



## ارزیابی پتانسیل انتقال سفازولین از ریشه به اندام هوایی و تجمع آن در بافت‌های مختلف گیاه هویج

پروا اسدی، سید یحیی صالحی‌لیسار و علی موافقی

گروه زیست‌شناسی گیاهی، سلولی و مولکولی، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران.

asadi.p99@ms.tabrizu.ac.ir

### ۱. خلاصه

این تحقیق به بررسی پتانسیل انتقال آنتی‌بیوتیک سفازولین از ریشه به اندام‌های هوایی و تجمع آن در بافت‌های مختلف گیاه هویج پرداخته است. هدف این مطالعه، ارزیابی تأثیرات سفازولین بر رشد و نمو گیاه هویج و شناسایی مکان تجمع این آنتی‌بیوتیک در گیاه است. برای این منظور، گیاه هویج به مدت ۳۵ روز تحت تیمار با غلظت‌های مختلف سفازولین (۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) در شرایط هیدروپونیک کشت گردید. نتایج نشان داد که غلظت‌های بالاتر سفازولین موجب کاهش درصد جوانه‌زنی، وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی می‌شود، درحالی‌که غلظت‌های پایین‌تر به‌عنوان محرک‌های مثبت عمل کردند. همچنین، تجمع سفازولین در بافت‌های گیاه به‌ویژه در ریشه و اندام‌های هوایی مشاهده شد. این یافته‌ها نگرانی‌هایی را در مورد تأثیرات منفی آنتی‌بیوتیک‌ها بر سلامت عمومی و زنجیره غذایی مطرح می‌کند.

**۲. کلمات کلیدی:** آنتی‌بیوتیک، تجمع، آلودگی محیط‌زیست، سلامت عمومی، سفازولین.

### ۳. مقدمه

آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان یکی از ابزارهای اصلی در درمان عفونت‌های باکتریایی در انسان و حیوانات، به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. با این حال، مصرف بی‌رویه و غیرضروری این ترکیبات می‌تواند عواقب زیست‌محیطی و سلامتی قابل‌توجهی به همراه داشته باشد [۱]. آنتی‌بیوتیک‌ها به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی، به‌ویژه به دلیل نیمه‌عمر طولانی و عدم حذف کامل توسط تصفیه‌خانه‌ها، سلامت انسان و محیط‌زیست را تهدید می‌کنند. ورود این ترکیبات به آب شرب و آبیاری باعث بروز مقاومت آنتی‌بیوتیکی می‌شود که تأثیرگذاری داروهای معمولی را کاهش می‌دهد و تلاش‌های هزینه‌بر برای تولید آنتی‌بیوتیک‌های جدید را به دنبال دارد. درحالی‌که آنتی‌بیوتیک‌ها در درمان ویروس‌ها مؤثر نیستند، به دلیل عفونت‌های ثانویه هنوز تجویز می‌شوند [۲]. تولید و مصرف داروها به واسطه رشد جمعیت و کشف داروهای جدید به طور پیوسته افزایش می‌یابد و منابع متعددی از جمله انسان، حیوانات، کشاورزی و آبی‌پروری به تولید باقیمانده‌های دارویی در محیط کمک می‌کنند. انسان‌ها و حیوانات به‌عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان، غلظت مواد دارویی را در فاضلاب و آب‌های سطحی افزایش



می‌دهند و استفاده از داروها در کشاورزی و پرورش ماهی نیز به آلودگی محیط منجر می‌شود. ورود داروها به محیط‌زیست از طریق پساب بیمارستانی، تصفیه‌خانه‌ها، دفن زباله و ریختن داروهایی تاریخ مصرف گذشته نیز به طور مستقیم صورت می‌گیرد و این روند با فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی بیشتر تشدید می‌شود [۳]. پساب تصفیه‌شده به طور فزاینده‌ای به‌عنوان منبع جایگزین آب آبیاری در مناطقی که با کمبود آب شیرین روبرو هستند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. آبیاری زمین‌های کشاورزی با فاضلاب یک روش رایج در بسیاری از کشورها است و با گسترش مناطق خشک و افزایش نیاز به مواد غذایی، انتظار می‌رود که این شیوه به دلیل مزایای اجتماعی و اقتصادی بیشتر مورد پذیرش قرار گیرد. استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در مصرف آب شیرین برای مقاصد ضروری مانند آشامیدن و پخت‌وپز شود [۴]. سازمان جهانی بهداشت در سال ۲۰۱۴ مقاومت دارویی نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها را به‌عنوان یک تهدید بزرگ جهانی معرفی کرد و تأکید نمود که مصرف آنتی‌بیوتیک‌ها باید محدود شود. این سازمان هشدار داده است که جهان به دوره‌ای به نام "پسا آنتی‌بیوتیک" وارد شده است، زمانی که عفونت‌های ساده و قابل درمان به عوامل مرگومیر تبدیل شده‌اند [۵]. تجمع داروها در گیاهان خوراکی که در خاک‌ها یا منابع آبی آلوده رشد می‌کنند، سلامت مصرف‌کنندگان را به خطر می‌اندازد [۶]. بیش از ۹۵ درصد سبزیجات تازه در خاک‌های حاوی کودهای حیوانی رشد می‌کنند و جذب آنتی‌بیوتیک‌ها توسط این گیاهان ممکن است خطراتی برای مصرف‌کنندگان، به‌ویژه افرادی که به آنتی‌بیوتیک‌ها حساس هستند، ایجاد کند [۷]. آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند اثرات جدی بر سلامت انسان به‌ویژه اختلال در سیستم ایمنی، مشکلات گوارشی، مشکلات کلیوی و حتی اثرات سرطان‌زا داشته باشند، به همین دلیل قوانین ایمنی مواد غذایی حداکثر مقدار باقی‌مانده<sup>۱</sup> آن‌ها را تعیین کرده‌اند [۸]. اخیراً گزارش‌هایی مبنی بر جذب داروها توسط گیاهان و ورود آن‌ها به زنجیره غذایی منتشر شده است که می‌تواند موجب انتقال سموم دارویی به بدن انسان و حیوانات شود و در برخی گیاهان نیز بروز سمیت دارویی مشاهده شده است [۹]. مطالعات نشان داده‌اند که قسمت‌هایی از سبزیجات مثل ریشه هویج و برگ‌های کاهو، کلم و اسفناج، همچنین ساقه کرفس و میوه‌هایی مانند خیار، فلفل دلمه‌ای و گوجه‌فرنگی حاوی ۶۴ درصد بقایای دارویی از جمله آنتی‌بیوتیک‌ها هستند، با سطوح بالای تتراسایکلین‌ها<sup>۲</sup> و سولفونامیدها<sup>۳</sup> در قسمت‌های غیرخوراکی و غلظت‌های پایین‌تر در میوه‌ها که در حد مجاز مصرف روزانه است [۸]. آنتی‌بیوتیک‌ها به طور غیرفعال از طریق ریشه گیاهان، به‌ویژه ریشه سبزیجات، و به همراه جریان آب جذب می‌شوند و بیشترین تجمع آن‌ها ابتدا در برگ‌ها، سپس در ساقه و در نهایت در ریشه‌ها رخ می‌دهد که به‌صورت وابسته به دوز است [۱۰]. هدف اصلی مطالعات دوز - پاسخ<sup>۴</sup> انتخاب مدل مناسب و برآورد دوزهای هدف است؛ اهمیت استفاده از این مدل‌ها در مشخص کردن دوزهای هدف و ایجاد رابطه قابل فهم دوز - پاسخ است که برای طراحی و شبیه‌سازی‌های آینده مفید خواهد بود [۱۱]. تحقیقات نشان داده‌اند که غلظت‌های پایین آنتی‌بیوتیک‌ها می‌توانند رشد گیاه را تحریک کرده و تولید زیست‌توده تازه را افزایش دهند، درحالی‌که غلظت‌های بالا به‌عنوان بازدارنده عمل کرده و بازده را کاهش می‌دهند و می‌توانند اختلالات متابولیکی و سمیت ایجاد کنند؛ همچنین غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها با افزایش دوز به طور نامحدود افزایش نمی‌یابد [۱۲]. هویج

<sup>1</sup> Maximum Residue Limits (MRL)

<sup>2</sup>Tetracycline

<sup>3</sup> Sulfonamide

<sup>4</sup> Dose- Response



(*Daucus carota sativus*) دومین گونه زراعی رایج بعد از سیب‌زمینی است و به‌عنوان منبع خوبی از بتاکاروتن<sup>۱</sup>، فیبر، ویتامین‌ها و آنتی‌اکسیدان‌ها شناخته می‌شود. این گیاه می‌تواند در پیشگیری از اختلالات دژنراتیو مانند دیابت، سرطان و بیماری‌های قلبی نقش مهمی داشته باشد. هویج به دو گروه آنتوسیانین‌ها<sup>۲</sup> و کاروتن<sup>۳</sup> تقسیم می‌شود و مصرف هویج سیاه و بنفش به دلیل فواید آن برای سلامتی در حال افزایش است. این گیاه به‌عنوان جایگزینی مؤثر برای مقابله با گرسنگی و تأمین مواد مغذی لازم نیز کاربرد دارد [۱۳]. سفازولین<sup>۴</sup>، یکی از آنتی‌بیوتیک‌های پرمصرف در ایران، به دلیل عدم توانایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در حذف این ترکیبات، ممکن است به محیط‌زیست و زنجیره غذایی نفوذ کند [۱۴]؛ لذا، درک نحوه انتقال و تجمع این ترکیب در گیاهان، به‌ویژه آن‌هایی که برای مصرف انسانی کشت می‌شوند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

#### ۴. روش انجام پژوهش

##### ۴-۱. طرح آزمایش

این تحقیق در آزمایشگاه فیزیولوژی گیاهی دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران، در پاییز و زمستان ۱۴۰۲ انجام شد. برای این پژوهش، از بذرهای هویج (*Solanum lycopersicum*) استفاده شد. بذرهای از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی تهیه و تا زمان کاشت در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند.

##### ۴-۲. مواد و روش‌ها

قبل از کشت، بذرهای به مدت ۱۰ دقیقه در محلول هیپوکلریت ۱۰ درصد ضدعفونی و سپس با آب مقطر شسته شدند. پرلایت نیز برای جلوگیری از آلودگی استریل شد. محلول غذایی هوگلند طبق دستورالعمل‌های استاندارد [۱۵] تهیه و pH آن تنظیم شد. برای بررسی تأثیر سفازولین بر جوانه‌زنی بذرهای، غلظت‌های ۰، ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از این آنتی‌بیوتیک به بذرهای اعمال و درصد جوانه‌زنی بررسی شد. سپس بذرهای در گلدان‌های حاوی پرلایت کشت شدند و با آب مقطر و محلول غذایی آبیاری شدند. پس از ۳۵ روز، گیاهان برداشت شدند و برای سنجش‌های مختلف به دو بخش ریشه و اندام هوایی تقسیم شدند. همچنین ۵۰ گرم از پرلایت برای تعیین میزان جذب سفازولین جمع‌آوری شد.

##### ۴-۲-۱. اندازه‌گیری شاخص‌های رشدی

<sup>1</sup> Beta- carotene

<sup>2</sup> Anthocyanin

<sup>3</sup> Carotene

<sup>4</sup> Cefazoline



شاخص‌های رشدی از جمله وزن تر و خشک ریشه و اندام هوایی، طول ریشه و ارتفاع گیاهان اندازه‌گیری شد. نمونه‌ها برای اندازه‌گیری وزن خشک به مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد خشک شدند.

#### ۲-۲-۴. سنجش غلظت سفازولین در بافت تر گیاهی

برای سنجش غلظت سفازولین در بافت‌های گیاهی، از روش استخراج با اتانول ۷۰ درصد استفاده شد. ۰/۱ گرم از بافت تر گیاهی در ۵ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد حل شد و به مدت ۴۸ ساعت در دمای یخچال نگهداری شد تا سفازولین به طور کامل استخراج شود. سپس، جذب نوری محلول در طول موج ۳۱۳ نانومتر اندازه‌گیری شد [۱۶].

#### ۳-۲-۴. سنجش غلظت سفازولین در پرلیت

برای تعیین مقدار سفازولین جذب شده در نمونه‌های پرلیت، از هر گلدان ۵۰ گرم پرلیت برداشته و ۲ گرم از آن وزن شد. به هر نمونه ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۷۰ درصد به‌عنوان حلال اضافه شد و نمونه‌ها به مدت ۴۸ ساعت در یخچال قرار گرفتند. سپس، نمونه‌ها صاف و محلول صاف شده به مدت ۳۰ دقیقه در دمای محیط نگهداری شد تا اتانول تبخیر و غلظت سفازولین افزایش یابد. جذب نوری محلول‌های حاوی سفازولین در طول موج ۳۱۳ نانومتر با اسپکتروفتومتر اندازه‌گیری شد. با استفاده از منحنی استاندارد، غلظت سفازولین در هر نمونه محاسبه و به میکروگرم بر گرم پرلیت تبدیل شد [۱۶].

#### ۴-۲-۴. آنالیز داده‌ها

تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS انجام شد. آنالیز واریانس (ANOVA) برای بررسی تفاوت‌های معنی‌دار میانگین گروه‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفت و سطح احتمال ۵ درصد به‌عنوان معیار معنی‌دار در نظر گرفته شد.

## ۵. یافته‌ها

### ۵-۱. شاخص‌های رشدی

نتایج بررسی تأثیر سفازولین بر درصد جوانه‌زنی و شاخص‌های رشدی مطابق با جدول ۱ و به شرح زیر است.

جدول ۱- تأثیر سفازولین بر درصد جوانه‌زنی و طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی گیاه هویج

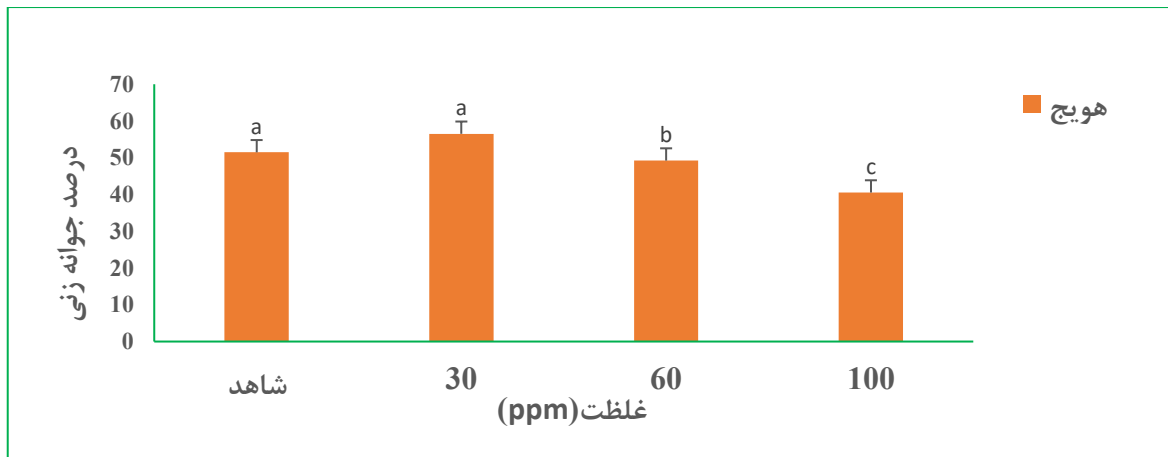
| ارتفاع اندام هوایی                        | طول ریشه                                  | درصد جوانه‌زنی                        | غلظت سفازولین              |
|-------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|
| میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(سانتی‌متر) | میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(سانتی‌متر) | میانگین $\pm$ انحراف استاندارد<br>(%) | تیمارها (میلی گرم بر لیتر) |
| ۴/۵ $\pm$ ۲/۵۳                            | ۳/۲ $\pm$ ۱/۵۳                            | ۵۱/۴۸ $\pm$ ۱                         | شاهد                       |
| ۳/۸ $\pm$ ۰                               | ۲/۸ $\pm$ ۳/۱۹                            | ۵۶/۵ $\pm$ ۱                          | ۳۰                         |
| ۲/۸ $\pm$ ۱/۷۰                            | ۲/۱ $\pm$ ۴/۱۹                            | ۴۹/۲ $\pm$ ۱                          | ۶۰                         |
| ۱/۵ $\pm$ ۰                               | ۱/۳ $\pm$ ۱                               | ۴۰ $\pm$ ۱                            | ۱۰۰                        |

جدول ۲- تأثیر سفازولین بر وزن تر و وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه هویج

| وزن خشک اندام هوایی                 | وزن خشک ریشه                        | وزن تر اندام هوایی                  | وزن تر ریشه                         | غلظت سفازولین              |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(گرم) | میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(گرم) | میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(گرم) | میانگین $\pm$ انحراف معیار<br>(گرم) | تیمارها (میلی گرم بر لیتر) |
| ۰/۳۴ $\pm$ ۰/۴۰                     | ۰/۰۹ $\pm$ ۰                        | ۴/۵ $\pm$ ۰/۴۷                      | ۳/۲ $\pm$ ۰/۰۷                      | شاهد                       |
| ۰/۱۲ $\pm$ ۰/۰۹                     | ۰/۰۷ $\pm$ ۰/۰۱                     | ۳/۸ $\pm$ ۰/۲۳                      | ۲/۸ $\pm$ ۰/۰۴                      | ۳۰                         |
| ۰/۱۹ $\pm$ ۰/۳۱                     | ۰/۰۸ $\pm$ ۰                        | ۲/۸ $\pm$ ۰/۰۸                      | ۲/۱ $\pm$ ۰/۰۶                      | ۶۰                         |
| ۰/۱۳ $\pm$ ۰/۱                      | ۰/۰۵ $\pm$ ۰                        | ۱/۵ $\pm$ ۰/۲۶                      | ۱/۳ $\pm$ ۰/۰۹                      | ۱۰۰                        |

#### ۵-۱-۱. درصد جوانه‌زنی

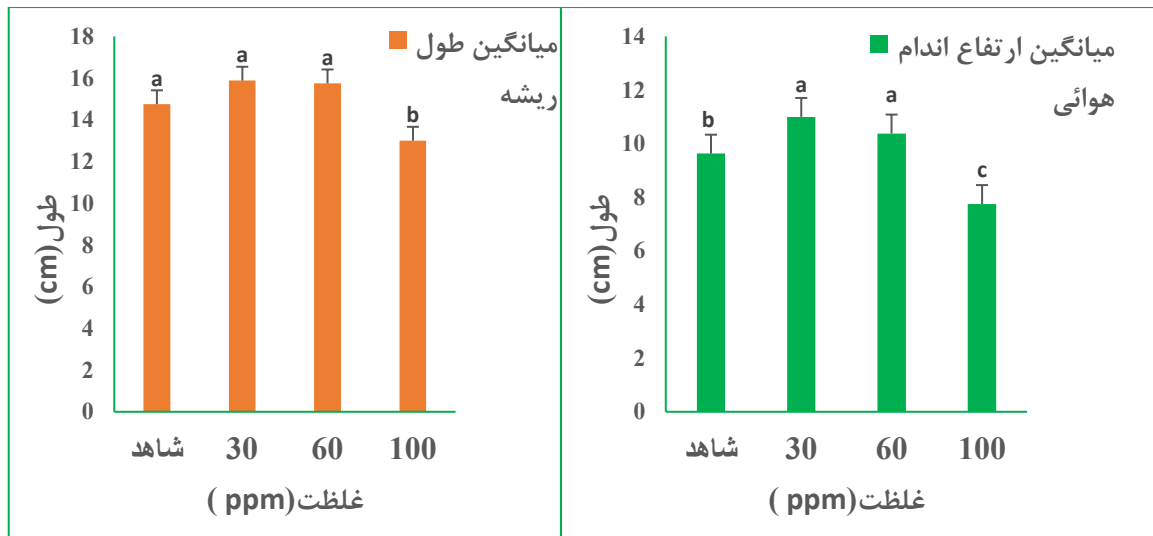
درصد جوانه‌زنی گیاه هویج در تیمار ۳۰ میلی گرم بر لیتر (۵۶/۵۲ درصد) و شاهد (۵۱/۷۸ درصد) به طور معنی‌داری بالاتر از تیمارهای ۶۰ (۴۹/۲۳ درصد) و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر (۴۰/۵۴ درصد) سفازولین بود ( $P < 0.05$ ). اما تفاوت معنی‌داری بین گروه‌های ۳۰ و شاهد وجود نداشت. به عبارت دیگر تیمار با ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سفازولین باعث کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی هویج شد، اما تیمار ۳۰ میلی گرم بر لیتر تأثیر معنی‌داری نداشت (شکل ۱).



شکل ۱ - تاثیر تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سفازولین سدیم بر میانگین درصد جوانه زنی بذر گیاه هویج (داده‌ها میانگین ۴ تکرار و  $\pm$  خطا استاندارد هستند. حروف یکسان نشان دهنده عدم تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵٪ می باشد).

## ۵-۱-۲. طول ریشه و ارتفاع اندام هوائی

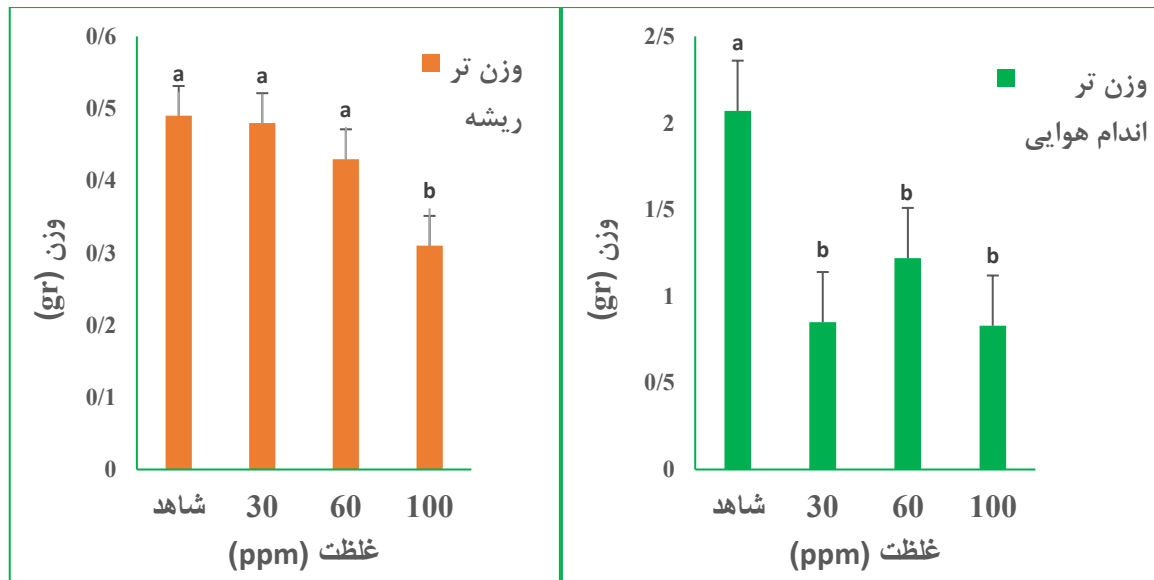
در گیاه هویج در تیمار ۳۰ میلی گرم بر لیتر طول ریشه ۷/۶۵ درصد افزایش پیدا کرد و به ۱۵/۸۸ سانتی متر رسید و در غلظت ۶۰ میلی گرم بر لیتر هم تقریباً (۶/۷۸ درصد) ثابت ماند. اما در غلظت ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر طول ریشه به میزان معنی داری (۱۱/۸۳ درصد) کاهش یافت و به ۱۳ سانتی متر رسید ( $P < 0.05$ ). ارتفاع اندام هوائی در تیمار شاهد ۹/۶۳ سانتی متر بود که تفاوت معنی داری (۱۴/۲۴ درصد) با ارتفاع اندام هوائی در تیمار ۳۰ میلی گرم بر لیتر داشت که نشان از تأثیر مثبت اندکی دارد. تفاوت معنی داری بین تیمار ۳۰ و ۶۰ مشاهده نشد. اما با افزایش غلظت سفازولین به ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر ارتفاع اندام هوائی کاهش معنی داری (۱۹/۵۰ درصد) نسبت به سایر تیمارها داشت ( $P < 0.05$ ). (شکل ۲).



شکل ۲- تأثیر تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سفازولین سدیم بر میانگین طول ریشه و ارتفاع اندام هوایی گیاه هویج (داده‌ها میانگین ۴ تکرار و  $\pm$  خطا استاندارد هستند). حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است).

#### ۳-۱-۵. وزن تر ریشه و اندام هوایی

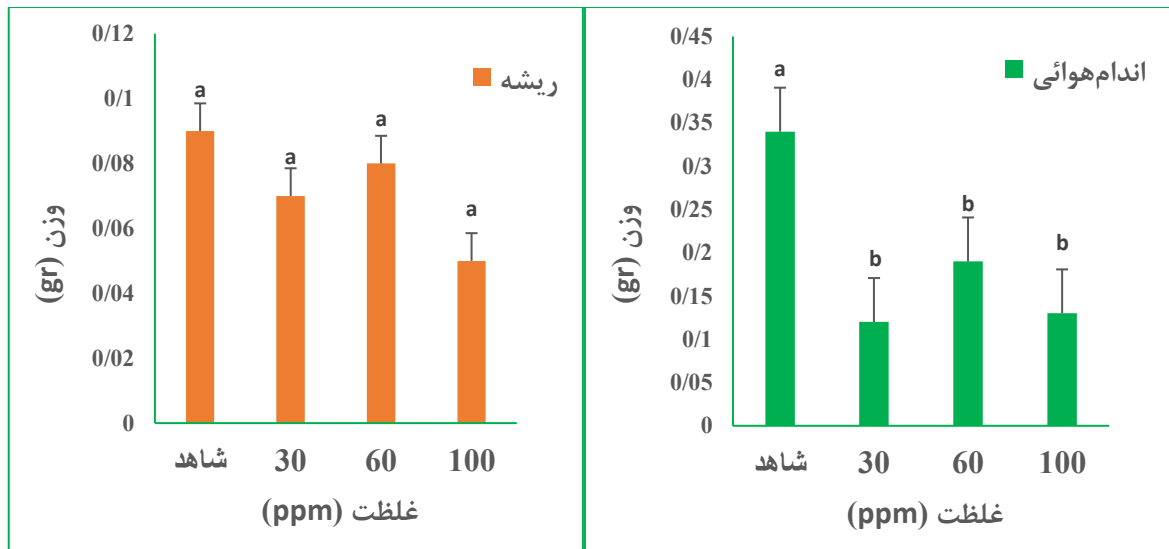
وزن تر ریشه گیاه هویج در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر کاهش ۳۷ درصدی نسبت به گیاهان شاهد نشان داد که این تفاوت معنی‌دار بود. وزن تر اندام هوایی گیاهان شاهد در تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر تفاوت معنی‌داری داشت. به‌طوری‌که افزودن سفازولین در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر باعث کاهش ۶۰ درصدی وزن تر اندام هوایی گیاه هویج شد ( $P < 0.05$ ). (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سفازولین سدیم بر میانگین وزن تر ریشه و اندام هوایی گیاه هویج (داده‌ها میانگین ۴ تکرار و  $\pm$  خطا استاندارد هستند. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است).

#### ۵-۱-۴. وزن خشک ریشه و اندام هوایی

در گیاه هویج، هیچ تفاوت معنی‌داری بین وزن خشک گروه شاهد و سایر گروه‌ها (تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) وجود نداشت. وزن خشک اندام هوایی در غلظت‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر سفازولین به ترتیب حدود ۶۴/۷۱، ۴۴/۱۲ و ۶۱/۷۶ درصد نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت که این کاهش‌ها معنی‌دار بود ( $P < 0.05$ ). همچنین گروه‌های ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر هیچ تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (شکل ۴).



شکل ۴ - تأثیر تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سفازولین سدیم بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه هویج (داده‌ها میانگین ۴ تکرار و  $\pm$  خطا استاندارد هستند). حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است).

#### ۲-۵. غلظت سفازولین در بافت تر گیاهی

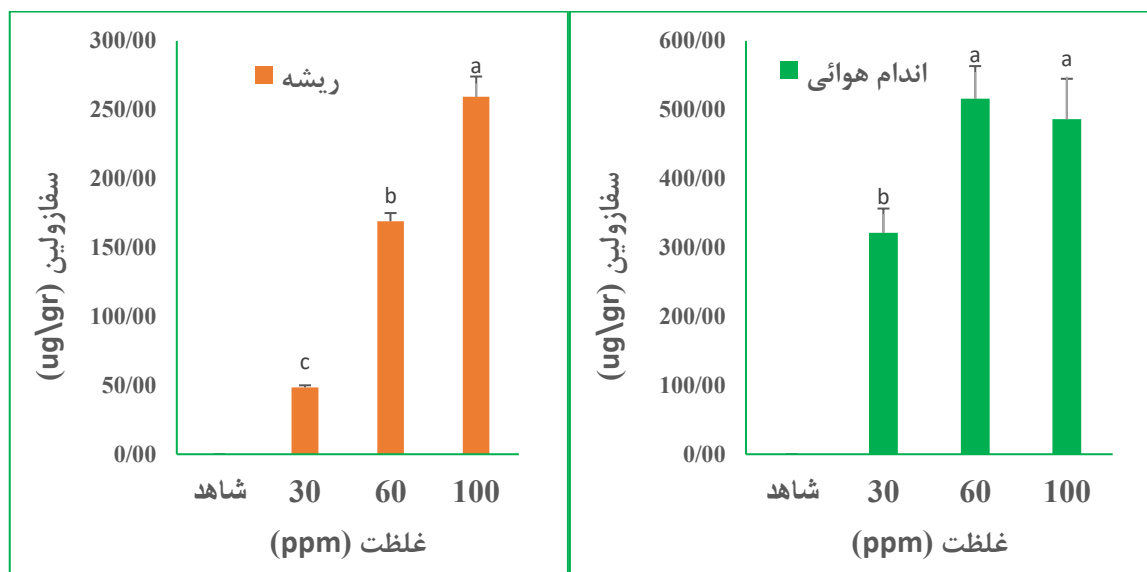
غلظت سفازولین جذب شده در بافت تر ریشه و اندام هوایی گیاه هویج مطابق جدول ۲ و به شرح زیر است.

#### جدول ۲. تجمع سفازولین در بافت‌های گیاهی

| غلظت سفازولین              | غلظت سفازولین در ریشه                        | غلظت سفازولین در اندام هوایی                 |
|----------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------|
| تیمارها (میلی‌گرم بر لیتر) | میانگین $\pm$ انحراف معیار (میکروگرم بر گرم) | میانگین $\pm$ انحراف معیار (میکروگرم بر گرم) |
| شاهد                       | . $\pm$ .                                    | . $\pm$ .                                    |
| ۳۰                         | ۱/۴۸ $\pm$ ۴۸/۵                              | ۳۲۱/۶ $\pm$ ۳۵/۰۰                            |
| ۶۰                         | ۱۶۹/۰ $\pm$ ۵/۹۵                             | ۵۱۶/۰ $\pm$ ۴۷/۳۰                            |
| ۱۰۰                        | ۲۵۹/۴ $\pm$ ۱۴/۷۱                            | ۴۸۶/۱ $\pm$ ۵۸/۷۲                            |

در نمونه شاهد (بدون تیمار سفازولین)، مقدار سفازولین در بافت ریشه صفر بود، اما با افزایش غلظت سفازولین، میزان تجمع در ریشه به طور قابل توجهی افزایش یافت ( $P < 0.05$ )، به طوری که در تیمار ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سفازولین،

غلظت سفازولین به ۲۵۹/۴ میکروگرم بر گرم بافت تر ریشه گیاه هویج رسید. در اندام هوایی هویج نیز، همچنان مقدار سفازولین در نمونه شاهد برابر صفر بود؛ ولی با افزایش غلظت، نرخ تجمع آن در بافت افزایش یافت به‌طوری‌که اختلاف مشاهده شده در همه تیمارها از نظر آماری معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود (شکل ۵).



شکل ۵- تأثیر تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر سفازولین سدیم بر میانگین مقدار غلظت آن در ریشه و اندام هوایی گیاه هویج (داده‌ها میانگین ۴ تکرار و  $\pm$  خطا استاندارد هستند. حروف یکسان نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ است).

### ۳-۵. غلظت سفازولین در پرلیت

در نمونه شاهد (بدون تیمار سفازولین) و تیمارهای ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، هیچ مقدار سفازولینی پیدا نشد.

### ۶. نتیجه‌گیری

آنتی‌بیوتیک‌ها، از جمله سفازولین که در درمان عفونت‌های باکتریایی در انسان و حیوانات رایج هستند، تأثیرات قابل‌توجهی بر میکروبیوم‌ها و اکوسیستم‌های زیستی دارند. استفاده فراوان از آنتی‌بیوتیک‌ها می‌تواند به پیامدهای نامطلوبی برای گیاهان منجر شود، زیرا گیاهان می‌توانند این ترکیبات را از خاک جذب کنند و این امر ممکن است به آلودگی زنجیره غذایی و مشکلاتی برای سلامت عمومی منجر شود.

این مطالعه نشان داد که سفازولین می‌تواند به‌عنوان یک عامل سمی در گیاه هویج عمل کند. غلظت‌های بالاتر این آنتی‌بیوتیک به طور معنی‌داری بر جوانه‌زنی، رشد و محتوای بیوشیمیایی گیاه تأثیر منفی می‌گذارد. همچنین، نتایج



نشان‌دهنده تجمع سفازولین در بافت‌های گیاهی بوده که می‌تواند نگرانی‌هایی در خصوص آلودگی زنجیره غذایی و تأثیرات منفی بر سلامت عمومی به همراه داشته باشد؛ بنابراین، ضرورت پژوهش‌های بیشتر در زمینه تأثیرات آنتی‌بیوتیک‌ها بر گیاهان و مکانیسم‌های متابولیکی مرتبط با آن‌ها احساس می‌شود.

نتایج این مطالعه به‌وضوح نشان داد که تیمارهای مختلف سفازولین تأثیرات متفاوتی بر جوانه‌زنی و رشد گیاه هویج داشتند. مشاهده شد که تیمار ۳۰ میلی گرم بر لیتر سفازولین نه تنها موجب بهبود درصد جوانه‌زنی در هویج شد، بلکه نشان داد که دوزهای بالاتر (۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر) به طور معنی‌داری درصد جوانه‌زنی را کاهش دادند که می‌تواند ناشی از سمیت این ترکیبات در غلظت‌های بالا باشد [۱۷].

علاوه بر این، تأثیر سفازولین بر وزن تر و خشک ریشه هویج نیز به‌خوبی مشهود است. در تیمار ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، کاهش وزن تر ریشه به طور معنی‌داری نشان‌دهنده اثرات منفی این ترکیب در غلظت‌های بالا است. این نتایج تأیید می‌کند که افزایش غلظت سفازولین به طور مستقیم با کاهش وزن تر و خشک ریشه هویج مرتبط است [۱۲].

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تجمع سفازولین در بافت‌های گیاهی هویج است. در هویج، با افزایش غلظت سفازولین در محیط کشت، میزان تجمع آن در ریشه و اندام هوایی به طور معنی‌داری افزایش یافت. این یافته‌ها اهمیت بررسی دقیق‌تر مکانیسم‌های جذب آنتی‌بیوتیک‌ها در گیاهان را نمایان می‌سازد.

با این حال، در تیمارهای بالاتر (۶۰ و ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر)، تجمع به طور معنی‌داری کاهش یافت که ممکن است به دلیل رسیدن به سطح اشباع تجمع آنتی‌بیوتیک در بافت گیاهی باشد. در این حالت، ظرفیت جذب به حداکثر خود می‌رسد و افزایش غلظت در گیاه متوقف می‌شود. این نکته با نتایج پژوهش [۱۲] همخوانی دارد که نشان می‌دهد تجمع آنتی‌بیوتیک‌ها در گیاهان به‌صورت وابسته به غلظت است و پس از رسیدن به غلظت خاصی، این جذب دیگر افزایش نمی‌یابد.

علاوه بر این، دلایل دیگری مانند ذخیره‌سازی آنتی‌بیوتیک‌ها در سلول‌های گیاهی و تسریع در تخریب آن‌ها نیز می‌توانند نقش داشته باشد. این نکته به‌ویژه در مورد آنتی‌بیوتیک‌هایی مانند تتراسایکلین که به طور فعال وارد گیاهان می‌شوند، اهمیت دارد. گزارش شده که تتراسایکلین به‌صورت انتقال آپوپلاستیک وارد گیاهان می‌شود و این فرایند می‌تواند با آزاد شدن آنزیم‌های گیاهی، تخریب و تبدیل آنتی‌بیوتیک‌ها به ترکیبات غیرفعال را تسریع کند [۱۸].



## ۷. مراجع

۱. ناصح، ن. باریک‌بین، ب. تقوی، ل. ناصری، م.ع. (۱۳۹۵)، "تأثیرات مخرب آلودگی آنتی‌بیوتیک‌ها بر محیط‌زیست و بررسی کارایی روش‌های مختلف در حذف آن‌ها از پساب آلوده"، فصلنامه پرستار و پزشک در رزم، ۴(۱۰ و ۱۱).
2. Rahman, S. (2023), "A parallel and silent emerging pandemic: Antimicrobial resistance (AMR) amid COVID-19 pandemic", Journal of Infection and Public Health, 16: 611-617.
3. Hubeny, J., Harnisz, M., Korzeniewska, E., Buta, M., Zielinski, W., Rolbiecki, D. Giebultowicz, J. Nalecz Jaweck, G., Plaza, G. (2021), "Industrialization as a source of heavy metals and antibiotics which can enhance the antibiotic resistance in wastewater, sewage sludge, and river water", PLoS ONE 16(6): e0252691.
4. Zhang, Y., Sallach, J.B., Hodges, L., Snow, D.D., Bartelt-Hunt, S.L., Eskridge, K.M., Li, X. (2016), "Effects of texture and drought stress on the uptake of antibiotics and the internalization of *Salmonella* in lettuce following wastewater irrigation", Journal of Environment Pollution 208: 523-531.
۵. حقیقی‌پوده، ث. سفیدبخت، ی. کوچک‌زاده، ح. (۱۳۹۸)، "آلودگی ناشی از آنتی‌بیوتیک‌ها بر محیط‌زیست"، نشریه نشا، علم، ۹(۲).
6. Chen, H.R., Rairat, T., Loh, S.H., Wu, Y.C., Vickroy, T.W., Chou, C.C. (2017), "Assessment of veterinary drugs in plants using pharma co kinetic approaches: The absorption, distribution and elimination of tetracycline and sulfamethoxazole in ephemeral vegetables", PLoS ONE 12(8): e 0183087.
7. Kumar, K., Gupta, S.C., Baidoo, S.K., Chander, Y., Rosen, C.J. (2005), "Antibiotic uptake by plants from soil fertilized with animal manure", Journal of Environmental Quality, 34: 2082-2085.
8. Ghimpeteanu, O.M., Pogurschi, E.N., Popa, D.C., Dragomir, N. Dragotoiu, T., Mihai, O.D., Petcu, C.D. (2022), "Antibiotic use in livestock and residues in food- A Public Health Threat", A Review. Foods, 11, 1430.

۹. معدنی ملاک، آ. لکزیان، ا. خداوردی، ا. حق‌نیا، غ. (۱۳۹۸)، "بررسی جذب مواد دارویی تتراسایکلین و

تریکلوزان در گیاه تربچه"، شانزدهمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه زنجان.

10. Azanu, D., Mortey, C., Darko, G., Weisser, J.H., Styris have, B., Clement Abaidoo, R. (2016), "Uptake of antibiotics from irrigation water by plants", Chemosphere, 157: 107-114.

۱۱. زبرجدی، س. سلطانیان، ع. فردمال، ج. عسگری، ق. (۱۳۹۵)، "کاربرد مدل‌های دوز - پاسخ در تعیین میانه

دوز مؤثر جاذب خاکستر استخوان در حذف فلوراید از محلول آب آشامیدنی". مجله علمی دانشگاه علوم

پزشکی و خدمات درمانی همدان، ۲۳(۲).

12. Zhang, H., Li, X., Yang, Q., Sun, L., Zhou, X.M., Deng, R., Bi, L. (2017), "Plant growth, antibiotic uptake, and prevalence of antibiotic resistance in an endophytic system of *Pakchoi* under antibiotic exposure", International Journal of Environmental Research and Public Health, 14, 1336.

13. Sharma, S., Sharma, KD. (2020), "Nutritional characteristics of different types of carrots", International Journal of Chemical Studies, 8(6): 2275-2278.

۱۴. آرمان، م. برقی، س.م. حسنی، ا.ح. احسانی، م. (۱۴۰۱)، "حذف آنتی‌بیوتیک سفازولین با استفاده از رزین

پلی آنیلین - پلی‌اتیلن گلاکول از محیط آبی". مجله آب‌وفاضلاب، ۳۳(۲)، ۴۸-۳۱.

۱۵. سیل‌سپور، م. (۱۳۹۸)، "راهنمای تهیه و استفاده از محلول‌های غذایی برای کشت سبزی‌های گلخانه‌ای در

سیستم کشت هیدروپونیک"، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی مؤسسه تحقیقات خاک و آب.

نشریه فنی: ۵۸۰

۱۶. رضائی، آ. (۱۴۰۲)، "سمیت سلولی سفکسیم و سفازولین سدیم در ریز جلبک سبز *Chlorella vulgaris*:

بررسی پاسخ‌های زیستی" پایان نامه دکتری، دانشگاه تبریز.

17. Bartrons, M., Penuelas, J. (2017), "Pharmaceuticals and personal care products in plants in Trends in Plant Science", 22. 194-203.

18. Di Marco, G., Gismondi, A., Canuti, L., Scimeca, M., Volpe, A., Canini, A. (2013), "Tetracycline accumulates in *Iberis sempervirens* L. Through apo plastic transport inducing oxidative stress and growth inhibition", Plant, 16(4): 792-800.