

## بررسی اثر آلودگی هوا بر خصوصیات فیزیولوژیکی، تشریحی و ریخت شناسی دو گونه گیاهی پنیرک گل ریز (*Malva parviflora*) و جو هرز (*Hordeum glaucum*) در منطقه صنایع فولاد اهواز

سید منصور سید نژاد<sup>۱\*</sup>، مهدی یوسفی<sup>۲</sup>، جمیل واعظی<sup>۳</sup> و فاطمه کرمی زاده<sup>۴</sup>

\*۱- نویسنده مسؤول: دانشیار گروه زیست شناسی دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز (sm.seyyednejad@gmail.com)

۳- استادیار گروه زیست شناسی دانشکده علوم دانشگاه شهید چمران اهواز

۲ و ۴- به ترتیب استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد گروه زیست شناسی دانشکده علوم دانشگاه پیام نور اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۱ تاریخ پذیرش: ۹۰/۹/۳۰

### چکیده

در تحقیق حاضر اثر آلودگی هوا بر روی غلظت پرولین، کربوهیدرات های محلول و صفات تشریحی- ریخت شناسی دو گونه علفی پنیرک گل ریز و جو هرز در سال ۱۳۸۸ مورد بررسی قرار گرفت. منطقه کارخانه صنایع فولاد اهواز به عنوان منطقه آلوده و منطقه شوش به عنوان منطقه پاک انتخاب و گیاهان مورد نظر از این دو منطقه به صورت تصادفی جمع آوری شدند. در مطالعه فاکتورهای ریخت شناختی در پنیرک گل ریز ۲۷ صفت و در جو هرز ۲۱ صفت مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه شاخص مقاومت به آلودگی هوا نیز در گونه های نامبرده شده به طور کمی محاسبه شد. نتایج این تحقیق نشان داد که آلودگی هوا باعث افزایش غلظت پرولین و کربوهیدرات محلول در دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز شد. در بررسی های تشریحی تغییرات بارز در بافت اپیدرم و بافت کلانشیم مشاهده شد که همه این تغییرات در جهت افزایش مقاومت در گیاه می باشد. این تغییرات در پنیرک گل ریز بیشتر از جو هرز مشهود بود. همچنین نتایج بدست آمده از فاکتورهای ریخت شناسی نشان داد که پنیرک گل ریز نسبت به جو هرز بهتر توانسته با محیط جدید خود سازش حاصل کند. نتایج به دست آمده از شاخص مقاومت تایید کننده این مطلب است که شدت مقاومت به آلودگی هوا در پنیرک گل ریز بیشتر از جو هرز است.

**کلید واژه ها:** پنیرک گل ریز، جو هرز، آلودگی هوا، صفات تشریحی- ریخت شناسی، کربوهیدرات محلول

### مقدمه

سطوح مختلف اندام های موجود زنده از سطوح تشریحی و ریخت شناسی تا سطوح سلولی، بیوشیمیایی و مولکولی است. واکنش های سلولی به تنش، شامل تغییر در چرخه سلولی و تقسیم سلولی، تغییر در سیستم غشاهای داخلی و واکوئولی سلول و تغییر در ساختار دیواره سلول است. همه این واکنش ها در نهایت منجر به افزایش و مقاومت سلول در برابر تنش می شود. در سطح بیوشیمیایی، گیاه متابولیسم خود را با روش های مختلفی

صنایع مختلف از مهمترین عوامل تولید کننده آلاینده ها محسوب می شوند. صنایع فولاد اهواز یکی از بزرگترین مراکز صنعتی واقع در جنوب غربی ایران است که از عوامل اصلی تولید آلاینده ها در شهر اهواز محسوب می شود. آلودگی هوا بوسیله فلزات گاهی باعث از بین رفتن کامل گیاهان اطراف شده است. تطابق و سازگاری به تنش های محیطی ناشی از تغییرات در

ماده خشک برگ در ۱۵ میلی لیتر اتانول ۸۰ درصد حل گردید، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰rpm سانتریفیوژ گردید، فاز مایع ایجاد شده به مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتیگراد قرار داده شد تا اتانول آن تبخیر شود. سپس به محلول ایجاد شده ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به همراه ۵ میلی لیتر از محلول ۵٪ سولفات روی و ۴/۷ میلی لیتر از هیدروکسید باریم ۳٪ نرمال اضافه شد و دوباره مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰rpm سانتریفیوژ گردید. ۲ میلی لیتر از محلول حاصل به لوله آزمایش منتقل و یک میلی لیتر محلول ۵٪ فنل به آن اضافه شد. لوله ها به شدت تکان داده شدند. سپس ۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۹۸٪ به هر نمونه اضافه شد. بعد از ۴۵ دقیقه و تثبیت رنگ نارنجی مایل به زرد شدت جذب نور در ۴۸۵ نانومتر با دستگاه اسپکتوفتومتر<sup>۱</sup> اندازه گیری شد و غلظت کربوهیدرات های محلول در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد با غلظت ۰ تا ۳۵ بر حسب میلی گرم در لیتر تعیین و سپس در گرم وزن تر بافت گیاهی محاسبه شد (ورما و دبای<sup>۲</sup>، ۲۰۰۱).

**اندازه گیری غلظت پرولین:** ابتدا ۰/۵ میلی گرم بافت تر برگ را در ۱۰ میلی لیتر اتانول ۹۵٪ ساییده، مخلوط یکنواختی تهیه گردید، مخلوط حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ و از معرف نین هیدرین طبق روش بیتز و همکاران<sup>۳</sup> (۱۹۷۳) استفاده شد. شدت جذب فاز رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین است در ۵۲۰ نانومتر خوانده شد و مقدار پرولین در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد غلظت پرولین محلول بر حسب میکروگرم در میلی لیتر محاسبه گردید.

**محاسبه شاخص مقاومت به آلودگی هوا در گیاهان:** برای گیاهان رشد یافته در منطقه ی آلوده

برای تطابق با تنش تغییر می دهد که می تواند شامل تولید مواد تنظیم کننده اسمزی باشد. در واقع گیاهان در شرایط تنش، مواد اسمزی خود را ذخیره می نمایند که این مواد نه تنها مانع واکنش های بیوشیمیایی طبیعی نمی شوند بلکه به عنوان تنظیم کننده عمل می نمایند. پرولین و قندهای محلول از جمله مواد محلول سازگار شناخته شده اند. تنظیم اسمزی نوعی ساز و کار جلوگیری از اثرات ناشی از تنش می باشد. در آزمایشی که جهت مقایسه تنظیم اسمزی در ژنوتیپ های مختلف جو و گندم انجام شد، به این نتیجه رسیدند، ارقامی که از ظرفیت تنظیم اسمزی بالاتری برخوردار هستند، پایداری بهتری را در شرایط تنش های محیطی از خود نشان می دهند (آقایی سربرزه و همکاران، ۱۳۸۸).

## مواد و روش ها

### انتخاب مکان های نمونه برداری و برداشت

**نمونه ها:** در این تحقیق محوطه اطراف کارخانه فولاد خوزستان به عنوان منطقه آلوده در نظر گرفته شد. در مقابل منطقه اطراف قلعه شوش پس از بررسی های لازم به عنوان منطقه پاک (شاهد) در نظر گرفته شد. پس از بررسی های اولیه، دو گیاه علفی پنیرک گل ریز (L. *Malva parviflora*) و جو هرز (*Hordeum glaucum Steud.*) از دو منطقه پاک و آلوده انتخاب گردیدند. رویش همزمان این دو گونه گیاهی در هر دو منطقه پاک و آلوده و نیز گذراندن دو دوره رویشی و زایشی در یک فصل رویشی از دلایل انتخاب این دو گونه گیاهی بود. از هر دو منطقه آلوده و پاک و از هر گونه گیاهی، ۱۰ نمونه به طور همزمان و به صورت تصادفی در اسفند ماه ۱۳۸۸ جمع آوری شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، برای بررسی های بیوشیمیایی، تشریحی و ریخت شناختی مورد استفاده قرار گرفتند.

### اندازه گیری غلظت کربوهیدرات محلول:

غلظت کربوهیدرات محلول با استفاده از روش فنل اسیدسولفوریک اندازه گیری شد. به این منظور ۰/۱ گرم

1 -Spectrophotometer

2 -Verma & Deby

3 -Bates

گرفتند و برش های مناسب تر برای تهیه عکس های میکروسکوپی با بزرگ نمایی ۴۰ و ۱۰۰ تهیه شد.

### اندازه گیری صفات ریخت شناختی: در

بررسی های ریخت شناختی دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز، به ترتیب ۲۷ و ۲۱ صفت و مجموعاً تعداد ۴۸ صفت رویشی و زایشی مورد اندازه گیری قرار گرفت (جدول ۱). واحد اندازه گیری در همه صفات (بجز سطح برگ ها) بر حسب سانتی متر است. مساحت برگ ها بر حسب میلی متر مربع توسط دستگاه L.T.D AREA METER ساخت انگلستان و نرم افزار windias تعیین گردید. این سنجش برای تعداد ۲۰ برگ از هر تکرار انجام شد.

### سنجش های آماری: سنجش آماری نتایج بدست

آمده از اندازه گیری ها بر اساس ۴ تکرار با استفاده از نرم افزار (SPSS Version ۱۶) انجام گرفت. برای مقایسه میانگین های مربوطه از آزمون Independent- samples استفاده شد. محاسبه احتمال معنی دار بودن تفاوت بین میانگین ها در سطح  $p < 0.05$  انجام شد. برای آنالیز چند متغیره از روش خوشه بندی استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel (2007) صورت گرفت.

## نتایج

### تغییرات میزان پرولین تازه: میانگین غلظت

پرولین در پنیرک گل ریز و جو هرز تحت تاثیر آلودگی هوا افزایش یافته است این افزایش در هر دو گیاه مورد مطالعه در سطح اطمینان ۰/۰۵ معنی دار بوده است (شکل ۱).

### تغییرات غلظت کربوهیدرات محلول: میانگین

های مربوط به میزان کربوهیدرات های محلول در برگ دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز در اثر آلودگی هوا تغییر کرده است و در هر دو گیاه بر اثر آلودگی هوا افزایش یافته است. که این افزایش نیز در هر دو گیاه از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی دار می باشد (شکل ۲).

شاخص مقاومت بر اساس مطالعه آگبایر<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) محاسبه گردید.

برای اندازه گیری pH برگ نیز ۴ گرم برگ تازه در ۴۰ میلی لیتر آب مقطر ساییده، و عصاره حاصل به مدت ۱۰ دقیقه در ۷۰۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید سپس محلول رویی برای سنجش pH با دستگاه pH متر استفاده شد (لیو و دینگ<sup>۲</sup>، ۲۰۰۸).

برای سنجش اسید آسکوربیک نیز ۱ گرم برگ تازه به همراه ۲۰ میلی لیتر محلول ۵٪ اسید متا فسفریک ساییده و مخلوط حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در ۱۵۰۰۰ rpm در دمای ۴ درجه سانتیگراد سانتریفیوژ گردید سپس به ۱ میلی لیتر از محلول رویی نیز ۰/۵ میلی لیتر از محلول سدیم ۲ و ۶ دی کلرو ایندوفنل<sup>۳</sup> (DCIP) ۳ میلی مولار و ۱ میلی لیتر معرف تیواوره ۱٪ اضافه کرده و محلول حاصل به مدت ۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. سپس ۱ میلی لیتر معرف ۲ و ۴ دی نیترو فیل هیدرازین<sup>۴</sup> (DNPH) ۱۰ میلی مولار به آن اضافه کرده و نمونه ها به مدت یک ساعت در حمام آب گرم ۵۰ درجه قرار داده شدند سپس ۲/۵ میلی لیتر اسید سولفوریک ۸۵ درصد به نمونه ها اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در آب یخ ۱ میلی لیتر اسیدسولفوریک ۲۰ درصد به آن اضافه و جذب نمونه ها در ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر خوانده شد و غلظت اسید آسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد محاسبه شد (اسمیرنوف<sup>۵</sup>، ۲۰۰۰). برای سنجش میزان کلروفیل از روش لیختنتالر<sup>۶</sup> (۱۹۸۷) استفاده شد.

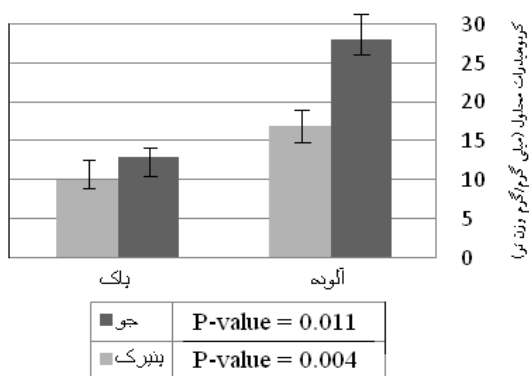
### برش گیری و رنگ آمیزی: برش های نازک از

دمبرگ نمونه های هر دو گیاه تهیه و از روش رنگ آمیزی مضاعف کارمن زاجی - آبی متیلن استفاده گردید. مقاطع تهیه شده مورد مطالعه میکروسکوپی قرار

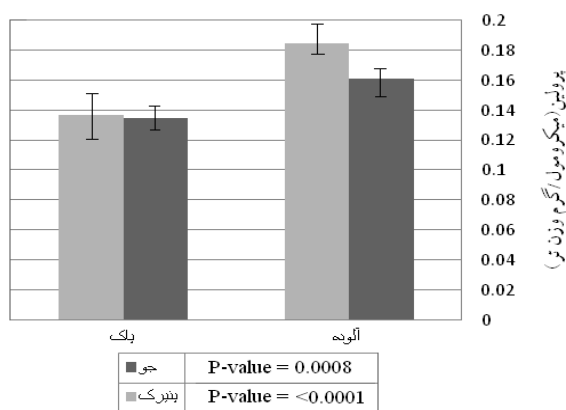
- 1- Agbaire
- 2- Liu & Ding
- 3- Di Chloro Indo Phenol
- 4- Di Nitro Phenil Hydrazin
- 5- Smirnoff
- 6- Lichtenthaler

**جدول ۱- لیست صفات رویشی و زایشی مورد اندازه گیری برای دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز در این مطالعه صفاتی که با ستاره مشخص شده اند، اختلاف معنی داری را بین نمونه ها نشان می دهند.**

صفات پنیرک گل ریز	صفات جو هرز
۱- طول ساقه	۱- طول ساقه
۲- طول ریشه	۲- طول ریشه
۳- قطر قاعده ساقه	۳- بیشترین طول پهنک
۴- قطر قاعده ریشه	۴- بیشترین عرض پهنک
۵- قطر قاعده برگ	۵- تعداد برگ
۶- بیشترین طول پهنک	۶- طول گل آذین
۷- بیشترین عرض پهنک	۷- عرض گل آذین
۸- تعداد دندانه های پهنک	۸- طول سیخک*
۹- طول دمگل	۹- طول پاله آ
۱۰- تعداد برگ	۱۰- عرض پاله آ
۱۱- قطر گل	۱۱- طول لما
۱۲- قطر ساقه	۱۲- عرض لما
۱۳- قطر ریشه	۱۳- طول سیخک لما*
۱۴- تعداد میوه*	۱۴- طول خامه
۱۵- بیشترین طول میوه*	۱۵- عرض خامه
۱۶- تعداد برچه های میوه*	۱۶- طول گلوم تحتانی
۱۷- طول دمبرگ	۱۷- طول گلوم فوقانی*
۱۸- عرض دمبرگ	۱۸- طول پایک گلچه جانبی
۱۹- طول کاسبرگ	۱۹- طول پایک گلچه مرکزی
۲۰- عرض کاسبرگ	۲۰- طول پایک سنبلچه
۲۱- طول میله	۲۱- سطح برگ
۲۲- طول برگه	
۲۳- عرض برگه	
۲۴- طول تخمدان	
۲۵- عرض تخمدان*	
۲۶- سطح برگ*	
۲۷- سطح میوه*	



**شکل ۲- مقایسه تغییرات میانگین غلظت کربوهیدرات محلول برگ پنیرک و جو هرز در دو منطقه آلوده و پاک**



**شکل ۱- مقایسه تغییرات میانگین غلظت پروتئین برگ پنیرک و جو هرز در دو منطقه آلوده و پاک**

مقاومت محاسبه شده برای دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز به ترتیب برابر ۲۵ و ۹/۹۷ می باشد.

### تغییرات تشریحی تحت تاثیر آلودگی هوا

نتایج بررسی های انجام شده نشان داد که صفات تشریحی پنیرک نسبت به جو هرز، بیشتر تحت تاثیر آلودگی هوا قرار می گیرد. در برش عرضی دمبرگ پنیرک در نمونه های تهیه شده از منطقه آلوده اندازه سلولهای اپیدرمی کاهش یافته اما تعداد آنها افزایش یافته است. همچنین تعداد و انسجام سلول های کلانشیم افزایش یافته است (شکل ۸). در برش عرضی دمبرگ جو هرز مشاهده شد که سلول های اپیدرمی در اثر آلودگی هوا تغییر کرد. سلول های اپیدرمی در نمونه آلوده کوچکتر و دچار کشیدگی و جمع شدگی شدند (شکل ۹).

### بحث اثر آلودگی هوا بر غلظت پرولین

در این تحقیق در اثر آلودگی هوا میزان پرولین در هر دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز افزایش پیدا کرد. یکی از فراوان ترین مواد سازگارکننده با شرایط نامساعد یا آلودگی، پرولین است. مزیت آن این است که اختلال نسبتاً کمی در فرایندهای متابولیکی ایجاد می کند. مطالعات زنگین<sup>۱</sup> و مونزوروگلو<sup>۲</sup> در سال ۲۰۰۵ نشان داد که غلظت پرولین در برگ گیاهان مقاوم ۵ الی ۶ برابر غلظت آن در گیاهان حساس می باشد. پرولین به علت خواص آنتی اکسیدانی خود یک عمل حفاظتی غیر مستقیم نیز بروز می دهد. نقش آنتی اکسیدان پرولین در توانایی آن برای غیر فعال کردن رادیکال های هیدروکسیل و سایر ترکیبات دارای فعالیت بالا که تحت شرایط تنش تولید شده و در انتقال الکترون در کلروپلاست ها و میتوکندری ها اختلال ایجاد می کنند، تظاهر می یابد و از این طریق پروتئین ها و غشاهای را در برابر آسیب محافظت می کنند. مطالعات نشان داده است پرولین تحمل گیاه را در شرایط تنش از طریق مکانیسم

### تغییرات ریخت شناختی تحت تاثیر آلودگی

**هوا:** نتایج حاصل از آنالیز تک متغیره نشان داد، تغییرات صفات ریخت شناسی پنیرک گل ریز بیشتر از جو هرز بوده است. در پنیرک گل ریز از میان ۲۷ صفت مورد بررسی، فقط ۶ صفت (سطح برگ، سطح میوه، تعداد میوه، تعداد برچه های میوه، بیشترین طول میوه و عرض تخمدان) و در جو هرز از میان ۲۱ صفت مورد بررسی، فقط ۳ صفت (طول سیخک، طول سیخک لما و طول گلوم فوقانی) دارای اختلاف معنی دار بودند (جدول ۱). این نتایج که حاصل آنالیز تک متغیره است با نتایج بدست آمده از آنالیز چند متغیره با توجه به اشکال ۳ و ۴ همخوانی دارد. در نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره با توجه به شکل ۳ مشاهده شده است که پنیرک های موجود در محیط آلوده توانسته اند با محیط خود سازش حاصل کنند و تقریباً یک گروه قابل تفکیک از پنیرک های موجود در محیط پاک را تشکیل دهند. اما دیده شده است که نمونه های جو هرز موجود در محیط آلوده نتوانسته اند با محیط خود سازش حاصل کنند و نتوانسته اند یک گروه خاص و قابل تفکیک از نمونه های جو هرز موجود در محیط پاک را تشکیل دهند (شکل ۴).

### تغییرات سطح برگ: میانگین های مربوط به سطح

برگی در پنیرک گل ریز و جو هرز تحت اثر آلودگی هوا کاهش یافته است ولی این کاهش در پنیرک گل ریز در سطح ۰/۰۵ معنی دار بوده است و در جو هرز در سطح ۰/۰۵ معنی دار نبوده است (شکل ۵).

### تغییرات تعداد میوه در پنیرک: میانگین های

مربوط به تعداد میوه در گیاه پنیرک که تحت تاثیر آلودگی هوا قرار داشته، تغییر یافته است. میانگین تعداد میوه پنیرک از ۱۰/۴ عدد در محیط پاک به ۸/۸ عدد در محیط آلوده کاهش یافته است و این کاهش از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی دار بود (شکل ۶).

### شاخص مقاومت (APTI): نتیجه محاسبه

شاخص مقاومت APTI نشان می دهد شاخص مقاومت پنیرک گل ریز بیشتر از جوهرز است (شکل ۷). شاخص

1- Zengin

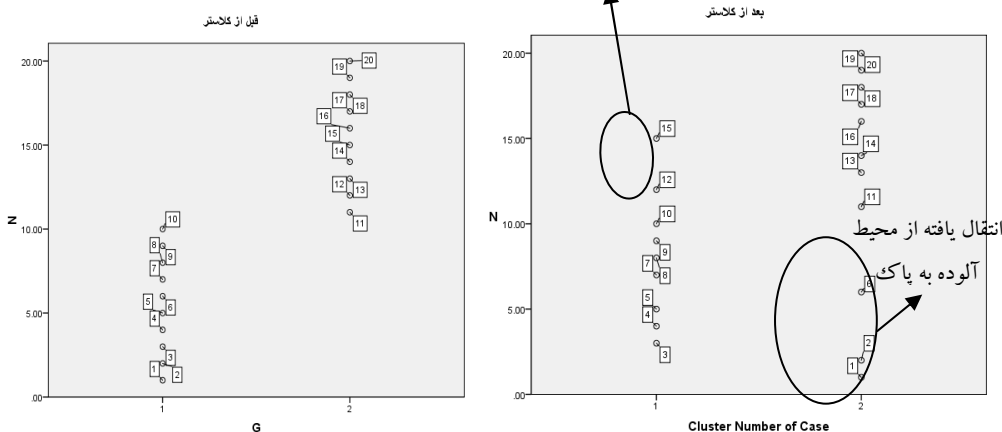
2- Munzuroglu

سید نژاد و همکاران: بررسی اثر آلودگی هوا بر خصوصیات فیزیولوژیکی ...

آمینو اسید پرولین ناشی از کاهش پروتئین سازی است و این مسئله زمانی اتفاق می افتد که گیاه جو در معرض تنش قرار می گیرد، لذا مقدار پرولین زیادی در برگ ها تجمع می یابد. همچنین ارقامی از جو که پرولین بیشتری را انباشته می سازند در شرایط تنش آبی شدید بهتر زنده مانده و به دنبال رهایی از تنش، سریع تر رشد می کنند. با توجه به بالا بودن شاخص مقاومت بخصوص در پنیترک

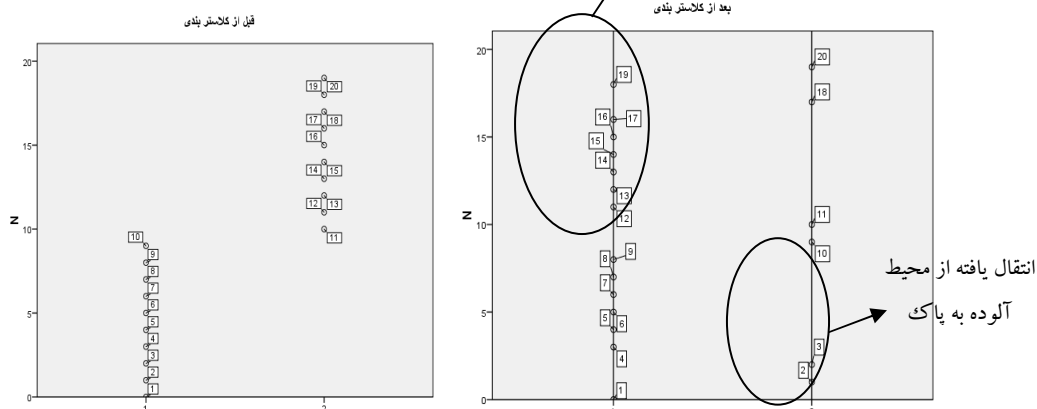
هایی مثل تنظیم اسمزی، محافظت آنزیم ها در برابر تخریب و سنتز پروتئین افزایش می دهد (اسمیرنوف، ۲۰۰۰). پرولین پایدارترین اسید آمینه است که در برابر هیدرولیز اکسیداتیو به توکسین ها مقاومت کرده و کمترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول ها در بین تمام اسید آمینه ها دارد. به این دلیل، این ماده در گیاهانی که تحت تنش قرار گیرند، تجمع می یابد. احتمالاً تجمع

انتقال یافته از محیط پاک به آلوده

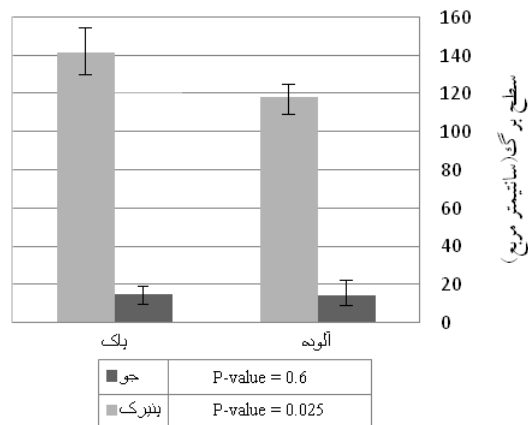
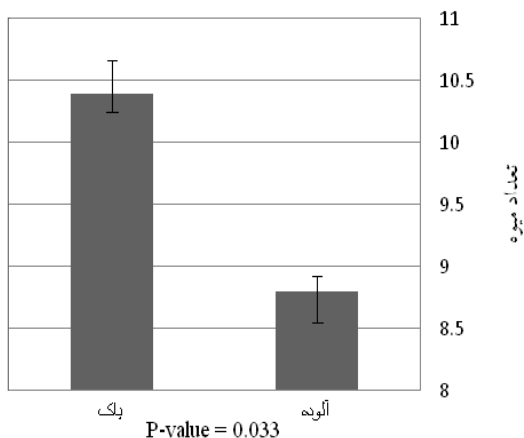


شکل ۳ - نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره (عضویت گروهی) بر روی صفات مورفولوژی پنیترک (۱: آلوده ۲: پاک)

انتقال یافته از محیط پاک به آلوده

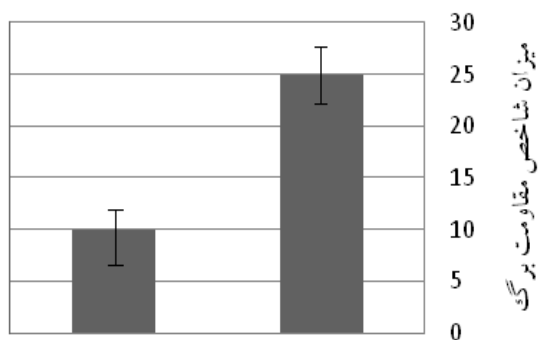


شکل ۴ - نتایج حاصل از آنالیز چند متغیره (عضویت گروهی) بر روی صفات مورفولوژی جو هرز (۱: آلوده ۲: پاک)

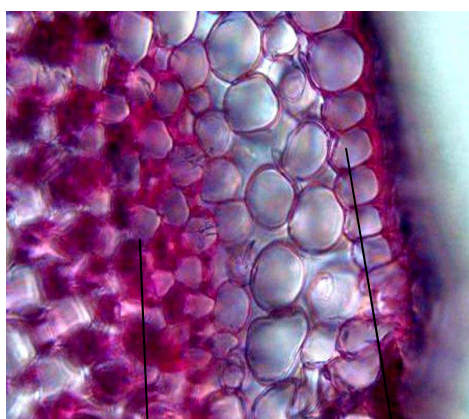


شکل ۶- مقایسه میانگین تعداد میوه پنیرک در دو منطقه آلوده و پاک

شکل ۵- مقایسه تغییرات میانگین سطح برگ پنیرک و جو هرز در دو منطقه آلوده و پاک

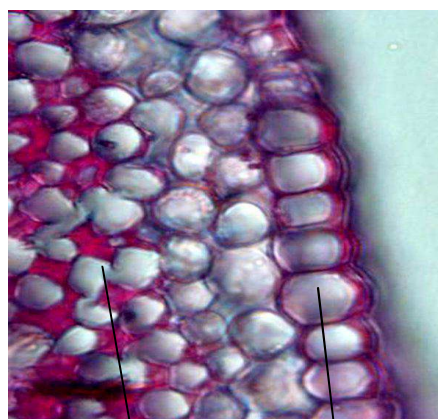


شکل ۷- مقایسه شاخص مقاومت پنیرک و جو هرز در اثر آلودگی هوا



سلول‌های کلانشیمی

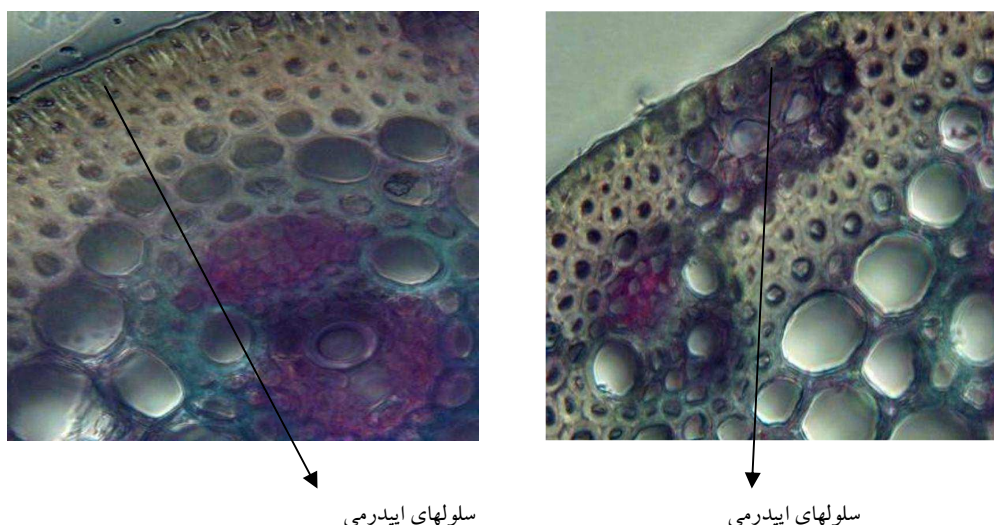
سلول‌های اپیدرمی



سلول‌های کلانشیمی

سلول‌های اپیدرمی

شکل ۸- برش عرضی دمبرگ پنیرک (تصویر راست: پاک، تصویر چپ: آلوده) - بزرگ‌نمایی ۱۰۰ میکروسکوپ نوری



شکل ۹- برش عرضی دمبرگ جو هرز (تصویر راست: پاک، تصویر چپ: آلوده - بزرگ نمایی ۱۰۰ میکروسکوپ نوری)

گیاه اقاویا و خرزهره قبلا گزارش شده است (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۶).

#### اثر آلودگی هوا بر غلظت کربوهیدرات محلول

در تحقیق حاضر غلظت کربوهیدرات محلول در هر دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز در برابر آلودگی هوا افزایش یافته است که نشان دهنده توانایی هر دو گیاه در مقابله با شرایط تنش می باشد. مطالعات نشان داده است که گونه های مقاوم به آلودگی هوا نسبت به گونه های حساس دارای تجمع بیشتری از کربوهیدرات محلول در هنگام مواجهه با تنش هستند (کاملی و لوزل، ۱۹۳۳). نقش و اهمیت تجمع قندها به این دلیل می باشد که تجمع این مواد باعث تنظیم اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و نگهداری تورژسانس می شود (تایز و زایگر، ۱۳۸۸). افزایش قندهای محلول می تواند به عنوان یک مکانیسم سازشی در گیاه به هنگام مواجهه با تنش باشد که در هنگام کمبود آب و به دنبال آن کاهش رشد گیاه تجمع می یابد و سبب تنظیم اسمزی گیاه می شود (شوالوا، ۲۰۰۵). تجمع بالای کربوهیدرات سبب کاهش

پنیرک افزایش پرولین در گیاهان پنیرک و جوی هرز در شرایط آلودگی می تواند نشان دهنده مکانیسم تدافعی گیاه برای پاکسازی رادیکال های حاصل از آلودگی و همچنین راهی برای تنظیم اسمزی باشد.

در مطالعه اثر فلنورید سدیم بر روی برگ گونه ای از تیره گندمیان، غلظت پرولین دچار افزایش گردید. تجمع پرولین راهی برای عادت کردن به شرایط محیطی تنش زا است (چودھاری و بوھرا، ۱۹۸۹). افزایش مقدار آمینو اسید های آزاد تحت اثر آلودگی هوا در سه نمونه ی درختی مشاهده گردید این افزایش می تواند ناشی از فعالیت بیشتر آنزیم نیترات ردوکتاز و یا افزایش واسرشته شدن پروتئین ها باشد (ورما و دبای، ۲۰۰۱). در مطالعه ی دیگری که بر روی گیاه آفتاب گردان انجام گردید افزایش غلظت دی اکسید گوگرد سبب افزایش مقدار پرولین آزاد می شود. پرولین آزاد به عنوان پاک کننده ی رادیکال های هیدروکسیل عمل می نماید و به این صورت سبب مقاومت گیاه در شرایط تنش زا می گردد. افزایش میزان پرولین آزاد تحت تاثیر آلودگی در



کاهش در پنیرک معنی دار بوده است اما در جو هرز معنی دار نبوده است (شکل ۵). در اکثر گیاهان، اندام های اصلی تعرق، برگها هستند، بنابراین هر گونه کاهش در سطح برگ، تعرق را کاهش خواهد داد و آب جذب شده توسط ریشه ها را نگهداری خواهد نمود (موسوی نیا، ۱۳۸۴). در مواردی که گیاه تحت تاثیر تنش محیطی قرار می گیرد و محتوای آب بافتی دستخوش تغییر می گردد، یکی از راههای افزایش مقاومت گیاه در برابر تنش، برقرار کردن توازن و تعادل در محتوای آب بافتی است که گیاه با کاهش سطح برگ و تنظیم محتوای آب بافتی، در برابر تنش مقاومت می کند (تایز و زایگر، ۱۳۸۸). برخی از گیاهان به جای کاهش سطح برگ در شرایط تنش از مکانیسم تاخوردگی برگ برای مقابله با تنش یا جلوگیری از هدر رفتن آب گیاه استفاده می کنند (رابایی و اسیم<sup>۳</sup>، ۲۰۰۶). جهان<sup>۴</sup> و اقبال<sup>۵</sup> در سال ۱۹۹۲ گزارش کردند، سطح برگ در پنج گونه درختی که در معرض  $SO_2$  و گرد و خاک قرار گرفته بودند در مقایسه با منطقه پاک کاهش یافته است. در مورد گونه های مورد آزمایش به نظر می رسد که پنیرک با کاهش سطح برگ و جو هرز با تاخوردگی برگ توانسته اند تعادل آب بافتی خود را حفظ کنند و از این طریق با تنش ایجاد شده مقابله کنند. تعداد میوه (تعداد گل) در پنیرک گل ریز تحت تاثیر آلودگی هوا کاهش یافته است (نتایج نشان داده نشده است). محرک های گلدهی همراه مواد قندی در آوند آبکش منتقل می شوند و از طریق آوند آبکش به مریستم اندام های هوایی منتقل می شوند. در تیمارهایی که انتقال آوند آبکش مسدود شده است، باعث جلوگیری از گلدهی می شود. با توجه به افزایش میزان قندها در آوند آبکش پنیرک آلوده (به دلیل کاهش انتقال در آوند آبکش)، کاهش تعداد میوه (گل) در پنیرک آلوده قابل توجیه است.

پتانسیل آبی گیاه می شود و از صدمات اکسیداتیو جلوگیری کرده و همچنین سبب نگهداری ساختمان غشا تحت شرایط تنش های محیطی می شود. گزارش شده است که در اثر تیمار با غلظت های مختلف  $O_3$  فعالیت اکسیژنازی آنزیم روپسکو کاهش می یابد که در نتیجه ی آن فعالیت کربوکسیلازی آنزیم افزایش پیدا می کند، این امر می تواند الگوی افزایش تدریجی کربوهیدرات را نیز توجیه کند (ال-کراینی<sup>۱</sup>، ۲۰۰۸). افزایش قندهای محلول در اندام های هوایی می تواند به دلیل تبدیل نشاسته به قندهای محلول، کاهش در انتقال آوند آبکش و یا کاهش مقادیر مصرف آنها در اندام های مصرف کننده به دلیل کاهش رشد باشد. به لحاظ کمی مهمترین ماده انتقالی در آوند آبکش آب است. کربوهیدرات حل شده در آب همان مواد محلول قابل انتقال هستند، در سلول های آبکش غلظت یون ها و برخی مواد محلول نسبت به بیرون از سلول های آبکش باید بالا باشد تا آنها بتوانند تحت تنش حالت تورژسانس خود را حفظ کنند. در هنگام تنش و به دنبال آن افزایش تعرق شدید، پتانسیل آب برگهایی که قندها را برای شیره پرورده فراهم می کنند به مقدار کمتر از پتانسیل آب سلول های آبکشی کاهش پیدا می کند. در این حالت جابجایی مواد کاهش می یابد و یا کاملا متوقف می شود (تایز و زایگر، ۱۳۸۸). از آنجا که انتقال آوند آبکش وابسته به تورژسانس است، کاهش پتانسیل آب در آوندهای آبکش در طی تنش ممکن است از حرکت مواد فتوسنتزی ممانعت به عمل آورد. مطالعات نشان داده است تیمار گونه های گندم در غلظت های مختلف  $SO_2$  در مراحل اولیه سبب افزایش کربوهیدرات محلول می شود (پراسادا و راثو<sup>۲</sup>، ۱۹۸۱).

### تغییرات ریخت شناسی

در تحقیق حاضر، مشاهده شد که آلودگی هوا باعث کاهش سطح برگ پنیرک و جو هرز شده است که این

### تغییرات تشریحی

در اثر آلودگی هوا اندازه سلول های اپیدرمی در پنیرک گل ریز کاهش و تعداد آنها در واحد سطح افزایش یافته است. همچنین در جو هرز اندازه سلول های اپیدرمی کوچکتر شده است (اشکال ۸ و ۹). مطالعات نشان داده است که تعداد سلول های اپیدرمی، روزنه و کرک در گیاهان مناطق آلوده افزایش یافته است و اندازه سلولهای اپیدرمی در آنها کاهش یافته است (قربانلی و همکاران، ۱۳۸۶). سلول های کوچک نسبت به سلول های بزرگ دارای خاصیت کشسانی بیشتری هستند که این خاصیت سبب حفظ حالت تورژسانس میشود و در نتیجه به تنظیم اسمزی گیاه در شرایط تنش کمک می کند. آلودگی هوا سبب افزایش تعداد سلولهای اپیدرمی در نمونه های آلوده می شود. افزایش تعداد سلول های اپیدرمی باعث افزایش انعطاف پذیری برگ و ایجاد چین خوردگی لبه های برگ به سمت سطح تحتانی می شوند که در این صورت باعث ایجاد سایه در قسمت تحتانی برگ که دارای بیشترین تعداد روزنه است می شوند که این خود باعث کاهش تبخیر در گیاه می شود (رادوکووا، ۲۰۰۹). لذا می توان گفت کاهش اندازه و افزایش تعداد سلول های اپیدرمی نوعی مکانیسم سازشی گیاه برای مقابله با تنش است که هر دو گیاه پنیرک و جو هرز به خوبی از این مکانیسم برای مقابله با تنش آلودگی استفاده کرده اند. بافت کلانشیم برای نگهداری و استحکام اندامهای گیاهی ایستاده، مخصوصاً ساقه های علفی سازگاری دارد. سلول های بافت کلانشیم دارای دیواره های ضخیم تر از پارانیشیم هستند. دیواره های ضخیم به جای مواد ثانویه (نظیر لیگنین) از مواد دیواره اولیه (نظیر سلولز، همی سلولز و پکتین ها) ساخته می شوند؛ از این رو سلول های کلانشیم نیروی بالقوه برای رشد و گاهی تقسیم توسط میتوز را حفظ می کنند. این فرایند غالباً به عنوان یک عکس العمل نسبت به آسیب صورت گرفته و گیاه علفی

را قادر می سازد تا مجدداً تکثیر نماید و یا ناحیه آسیب دیده را تقویت کند (موسوی نیا، ۱۳۸۴). در تحقیق حاضر مشاهده شد که تعداد سلول های کلانشیمی موجود در زیر اپیدرم، در پنیرک آلوده بیشتر از پنیرک پاک است (شکل ۸). این بدان معنا است که آلودگی هوا باعث افزایش تعداد سلول های کلانشیمی شده است. در واقع پنیرک با افزایش تعداد سلول های کلانشیمی با تنش آلودگی مقابله کرده است. به طور کلی می توان گفت هر دو گیاه پنیرک گل ریز و جو هرز می توانند با مکانیسم های تحمل، با افزایش پرولین و کربو هیدرات های محلول در برابر آلودگی هوا مقاومت کرده و احتمالاً با منتهی شدن به مکانیسم های کاهش سطح برگ و کاهش عملکرد با اثرات تنش مقابله کنند. همچنین این تغییرات نشان داد که گونه پنیرک گل ریز نسبت به گونه جو هرز در برابر آلودگی هوا دارای مقاومت بیشتری است. نتایج بدست آمده از اندازه گیری شاخص مقاومت نیز این نتیجه بدست آمده را تایید می کند.

### سپاسگزاری

مؤلفین این مقاله از مساعدت های معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز کمال تشکر را دارند.

### منابع

۱. آقایی سربرزه، م.، رجیبی، ر.، حق پرست، ر. و محمدی، ر.، ۱۳۸۸. مطالعه تغییر محتوی پرولین، خسارت غشاء سلولی و تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ های گندم دوروم در شرایط کنترل شده، مجله به زراعی نهال و بذر، ۲-۲۵ (۳): ۳۴۵-۳۵۲.
۲. بسرا، آ.، ۱۳۸۱. مکانیسم های مقاومت به تنش های محیطی در گیاهان (ترجمه محمد کافی و عبدالمجید مهدوی دامغانی)، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۴۶۷ ص.
۳. تاز و زایگر، ۱۳۸۸، فیزیولوژی گیاهی ۲ (ترجمه کافی، م.، کامکار، ب.، عباسی، ف و مهدوی دامغانی، م.)، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ۶۷۶ ص.
۴. قربانلی، م.، بخشی خانیکی، غ و باکند، ز.، ۱۳۸۶. بررسی اثر آلاینده های هوای شهر تهران بر وزن تر و خشک، غلظت پرولین، کربوهیدرات های محلول، تعداد روزنه، کرک و سلول های اپیدرمی در دو گیاه خرزهره و افاقیا، ۲۰(۴): ۲۸-۳۴.
۵. موسوی نیا، ح.، ۱۳۸۴. گیاهشناسی عمومی، مورفولوژی- تشریحی، انتشارات دانشگاه شهید چمران، چاپ دوم، ۸۶۶ ص.
6. Agbaire, P.O., 2009. Air pollution tolerance indices (APTI) of some plants around Erhoike Kokori oil exploration site of delta state. Nigeria, International Journal of Physical Sciences, 4(6): 366-368.
7. Al-qurainy, F.H., 2008. Effect of air pollution and ethylene diurea on board bean plants grown at two localities in KSA. International Journal of Botany, 4(1): 117-122.
8. Bates, L.S. Waldren, R.P., and teare.I.D., 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plan soil, 30:205-207.
9. Choudhary, S., and Bohra, S.P., 1989. Effect of naf on certain enzymes and proline content in cenchrus leaves. Botany Bull Academia Sinica, 30:9-14.
10. Jahan, M., and Igbal, Z., 1992. Morphological and Anatomical studies of leaves of different plants effected by motor vehicle exhausted. Journal of Islamic Academy of Sciences, 5(1): 21-25.
11. Kameli, A., and Losel, D.M, 1933. Carbohydrate and water status in wheat plant under water stress. New Phytologist, 125(3): 609-614.
12. Lichtenthaler, H.K, 1987. Chlorophylls and Carotenoids: pigment of photosynthetic biomembranes Methods in Enzymology, 148: 350- 380.
13. Liu, Y., and Ding H., 2008. Variation in air pollution tolerance index of plant near a steel factory: implication for landscape-plant species selection for industrial areas.WSEAS Transaction on Environment and Development, 1(4):24-32.

14. Prasada, B.P., and Rao, D.N, 1981. Effect of SO<sub>2</sub> exposure on carbohydrate contents, phytomass and caloric values of wheat plants, *Water, Air and Soil Pollution*, 16:287-291.
15. Rabiye, T., and Asim, K., 2006. Drought stress tolerance and the antioxidant enzyme system in *Ctenathe setosa*. *Acta Biologica cracoviensia*, 48(2):89-96.
16. Radoukova, T., 2009. Anatomical mutability of the Leaf epidermis in two species of *Fraxinus* L. in a region with auto transport pollution. *Biotechnol. & Biotechnology EQ*, 23:405-408.
17. Shvaleva, A., 2005. Metabolic responses to water deficit in two *Eucalyptus* globules clones with contrasting drought sensitivity. *Tree Physiology*, 26: 239-248.
18. Smirnoff, N., 2000. Ascorbic: Metabolism and function of multifaceted molecule current opinion in plant biology, 3: 229-235.
19. Verma, S., and Deby, R.S., 2001. Effect of Cadmium on Soluble Sugars and Enzymes of their Metabolism in Rice. *Biologia Plantarum*, 44(1): 117-123.
20. Zengin, F.K., and Munzuroglu, O, 2005. Effects of some heavy metals on content of chlorophyll proline and some antioxidant chemicals in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedings. *ACTA Biologica Craeorensia Series Botanica*, 47/2:157-164.