

فصل چهارم: بحث و پیشنهادات

4-1- اثر آلودگی هوا بر میزان رنگیزه‌ها ٤۷

4-2- اثر آلودگی هوا بر میزان کربوهیدرات‌ها ۵۲

4-3- اثر آلودگی هوا بر میزان اسیدآمینه پرولین ۵۵

4-4 اثر آلودگی هوا بر غلظت پروتئین کل ۵٦

4-5- اثر آلودگی هوا بر مقدار عناصر ۵۸

4-6- نتیجه‌گیری کلی ٦۰

4-7- پیشنهادات ٦۲

پیوست‌ها ٦۳

منابع و مآخذ ۷۳

خلاصه و عنوان انگلیسی ۸۷

فهرست شکل ها

عنوان **صفحه**

شکل 2-1- تصویر ماهواره‌ای منطقه صنعتی پالایشگاه شازند ۱۹
شکل 3-1- تغییرات کلروفیل گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۲۹
شکل ۳-۲- تغییرات کلروفیل گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۰
شکل 3-3- نسبت کلروفیل a به b در گیاه یونجه و لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۱
شکل 3-4- تغییرات کاروتنوئید در گیاه یونجه و لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۲
شکل 3-5- تغییرات آنتوسیانین در گیاه یونجه و لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۳
شکل 3-6- تغییرات کربوهیدرات‌های محلول برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۳٤
شکل 3-7- تغییرات کربوهیدرات‌های محلول برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۵
شکل 3-8- تغییرات کربوهیدرات‌های غیراحیایی برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده۳٦
شکل 3-9- تغییرات کربوهیدرات‌های غیر احیایی برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۷
شکل 3-10- تغییرات پرولین برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ۳۸
شکل 3-11- تغییرات پرولین برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ۳۹
شکل 3-12- تغییرات مقدار پروتئین برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤۰
شکل 3-13- تغییرات مقدار پروتئین برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۱
شکل 3-14- تغییرات تجمع یون کلسیم در برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤۲
شکل 3-15- تغییرات تجمع یون کلسیم در برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۳
شکل 3-16- تغییرات تجمع فسفر در برگ و ریشه گیاه یونجه در مناطق پاک و آلوده ٤٤
شکل 3-17- تغییرات تجمع فسفر در برگ و ریشه گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٤۵

پیوست‌ها

عنوان **صفحه**

پیوست 1- تهیه معرف آنترون ٦٣
پیوست 2- رسم منحنی استاندارد کربوهیدرات‌های محلول ٦٣
پیوست 3- رسم منحنی استاندارد کربوهیدرات‌های غیراحیایی ٦٣
پیوست 4- تهیه معرف نین‌هیدرین ٦٤
پیوست 5- رسم منحنی استاندارد پرولین ٦٤
پیوست 6- رسم منحنی استاندارد پروتئین ٦٥
پیوست 7- رسم منحنی استاندارد فسفر ٦٥
پیوست 8- جدول آنالیز واریانس نتایج تأثیر آلودگی هوا بر رنگیزه‌های فتوسنتزی و غیرفتوسنتزی با آنالیزT تست ٦٦
پیوست 9- جدول آنالیز واریانس نتایج تأثیر آلودگی هوا بر کربوهیدرات‌ها با آنالیز T تست ٦٦
پیوست10- جدول آنالیز واریانس نتایج تأثیر آلودگی هوا بر پرولین با آنالیز T تست ٦٦
پیوست11 - جدول آنالیز واریانس نتایج تأثیر آلودگی هوا بر پروتئین با آنالیز T تست ٦٧
پیوست12 - جدول آنالیز واریانس نتایج تأثیر آلودگی هوا بر تجمع کلسیم و فسفر با آنالیز T تست ٦٧
پیوست 13- تغییرات کلروفیل a، b و کل در A: گیاه یونجه و B: گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٦٧
پیوست ١٤- تغییرات کاروتنوئید وآنتوسیانین در A: گیاه یونجه وB: گیاه لوبیا در مناطق پاک وآلوده ٦٨
پیوست ١٥- تغییرات کربوهیدرات‌ها در A: گیاه یونجه و B: گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٦٩
پیوست 16- تغییرات پروتئین واسیدآمینه پرولین درA:گیاه یونجه و B:گیاه لوبیادرمناطق پاک وآلوده ٧٠
پیوست 17- تغییرات تجمع یون کلسیم و فسفر در A: گیاه یونجه و B: گیاه لوبیا در مناطق پاک و آلوده ٧١

فصل اول

کلّیات و اهداف

۱-1- آلودگی هوا

1-1-1– تعریف آلودگی هوا[1]

منظور از آلودگی ورود عناصر و ترکیبات جدید به محیط و یا تغییر نسبت عناصر و ترکیباتی است که به طور طبیعی در محیط وجود دارند. آلودگی هوا شرایط اکولوژیکی را تغییر می‌دهد و به عنوان نوسان در اجزاء اتمسفر از میزانی‌که‌باید بدون فعالیت بشر موجود باشد، تعریف می‌شود (Tripathi and Gautam, 2007). هوا گازی‌بی‌رنگ و بی‌بو است و مخلوطی‌از عناصری مانند ازت، اکسیژن، هیدروژن، گازکربونیک، آرگون، نئون، هلیوم، کریپتون، گزنون و مقداری بخارآب و آمونیاک است. هوا نیز مانند سایر منابع محیط‌زیست دارای ظرفیت‌محدود است و تحمل تخلیه‌ی مواد زاید و سمی مختلف را در حدی که امروزه بشر به‌آن تحمیل‌کرده ندارد. هرگونه تغییر در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی عناصر تشکیل دهنده‌ی هوا را "آلودگی هوا" می‌گویند (نصرالهی و غفاری، 1389). آلودگی هوا ممکن است به‌صورت هر شرایط جوی تعریف شود که مواد معینی در غلظت‌هایی وجود داشته باشند که ممکن است اثرات نامطلوبی روی انسان و اکوسیستم داشته باشند (Rai *et al*., 2011) انواع متعددی از آلاینده‌ها در اثر فعالیت‌های طبیعی و مصنوعی (ناشی از فعالیت‌های بشری) که در زمین انجام

[1]- air pollution

می‌گیرد وارد اتمسفر می‌گردند بنابراین به‌طور کلی آلودگی هوا به معنی حضور یک ماده خارجی در هوا است. هوای آلوده به هوایی گفته می‌شود که غلظت گازها و ذرات مضر موجود در آن به بیش از حد طبیعی خود برسد (Raghunandan *et al.*, 2007).

اکسیدهای گوگرد، اکسیدهای نیتروژون، مونواکسیدکربن، ذرات معلق، هیدروکربن‌ها و دی‌اکسیدکربن از جمله گازهای آلاینده و گلخانه‌ای هستند که در اثر فعالیت‌های بخش انرژی به ویژه احتراق سوخت‌های هیدروکربنی به جو راه می‌یابند و ترکیب شیمیایی اتمسفر در نتیجه‌ی افزایش گازها، مواد فرار و ذرات معلق تغییر می‌کند (Rai *et al.*, 2011).

گازهای آلاینده سبب بارش باران‌های اسیدی، بروز مخاطرات بهداشتی و سلامتی برای سایر موجودات گردیده و باعث بروز پدیده‌ی تغییر آب و هوا و گرمایش جهانی شده و از دیدگاه منطقه‌ای و ملی و همچنین بعد جهانی مورد توجه قرار می‌گیرند (Bell and power, 2003, Dasgupta *et al.*, 2002).

1-1-2- انواع آلاینده‌ها و منابع آلودگی هوا

آلاینده‌های هوا را به چند طریق می توان طبقه‌بندی کرد. آلاینده‌ها با توجه به منشاءشان به دو گروه اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند:

الف- آلاینده‌های اولیه: آلاینده‌هایی که مستقیما" به اتمسفر وارد می‌شوند و به طور مستقیم هوا را آلوده می‌کنند و به همان شکل آزاد شده نیز در اتمسفر یافت می‌شوند آلاینده‌های اولیه نامیده می‌شوند (Agbair and Esiefarienrhe, 2009). مهمترین آلاینده‌های اولیه شامل دی‌اکسیدسولفور (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_2) و هیدروکربن‌ها هستند.

ب- آلاینده‌های ثانویه: آلاینده‌هایی هستند که با واکنش و میانکنش آلاینده‌های اولیه با همدیگر و ترکیبات شیمیایی دیگر در هوا تشکیل می‌شوند (Seyyednejad *et al.*, 2011). این آلاینده‌ها در اتمسفر توسط یک واکنش فتوشیمیایی در اثر هیدرولیز و یا اکسیداسیون تشکیل می‌شوند. آلودگی هوا ابتدا به‌عنوان یک مشکل محلی در اطراف منابع انتشار مطرح شد اما در نتیجه‌ی استفاده زیاد و انتقال وسیع آلاینده‌ها، به یک مشکل منطقه‌ای تبدیل شد. تنوعی از انواع آلاینده‌های ثانویه در نتیجه‌ی برهمکنش آلاینده‌های ثانویه با ترکیبات دیگر در طول انتقال ایجاد می‌شود. جدای از اثرات محلی، آلاینده‌های ثانویه می‌توانند مسافت‌های طولانی را طی نموده و باعث ایجاد آلودگی هوا در مناطقی بسیار دورتر از منبع شوند (Agrawal, 2005). مهمترین آلاینده‌های ثانویه شامل اوزون (O_3)

و پراکسی‌استیل‌نیترات (PAN) هستند. به عنوان مثال اوزون (O_3) یک آلاینده‌ی ثانویه است که از منبع خاصی منتشر نمی‌شود و در طی واکنش‌های فتوشیمیایی شامل اکسیداسیون نیتروژن و هیدروکربن‌های واکنشگر حاصل از اتومبیل ها ایجاد می‌شود. این واکنش‌ها اصولا" به وسیله نور خورشید و حرارت کنترل می‌شوند (Krupa and Maning, 1988).

$$2\ NO + ½\ O_2 \rightarrow 2NO_2$$

$$NO_2 + h\nu \rightarrow NO + O$$

$$O + O_2 \rightarrow O_3$$

آلاینده‌های هوا را براساس حالت فیزیکی ماده نیز طبقه‌بندی می‌کنند. همه‌ی سوخت‌ها، گازها و ذراتی را در هوا آزاد می‌کنند که می‌تواند شامل اکسیدهای‌سولفور، اکسیدهای نیتروژن، مونوکسیدکربن و ذرات دوده باشد. به علاوه مقدارهای کمتری از فلزات سمی، مولکول‌های آلی و ایزوتوپ‌های رادیواکتیو نیز چه به حالت گازی و چه به صورت ذرات معلق را نیز شامل می‌شوند (Agbaire and Esiefarienrhe, 2009). بنابراین براساس حالت فیزیکی ماده آلاینده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف- ذرات آلاینده: عبارتند از جامدات و مایعاتی که شامل غبار، دودهای غلیظ، خاکستر، غبار مه‌آلود و اسپری هستند. تحت شرایط مناسب، ذرات آلاینده از اتمسفر جدا و ته‌نشین می‌شوند. به هر ماده به جز آب خالص که به صورت مایع یا جامد در اتمسفر تحت شرایط نرمال در اندازه میکروسکوپی اما بزرگتر از ابعاد مولکولی باشد، ذرات معلق می‌گویند (نصرالهی و غفاری، 1389). ذرات معلق از آلاینده‌های اولیه و عمده هوا هستند و اغلب به زیرگروه‌هایی شامل ذرات کمتر از ۰/۱ میکرون، ذرات کمتر از ۲/۵ میکرون، ذرات کمتر از 4 میکرون (که ذرات قابل تنفس نیز نامیده می‌شوند)، ذرات کمتر از 10 میکرون و ذرات کمتر از 100 میکرون تقسیم می‌شوند (Daly and Zannetti, 2007).

مهمترین ذرات آلاینده اتمسفر شامل: فنل‌ها، اسیدهای‌آلی، الکلها، نیتراتها، سولفاتها، فلزاتی مانند آهن، سرب، منگنز، روی، وانادیم، دوده‌ها، اکسیدهای فلزی و نمک‌ها، فلزات روغنی یا قیری، قطرات اسیدی، سیلیکات‌ها و سایر غبارهای معدنی و دودهای غلیظ فلزی می‌باشند که از منابعی مانند صنایع سیمان، زغال‌سنگ، ذوب آهن، کارخانه‌های گچ پزی و کارگاه‌های بزرگ تراشکاری منتشر می‌شوند (نصرالهی و غفاری، 1389).

ب- آلاینده‌های گازی: آلاینده‌های بی‌شکلی هستند که در فضای آزاد به راحتی پخش می‌شوند و بسیار شبیه به هوا عمل نموده و از اتمسفر جدا نمی‌شوند. این آلاینده‌ها شامل مونوکسیدکربن(CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، اکسیدهای سولفور (SO_X)، اکسیدانت های فتوشیمیایی از قبیل اوزون (O_3)، هیدروکربن‌ها و ترکیبات آلی فرار هستند (Costa, 2001).

در مناطق شهری منابع مهم آلودگی هوا، نیروگاه‌ها، صنایع، وسایل نقلیه موتوری و منابع خانگی است (Rai *et al.*, 2011). بنابراین از لحاظ منبع انتشار آلاینده‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

الف)- آلاینده‌های صنعتی: این آلاینده‌ها از صنایعی مانند نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها متصاعد می‌شوند و بیشتر آلاینده‌های خطرناک منتشر شده در مناطق صنعتی شامل: دی‌اکسیدسولفور (SO_2)، اکسیدهای نیتروژن (NO_X)، CO، اوزون (O_3) و فلزات سنگین به علاوه ذرات معلق است (Assadi *et al.*, 2011). عمومی‌ترین و مهمترین آلاینده‌های پالایشگاه‌ها و صنایع با سوخت فسیلی عبارتند از SO_2، NO_2 و CO که در بین آنها ذرات معلق از جمله آلاینده‌های عمده و مهم می‌باشند و انتشار آلاینده‌هایی چون اکسیدهای ازت و گوگرد تقریبا" در کلیه نیروگاه‌های با سوخت مایع کشور بیش از حد استاندارد می‌باشد و در نیروگاه‌های گازسوز نیز مشکل انتشار اکسیدهای ازت (NO_X) وجود دارد. از آلاینده‌های مهم در واحدهای بهره برداری نفت و پالایشگاه‌ها CO، H_2S، SO_2 و NO_X عنوان گردیده است (طولابی و همکاران، 1391).

ب)- آلاینده‌های شهری: این آلاینده‌ها از سوخت‌های فسیلی ناشی از وسایل نقلیه موتوری و منابع خانگی ایجاد می‌شوند و بیشتر شامل CO، SO_2 و NO_X می باشند. اثرات مضر آلودگی هوا با سه منبع بزرگ مرتبط است که شامل دی‌اکسیدسولفور و ذرات جامد حاصل از سوختهای فسیلی، اکسیداسیون فتوشیمیایی و منوکسیدکربن خودروهای موتوری و آلاینده‌های متفرقه از قبیل هیدروژن سولفید، سرب و کادمیوم ساتع شده از کارخانه‌های ذوب، پالایشگاه‌ها، خودروها و کارخانجات تولیدی می‌شود (Rai *et al.*, 2011).

1-2- آلودگی هوا و گیاهان

در طول چند دهه اخیر در نتیجه‌ی افزایش صنعتی شدن و شهرنشینی، آلودگی هوا به یک تنش[1] محیطی جدی برای محصولات گیاهی تبدیل شده است (Rajput and Agrawal, 2004). آلاینده‌های

[1]- Stress

گازی شکل و ذرات آلاینده به تنهایی و در ترکیب با هم می توانند باعث اختلال در کل فیزیولوژی گیاهان شوند (Anda, 1986). گیاهان تحت تیمار آلودگی هوا تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک برگشت‌پذیر و غیربرگشت‌پذیری مانند صدمات برگ، کاهش سطح برگ و بیوماس، کاهش فعالیت فتوسنتزی و رشد ناچیز گیاه و کاهش مواد خشک و محصولات را متحمل می‌شوند (Lalman and Singh, 1990) و به خوبی روشن است که آلودگی هوای صنعتی و شهری یک تهدید جدی برای رشد محصولات زراعی در مجاورت مناطق صنعتی و شهری است (Avnish and Joshi, 2010). دی‌اکسیدسولفور، اکسیدهای نیتروژن و آلاینده‌های ثانویه مانند O_3 به‌عنوان تهدید بزرگی برای محصولات زراعی شناخته می‌شوند و این گازهای فیتوتوکسیک [1] اهمیت زیادی در افزایش خطر برای سلامت تولیدکننده‌ها و مصرف‌کنندگان اکوسیستم در مناطق شهری و حومه شهری دارد و این آلاینده‌ها به‌عنوان یک عامل بالقوه برای کاهش محصول‌دهی و کیفیت غذایی گیاهان زراعی به شمار می‌رود (Ashmore and Marshall, 1999).

مطالعاتی روی اثرات آلودگی هوای صنعتی روی عوامل مورفولوژیکی (سطح برگ، طول برگچه و غیره) و عوامل فیزیولوژیک (پرولین، کلروفیل، محتوای قندهای محلول و غیره) انجام شده است (Payamara, 2012). آسیب به گیاهان در نتیجه‌ی آلاینده‌ها به آسیب‌های حاد و مزمن تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های هوا می‌توانند محدوده‌ی وسیعی از علائم ظاهری (آسیب‌های حاد) در گیاهان ایجاد کنند. آسیب حاد ناشی از SO_2 در حالتی که سطوح بالای SO_2 در دوره‌کوتاهی موجود باشد دیده می‌شود (Rai *et al*., 2011). روی گیاهان پهن برگ علائم آسیب حاد SO_2 شامل نکروز و کلروز رگبرگی و حاشیه‌ای و دوربرگی در برگ‌ها در تمام مراحل نمو برگ است. مناطق نکروزی در رنگ می‌توانند از سفید تا قهوه‌ای مایل به قرمز و تا سیاه وابسته به گونه گیاهی متغیر باشند. در گیاهان تک لپه‌ای علائم آسیب‌های حاد از نوک برگ‌ها شروع می‌شود و رو به پایین گسترش می‌یابد و رگه‌های نکروز و کلروز با رنگ مایل به قرمز ایجاد می‌شوند. در معرض‌گذاری مزمن SO_2 ممکن است علائم آسیب برگی را بسته به نوع گیاه نشان دهد. توجه به این نکته مهم است که کاهش رشد گیاه و محصول‌دهی از در معرض‌گذاری مزمن ممکن است بدون ایجاد آسیب‌های برگی قابل‌رؤیت اتفاق افتد (Legge and Krupa, 2002).

آسیب حاد به وسیله آلاینده‌های گازی شامل جراحت نکروتیک از لکه‌های ریز تا لکه‌های بزرگ بافت‌های مرده متغیر است و در رنگ از سفید تا سیاه قهوه‌ای متفاوت است (Taylor *et al*., 1987).

[1]- Phytotoxic

تشخیص علائم سمیت NO_X در گیاهان در کار میدانی مشکل است این علائم در نهاندانگان شامل لکه‌های قهوه‌ای روشن یا سبز خاکستری بی‌رنگ به طور بین رگبرگی است که همراه با راه‌راه شدن با کلروز حاشیه‌ای برگ‌ها و فقط حفظ سبزی رگبرگ‌ها است. علائم ناشی از آسیب‌های حاد با O_3 شامل لکه‌های نکروز، روی سطح بالایی برگ همراه یک ظاهر سفید شده به صورت یکی شدن لکه‌های ریز است. نکروز می‌تواند در سطح زیرین برگ ایجاد شود و سطوح پایین O_3 می‌تواند باعث کلروز شود (Rai *et al*., 2011).

تنش‌های محیطی از قبیل آلودگی هوا از جمله عواملی هستند که تولید مثل و بقاء گیاهان را بسیار محدود می‌کنند (Woo *et al*., 2007). آلاینده‌های هوا به طور منفی فرایندهای بیوشیمیایی گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند و ظرفیت عمل آنها را به دیگر تنش‌ها نیز کاهش می‌دهند. به‌عنوان مثال فرایندهای فیزیولوژیکی حیاتی از قبیل تثبیت CO_2 فتوسنتزی و متابولیسم انرژی نیز به طور منفی به وسیله آلاینده‌های هوا تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Rai *et al*., 2011).

آلاینده‌ها می‌توانند باعث آسیب برگی، آسیب روزنه‌ای، پیری زودرس، کاهش فعالیت فتوسنتزی، اختلال در نفوذپذیری غشاء و کاهش رشد و محصول‌دهی در گونه‌های گیاهی حساس شوند. کاهش در مساحت و تعداد برگ ممکن است نتیجه‌ی کاهش میزان تولید برگ باشد و مساحت برگ کاهش یافته، کاهش پرتو نورانی جذب شده و به دنبال آن کاهش میزان فتوسنتز را نتیجه دهد (Tiwari *et al*., 2006). نشان داده شده که آلودگی هوا مبادله‌ی گازها در سطح برگ *Avicenia marine* را کاهش می‌دهد. یک راه افزایش تحمل در مقابله با تنش، متعادل کردن محتوای آب بافت به وسیله کاهش سطح برگ است و به نظر می‌رسد که گیاه این روش را به‌عنوان یک مکانیزم دفاعی در برابر آلودگی هوا استفاده می‌کند (Naido and Chricot, 2004).

آلاینده‌های هوا ممکن است باعث ایجاد اختلال در فرایندهای تولیدمثلی گیاهان مانند تغییر در بلوغ دانه گرده یا تخمک، تغییر در زمانبندی، مقدار یا تعداد گل‌ها، اثرات روی نمو دانه و میوه، تولید محصول، زایا بودن دانه و قدرت جوانه‌زنی شوند (Black *et al*., 2000).

افزایش آلودگی هوا از یک سو با اثر روی ساختار خود گیاه باعث اختلال در عملکرد بخش‌های مختلف از جمله کلروفیل می‌شود و غذاسازی گیاه تضعیف می‌شود و از سوی دیگر از طریق ایجاد باران‌های اسیدی، روی خاک اطراف ریشه گیاه اثر می‌گذارد و باعث کاهش اسیدیته خاک می‌شود و نزولات اسیدی سبب نشت و خروج مواد مغذی قابل ملاحظه‌ای از داخل خاک می‌شود و یون هیدروژن را جانشین مواد غذایی قابل جذب برای گیاه می‌سازند و pH خاک را اسیدی می‌کنند (Vallero, 2008).

عوامل محیطی شامل رطوبت، شدت‌نور، طول‌روز و درجه‌حرارت در پاسخ گیاهان به آلاینده‌های هوا مؤثر است (Fab, 2004). پاسخ‌های گیاهان به آلاینده‌های هوا ممکن است بسیار گسترده و متفاوت باشد و اختلاف این پاسخ‌ها می‌تواند به وسیله فاکتورهایی از قبیل اختلاف در غلظت‌های آلاینده‌ها و توزیع زمانی آنها، منشأ ژنتیکی، فعالیت فیزیولوژیکی، عوامل هواشناسی و وضعیت تغذیه گیاهان و اثرات دیگر فاکتورهای محیطی ایجاد شود (Assadi, 2011). بنابراین توزیع انواع گیاهان در مناطق شهری به وجود آلاینده‌های هوا و حساسیت گیاهان نسبت به این تنش وابسته است (Seyyednejad, 2011). خطرات ناشی از آلاینده‌های هوا روی محصول‌دهی گیاهان زراعی، به الگوی انتشار آلاینده‌ها، انتقال اسمزی و جذب برگی آنها و ظرفیت دفاع بیوشیمیایی گیاه وابسته است و واکنش گیاهان به آلاینده‌هایی از قبیل O_3 وابسته به سطوح آلاینده‌های هوا، مقدار انتشار آلاینده به پیرامون برگ و مقاومت محیطی وابسته است (Rai *et al.*, 2011).

1-2-1- جذب و ورود آلاینده‌ها به گیاهان

برگ نسبت به عوامل خارجی از جمله آلاینده‌های هوا از همه قسمت‌های گیاه حساستر است و گیاهان، یک منطقه عظیم و وسیع برگی را برای برخورد، جذب و تجمع آلاینده‌های هوا مهیا می‌کنند تا سطح آلاینده‌ها را در محیط کاهش‌دهند (Shannigrahi *et al.*, 2004). برگ‌ها به علت فراوانی روزنه‌ها مستعدترین قسمت یک گیاه برای آسیب حاد هستند که اجازه نفوذ آلاینده‌ها را به بافت‌های حساس می‌دهند. اولین مانع آلاینده‌های گازی شکل هوا مقاومت لایه سطحی است که نسبت به سرعت و میزان باد و شکل و جهت برگ‌ها این مقاومت تغییر می‌کند (Heath *et al.*, 2009). در سرعت‌های بالاتر باد کاهش مقاومت لایه سطحی اجازه ورود بیشتر آلاینده را به برگ می‌دهد. سلول‌هایی که بیشتر در معرض عملکرد آلاینده‌های هوا هستند سلولهای اپیدرمی هستند اما کوتیکول مومی یک مانع بالقوه برای بیشتر گازهای آلاینده است. به هر حال گازهای اسیدی می‌توانند با موم‌های کوتیکول واکنش داده و آن را جدا کنند و از طریق نفوذ به کوتیکول آسیب دیده وارد برگ شوند. میزان آسیب‌هایی که آلاینده‌های هوا در گیاهان ایجاد می‌کنند به جریان آلاینده به برگ‌ها و میزان واکنش‌پذیری محصولات آلاینده‌ها با ترکیبات اصلی سلول بستگی دارد (Rai *et al.*, 2011). پاسخ روزنه به ورود SO_2 عمدتا" وابسته به سن برگ، غلظت و ترکیب آلاینده‌ها است (Pfanz *et al.*, 1987). گشودگی روزنه‌ای بیشتر، نه فقط ورود آلاینده مخرب را اجازه می‌دهد بلکه اتلاف آب را هم در نتیجه‌ی تبخیر زیاد و کنترل‌نشده افزایش می‌دهد (Bartosz, 1997).

دی‌اکسید نیتروژن در گیاهان غالبا" به وسیله برگ‌ها جذب می‌شود روش ورود NO_2 گازی مانند SO_2 و O_3 بیشتر از خلال گشودگی روزنه است اما ورود NO_2 از خلال کوتیکول برگ نسبت به آلاینده‌های دیگر بیشتر است و مقاومت کوتیکولی علیه ورود NO_2 کمتر از O_3 و SO_2 است (Darrall, 1989). جذب O_3 در اکثر گیاهان در نتیجه‌ی شیب پتانسیل شیمیایی بین اتمسفر و سلول‌های داخلی برگ یا فضای داخل برگ است (Rai *et al*., 2011).

1-2-2- مکانیزم عمل آلاینده‌ها

آلاینده‌های مختلف مکانیزم‌های متفاوتی را جهت آسیب به گیاه در پیش می‌گیرند. ذرات معلق معمولا" باعث بسته شدن روزنه‌ها به طور فیزیکی می‌شوند که در نتیجه، تبادل گازها (CO_2 و H_2O) و به دنبال آن فرایند فتوسنتز و دیگر فرایندهای حیاتی گیاه دچار اختلال می‌شود. اثرات زیان‌آور SO_2 در نتیجه‌ی واکنش‌های تحت فاز مایع بعد از جذب آن در گیاه اتفاق می‌افتد. واکنش‌های شیمیایی و تولید گونه‌های اکسیژن فعال (ROS)[1]، در نتیجه‌ی جذب SO_2 به فضای سلول اتفاق می‌افتد (Bartosz, 1997). SO_2 با میل ترکیبی بالا در آب آپوپلاستی حل می‌شود و به‌طور عمده تولید سولفیت (SO_3^{2-})، بی سولفیت (HSO^{3-}) و یونهای H^+ می‌کند که باعث کاهش pH می‌شود (Legge and Krupa, 2002). به دنبال کاهش pH عملکردهای شیمیایی و ساختمان سلولی گیاه دچار مشکل می‌شود و غلظت‌های پایین SO_2 به ویژه در گیاهان رشد یافته در خاکی که سولفور آن کم است پاسخ‌های فیزیولوژیکی و رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Darrall, 1989).

NO_2 بعد از ورود به برگ در آب خارج سلولی حفره‌ی زیرروزنه‌ای هم به شکل HNO_2 و هم به شکل HNO_3 حل می‌شود که فرم نیترات، نیتریت و پروتونها (H^+) را تولید می‌کند (Ramge *et al*., 1993). NO_2 یک رادیکال آزاد است که بعد از حل شدن در فاز آبی آپوپلاست دو واکنش ممکن است اتفاق بیفتد: ۱- احیاء شدن به وسیله آنتی‌اکسیدانتهایی از قبیل آسکوربیک‌اسید برای تولید اسیدهای نیتروژن‌دار (HNO_2) و دهیدروآسکوربات. 2-تجزیه شدن و تولید نیترات و نیتریت که هر دو اکسیدانت‌های قوی هستند و همچنین ممکن است هیدروژن جدا شود و روی ترکیبات مزوفیل برگ اثر کند و در نهایت تولید رادیکالهای آزاد کند (Sparks *et al*., 2001). NO_2 همچنین قادر است فرایند پراکسیداسیون غشاء لیپیدی را آغاز کند و در غلظت‌های بالاتر باعث آسیب‌های حاد به

[1]- Reactive Oxygen Species

برگ‌های گیاه شود (Ramage *et al.*, 1993). آلاینده‌هایی از قبیل اوزون ممکن است از طریق روزنه‌ها به بافت‌های گیاه نفوذ کنند و انواع اکسیژن واکنشگر (ROS) را بالا ببرند که باعث آسیب جدی به DNA، پروتئین و لیپیدهای سلول می‌شود (Sharma and Davis, 1997).

اوزون بعد از ورود به برگ در لایه‌ی آبکی حل می‌شود و تولید رادیکالهای هیدروکسیل(OH^-)، پروکسیل (OH^{2-})و سوپراکسید (O^{2-}) می‌کند. H_2O_2 تولید شده از تجزیه اوزون به خوبی در فاز آبی حل می‌شود و می‌تواند از خلال غشاءها عبور کند و تولید رادیکالهای آزاد بیشتری کند که باعث پراکسیداسیون‌لیپید و تخریب غشاء می‌شود (Loreto and Velikova, 2001). O_3 باعث تغییر در نفوذپذیری و سیالیت غشاء و همچنین اختلال در تبادل پتاسیم و کار پمپ ATPase و به دنبال آن اختلال در تبادل کلسیم می‌شود (Heath, 2008).

1-۲-۳- تأثیر آلودگی هوا بر عوامل فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه

وقتی که گیاهان در معرض آلاینده‌های هوا قرار می‌گیرند قبل از نشان دادن آسیب‌های قابل رؤیت در برگ‌ها، تغییرات فیزیولوژیکی را متحمل می‌شوند (Liu and Ding, 2008). گیاهان تحت تیمار آلودگی هوا تغییرات بیوشیمیایی و فیزیولوژیک برگشت‌پذیر و غیربرگشت‌پذیر متعددی را تجربه می‌کنند که این تغییرات شامل کاهش فعالیت فتوسنتزی، رشد ناچیز گیاه، کاهش باروری، کاهش کلروفیل و رنگیزه‌های فتوسنتزی دیگر، کاهش محتوای نشاسته برگ‌ها، پیری زودرس برگ‌ها، تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها و کاهش تولید دانه می‌باشد(Katiyar and Dubey, 2000). تغییرات فیزیولوژیکی گیاهان ممکن است قبل از علائم ظاهری اتفاق افتد و اگر تغییرات فیزیولوژیکی به درستی استفاده شود می‌تواند به عنوان شاخص‌های اولیه برای بررسی اثرات زیان‌آور آلودگی هوا روی گیاهان استفاده شود وقتی آلاینده‌ها به وسیله گیاهان جذب می‌شوند باعث تغییراتی در محتوای کلروفیل، کاروتنوئید، کربوهیدرات‌ها، پروتئین‌ها، آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت، پرولین و عناصر گیاه می‌شوند بنابراین محتوای کلروفیل برگ، قندهای محلول، پرولین و کاروتنوئیدها و دیگر پارامترهای بیوشیمیایی می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد وضعیت فیزیولوژیک گیاهان در معرض آلودگی هوا مهیا کنند (Assadi *et al.*, 2011). فرایندهای فیزیولوژیکی از قبیل، فتوسنتز، تنفس، فعالیت روزنه‌ای، تعرق و انتقال و جابه جایی مواد به طور منفی توسط SO_2 تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Rai *et al.*, 2011).