نشریه پژوهش‌های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران، شماره پیاپی ۳۴، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۳ / صفحات: ۳۳-۲۲

بررسی مقایسه‌ای تغییرات سطح برگ و برخی فاکتورهای بیوشیمیایی برگ دو گیاه درختی کنوکارپوس (*Conocarpus erectus* L.) و جمبو (*Syzygium cumini* (L.) Skeels.) در اطراف منطقه آلوده صنایع فولاد اهواز

شکوفه انتشاری *[۱]، معصومه ارس خلجی[۲]، سیدمنصور سیدنژاد[۳] و جمیل واعظی[٤]

[۱] استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه پیام نور، ایران

[۲] دانشجوی کارشناسی‌ارشد علوم گیاهی، دانشگاه پیام نور مرکز اصفهان

[۳] دانشیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهیدچمران اهواز، اهواز

[٤] استادیار، گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۱۵ تاریخ پذیرش:۹۳/٦/۲

چکیده

وجود کارخانجات صنعتی در کنار شهرها یکی از معضلات آلودگی در این شهرهاست. شناخت و استفاده از گیاهان مقاوم در فضای سبز کمک شایانی به تصفیه هوای این مناطق می‌کند. در تحقیق حاضر اثر آلودگی هوای منطقه صنعتی صنایع فولاد اهواز به‌عنوان منطقه آلوده بر روی برخی از فاکتورهای مقاومتی نسبت به تنش در دو گونه درختی غالب کنوکارپوس و جمبو مورد بررسی قرار گرفت و با نمونه‌های گیاهی مشابه برداشت شده از منطقه پاک دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هردو گیاه سطح برگی در منطقه آلوده نسبت به پاک کاهش در حالیکه میزان قندهای محلول در شرایط آلوده افزایش معنی‌داری یافت. در گیاه جمبو میزان پرولین تحت تاثیر آلودگی هوا به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. از طرف دیگر در گیاه جمبو میزان اسیدآسکوربیک، مآلون دی آلدئید برگ و شاخص مقاومت به آلودگی هوا کاهش ولی در گیاه کنوکارپوس تنها میزان مآلون دی آلدئید برگ بطور معنی‌داری افزایش یافت در حالی که آلودگی تاثیر معنی‌داری بر سایر پارامترها در این گیاه نداشت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت هر دو گیاه در محدوده گیاهان حساس قرار داشته ولی گیاه کنوکارپوس نسبت به جمبو مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه نشان داد.

واژگان کلیدی: آلودگی هوا، صنایع فولاد اهواز، مقاومت، *Conocarpus erectus*، *Syzygium cumini*

مقدمه

مسئله آلودگی هوا یکی از بزرگ‌ترین مشکلات زیست‌محیطی شهرهای توسعه یافته و در حال توسعه می‌باشد. بطورکلی آلودگی هوا بدین صورت تعریف می‌شود: هر جسم خارجی که وارد هوا شود و هر عاملی که نسبت معمولی مواد تشکیل‌دهنده هوا را تغییر دهد، باعث آلودگی هوا می‌گردد. صنایع مختلف از مهم ترین عوامل تولیدکننده آلاینده‌ها محسوب می‌شوند. صنایع فولاد خوزستان، یکی از بزرگترین مراکز صنعتی واقع در جنوب غربی ایران است که از عوامل اصلی تولید آلاینده‌ها در شهر اهواز محسوب می‌شود. تحقیقات نشان داده است آلودگی هوا به وسیله فلزات گاهی باعث از بین رفتن کامل گیاهان

*نویسنده مسئول: shenteshari@gmail.com

اطراف مراکز مولد آلودگی گشته و در نتیجه بر اکوسیستم آن منطقه اثرات جبران ناپذیری داشته است (زرگر، ۱۳۷۳). بطورکلی منابع آلوده کننده هوا در ایران به چهارگروه: وسایل نقلیه موتوری، صنایع یا کارخانجات، منابع گرمایش خانگی و تجاری و منابع متفرقه نظیر سوزاندن زباله و غیره تقسیم می‌شوند. بنابراین می‌توان به مهم ترین مواد آلوده کننده هوا بدین شرح اشاره کرد: مونواکسیدکربن، ذرات، اکسیدهای گوگرد، هیدروکربن‌ها و اکسیدهای ازت (محرم‌نژاد، ۱۳۶۳).

گیاهان سبز اولین حلقه از زنجیره اکوسیستم می‌باشند و هر گونه تاثیر زیانباری بر دنیای گیاهی حیات و سلامت سایر حلقه‌های این زنجیره را به خطر می‌اندازد (چاقری و همکاران، ۱۳۸۵). محصولات کشاورزی ممکن است زمانی که در معرض غلظت‌های بالای آلاینده قرار بگیرند، آسیب ببینند. گستره این آسیب از علائم ظاهری در اندام‌های هوایی، تا کاهش در رشد و محصولات و در نهایت مرگ زودرس گیاه می‌باشد. توسعه و شدت این آسیب نه تنها به غلظت آلاینده خاص، بلکه به یک سری فاکتورها مانند طول مدت قرار گرفتن در معرض آلاینده، گونه گیاهی، مرحله نموی آن و شرایط محیطی نیز وابسته می‌باشد. آسیب حاصل از آلاینده‌های هوا به گیاهان به چندین طریق آشکار می‌شود، آسیب به اندام هوایی ممکن است در مدت زمان کوتاهی به‌صورت کشنده بافت که در واقع مرگ سلولی گیاه ناشی از برخی آلاینده‌هاست پدیدار گردد، یا ممکن است به آهستگی به صورت یک کلروز یا زرد شدن برگی پیشروی کند، همچنین کاهش رشد در بخش‌های مختلف گیاه ایجاد می‌شود بطوری‌که گیاه ممکن است فورا از بین برود، اما معمولاً تا زمانی که متحمل آسیب مکرر نشده است، از پای در نمی‌آید (Griffiths, 2003).

تحقیقات نشان دادند زمانی که غلظت SO_2 در گیاه به بیش از حد استاندارد افزایش یابد، سلول‌ها ابتدا غیرفعال می‌شوند (همراه یا بدون پلاسمولیز) و سپس می‌میرند. در مورد واکنش گیاهان نسبت به آلاینده‌ها، گفته شده است که آنها طی به دام‌اندازی گرد و غبار و فیلتر کردن هوا تا یک نقطه خاصی، آسیب نمی‌بینند. در واقع گیاهانی که به آلاینده‌های خاصی مقاوم هستند می‌توانند به پاکسازی هوا از مواد شیمیایی مضر کمک کنند (کوچک، ۱۳۸۹).

گیاهان حساس تحت تاثیرآلاینده‌ها دچار کمبود رشد و اختلال در رفتارهای بیولوژیکی می‌شوند ولی در گیاهان مقاوم با فعال شدن مکانیسم‌های دفاعی شانس آنها برای بقاء در برابرتنش افزایش می‌یابد (آقایی سربرزه و همکاران، ۱۳۸۸). Seyyednejad و Koochak (۲۰۱۱) با آزمایشی که بر روی گیاه اکالیپتوس تحت شرایط تنش آلودگی هوا، انجام دادند، مشاهده نمودند که گیاه مذکور با کاهش سطح برگ و طول دمبرگ خود که احتمالاً ناشی از کاهش نرخ تولید کنندگی برگ و یا پیری آن می‌باشد، خود را با این شرایط سازگار نموده است. طبق مطالعات Liu و Ding (۲۰۰۸) گیاهان به هنگام رویارویی با آلودگی هوا، ابتدا دچار تغییرات فیزیولوژیکی و سپس دچار آسیب‌های قابل مشاهده به برگ‌ها می‌شوند. طبق تحقیقات انجام شده توسط محققین میزان اسیداسکوربیک، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول و شاخص مقاومت از فاکتورهای تعیین کننده مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های محیطی می‌باشند در صورتی که میزان پر اکسید اسیون غشاء و سطح برگی نشان‌دهنده میزان حساسیت گیاهان گیاه در برابر تنش است (Khattab and Afifi, 2009; Agbaire, 2009; Atkin et al., 2000).

کنوکارپوس گیاه زینتی رایج در مناطق نیمه گرمسیری و گرمسیری است که معمولاً بصورت

درختچه‌ای با ارتفاع ۱/۵ تا ٤ متر دیده می‌شود، این درختچه متعلق به تیره *Combretaceae* می‌باشد. به‌علت مقاومت و سازگاری با هوای گرم و خشک، خاک خشک، شرایط ضعیف تهویه خاک، زهکشی بد، آلودگی هوا و نیز خاک‌های متراکم، کشت آن اهمیت زیادی در دهه گذشته در کشور و مخصوصاً استان خوزستان پیدا کرده است. رشد بسیار سریع این درختچه یکی دیگر از عوامل مهمی است که در اهمیت آن نقش داشته است (Ayoub, 2010).

جمبو نام درخت میوه‌دار و همیشه سبزی است که در شهرها و مناطق ساحلی جنوب ایران می‌روید. این درخت گرمسیری با نام علمی (*Syzygium cumini*) و از خانواده Myrtaceae است. این درخت همیشه سبز دارای شاخه و برگ متراکم می‌باشد که از شاخه و برگ آن نیز به عنوان علوفه استفاده می‌شود. این گیاه از جمله درختان سریع الرشد است که در ۲ سالگی می‌تواند به بلندی بیش از ۳ متر برسد. از آنجا که این درخت تاج و منظره زیبایی دارد در بسیاری از مناطق به‌عنوان درخت زینتی و سایه‌دار استفاده می‌شود. چوب آن محکم است و در مقابل آب استقامت زیادی دارد که در برخی کشورها از چوب آن برای ساخت تراورس و وسایل و ابزار آلات کشاورزی و روستایی و نیز سوخت استفاده می‌شود (Benherlal and Arumughan, 2007).

در این پژوهش با بررسی سطح برگی، چند فاکتور بیوشیمیایی و شاخص مقاومت به آلودگی در دو گیاه درختی کنوکارپوس و جمبو در منطقه آلوده اطراف صنایع فولاد اهواز و مقایسه آن با گیاهان برداشت شده از منطقه پاک (دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران) حساسیت یا مقاومت این گیاهان نسبت به آلودگی هوای این منطقه مورد بررسی قرارگرفت.

مواد و روش‌ها

انتخاب مکان‌های نمونه‌برداری: با توجه به اینکه مراکز صنایع یکی از مهم‌ترین عوامل آلوده کننده هوا به شمار می‌رود و صنایع فولاد خوزستان از جمله صنایعی به شمار می‌آید که میزان قابل ملاحظه ای از آلاینده‌های هوا را وارد محیط می‌کند، به‌عنوان آلوده کننده هوا در نظر گرفته شد. در این تحقیق، اطراف کارخانه صنایع فولاد خوزستان به‌عنوان منطقه آلوده و منطقه دانشکده کشاورزی پس از بررسی‌های لازم به‌عنوان منطقه پاک (شاهد) در نظر گرفته شد. پس از بررسی‌های اولیه، دوگیاه درختی کنوکارپوس (*Conocarpus erectus*) و جمبو (*Syzygium cumini*) از دو منطقه پاک و آلوده به‌طور همزمان انتخاب گردیدند. رویش همزمان این دوگیاه 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 پاک و آلوده و از هر گونه گیاهی، ۳ نمونه به‌طور همزمان و به‌صورت تصادفی در آبان‌ماه ۱۳۹۱ جمع‌آوری شده و پس از انتقال به آزمایشگاه، برای بررسی‌های فیزیولوژیکی، مورفولوژیکی مورد استفاده قرار گرفتند.

سنجش قندهای محلول برگ: غلظت قندهای محلول با استفاده از روش فنل-اسیدسولفوریک محاسبه شد. به این منظور ۰/۱ گرم ماده خشک برگی در ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۸۰ درصد حل گردید، مخلوط حاصل به‌مدت ۱۵ دقیقه در ۳۰۰۰rpm سانتریفیوژ گردید، فاز مایع ایجاد شده به‌مدت ۱ ساعت در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد تا اتانول آن تبخیر شود. آنگاه ۲ میلی‌لیتر از محلول حاصل به لوله آزمایش منتقل و ۱ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد فنل به آن اضافه شد. لوله‌ها به شدت تکان داده شدند تا

محلول کف کند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسیدسولفوریک ۹۸ درصد به هر نمونه اضافه شد. بعد از ٤٥ دقیقه و تثبیت رنگ نارنجی مایل به زرد، شدت جذب نور در طول موج ٤٨٥ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد و غلظت قندهای محلول در هر نمونه با استفاده از منحنی استاندارد با غلظت ۰ تا ۳۵ بر حسب میلی‌گرم در لیتر تعیین و سپس در گرم وزن خشک بافت گیاهی محاسبه شد (Hellebust and Graigie, 1978).

سنجش پرولین برگ: ابتدا ۰/۵ گرم بافت تازه برگ را در ۱۰ میلی‌لیتر اسیدسولفوسالیسیلیک آبدار ۳ درصد کاملاً ساییده، مخلوط یکنواختی تهیه گردید، مخلوط حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ و از معرف ناین هیدرین استفاده شد. میزان جذب فاز رنگی فوقانی که حاوی تولوئن و پرولین است در طول موج ۵۲۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت غلظت پرولین با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میکروگرم بر میلی‌لیتر محاسبه و در نهایت مقدار پرولین براساس میکرومول در گرم وزن تر نمونه گیاهی محاسبه گردید (Bates et al., 1975).

اندازه‌گیری اسیدیته (pH) عصاره برگ: ابتدا ٤ گرم برگ تازه در ٤٠ میلی‌لیتر آب مقطر ساییده و عصاره حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۳۰۰۰ rpm سانتریفیوژ گردید. سپس محلول رویی برای سنجش pH با دستگاه pH متر استفاده شد (Liu and Ding, 2008).

محاسبه شاخص مقاومت به آلودگی هوا در گیاهان (APTI): این شاخص در رابطه با گیاهان منطقه آلوده به منظور تعیین میزان مقاومت گیاهان در برابر آلودگی هوا بر اساس مطالعه Agbaire (2009) و فرمول زیر محاسبه گردید.

$$APTI = [A (T+P) + R] /10$$

APTI معرف شاخص مقاومت گیاه به آلودگی هواست

A غلظت اسیدآسکوربیک برگ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ

T مقدار کلروفیل کل برگ بر حسب میلی‌گرم بر گرم وزن‌تر برگ

P معرف اسیدیته یا pHعصاره برگ

R محتوای نسبی آب برگ برحسب درصد

اندازه‌گیری غلظت اسید آسکوربیک برگ: ابتدا ۰/۵ گرم برگ تازه به همراه ۱۰ میلی‌لیتر محلول ۵ درصد اسید متافسفریک ساییده و مخلوط حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در ۱۳۰۰۰rpm در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد سانتریفیوژ گردید. سپس به ۱ میلی‌لیتر از محلول رویی نیز ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول سدیم ۲و٦ دی کلرواینـدوفنل (DCIP) ۳ میلی‌مولار و ۱ میلی‌لیتر معرف تیواوره ۱ درصد اضافه کرده و محلول حاصل به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای آزمایشگاه قرار داده شد. سپس ۱ میلی‌لیتر معرف ۲ و٤ دی نیترو فنیل هیدرازین۱۰ میلی‌مولار به آن اضافه کرده و نمونه‌ها به‌مدت ۱ ساعت در حمام آب گرم ۵۰ درجه قرار داده شدند. سپس ۲/۵ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۸۵ درصد به نمونه‌ها اضافه شد. پس از ۳۰ دقیقه قرار گرفتن در آب یخ ۱ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۲۰ درصد به آن اضافه و جذب نمونه‌ها در طول موج ۵۲۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر خوانده شد و غلظت اسیدآسکوربیک با استفاده از منحنی استاندارد بر حسب میلی‌گرم در گرم وزن تر برگ نمونه گیاهی محاسبه شد (Smirnoff, 2000).

اندازه‌گیری غلظت مآلون دی آلدئید برگ: به ۱ میلی‌لیتر محلول عصاره استخراج شده از برگ، ۱ میلی‌لیتر محلول ۰/۵ درصد اسیدتیوباربیتوریک که حاوی اسید تری کلرواستیک ۲۰ درصد است، اضافه گردید. سپس مخلوط حاصل در حمام آب با دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت ۳۰ دقیقه حرارت داده شد (مدت زمان حرارت دادن بسیار مهم است و از ۳۰ دقیقه نباید بیشتر یا کمتر شود). به‌منظور توقف واکنش، ظرف محتوای مخلوط حرارت داده شده به سرعت برای مدت ۳۰ دقیقه درون حمام یخ قرار داده شد. سپس مخلوط حاصل با دور ٤۰۰۰ rpm به‌مدت

۱۵دقیقه سانتریفیوژ گردید. سپس به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر UV-Visible، جذب مخلوط حاصل در دو طول ۵۳۲ نانومتر (طول موج اختصاصی) و ۶۰۰ نانومتر (طول موج غیر اختصاصی) خوانده شد.جذب حاصل از طول موج دوم از جذب حاصل از طول موج اول کم و سپس در ضریب خاموشی مآلون دی آلدئید، ($۱۵۵ mM^{-1}Cm^{-1}$) ضرب شده و در نهایت با واحد میلی‌مول بر گرم وزن تر برگ محاسبه و گزارش گردید (Davey et al., 2005).

اندازه‌گیری سطح برگی: بعد از انتقال نمونه‌های تازه به آزمایشگاه و تفکیک برگ و ساقه، مساحت سطح برگ‌ها برحسب mm^2 توسط دستگاه (DELTA-T DEVICES) L.T.D AREA METER، ساخت انگلستان و نرم‌افزار windias تعیین گردید این سنجش برای تعداد ۱۰ برگ از تمام تکرارها برای هر نمونه انجام شد.

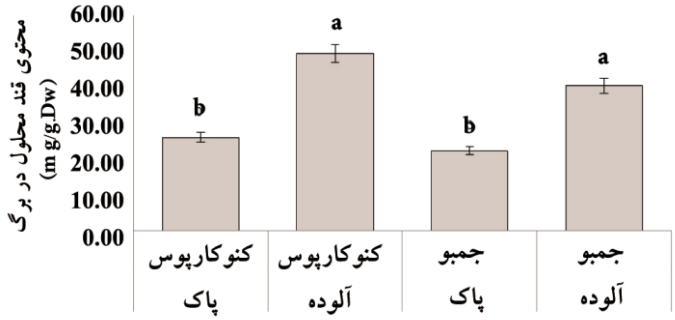
نتایج آماری بدست آمده از اندازه‌گیری‌ها، براساس ۳ تکرار و با استفاده از نرم‌افزار SPSS(20) و MSTATC مورد تجزیه آماری قرارگرفت. برای مقایسه میانگین‌های مربوطه از آزمون Independent Samples Test استفاده شد. محاسبه احتمال معنی‌دار بودن تفاوت بین میانگین‌ها نیز با استفاده از آزمون دانکن در سطح $P<۰/۰۵$ انجام شد. نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel (۲۰۰۷) رسم شدند.

نتایج

تغییرات سطح برگ: نتایج حاصل از بررسی آلودگی هوا بر سطح برگ در هر دو گیاه کنوکارپوس و جمبو نشان داد که این پارامتر در هر دو گیاه کاهش یافت و این کاهش از نظر آماری در هر دو گیاه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (شکل ۱).

شکل ۱: تاثیرآلودگی هوا برسطح برگ درگیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف نامشابه، نشان دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq۰/۰۵$) می‌باشد.

تغییرات غلظت قندهای محلول: بررسی نتایج مربوط به سنجش میزان قندهای محلول برگ در دو گیاه کنوکارپوس و جمبو تحت اثر آلودگی هوا نشان داد که میزان این پارامتر در گیاهان تحت تاثیر آلودگی افزایش یافته و این افزایش از نظر آماری در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود (شکل ۲).

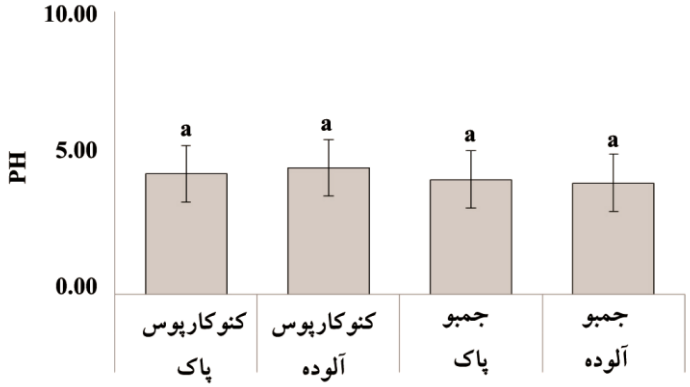


شکل ۲: تاثیرآلودگی هوا بر محتوی قندهای محلول در برگ گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف نامشابه، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار (P≤۰/۰۵) می‌باشد.

تغییرات میزان پرولین برگ: چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود میزان پرولین برگ در گیاه جمبو تحت اثر آلودگی هوا در سطح ۰/۰۵ بطور معنی‌داری افزایش یافت.

شکل ۳: تاثیرآلودگی هوا بر محتوی پرولین در برگ گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف مشابه، نشانه عدم معنی‌داری و حروف نامشابه، نشانه اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) می‌باشد.

تغییرات اسیدیته (pH) عصاره برگ: نتایج مربوط به آنالیز آماری میانگین‌های مربوط به تاثیر آلودگی بر دو گیاه جمبو و کنوکارپوس نشان داد که آلودگی در سطح ۰/۰۵ اثر معنی‌داری بر این پارامتر نداشت (شکل ٤).

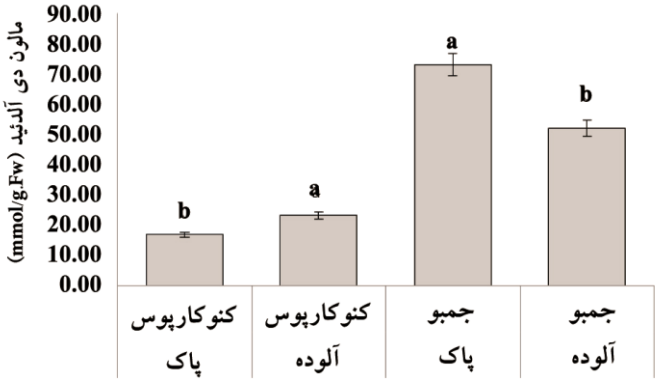


شکل ٤: تاثیر آلودگی هوا بر pH عصاره برگ در گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف مشابه، نشانه عدم معنی‌داری (P≤۰/۰۵) می‌باشد.

تغییرات میزان اسید آسکوربیک برگ: میزان اسید اسکوربیک در گیاه جمبو تحت تاثیر آلودگی به‌طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی که آلودگی تاثیر معنی‌داری در سطح ۰/۰۵ بر این پارامتر در گیاه کنوکارپوس نداشت (شکل۵).

شکل ۵: تاثیرآلودگی هوا بر غلظت اسیدآسکوربیک در برگ گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف مشابه، نشانه عدم معنی‌داری و حروف نامشابه، نشانه اختلاف معنی‌داری ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

تغییرات میزان مآلون دی‌آلدئید برگ: نتایج نشان داد میزان مآلون دی آلدئید برگ به‌عنوان شاخص پراکسیداسیون غشا بطور معنی‌داری در گیاه کنوکارپوس افزایش و در گیاه جمبو کاهش یافت (شکل ٦).



شکل ٦: تاثیرآلودگی هوا بر میزان مآلون دی‌آلدئید در برگ گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف نامشابه، نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار ($P\leq$۰/۰۵) می‌باشد.

شاخص مقاومت به آلودگی هوا: نتایج حاصل از محاسبه شاخص مقاومت به آلودگی هوا نشان داد که میزان این پارامتر در گیاه کنوکارپوس برابر ۹/۸٤ و در گیاه جمبو برابر ۸/۹۸ بود. از طرفی آلودگی باعث کاهش معنی‌دار این پارامتر در گیاه جمبو شد در حالی که این عامل اثر معنی‌داری بر شاخص مقاومت به آلودگی در گیاه جمبو نداشت (شکل ۷).

شکل ۷: تاثیرآلودگی هوا بر شاخص مقاومت به آلودگی هوا در برگ گیاهان کنوکارپوس و جمبو در دو منطقه پاک و آلوده. داده‌ها میانگین ۳ تکرار و حروف مشابه، نشانه عدم معنی‌داری و حروف نامشابه، نشانه اختلاف معنی‌داری (P≤۰/۰۵) می‌باشد.

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که اندازه گستره سطح برگ در هر دو گیاه کنوکارپوس و جمبو جمع‌آوری شده از منطقه آلوده اطراف صنایع فولاد اهواز نسبت به گیاهان جمع‌آوری شده از منطقه پاک اطراف دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز بطور معنی‌داری کاهش یافته است (شکل۱). در اکثر گیاهان اندام‌های اصلی تعرق برگ‌ها هستند، بنابراین هر گونه کاهش در سطح برگ، میزان تعرق را کاهش داده و آب جذب شده توسط ریشه‌ها را نگهداری خواهد نمود. در برخی گزارشات همچون مطالعات انجام شده توسط Dineva (۲۰۰٤) نیز نشان داده شد که طول، عرض، سطح برگ‌ها و همچنین طول برگچه‌های درختان نواحی آلوده شهری (از جمله درختان انجیر و اوکالیپتوس) در پاسخ به آلودگی هوا کاهش پیدا کرده است. Naido و Chirkoot (۲۰۰٤) مشاهده کردند که در منطقه آلوده تبادل گازها در سطح برگ گیاه مانگرو حرا (*Avicennia marina*) تحت تاثیر هوای آلوده کاهش یافت. Seyydnejad و Kocchak (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای که بر روی گیاه اوکالیپتوس تحت شرایط تنش آلودگی هوا انجام دادند، مشاهده نمودند که گیاه مذکور، با کاهش سطح برگ و طول دمبرگ خود که احتمالاً ناشی از کاهش نرخ تولید کنندگی برگ و یا پیری آن می‌باشد، خود را با این شرایط سازگار نموده است. بنابراین احتمال می‌رود کاهش سطح برگ در دو گیاه مورد بررسی در این پژوهش نیز نشان‌دهنده تاثیر آلودگی و مقاومت گیاهان در برابر این عامل می‌باشد.

نتایج پژوهش حاضر نشان داد میزان کربوهیدرات‌های محلول در گیاهان کنوکارپوس و جمبو در برابر آلودگی هوا بطور معنی‌داری افزایش یافت که نشان‌دهنده توانایی هر دو گیاه در مقابله با شرایط تنش می‌باشد. زیرا تجمع بالای قندهای محلول در برگ سبب کاهش پتانسیل آبی گیاه و در نتیجه ایجاد شیب پتانسیل شده و از صدمات اکسیداتیو جلوگیری می‌کند، همچنین سبب نگهداری ساختمان غشا تحت شرایط تنش‌های محیطی می‌شود (Li et al., 2003). تجمع این مواد باعث تنظیم اسمزی و کاهش از دست دادن آب سلول و نگهداری تورژسانس سلولی می‌شود. گزارش شده است در اثر تیمار با غلظت‌های مختلف گاز اوزون، فعالیت اکسیژنازی، ریبولوز ۱ و ۵ بیس فسفات کربوکسیلاز (آنزیم روبیسکو) کاهش می‌یابد. این امر می‌تواند

الگوی افزایش تدریجی کربوهیدرات‌ها را نیز توجیه کند (Burri et al., 2006). افزایش قندهای محلول در اندام‌های هوایی می تواند به دلیل تبدیل نشاسته به قندهای محلول و یا کاهش مصرف آن و یا کاهش انتقال ان توسط آوند آبکش باشد. مطالعات نشان داده است، میزان کربوهیدرات‌های محلول در رویارویی با گاز کلر در گیاهان برگ ریز نیز افزایش یافت (Tzvetkova and Kolarov, 1996).

در این پژوهش مقدار پرولین در هر دو گیاه کنوکارپوس و جمبو در پاسخ به تنش آلودگی هوا، افزایش یافت که نشان‌دهنده یک نوع مکانیسم مقاومتی در این دو گیاه جهت مقابله با تنش محیطی مورد بررسی است. بطور مشابه در مطالعه دیگری نشان داده شد که مقدار پرولین در دو گیاه کهور و اوکالیپتوس در پاسخ به تنش آلودگی هوا افزایش یافت (کوچک، ۱۳۸۹). از نقش‌های فیزیولوژیکی که برای افزایش پرولین در زمان تنش مطرح شده است: تنظیم فشار اسمزی، کاهش اتلاف آب، حفاظت از مولکول‌های پروتئینی و غشاء سلولی است (عباسی و فهیمی، ۱۳۸۵). پرولین پایدارترین اسیدآمینه‌ای است که در برابر هیدرولیز اکسیداتیو مقاومت کرده و کمترین اثر بازدارندگی را بر رشد سلول‌ها در بین تمام اسیدهای آمینه دارد. به این دلیل، این ماده در گیاهانی که تحت تنش قرار گیرند، تجمع می‌یابد. نقش آنتی‌اکسیدانی پرولین در توانایی آن برای غیرفعال کردن رادیکال‌های هیدروکسیل و سایر ترکیبات فعال مخرب اکسیداتیوی که تحت شرایط تنش تولید شده و در انتقال الکترون در کلروپلاست‌ها و میتوکندری‌ها اختلال ایجاد می‌کنند، تظاهر می‌یابد و از این طریق پروتئین‌ها و غشاها را در برابر آسیب محافظت می‌کند (Khattab and Afifi, 2009).

طبق نتایج بدست آمده در گیاه کنوکارپوس، مقدار اسیدیته، در پاسخ به تنش افزایش در حالی که مقدار این شاخص در گیاه جمبو کاهش یافت اما در هیچ یک از این دو گیاه، میزان این تغییرات در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار نبود. اسیدیته برگ از دیگر فاکتورهای دخیل در تعیین شاخص مقاومت به آلودگی هوا است که تعیین‌کننده تشکیل اسیدآسکوربیک از قندهای هگزوز می‌باشد، به این ترتیب که افزایش اسیدیته شانس این تبدیل را افزایش می‌دهد، این در حالی است که اسیدیته پایین در برگ گیاه، رابطه‌ای مستقیم با افزایش حساسیت گیاه نسبت به آلودگی هوا دارد (Joshi et al., 2009). اسیدآسکوربیک عموماً در کلروپلاست برگ تجمع یافته و غلظت این ماده و تغییرات اسیدیته، شدت فتوسنتز را در برگ قویا تحت تاثیر قرار می‌دهند. برای مثال فتوسنتز در برگ با اسیدیته پایین کاهش می‌یابد (Smirnof, 2000). همچنین در مقایسه میان این دو گیاه مشاهده گشت که در گیاه جمبو که مقدار اسیدیته برگ پایین‌تر بود، محتوای کربوهیدرات محلول هم افزایش کمتری نشان داد که شاید بیان‌کننده میزان کاهش فتوسنتز در پاسخ به پایین‌تر بودن مقدار اسیدیته و نیز تبدیل بخشی از بازده تثبیت کربن فتوسنتزی به اسیدآسکوربیک در پاسخ به افزایش محتوای اسیدیته عصاره برگی در حین تنش در مقایسه با گیاه کنوکارپوس بود. گفته شده است که در حضور آلاینده‌های اسیدی، اسیدیته برگ کاهش می‌یابد و این کاهش در گونه‌های گیاهی حساس، شدیدتر است و مقدار زیاد آب در بخش‌های گیاه، تعادل فیزیولوژیکی محتویات سلولی را تحت شرایط تنش‌زا خصوصاً در زمان آلودگی هوا، حفظ می‌کند (Joshi et al., 2009). بنابراین عدم تاثیر معنی‌دار آلودگی بر میزان اسیدیته عصاره برگی نشانه مقاومت نسبی این دو گیاه نسبت به آلودگی‌های موجود در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

بررسی تغییرات مقدار اسید آسکوربیک در برگ‌ها نشان داد که تنها در گیاه جمبو میزان این پارامتر بطور

معنی‌داری کاهش یافت. اسیدآسکوربیک یک آنتی‌اکسیدان طبیعی درگیاهان است که نقش مهمی در مقاومت به آلودگی به عهده دارد. همچنین این ماده با پراکسید هیدروژن واکنش داده و باعث حفاظت از کاروتنوئیدها در پاسخ به تنش‌های مختلف می شود (Joshi et al., 2009). همچنین بیان شده است که اسیدآسکوربیک یک عامل احیا کننده قوی بوده و بسیاری ازمکانیسم‌های دفاعی و فیزیولوژیکی را در گیاه فعال می‌کند، از طرفی قدرت احیاءکنندگی آن بطورمستقیم با غلظت آن متناسب است. با این همه فعالیت احیاءکنندگی آن وابسته به اسیدیته سلول بوده و در pH های بالاتر فعال‌تر می‌باشد (Agbaire and Esiefarienrhe, 2009). بنابراین کاهش میزان این پارامتر در گیاه جمبو نشان‌دهنده حساسیت این گیاه نسبت به شرایط محل جمع‌آوری و حساسیت کمتر گیاه کنوکارپوس در این شرایط است.

از دیگر اثرات مخرب آلاینده‌ها بر روی گیاهان می توان از بین رفتن لیپیدهای سلولی و پراکسیداسیون اسیدهای چرب اشباع نشده را نام برد (Tiwari et al., 2006). مآلون دی‌آلدئید در اثر فعال شدن آنزیم لیپوکسیژناز و پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی ایجاد می‌شود. با افزایش فعالیت این آنزیم، اسیدهای چرب غیراشباع تجزیه و مآلون دی آلدئید تولید می‌شود. بنابراین تشکیل مآلون دی آلدئید از علائم پراکسیداسیون لیپیدها و آسیب غشایی به شمار می‌رود (Davey et al., 2005). در این تحقیق مقدار مالون دی‌آلدئید در گیاه کنوکارپوس در پاسخ به تنش افزایش و در گیاه جمبو کاهش یافت و از لحاظ آماری، هر دو گیاه در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار بود. از این نتایج می‌توان استنباط کرد که افزایش این پارامتر در گیاه کنوکارپوس نشان‌دهنده آسیب غشایی بوده در حالی که با وجود تنش و علایم تنش مانند کاهش سطح برگی در گیاه جمبو و بر عکس کاهش محتوی مالون دی‌آلدئید شاید بتوان نتیجه گرفت که در این گیاه پراکسید اسیون چربی‌های غشایی باعث تولید سایر آلدئیدها شده است. از طرفی به نظر می‌رسد که ارتباطی بین پراکسیداسیون لیپید و تجمع پرولین در گیاهانی که در تماس با انواع مختلف تنش‌ها هستند وجود دارد. اگر یک چنین ارتباطی وجود داشته باشد، تجمع پرولین می‌تواند نقش مهمی در ممانعت از پراکسیداسیون لیپید ناشی از آلودگی فلزات سنگین به عهده داشته باشد (Wang et al., 2009). بنابراین شاید افزایش تولید پرولین در گیاه جمبو در شرایط آلودگی عاملی برای حفظ غشا در برابر تنش موجود است.

شاخص مقاومت به آلودگی هوا، شاخصی است که توانایی یک گیاه را برای مقابله با آلودگی هوا تعیین می‌کند بطوری‌که اگر شاخص مقاومت به آلودگی هوا بین عدد ۱۶-۱ باشد، گیاه حساس است (Joshi et al., 2009؛ Joshi and Swami, 2007). بنابراین با توجه به اینکه مقدار شاخص‌های بدست آمده برای هر دو گیاه کنوکارپوس و جمبو از عدد ۱۶ کمتر می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت که این دو گیاه در منطقه آلوده مورد مطالعه از نوع حساس می‌باشند.

نتیجه‌گیری نهایی

به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت با توجه به مقدار شاخص مقاومت به آلودگی هوا محاسبه شده برای دو گیاه، گیاه کنوکارپوس نسبت به جمبو مقاومت بیشتری نسبت به آلودگی هوا در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد از طرفی کاهش پراکسیداسیون غشاء و افزایش پرولین نیز موید این مساله است. از سوی دیگر هر چند هر دو گیاه در محدوده گیاهان حساس به آلودگی قرار گرفته‌اند و تغییرات مشاهده شده در فاکتورهای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی به‌عنوان نشانه‌ای از آلودگی محیط مورد آزمایش می‌باشد ولی حضور این دو گیاه در دو منطقه

نشان‌دهنده فعالیت سیستم مقاومتی در این گیاهان در برابر تنش موجود است که نتایج حاصل از این پژوهش هم تا حدودی این نتیجه را تایید می‌کند.

منابع

آقایی سربرزه، م.، رجبی، ر.، حق پرست، ر. و محمدی، ر. (۱۳۸۸). مطالعه تغییر محتوی پرولین، خسارت غشاء سلولی و تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های گندم دوروم در شرایط کنترل شده. مجله به زراعی نهال و بذر. جلد سوم. شماره چهارم. صفحات ۳۵۲-۳٤۵.

چاقری، ز.، آقایاری، ف.، ابراهیمی‌پور، غ.، شاکر بازارنو، ح. و برنارد، ف. (۱۳۸۵). بررسی تاثیرات گازوئیل بر میزان جوانه‌زنی و رشد گیاهچه برخی از گونه‌های زراعی. مجله علوم محیطی. جلد سیزدهم. صفحات ۸۰-٦۹.

زرگر، ح. (۱۳۷۳). آلودگی هوا و عوارض آن. مجله پژوهش و سازندگی. سال ششم شماره ۲۲. صفحات ۹۵-۹۲.

عباسی، ف. و فهیمی، ح. (۱۳۸۵). بررسی برخی مکانیسم‌های فیزیولوژیکی مقاومت به خشکی و شوری در دو گونه گیاهی *Aeluropus lagopoides* و *A. littoralis* مجله علمی دانشگاه تهران. جلد ۳۲. شماره ٤. صفحات ۳۹۰-۳۸۱.

کوچک، ه (۱۳۸۹). بررسی بردباری گیاهان به آلودگی نفتی در اراضی اطراف حوضچه‌های تبخیر پساب یکی از واحدهای نفتی جنوب. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد فیزیولوژی گیاهی. دانشگاه شهید چمران. اهواز. ایران. صفحات ۱٦۷-۱۵۷ و ۱۷۸-۱۷۲.

محرم‌نژاد، ن. (۱۳٦۳). مقدمه‌ای بر آلودگی هوا. ناشر گلگشت. تهران. صفحه ۳۳.

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.

Agbaire, P.O. and Esiefarienrhe, E. (2009). Air pollution tolerance indices (apti) of some plants around otorogun gas plant in Delta State, Nigeria. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 13(1):11-14.

Atkin, O., Millar, A., Gardestrom, P. and Day, D. (2000). Photosynthesis, carbohydrate metabolism and respiration in leaves of higher plants. Photosynthesis Advances in Photosynthesis and Respiration. 9:153-175.

Ayoub, N.A. (2010). A trimethoxyellagic acid glucuronide from *Monocarpus erectus* leaves: Isolation, characterization and assay of antioxidant capacity. Pharmaceutical Biology, 48(3): 328-332.

Bates, L.S., Waldren, R.P. and Teare, I.D. (1975). Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil. 39(1): 205-207.

Benherlal, P. S. and Arumughan, C. (2007). Chemical composition and *in vitro* study of antioxidant activity of *Syzygium cumini* fruit. Journal of the Science of Food and Agriculture, 87(14):2560-2569.

Burri, J., Graf, M., Lambelet, P. and Loliger, J. (2006). Vanillin: more than a flavoring agent- a potent antioxidant. Journal of the Science of Food and Agriculture. 48(1):49-56.

Dineva, S.B. (2004). Comparative studies of the leaf morphology and structure of white ash *Fraxinus americana* L. and London plant tree *Platanus acerifolia* Willd growing in polluted area. Dendrobiology. 52(3-8).

Davey, M.W., Stals, E., Panis, B., Keulemans, J. and Swennen, R.L. (2005). High throughput of malondialdehyde in plant tissues. Analytical Biochemistre. 347: 201-207.

Griffiths, H. (2003). Effects of air pollution on agricultural crops. Available at: http://www.omafra.gov.on.ca/english/crops/facts/01-015.htm

Hellebust, J.A. and Craigie, J.S. (1978). Handbook of phycological methods: Physiological and Biochemical Methods, 59. Cambridge University Press.

Joshi, N., Chauhan, A. and Joshi, P.C. (2009). Impact of industrial air pollutants on

some biochemical parameters and yield in wheat and mustard plants. The Environmentalist. 29(4):398-404.

Joshi, P. and Swami, A. (2007). Physiological responses of some tree species under roadside automobile pollution stress around city of Haridwar, India. The Environmentalist. 27(3): 365-374.

Khattab, E. and Afifi, M. (2009). Effect of proline and glycinebetain on canola plants grown under salinity stress condition. Crop Science, 3(2): 42-51.

Li, N., Hao, M., Phalen, R.F., Hinds, W.C. and Nel, A.E. (2003). Particulate air pollutants and asthma. A paradigm for the role of oxidative stress in PM induced adverse health effects. Clinical Immunology (Orlando, Fla.). 109 (3): 250-265.

Liu, Y.J. and Ding, H. (2008). Variation in air pollution tolerance index of plants near a steel factory: Implications for Iandscape-plant species selection for industrial areas. Wseas Transactions on Environment and Development. 1 (4): 24-32.

Naidoo, G. and Chirkoot, D. (2004). The effects of coal dust on photosynthetic performance of the mangrove, *Avicennia marina* in Richards Bay, South Africa. Environmental Pollution. 127(3):359-366.

Seyydnejad, S.M. and Koochak, H. (2011). A study on air pollution lnduced biochemical alterations in *Eucalyptus camaldulensis*. Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 5(3): 601-606.

Smirnoff, N. (2000). Ascorbic acid: metabolism and functions of a multifaceted molecule. Current Opinion Plant Biology. 3(3): 229-235.

Tzvetkova, N. and Kolarov, D. (1996). Effect of air pollution on carbohydrate and nutrients concentrations in some deciduous trees species. Bulg. Journal Plant Physiology. 22(1-2): 53-63.

Tiwari, S. Agrawal, M. and Marshall, F.M. (2006). Evaluation of ambient air pollution impact on carrot plants at a sub urban site using open top chambers. Environmental Monitoring and Assessment. 119(1):15-30.

Wang, F., Zeng, B., Sun, Z. and Zhu, C. (2009). Relationship between proline and Hg^{2+} -induced oxidative stress in a tolerant rice mutant. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 56(4): 723-731.