

آلودگی در محیط‌های کشت آزمایشگاهی قدرت رویش کمتری دارند و سرعت رشد لوله‌های گرده آنها کمتر است.

تشکیل لوله‌های گرده دارای انشعاب به ویژه در گیاه سویا (Glyin max L) از تغییرات دیگر است. در تخمکها تشکیل تترادهای توده‌ای به جای تترادهای خطی یا T، گسترش و پایداری بافت خورش در اطراف کیسه رویانی، رشد غیرعادی پوسته‌های تخمک، اختلال در رشد کیسه رویانی و سوختگی کامل تخمکها به ویژه در ایستگاههای نزدیک به کارخانه از تغییرات قابل توجه دیگر است. اندازه‌گیری نقطه جبران CO<sub>2</sub> در گیاهان مورد پژوهش نشان می‌دهد که هوای آلوده اطراف کارخانه موجب کاهش میزان فتوسنتز می‌گردد.

شکل غیرعادی و خمیده نیامکها، کاهش تعداد وزن تر و خشک دانه‌ها و کاهش مقدار کل محصول در ایستگاههای نزدیک به کارخانه به خوبی مشخص می‌باشد.

## اثرات آلاینده‌های جوی کارخانه آلومینیوم اراک بر رشد و نمو برخی گونه‌های باقلانیان (Fabaceae)

دکتر احمد مجید، محمودرضا شریفی دارانی، دکتر حسن زارع مایوان

گروه زیست شناسی - دانشکده علوم

دانشگاههای تربیت معلم و تربیت مدرس تهران

### - مقدمه

آلودگیهای جوی از مسائل مهم کشورهای صنعتی و در حال توسعه است. صنعت آلومینیوم‌سازی یکی از آلوده کننده‌ترین صنایع برای محیط زیست می‌باشد، به ویژه اگر از سیستم‌های تصفیه کننده برخوردار نباشد.

مهمترین آلاینده‌های ناشی از کارخانه‌های آلومینیوم‌سازی ترکیبات فلئوئوریدی می‌باشند که به شکلهای گازی، (SiF<sub>4</sub>HF) و به شکل ذرات معلق (NaF, MgF<sub>2</sub>, LiF, CaF<sub>2</sub>) به محیط اطراف این کارخانه‌ها منتشر می‌شود (۱).

تحقیق حاضر روی آلاینده‌های جوی کارخانه آلومینیوم سازی ایران و اثرات آنها روی چند گونه گیاهی انجام گرفته است. کارخانه آلومینیوم ایران (IR, Al, Co) در شمال شرقی اراک در کیلومتر ۶ جاده تهران - اراک و در فاصله حدود ۲۵ کیلومتری تهران واقع شده است. غلظت آلاینده‌های فلئوئوریدی در اطراف کارخانه توسط سازمان محیط زیست به صورت زیر گزارش شده است: در هوای محوطه کارخانه  $2.4 \times 10^{-3}$  -  $1.4 \times 10^{-3}$ ، در فاصله دویست متری به  $\frac{1}{3}$  مقدار مبدأ و در فاصله  $\frac{1}{5}$  کیلومتری به  $\frac{1}{3}$  کاهش می‌یابد. در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه غلظت فلئوئور ppm = ۱۰۰۰ است که در فاصله ۱۰ کیلومتری به ppm = ۶ می‌رسد. (۷)

میترا کره‌رودی در سال ۱۳۶۹ تجمع فلئوئوریدها را در گیاهان اطراف کارخانه حتی تا شعاع ۳۰ کیلومتری گزارش نموده است (۲).

### - چکیده

رقم‌هایی از سویا (Glyin max)، لوبیا (Pbaseolus vulgaris) و نخود (Cicer arietinum) در شرایط مشابه با شرایط کشت مزرعه‌ای در گلدهای متعددی کشت شد و تا مرحله برداشت محصول در پنج ایستگاه با فواصل مختلف (از مجاورت کارخانه تا شعاع ۳۰ کیلومتری) قرار گرفت. ویژگیهای ریخت‌شناسی تشریحی اندامهای رویشی و نیز برخی جنبه‌های فیزیولوژیکی بین گیاهان شاهد (در ایستگاه ۵، دور از آلودگی) و گیاهان تحت تأثیر آلودگیهای کارخانه بررسی و مقایسه شد. همچنین وضع نیامکها، دانه‌بندی، وزن تر و وزن خشک دانه‌ها در ایستگاههای مختلف مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت.

نتایج بررسیهای میکروسکوپی و میکروسکوپی نشان می‌دهد که در ایستگاههای نزدیک به کارخانه، گیاهان کاهش رشد دارند، برگهای آنها کلروز و نکروز دارند و این ضایعات با نزدیک شدن به کارخانه تشدید می‌شود.

بررسیهای میکروسکوپی، آسیب و سوختگی سلولهای مزوفیل برگها به ویژه در لایه‌های زیر اپیدرم و اطراف دستجات آوندی را نشان می‌دهد.

بی‌نظمی در رشد و تکوین پرچمها، پژمردگی تا حد سوختگی بساکها، تغییرات عمده در تکوین گرده‌ها تا حد نازائی و مرگ آنها و نیز تشکیل لوله‌های گرده زودرس از تغییرات قابل توجه گیاهان در ایستگاههای نزدیک کارخانه است. دانه‌های گرده گیاهان تحت تأثیر

آلودگیهای کارخانه به شرح زیر قرار داده شد:

- ایستگاه ۱ (تیمار ۱): مجاور کارگاه احیا و در محوطه کارخانه

- ایستگاه ۲ (تیمار ۲): حدود ۸۰۰ متری شمال غربی کارخانه

- ایستگاه ۳ (تیمار ۳): در فاصله ۲/۵ کیلومتری شمال غربی

کارخانه

- ایستگاه ۴ (تیمار ۴): در فاصله ۱۰ کیلومتری جنوب غربی کارخانه

- ایستگاه ۵ (شاهد): خارج از شعاع ۳۰ کیلومتری کارخانه

گیاهان به صورت هماهنگ و همزمان مورد رسیدگی و آبیاری قرار

گرفتند. بعد از یک ماه که از کشت دانه‌های گیاهان گذشت، اولین

برداشت نمونه‌های مختلف از گیاهان انجام شد. در این مرحله

نمونه‌هایی از مریستمهای رویشی، برگها، دمبرگها و ساقه گیاهان تحت

تیمار و شاهد برداشت شد. نمونه‌برداری هر دو هفته یکبار انجام

می‌شد.

پس از ورود گیاهان به مرحله زایشی علاوه بر نمونه‌های

بخش‌های رویشی، از بخش‌های زایشی گیاه (غنچه‌ها در مراحل

مختلف رشد و تکوین) نیز نمونه‌برداری شد.

نمونه‌های برداشت شده پس از شستشو با آب، توسط فیکساتور

FAA (۱۷ CC الکل اتیلیک، ۲ CC فرمالدئید و ۵ CC اسید استیک)

تثبیت گردید، آب‌گیری، اشباع سازی نمونه‌ها از پارافین و برش‌گیری از

نمونه‌های تثبیت شده بنا به روشهای متداول هیستو - سیتولوژیکی

انجام شد.

رنگ‌آمیزی برشها به چهار روش: هماتوکسیلین - اتوزین (۱۹۶۸)

(Heidenhan)، سافرانین سبز سریع (Conn ۱۹۵۲)، سبز متیل -

پبرونین (Brachet ۱۹۵۳) و اسید تانیک، نارنجی G، سافرانین

(شارمن ۱۹۴۳) انجام شد.

مطالعات میکروسکوپی با میکروسکوپ اولمپوس مدل H<sub>2</sub>

مجهز به دستگاه عکس‌برداری صورت گرفت و عکسبرداریهای لازم به

عمل آمد.

- برای کشت دانه‌های گرده، غنچه‌ها و گلپای گیاهان به آزمایشگاه

منتقل شد و سپس بر روی محیط‌های کشت آزمایشگاهی واجد: آب

مقطر ۱۰۰ CC، آگار ۵/۵ گرم، ساکاروز ۱۰ گرم و اسید بوریک ۱/۱ CC در

دمای ۱۸ تا ۲۲ C و در تاریکی کشت شد.

برای مطالعه اثر آلاینده‌ها روی فعالیت فتوسنتزی گیاهان مورد

مطالعه، نمونه‌هایی را به آزمایشگاه منتقل کرده و با دستگاه

IR-analyser نقطه جبران CO<sub>2</sub> آنها را مورد سنجش قرار دادیم.

در مورد اثر آلاینده‌های فلئوئوریدی روی ساختار گیاهان مطالعات بسیاری انجام شده است. اینگونه مطالعات در سالهای بعد از ۱۹۷۰ بیشتر می‌باشد. (۱۱) قبل از آن، مطالعات بیشتر در جنبه‌های بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی اثر آلاینده‌ها روی گیاهان بوده است.

شرح عمومی آسیب‌های آلاینده‌های جوئی در چند مطالعه مروری بررسی شده است. Soikkeli (۱۹۸۱) مراحل آسیب سلولی کاج نروژی و کاج اسکاتلندی را در برگهای سوزنی جمع‌آوری شده از نواحی صنعتی که به مدت طولانی به وسیله SO<sub>2</sub> و NO<sub>2</sub> یا فلئوئوریدها آلوده شده بودند، گزارش کرد.

کاهش محصول ماش (*Vicia sativa*)، لوبیا گرگی (*Lupinus*)

(sp)، پیاز خوراکی (*Alium cepa*)، کم شدن رشد برگ در چغندر قند

(*Beta Vulgaris*) کاهش محصول در سیب‌زمینی (*Solanum*)

(*tuberosum*)، چغندر (*Beta sp*)، شبدر (*Trifolium*) و لوبیا

(*Phaseolus*) که در مجاورت کارخانه آلومینیوم‌سازی کشت شده بودند

از ۳۰ تا ۶۰ درصد و نیز کاهش میزان نشاسته در سیب‌زمینی گزارش

شده است. (۱۰) غلظت‌های بالا و تکراری آلاینده‌ها، رشد و نمو طبیعی

گیاه را در هم می‌ریزد، بطوریکه برای مثال در گونه‌های درختی

(*Picea*)، غان (*Betula*) و بید (*Salix*) کوتاه ماندن قد گیاه در مواردی

که به وسیله آلاینده HF در اطراف یک کارخانه آلومینیوم‌سازی آلوده

شده بود گزارش گردیده است. (۳)

Pack و Sulzback (۱۹۷۱) کاهش جوانه‌زنی و رشد لوله‌های گرده

را در گیاه گوجه‌فرنگی که در معرض ۴/۲ μgm<sup>-3</sup> هیدروژن فلئوئورید

برای چند هفته قرار گرفته بودند، گزارش کردند.

Balomtyne و همکاران (۱۹۷۱) نشان دادند که فلئوئورید پتاسیم

واکنش هیل کلروپلاستهای لوبیا را باز می‌دارد و بدینوسیله روی

فتوسنتز اثر منفی می‌گذارد. با توجه به وجود هزاران هکتار اراضی زیر

کشت باقلائیان در کشور و نیز طرحهایی برای گسترش و تأسیس

کارخانه‌های آلومینیوم، آگاهی از اثرات آلاینده‌های کارخانه‌های

آلومینیوم بر این گیاهان می‌تواند مفید باشد.

## - مواد و روشها

سه گونه گیاهی از پروانه‌واران (سویا رقم ویلیامز، لوبیا رقم چیتی

شماره ۱۶۸۱۱ و نخود رقم جم) انتخاب شد و در گلدانهای بزرگ، در

شرایط مزرعهای کشت گردید.

گلدانهای حاوی گیاهان کشت شده در فواصل مختلف از مراکز



**یافته‌ها و نتایج**

در مرحله رویشی، در سطح ماکروسکوپی، آلاینده‌های کارخانه موجب نکروز و کلروز برگ، کوچک ماندن برگها، کم شدن رشد، کوتوله ماندن عده‌ای از گیاهان و کاهش مقدار کلروفیل برگها گردید. این تغییرات در ایستگاههای مجاور کارخانه شدیدتر بود. (شکل ۱، a)

در سطح میکروسکوپی مرستم رویشی گیاهان تحت تأثیر آلودگی تغییر شکل می‌دهد، کوتاه می‌ماند و به صورت مرستمی مسطح و وسیع در می‌آید. (شکل ۱، مقایسه b با c).

در ساختار تشریحی برگها، سوختگی و آسیب‌دیدگی سلولهای سطحی (اپیدرم زیرین و سلولهای پارانشیمی زیر اپیدرم)، آسیب دیدن سلولهای پارانشیمی مجاور به دستجاب آوندی و درهم ریختن وضیت کلی سلولهای مزوفیل برگها بویژه در پارانشیم اسفنجی از تغییرات قابل توجه است. (شکل ۱، مقایسه d با e).

در مرحله زایشی تسریع نسبی در گل‌دهی، ریزش زیاد غنچه‌های گل و سوختگی آنها، اختلالات شدید در تکوین و تمایز پرچمها و برچه‌ها دیده می‌شود که این اختلالات در ایستگاههای نزدیک به کارخانه بیشتر است.

در نمونه‌های تحت تأثیر آلودگی اختلال در پیدایش پرچمها موجب می‌شود که در تعدادی از گلها پریموردیومهای پرچمی مرکزی زودتر از پریموردیومهای محیطی پدیدار شوند و با رشد سریع و ناهنجار خود از رشد عادی پریموردیوم برچه‌ای جلوگیری کنند. (شکل ۲، مقایسه a با b)

در عده زیادی از بساکهایی که به ظاهر سالم هستند، تترادها به شدت آسیب دیده، چروکیده شده و اغلب از بین رفته‌اند (شکل ۲، c). چروکیدگی و سوختگی میکروسپیورها، گرده‌های جوان، اشکال غیرعادی آنها و عدم تمایز تعدادی از آنها به گرده‌های بالغ از تغییرات عمده دیگر است که در عده زیادی از پرچمهای گیاهان نزدیک به کارخانه دیده می‌شود. (شکل ۲، d) در بساک پرچمهای این گیاهان سلولهای لایه مغزی (tatum) پایداری بیشتری دارند و دیرتر از بین می‌روند. (t در شکل ۲، d)

از تغییرات قابل توجه دیگری که به ویژه در گیاه سویا زیاد است، تسریع در رویش گرده‌ها و تشکیل زودرس لوله‌های گرده است، به نحوی که هنگام شکفتن بساک عده‌ای از گرده‌ها روئیده و لوله‌های گرده را به وجود آورده‌اند. (شکل ۲، c). کشت دانه‌های گرده در محیطهای آزمایشگاهی و مقایسه نتایج نشان می‌دهد که در گیاهان

نزدیک به کارخانه، گرده‌ها قدرت رویش کمتری دارند و آن تعداد که می‌رویند لوله گرده کوتاه‌تری ایجاد می‌کنند. (شکل ۳، مقایسه a با b) عده‌ای از گرده‌ها به ویژه در گیاه سویا لوله‌های گرده کوتاه، باریک و دارای انشعاب ایجاد می‌کنند. (شکل ۳، c) آسیب‌های وارد شده به مادگی و تخمکها در مجموع از آسیب‌های پرچمها کمتر اما در عین حال قابل توجه است. مهمترین این تغییرات عبارتند از:

آسیب‌دیدگی پریموردیومهای تخمکی در تخمدان جوان که در گیاه لوبیا بیشتر است (شکل ۳، e)، رشد غیرطبیعی پوسته‌های تخمک به نحوی که گاهی یکی از پوسته‌ها تمامی تخمک را می‌پوشاند (شکل ۳، d)، تشکیل تترادهای توده‌ای در گیاهان تحت تأثیر آلودگی به جای تترادهای خطی یا T (شکل ۳، مقایسه f و g)، پایداری سلولهای خورش و کوچک ماندن کیسه رویانی در گیاهان تحت تأثیر آلودگی، وضع ناهنجار و سوختگی کامل تخمکها به ویژه در گیاهان نزدیک به کارخانه (شکل ۴، a).

تغییر شکل نیامکها، حالت خمیده یا عدم رشد بخشی از نیامک، کوچک ماندن نیامکها و کاهش مقدار کل محصول از تغییرات دیگری است که به ویژه در گیاهان نزدیک به کارخانه دیده می‌شود. (شکل ۴، b). مقایسه میانگین وزن نیامکها و دانه‌ها نشان داد که در گیاهان تحت تأثیر آلودگی نیامکها و دانه‌ها کاهش وزن معنی‌داری دارند. (نمودارهای ۲ و ۳)

در گیاهان تحت تأثیر آلودگی کارخانه به ویژه در ایستگاه ۱ نقطه جبران  $CO_2$  نسبت به گیاهان شاهد بالاتر است (نمودار ۱). این وضع نشان دهنده فعالیت فتوسنتزی کمتری در گیاهان نزدیک به کارخانه می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری**

از دید ماکروسکوپی آلودگیهای کارخانه در گیاهان مورد مطالعه، با کمی تفاوت که مربوط به اختلاف گونه‌ها می‌شود، پاسخهای تقریباً مشابهی ایجاد کرده‌اند. این پاسخها به صورت کاهش رشد گیاهان، کلروز و نکروز برگها، ریزش زودرس برگها، یبیری زودرس، ریختن بیش از حد غنچه‌ها و گلها و کاهش محصول در گیاهان تحت تیمار پدیدار می‌گردد. این نتایج با گزارشات محققینی چون Garsed (۱۹۷۹)، Benedict و همکاران (۱۹۶۴)، Zialonch و همکاران ۱۹۷۲ و Soikkapi (۱۹۸۱) همسویی دارد. در سطح میکروسکوپی، در هم ریختن سازمان بافتی، وسیع شدن

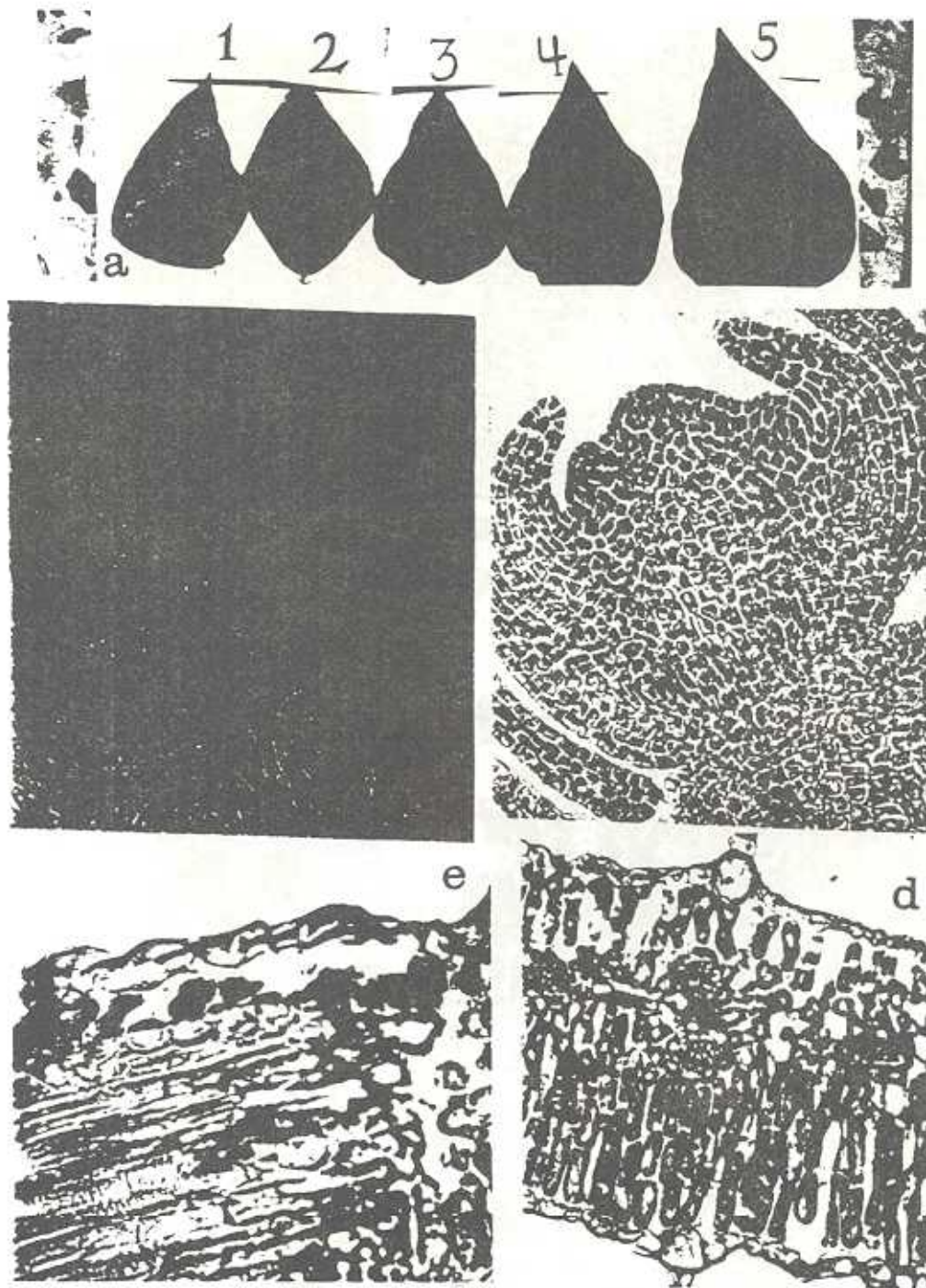
کاهش محصول می‌گردد.

نتایج ما در مورد اثرات آلاینده‌ها بر روی تکوین تخمکها و ما نشان می‌دهد که سطوح بالای آلاینده‌ها موجب کاهش تخمک کوچک ماندن کیسه رویانی در تخمک و پایداری نسبی سلولهای با خورش می‌گردد. این تغییرات می‌تواند عکس‌العمل گیاه برای حیوان در این شرایط باشد. این نتایج با آنچه که مجد و چهپرگانی (۱۹۹۲) گزارش نموده‌اند، مطابقت دارد. (۵)

نتایج این پژوهش در مورد اثر آلاینده‌ها بر کشت دانه‌های گبر قابل مقایسه با نتایج Masaru و دیگران (۱۹۷۹) می‌باشد. (۶) در مورد اثرات آلاینده‌ها بر فعالیت فتوسنتزی مشاهدات ما با نتایج Weinstein (۱۹۷۷) همسویی دارد. (۱۲)

فضاهای بین سلولی، سوختگی سلولهای پارانشیمی زیر اپیدرم و سلولهای اپیدرم فوقانی و تحتانی، آسیب دیدن پارانشیم نرده‌ای و حفره‌ای به ویژه در اطراف دست‌چاب آوندی از جمله تغییرات قابل ملاحظه برگهای گیاهان مورد مطالعه است که با گزارشات Miller و Evans (۱۹۷۳) (۳) و Soikkeli & Tuovinen (۱۹۷۹) (۸) و Soikkeli (۱۹۸۱) (۹) موافق می‌باشد. در مرحله زایشی بیشترین آسیب‌های ایجاد شده در تکوین پرچمها، بساکها و گرده‌های گیاهان به ویژه در مرحله قبل از تقسیم میوزی، مرحله تترادی و تشکیل میکروسپورهای جوان می‌باشد. مجموعه این آسیبها که در نهایت موجب ناهنجاری گرده‌ها، عدم قدرت رویش آنها و یا در برخی ایستگاهها تسریع در رویش گرده‌ها می‌شود، عاملی برای ناموفق ماندن لقاح و در نتیجه

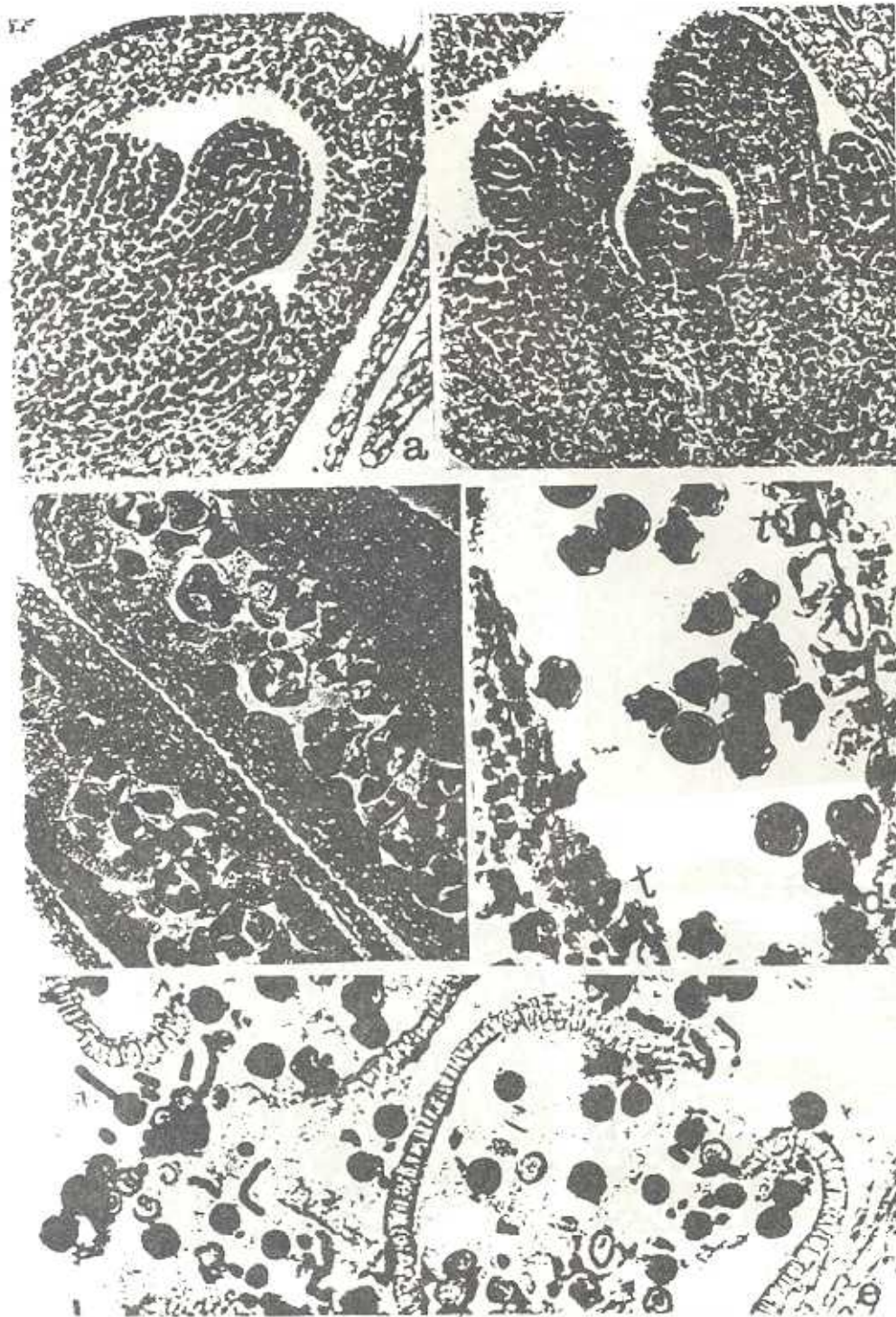




شکل ۱: a- مقایسه برگ گیاهان لوبیا در ایستگاههای اطراف کارخانه باتوجه به فاصله آنها (۱، ۲، ۳، ۴) و گیاهان شاهد (۵).

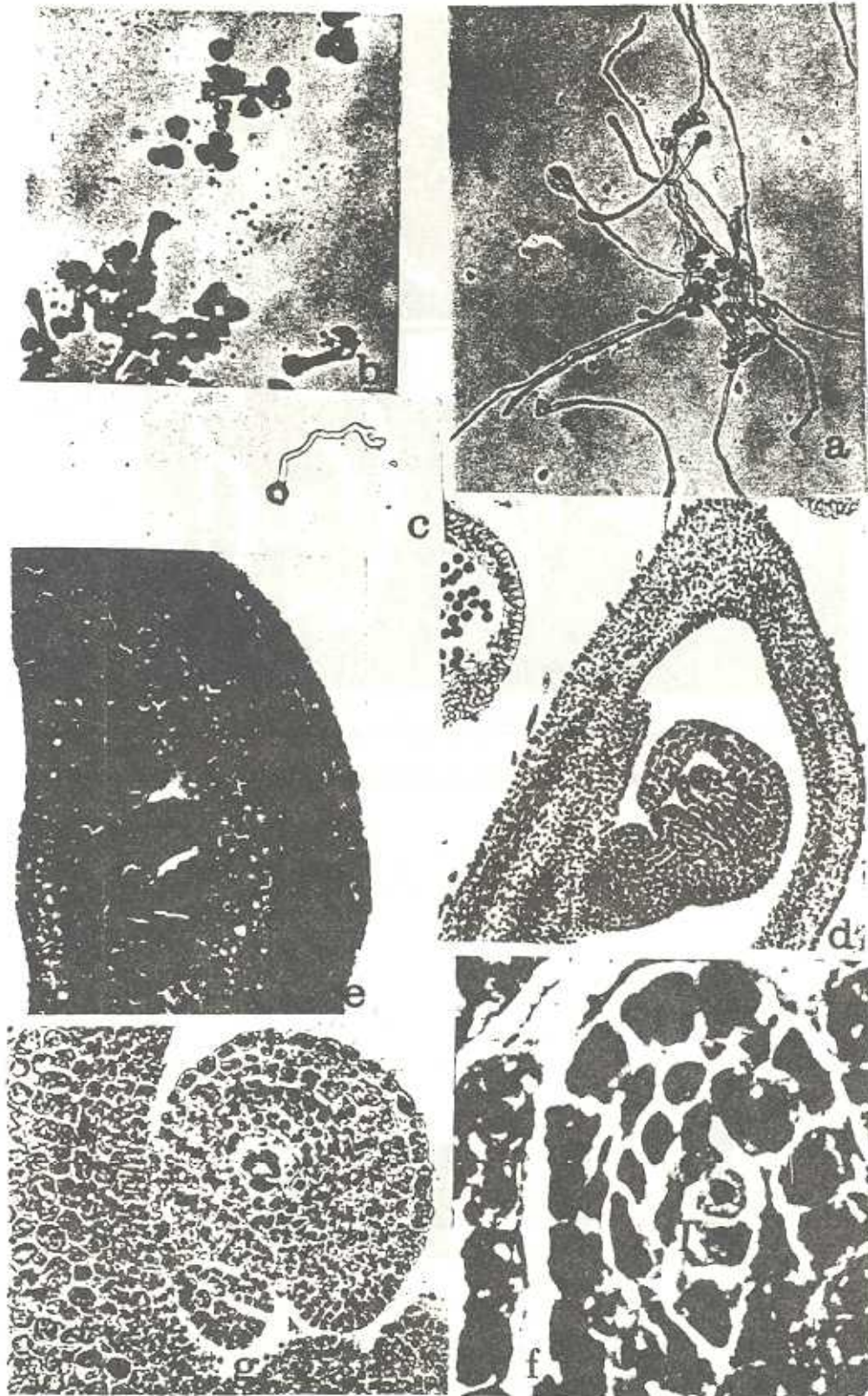
b- وضعیت تشریحی مریستم رأسی گیاه نخود در ایستگاه شاهد. c- وضعیت تشریحی مریستم نخود که در معرض آلودگی قرار داشته است. d- ساختمان تشریحی برگ گیاه لوبیا در ایستگاه شاهد. e- وضعیت برگ گیاه لوبیا که در معرض آلودگی شدید قرار داشته است (سوختگی سلولهای اپیدرم و زیر آن به خوبی مشخص است).



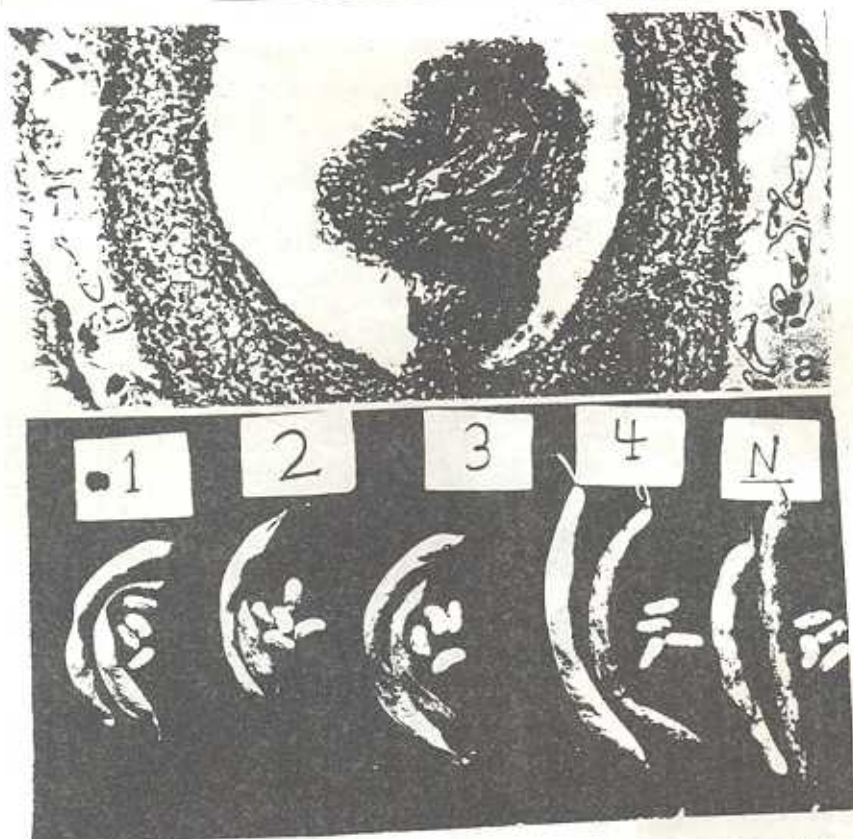


شکل ۲-۱: وضع پریموردیومهای پرچمی و برچه‌ای در گیاهان شاهد. a- پریموردیومهای پرچمی و برچه‌ای در گیاهان در معرض آلودگی. b- پرچم‌زدگی و سوختگی تتراده‌ها در بساک. c- پرچم‌زدگی و سوختگی میکروسپورهای جوان در بساک. d- رشد زودرس دانه‌های گرده و تشکیل لوله گرده در بساکهای شکفته شده در گل گیاهان تحت تأثیر آلودگی.

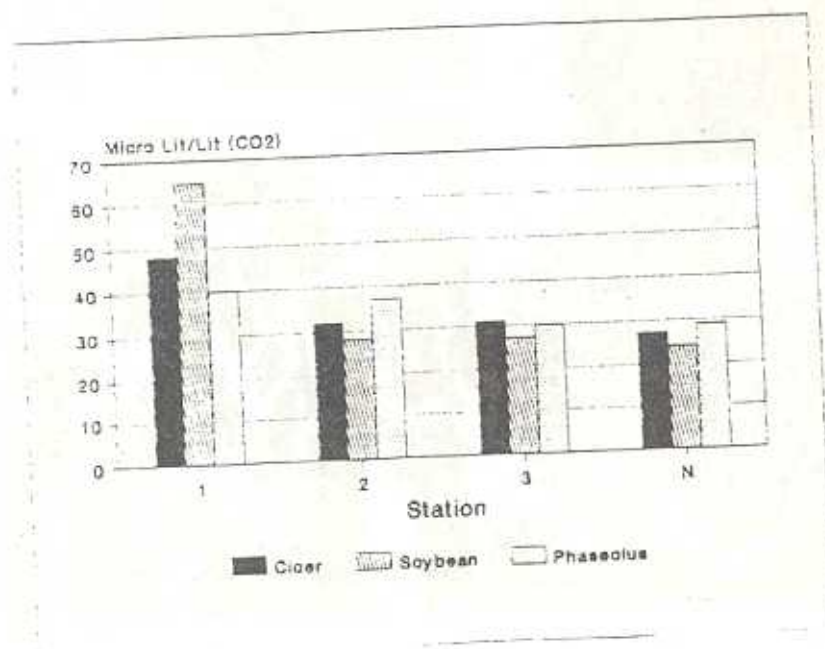




تخمک در گیاه نخود. c- سوختگی پریموردیومهای تخمکی در لوبیا. f- تترادهای خطی. T- در لوبیا (گیاه شاهد). g- تترادهای توده‌ای در گیاهی که تحت تأثیر آلودگی شدید بوده است.

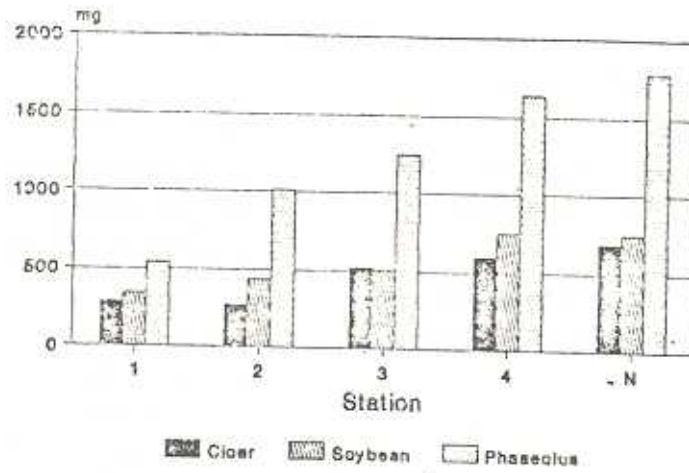


شکل ۴-۸. سوختگی کامل تخمک در گیاه سویا در ایستگاه ۱ (مجاور کانون آلودگی). b- مقایسه محصول بدست آمده از گیاه لوبیا در ایستگاههای مختلف اطراف کارخانه (1, 2, 3, 4) و گیاهان شاهد (N) (به مورفولوژی میوه و دانه‌ها توجه شود).

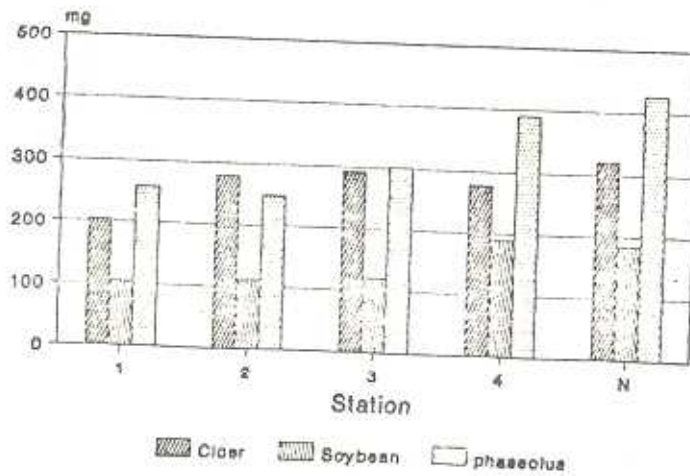


نمودار ۱- نقطه جبران  $CO_2$  در گیاهان ایستگاههای مختلف. افزایش نقطه جبران در ایستگاه دارای آلودگی بیشتر (ایستگاه ۱) نشانه کاهش فتوسنتز است.





نمودار ۲- مقایسه وزن نیامکها: وزن نیامکها متناسب با افزایش میزان آلودگی کاهش یافته است. ایستگاههای (1، 2، 3، 4) گیاهان تحت تأثیر آلودگی و ایستگاه N گیاهان شاهد می باشند.



نمودار ۳- مقایسه وزن دانه‌ها: وزن دانه‌ها متناسب با افزایش میزان آلودگی کاهش یافته است. ایستگاههای (1، 2، 3، 4) گیاهان تحت تأثیر آلودگی و ایستگاه N گیاهان شاهد می باشند.

n agricultural products surrounding an aluminium factory. Environ  
CI HEALTH B26(3) 351-356.

Soikkeli, S & Tuovinen, T 1979. Damage in mesophyll ultrastructure  
of needles Norway spruce in industrial environment in central  
Finland. Ann. Bot. Fennici 16, P. 5.

Soikkeli, S 1981. Comparison of cytological injuries in conifer  
needles from several polluted industrial environments in Finland  
Ann. Bot. Fennici 18, 47-61.

Szalonck, I & Wartesiewicz, M 1979. Yielding of cultivated plants  
in vicinity of aluminium works Arch. Ochorong Srodowiska. 3-4p,  
39-62.

Treshow, Michael, 1984. "Air pollution and plant life" pub, John  
wiley & sons.

Weinstein, L. H. 1979. The effects of air borne fluorides on  
agriculture and forestry. proc of the Ninth confemce on  
enviromental toxicology March 1979 paper No 23, 252-282.

## منابع -

- ۱- جلالوندی، ح. آلومینیوم سازی و آلودگی هوا: اداره کل حفاظت محیط  
زیست استان مرکزی (۱۳۶۴).
- ۲- نوری کرهرودی، میترا، پایان نامه فوق لیسانس، تأثیر فلئوئوریدها بر  
گیاهان، دانشگاه تهران (۱۳۶۱).
- 3- Evans, L. S. & Miller, P. R, 1973. Ozon Damage to ponderosa pine:  
a histological and histochemical. Am. J. Bot 59, 297-304.
- 4- Halbwegs, G & Kisser, J. 1967. Durch Rauchimmissionen bedingter  
zergwuchs bei Fichte und Birk centralbl. F. d. ges. Forstwesen, 84,  
156-173.
- 5- Majd, A. & Chehregani, A. 1992, Studies on developmental process  
in ovules of soya (Glycinemax. L.) and effects of certain toxines  
and environmental pollutants. Acta Horticulture transplant  
production systems No: 316.
- 6- Masaru, N. F. Syozo & K. Soburo 1976. Effects of exposure to  
various injurious gases on germination of lily pollen Environ pollu  
11, 181-187.
- 7- Muramoto, S, Nishizaki, H. & Aoyama, I, 1990. Fluorine emission

