

## تأثیر غلظت نیکل بر رشد دانه‌رست‌های گندم و اثر بعضی عوامل محیطی بر آن

\*فاطمه قاسمی، مجید نوجوان: دانشگاه ارومیه

### چکیده

نیکل از عناصر ضروری برای رشد گیاهان به‌شمار می‌رود. در این پژوهش، اثر غلظت‌های متغیر نیکل (۱۲۸۰، ۶۴۰، ۳۲۰، ۱۶۰، ۸۰، ۴۰ و ۰ میکرومولار) بر رشد گیاهچه‌های بذری چهار رقم گندم (سرداری، زرین، الموت و C-73-20) و اثر عوامل محیطی مانند تغییرات pH و غلظت کلسیم بر رشد گیاهچه‌های بذری رقم زرین بررسی شد. همچنین میزان تراوش قندهای محلول از ریشه به محیط به‌عنوان پاسخ به تنش غلظت‌های بالای نیکل، به روش فنل - سولفوریک اندازه‌گیری شد. نتایج نشان دادند که رقم الموت از همه ارقام نسبت به تنش نیکل مقاوم‌تر است. از سوی دیگر بافت‌های ریشه و ساقه پاسخ رشدی متمایزی در برابر نیکل نشان دادند به‌طوری که رشد ریشه‌چه حساس‌تر از ساقه‌چه بود. کاهش pH تأثیر باز دارندگی نیکل بر رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را افزایش داد. این بررسی نشان داد که با افزایش غلظت کلسیم از سمیت نیکل کاسته می‌شود. همچنین نیکل از تراوش قندهای محلول به خارج از سلول‌های ریشه جلوگیری می‌کند.

### مقدمه

نیکل یکی از عناصر ساختمانی تعدادی از آنزیم‌ها از جمله اوره‌آز، گلی اکسالاز، پپتید دفرمیلاز و تعدادی از سوپراکسید دیس‌موتازها و هیدروژنازها است [۱]. اثرات تحریک‌کننده نیکل بر شوره‌برداری و ماده‌سازی ترکیبات نیتروژنه متمرکز شده است [۲]. جذب و توزیع نیکل در گیاه سویا به خوبی بررسی شده [۳] و ثابت شده است که نیکل به‌وسیله گیاهان طی مکانیسم چند مرحله‌ای جذب می‌شود و نیکل موجود در بخش محلول خاک به‌وسیله ریشه‌ها جذب می‌شود [۴]. احتمالاً نیکل به جای منیزیم از غشا عبور می‌کند و مثل سایر کاتیون‌های دو ظرفیتی ایجاد کمپلکس آلی می‌کند [۱]، [۵]. ترشح آنیون‌های آلی و تغییر pH خاک به‌وسیله ریشه‌ها و قارچ‌ها در ریزوسفر، جذب و تثبیت نیکل را در خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد [۷]، [۶]. با وجودی که نیکل اضافی رشد گیاه را محدود می‌کند و در طی زمان به گیاه آسیب می‌رساند، هنوز مکانیسم عمل آن به‌خوبی روشن نشده است. نیکل در گیاه همراه با ترکیباتی با بار منفی یافت می‌شود [۸].

یافته‌های پژوهش‌گران نشان می‌دهد نیکلی که با اسید گلوتامیک در گیاه تثبیت شده باشد برای گیاه کلم بسیار سمی است ولی کمپلکس نیکل با EDTA از سمیت کمتری برخوردار است. علامت سمیت نیکل کلروزیس برگ‌ها

واژه‌های کلیدی: نیکل، کلسیم، pH، قندهای محلول، غلات

پذیرش ۸۹/۸/۲۴

دریافت ۸۷/۴/۱۹

\*نویسنده مسئول

است [۱]، [۹]، [۱۰]. در گیاهانی که تحت تنش نیکل هستند، جذب عناصر معدنی، نمو ریشه و متابولیسم سلولی به‌شدت مختل می‌شوند. غلظت‌های بالای نیکل در بافت‌های گیاهی از فتوسنتز و تنفس جلوگیری می‌کند [۱۱]، [۴]. از سوی دیگر، زیاده نیکل سبب کاهش تثبیت بیولوژیکی نیتروژن می‌شود [۱۲]. نیکل در غلظت  $6 \times 10^{-4}$  میلی‌مولار تقسیم سلولی را منع کرده و در غلظت  $12 \times 10^{-4}$  میلی‌مولار ویژگی‌های غشا سلولی تغییر کرده و از گسترش پروتوپلاست جلوگیری می‌شود [۱۳]. نقش کلسیم در کاهش سمیت نیکل از سال‌ها قبل مورد توجه پژوهش‌گران بوده است [۱۴]، [۱۵]. با وجود این، هنوز در مورد چگونگی سمیت نیکل، دیدگاه روشنی وجود ندارد. هدف این پژوهش، مقایسه حساسیت و یا مقاومت چند رقم گندم در مقابل سطوح مختلف نیکل و تأثیر تغییرات pH و غلظت کلسیم در میزان سمیت آن بود.

## مواد و روش‌ها

### ۱. تأثیر غلظت‌های مختلف نیکل بر رشد گیاهچه چهار رقم گندم:

غلظت‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰، ۳۲۰، ۶۴۰ و ۱۲۸۰ میکرومولار نیکل از نمک نیترات نیکل تهیه شد. سپس بذرهای ارقام زرین، سرداری، الموت و C-73-20 در هیپوکلریت سدیم ۴٪ به‌مدت ۱۰ دقیقه ضد عفونی گردید و بعد از آب‌کشی با آب مقطر به ظروف پتری انتقال داده شدند. در هر پتری ۱۰ عدد بذر رقم موردنظر در روی کاغذ صافی قرار داده شده و مقدار ۸ میلی‌لیتر از محلول موردنظر در آن ریخته شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا و هر تیمار سه بار تکرار شد. ظروف به‌مدت ۵ روز در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شده و سپس طول ریشه‌چه و ساقچه و وزن خشک دانه‌رست‌ها اندازه‌گیری شد.

### ۲. اثر تغییرات pH بر رشد گیاهچه گندم رقم زرین در غلظت ثابت نیکل:

در این آزمایش از غلظت ۳۲۰ میکرومولار نیکل استفاده شد و با pH متر (Corning Model 7)، pH محلول‌ها (تیمارها) در ۹ و ۸ و ۷ و ۶ و ۵ به کمک HCl ۰/۱ نرمال و KOH ۰/۱ نرمال و بافر استات تنظیم شد. بذرهای گندم رقم زرین به‌روشی که در بخش ۱-۲ بیان شد آماده و به ظروف پتری منتقل شدند. از محلول هر تیمار ۸ میلی‌لیتر در هر پتری ریخته شد و به‌مدت ۵ روز در آون ۲۵ درجه سانتی‌گراد کشت گردیدند. طرح آزمایشی کاملاً تصادفی به کارگرفته شد و هر تیمار در سه تکرار اجرا شد. وزن خشک و طول ریشه‌چه دانه‌رست‌ها بررسی شد.

### ۳. اثر محافظتی کلسیم بر مسمومیت ناشی از نیکل:

محلول‌های نیکل با غلظت‌های ۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میکرومولار تهیه شد. محلول‌های کلسیم نیز با همان غلظت‌ها از کلرید کلسیم تهیه شد. سپس با مخلوط کردن محلول‌ها با نسبت‌های مساوی غلظت‌های ۰، ۱۰۰،

۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار نیکل و کلسیم تهیه شدند. بذرهای رقم زرین طبق توضیح فوق تهیه و به ظروف پتری منتقل شدند. از محلول هر تیمار به مقدار ۸ میلی‌لیتر در پتری مربوطه ریخته شده و در آن ۲۵ درجه سانتی‌گراد کشت شدند. بعد از ۵ روز طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه بررسی شد.

#### ۴. اثر نیکل بر ترشح قندهای محلول از ریشه‌ها:

بذرهای رقم زرین به‌روش فوق آماده و به ظروف پتری منتقل شدند. از محلول‌های نیترات نیکل با غلظت‌های ۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرو مولار به‌مقدار ۸ میلی‌لیتر به هر ظرف ریخته شد. بعد از ۴ روز گیاهچه‌ها دور انداخته شدند. ۲ میلی‌لیتر از محلول‌های باقیمانده در ظروف پتری به لوله آزمایش ریخته شد. به همه لوله‌ها ۲ میلی‌لیتر محلول فنل ۵٪ و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ اضافه شد، و مدت یک ساعت برای تکمیل واکنش در زیر هود قرار داده شدند. در لوله شاهد ۲ میلی‌لیتر آب مقطر، ۲ میلی‌لیتر فنل ۵٪ و ۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک غلیظ ریخته شد. پس از تنظیم صفر و ۱۰۰ دستگاه اسپکتروفتومتر با لوله شاهد، جذب محلول‌های رنگی در طول موج ۴۸۵ نانومتر اندازه‌گیری شد.

در تمام آزمایش‌ها از طرح آماری کاملاً تصادفی استفاده به‌عمل آمد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS صورت گرفت و از خطای معیار (SE) برای مقایسه میانگین تیمارها استفاده شد. رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار Excel 97 انجام شد.

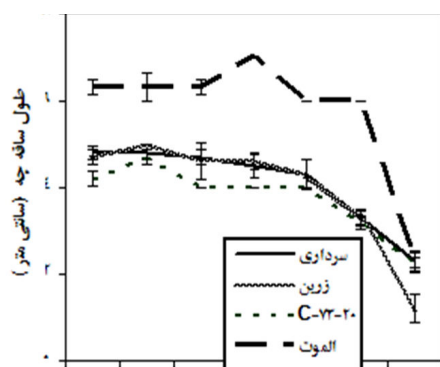
## نتایج

### ۱. اثر غلظت‌های مختلف نیکل بر رشد گیاهچه چهار رقم گندم

در بررسی تأثیر غلظت‌های مختلف نیکل بر طول ساقه‌چه ارقام گندم (شکل ۱) مشاهده می‌شود که طول ساقه‌چه رقم الموت نسبت به سایر ارقام رشد بیش‌تری داشته است. در این رقم با افزایش غلظت تا حدود ۶۴۰ میکرومولار رشد ساقه‌چه در مقایسه با شاهد کاهش نمی‌یابد. از طرف دیگر تا غلظت ۶۴۰ میکرومولار، رشد الموت به‌طور معنی‌دار از ارقام دیگر بالاتر است.

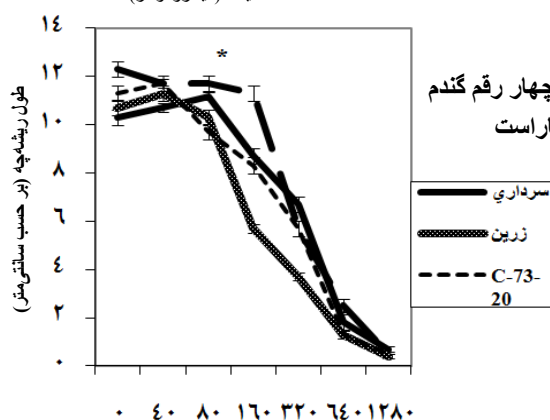
از غلظت ۶۴۰ میکرومولار بالاتر، رقم الموت حساسیت شدید نشان می‌دهد. در حالی که ارقام سرداری و زرین مقاومت یکسانی نشان داده و C-73-20 از همه ارقام حساس‌تر است. این سه رقم تا غلظت ۳۲۰ میکرومول نیکل تقریباً مقاومت نسبی نشان می‌دهند ولی از ۳۲۰ میکرومولار بالاتر، رشد آن‌ها به سرعت تنزل می‌کند. در این پژوهش اثر غلظت‌های متغیر نیکل بر رشد ریشه‌چه نیز بررسی شد (شکل ۲).

در این مورد نیز رشد ریشه‌چه رقم الموت از سایر ارقام در غلظت‌های تا ۱۶۰ میکرومول بالاتر بود. نتیجه جالبی که به‌دست آمد این بود که رشد ریشه‌چه در مقایسه با ساقه‌چه بسیار حساس‌تر بود. بدین معنی که رشد ریشه‌چه از غلظت‌های تقریباً ۸۰ میکرو مولار به سرعت کاهش یافت. برای اطمینان بیش‌تر از نتایج فوق، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز بررسی شد (شکل‌های ۳ و ۴).



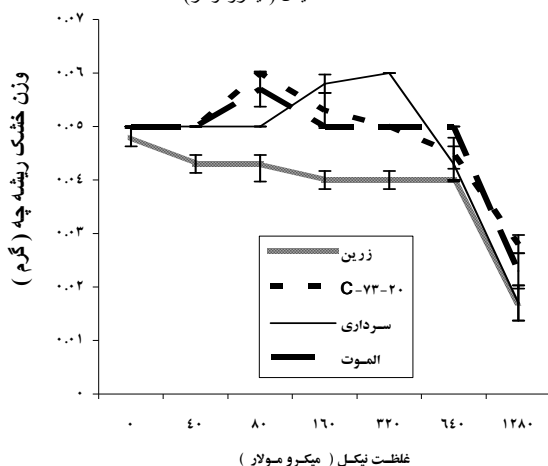
شکل ۱. اثر غلظت‌های نیکل بر طول ساقه‌چه در چهار رقم گندم  
بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین خطای معیار است

غلظت نیکل (میکرومولار)



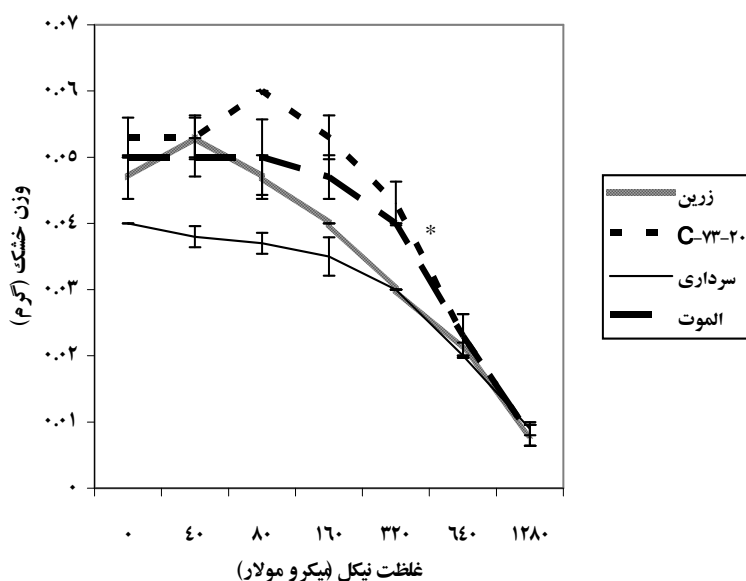
شکل ۲. اثر غلظت‌های مختلف نیکل بر طول ریشه‌چه در چهار رقم گندم  
\* بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین  $\pm$  خطای معیار است

غلظت نیکل (میکرومولار)



شکل ۳. اثر غلظت‌های مختلف نیکل بر وزن خشک ریشه‌چه  
در چهار رقم گندم. \* بارهای عمودی نشان‌دهنده  
میانگین  $\pm$  خطای معیار است

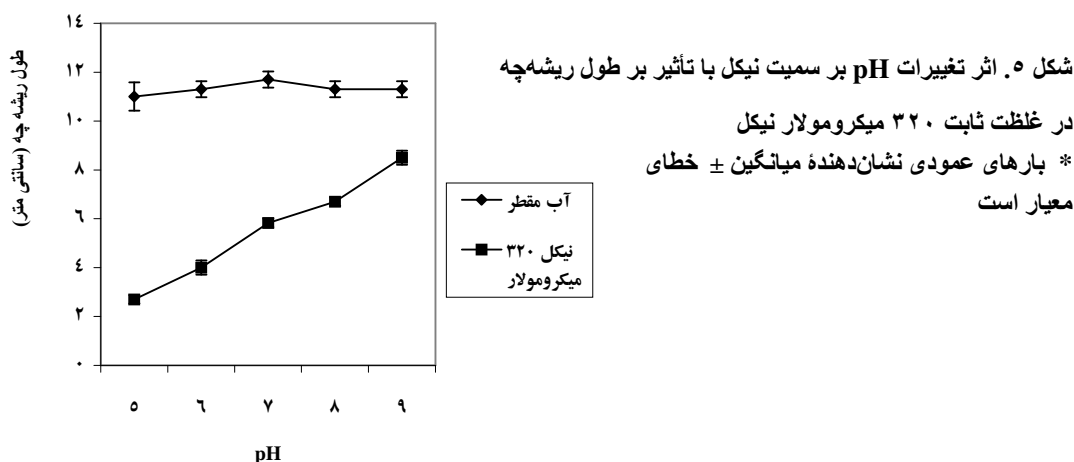
چنان که مشاهده می‌شود تا غلظت ۸۰ میکرومولار، ریشه‌چه مقاومت نشان می‌دهد ولی از غلظت‌های بالاتر از ۸۰ میکرومول رشد ریشه‌چه به شدت کاهش می‌یابد. این یافته دقیقاً با یافته‌های طول ریشه‌چه تطبیق می‌کند. ولی ساقه‌چه تا غلظت ۶۴۰ میکرومول تقریباً از خود مقاومت نشان می‌دهد و از آن به بعد رشد به شدت کاهش می‌یابد ولی هنوز به صفر نمی‌رسد.



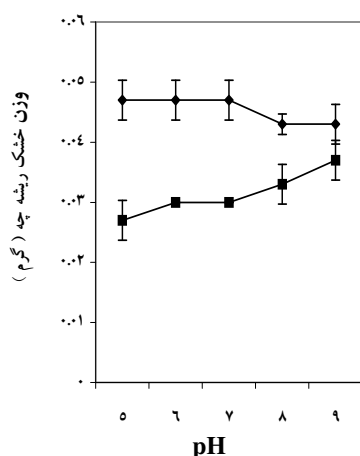
شکل ۴. اثر غلظت‌های نیکل بر وزن خشک ساقچه‌ها در چهار رقم گندم  
\* بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین  $\pm$  خطای معیار است

## ۲. اثر pH بر رشد گیاهچه‌های بذر گندم رقم زرین در غلظت ثابت نیکل

در این پژوهش برای بررسی اثر pH بر رشد گیاهچه‌های بذر گندم رقم زرین غلظت متوسط ۳۲۰ میکرومولار نیکل تهیه شد. با افزایش pH در غلظت ثابت نیکل (۳۲۰ میکرومولار)، رشد ریشه‌ها به طور خطی افزایش یافت (شکل ۵ و ۶). یعنی رشد ریشه‌ها نسبت معکوس با غلظت پروتون دارد. این موضوع از افزایش جذب نیکل در pH‌های پائین و کاهش جذب آن در pH‌های بالا ناشی می‌شود. در صورتی که در شاهد (بدون نیکل) تغییر pH تأثیر چندانی در رشد ریشه‌ها ندارد و فقط در pH‌های پائین‌تر از ۷ میزان رشد اندکی کاهش نشان می‌دهد. شکل ۶ نیز که بر اساس وزن خشک ریشه‌ها رسم شده است همین یافته را تأیید می‌کند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، برای نشان دادن اثر نیکل، بقیه آزمایش‌ها در pH برابر ۵ انجام شد.



شکل ۵. اثر تغییرات pH بر سمیت نیکل با تأثیر بر طول ریشه‌ها  
در غلظت ثابت ۳۲۰ میکرومولار نیکل  
\* بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین  $\pm$  خطای معیار است



شکل ۶. اثرات pH بر سمیت نیکل با تأثیر بر وزن

خشک ریشه‌چه در غلظت ثابت ۳۲۰ میکرومولار

\* بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین  $\pm$  خطای

معیار است

## ۳. بررسی اثرات متقابل کلسیم و نیکل بر رشد گیاهچه‌های بذری گندم (رقم زرین)

با افزایش غلظت کلسیم از صفر تا ۳۰۰ میکرو مولار (غلظت صفر میکرومولارنیکل) رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه افزایش می‌یابد (جدول ۱). با افزایش غلظت نیکل از صفر تا ۳۰۰ میکرومولار (غلظت صفر میکرومولار کلسیم) رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش می‌یابد (جدول ۱). اما در حضور کلسیم، از اثر بازدارندگی نیکل بر رشد کاسته می‌شود. با توجه به نتایج حاصل، مشاهده می‌شود که رشد ریشه‌چه بیش‌تر از ساقه‌چه تحت تأثیر غلظت‌های بالای نیکل است. برای تأیید نتایج وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه نیز اندازه‌گیری شد (جدول ۱) و نتایج مشابهی به‌دست آمد.

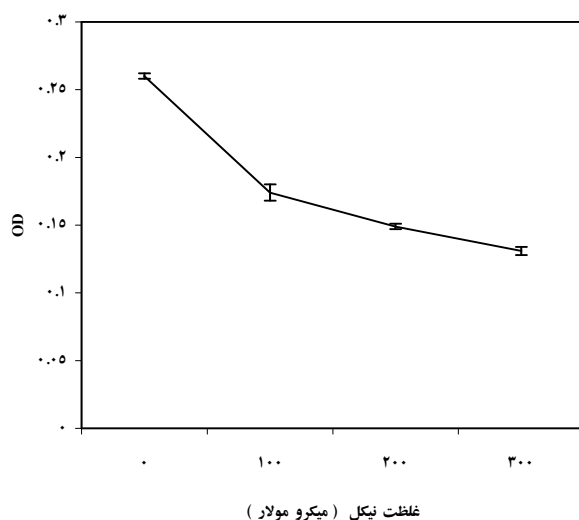
جدول ۱. اثرات متقابل نیکل و کلسیم بر طول و وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاهچه‌های بذری گندم (رقم زرین)

| غلظت کلسیم / غلظت نیکل | ۰            | ۱۰۰          | ۲۰۰          | ۳۰۰          | معیار اندازه‌گیری |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------------|
| طول ریشه‌چه            | ۰/۱۷±۱۲/۱۷   | ۰/۱۷±۱۲/۳    | ۰/۱۷±۱۲/۷    | ۰/۳۳±۱۵/۳    | ۰                 |
|                        | ۰/۵۸±۹       | ۱±۱۰         | ۰/۵±۱۰/۳     | ۰/۱۷±۱۰/۷    | ۱۰۰               |
|                        | ۰/۱۷±۳/۷     | ۰±۴          | ۰±۴/۳        | ۰/۵±۴/۷      | ۲۰۰               |
|                        | ۰/۱۷±۲/۳     | ۰/۱۷±۲/۷     | ۰/۲۹±۳       | ۰/۴۴±۳/۵     | ۳۰۰               |
| طول ساقه‌چه            | ۰/۲۹±۸/۵     | ۰/۲۹±۸/۵     | ۰/۳۳±۸/۷     | ۰/۴۹±۹       | ۰                 |
|                        | ۰±۷          | ۰±۷          | ۰/۵±۸        | ۰/۱۷±۸/۳     | ۱۰۰               |
|                        | ۰/۱۷±۶/۷     | ۰±۷          | ۰/۳۳±۷/۳     | ۰/۳۳±۷/۳     | ۲۰۰               |
|                        | ۰/۳۳±۵/۸۳    | ۰±۶/۵        | ۰/۳۳±۶/۷     | ۰±۷          | ۳۰۰               |
| وزن خشک ریشه‌چه        | ۰±۰/۰۶       | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۷ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۷ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۷ | ۰                 |
|                        | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۴۳ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۴۳ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۴۳ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۴۳ | ۱۰۰               |
|                        | ۰±۰/۰۳       | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۳۳ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۳۳ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۳۳ | ۲۰۰               |
|                        | ۰±۰/۰۲       | ۰±۰/۰۲       | ۰±۰/۰۲       | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۲۳ | ۳۰۰               |
| وزن خشک ساقه‌چه        | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۷ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۷ | ۰±۰/۰۶       | ۰±۰/۰۶       | ۰                 |
|                        | ۰±۰/۰۶       | ۰±۰/۰۷       | ۰±۰/۰۷       | ۰±۰/۰۷       | ۱۰۰               |
|                        | ۰/۰۰۱۷±۰/۰۵۲ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۶۳ | ۰±۰/۰۶۵      | ۰/۰۰۱۷±۰/۰۶۸ | ۲۰۰               |
|                        | ۰±۰/۰۵       | ۰/۰۰۱۷±۰/۰۵۲ | ۰/۰۰۳۳±۰/۰۵۳ | ۰/۰۰۶۷±۰/۰۵۳ | ۳۰۰               |

توجه: غلظت‌های کلسیم و نیکل بر حسب میکرومولار است. طول ریشه‌چه و ساقه‌چه بر حسب سانتی متر و وزن خشک بر حسب گرم اندازه‌گیری شده است. هر کدام از مقادیر به‌دست آمده میانگین سه تکرار  $\pm$  خطای معیار است.

## ۴- بررسی تأثیر نیکل بر ترشح قندهای محلول از ریشه:

با توجه به شکل ۷ مشاهده شد که با افزایش غلظت نیکل از ۰ به ۱۰۰ میکرومولار، میزان جذب قندهای محلول (OD) به شدت کاهش یافت به‌طوری‌که شیب منحنی در این قسمت بسیار تند است. اما با افزایش غلظت نیکل از ۱۰۰ تا ۲۰۰ و ۳۰۰ میکرومولار، بتدریج از تندی شیب منحنی نسبت به مقدار قبلی کاسته می‌شود.



شکل ۷. اثر غلظت‌های مختلف نیکل بر ترشح قندهای محلول از ریشه  
\* بارهای عمودی نشان‌دهنده میانگین  $\pm$  خطای معیار است

## تفسیر نتایج

در بررسی‌های انجام شده نشان داده شده است که در میان گیاهان آزمایشی، نخود مقاوم‌ترین گیاه به سطوح بالای نیکل است. در بین غلات یولاف حساس‌ترین و گندم و جو مقاوم‌ترین آن‌ها در برابر غلظت‌های بالای نیکل هستند [۱۶]. اما با توجه به نتایج حاصل از این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که مقاومت ارقام مختلف گندم در برابر غلظت‌های بالای نیکل یکسان نیست و مقاومت رقم الموت به طور معنی‌داری از ارقام دیگر بالاتر و رقم C-73-20 از همه حساس‌تر است. رشد ریشه‌چه در مقایسه با ساقه‌چه نسبت به غلظت‌های بالای نیکل حساس‌تر است، بنا بر این بافت‌های ساقه‌ای و ریشه‌ای در برابر غلظت‌های مختلف نیکل پاسخ رشدی تمایزی<sup>۱</sup> از خود نشان می‌دهند. این پدیده می‌تواند از دلایل مختلفی ناشی شده باشد از جمله:

الف) کندی انتقال نیکل از ریشه‌چه به ساقه‌چه که یافته‌های Yang نیز این یافته‌ها را تأیید می‌کند [۸].

ب) چون ریشه‌چه زودتر از ساقه‌چه پوسته دانه را شکسته و ظاهر می‌شود، بنا بر این زودتر تحت تأثیر غلظت‌های بالای نیکل قرار می‌گیرد.

مطلب دیگری که باید اضافه کرد این است که در اکثر ارقام، نیکل در غلظت‌های پائین اثر ترغیبی نشان

<sup>۱</sup> differential growth response

می‌دهد که این نتایج با یافته‌های براون<sup>۱</sup> و ارنست<sup>۲</sup> مطابقت دارد [۱۷]، [۱۸]. بنا بر این می‌توان توصیه کرد که در مناطقی که غلظت نیکل در حدود ۴۰ میلی مولار الی ۸۰ میلی مولار باشد به راحتی ارقام مختلف گندم را کشت کرد. ولی اگر غلظت‌ها بالاتر از ۰ الی ۳۲۰ میکرومولار باشد، باید از ارقام مقاوم گندم مثل الموت استفاده کرد.

مقدار جذب یون‌های موجود در محیط ریشه تحت تأثیر pH تغییر می‌کند. بنا بر این pH ریزوسفر در جذب عناصر معدنی تأثیر مستقیم دارد. در ضمن همانندسازی<sup>۳</sup> یون‌های مختلف که به وسیله آنزیم‌ها انجام می‌گیرد نیز تحت تأثیر pH تغییر می‌کند. مهم‌ترین عامل در جذب یون‌ها و عبور آن‌ها از غشای پلاسمایی غلظت پروتون در خارج سلول و در طرف دیواره باخته است. زیرا حاملین همبر<sup>۴</sup> و حاملین پادبر<sup>۵</sup> اختلاف پتانسیل الکتریکی و اختلاف پتانسیل شیمیایی  $H^+$  را که در طرفین غشا برقرار می‌شود، به عنوان منبع انرژی برای جذب یون‌ها مورد استفاده قرار می‌دهند.

این اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی در اثر عمل پمپ‌های الکتروژنیک مثل ATP-آز پمپ‌کننده پروتون ( $H^+$ -ATPase) غشای پلاسمایی و ATP-آز پمپ‌کننده کلسیم ( $Ca^{2+}$ -ATPase) ایجاد می‌شود.

در حقیقت برای ایجاد این اختلاف پتانسیل الکتروشیمیایی ATP صرف می‌شود. اگر pH محیط بسیار پایین باشد ( $pH < 5$ ) غشای سلولی آسیب دیده و به مواد درون سلولی قابل نشت می‌گردد. در بالاتر از این حد (یعنی بین ۵ تا ۹) کاهش pH یعنی افزایش غلظت یون‌های پروتون سبب افزایش جذب کاتیون‌های دوظرفیتی نظیر آهن، روی، کبالت و غیره می‌شود [۱]. با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان کرد که نیکل در خاک‌های اسیدی که به مقدار زیاد در فاز مایع خاک حل می‌شود، به مقدار زیادی نیز جذب می‌گردد. بنا بر این در خاک‌های مناطقی که اسیدی هستند و مشکل سمیت نیکل نیز دارند، با دادن کودهای آهکی، pH خاک را اصلاح کرده و از جدا شدن نیکل با یون‌های  $H^+$  از سطح کلونیدی خاک و وارد شدن آن به فاز مایع خاک کاست و از طرف دیگر از جذب شدن زیاد آن جلوگیری کرد [۱۹]، [۱۶].

چنان که قبلاً ذکر گردید در خاک‌هایی که دچار آلودگی نیکل هستند، با افزایش آهک یا کلسیم به محیط و در نتیجه افزایش pH خاک، از سمیت نیکل می‌توان جلوگیری کرد. کلسیم در غلظت‌های بالاتر از ۱۰۰ میکرومولار می‌تواند اثر ترغیبی بر رشد داشته و سمیت ناشی از نیکل را تا حدودی کاهش دهد. اما این کاهش در ساقه‌چه بیش‌تر از ریشه‌چه مشهود بود (جدول ۱). احتمالاً، همان‌گونه که قبلاً نیز اشاره شد، انتقال نیکل از ریشه به ساقه کمتر صورت می‌گیرد اما ممکن است انتقال کلسیم بیش‌تر صورت گرفته باشد. از طرف دیگر کلسیم نفوذ بسیاری از فلزات سنگین را به گیاه کاهش می‌دهد [۸]. در نتیجه ممکن است در اینجا نیز با نیکل ضدیت نشان داده و از جذب آن بکاهد. بدین ترتیب کلسیم با غلظت‌های بالا (بالاتر از ۱۰۰ میکرومولار) می‌تواند اثر سمیت نیکل را کاهش دهد.

۱. Brown

۲. Ernst

۳. Assimilation

۴. cotransporters

۵. antiporters

در بررسی‌های انجام شده، اثبات شده است که با افزایش نیکل در محیط، غلظت قندهای محلول و اسیدهای آلی در بخش‌های مختلف گیاه، افزایش می‌یابد [۴]. با افزایش غلظت نیکل در محیط، ترشح قندهای محلول از ریشه به محیط به شدت کاهش یافت (شکل ۷). این امر ممکن است از غیرفعال شدن آمیلاز ناشی شود. یا این‌که غشاهای سلولی چنان تحت تأثیر قرار می‌گیرند که از تراوش قندهای محلول به خارج از سلول‌ها جلوگیری می‌شود. بنا بر این، غلظت‌های بالای نیکل از تشکیل میکوریزا و تثبیت ازت (درلگوم‌ها) جلوگیری خواهند کرد که از لحاظ کشاورزی اهمیت بسیار زیادی دارند.

با توجه به افزایش آلودگی ناشی از فلزات سنگین از جمله نیکل در خاک‌های زراعی، نیاز به تحقیق درباره گیاهان مقاوم به غلظت‌های سمی نیکل، مکانیسم‌های تحمل در این گیاهان، کلون کردن ژن‌های کد دهنده به پروتئین‌های کلاته‌کننده نیکل و انتقال آن‌ها به گیاهان زراعی مورد نظر کاملاً مشهود است.

### منابع

1. C. Chen, D. Huang and J. Liu, "Functions and Toxicity of Nickel in Plants :Advances and Future Prospects", Clean - Journal, 37 (2009) 304-313.
2. J. B. De Catanzaro, T. C. Hutchinson, "Effects of nickel addition on nitrogen mineralization, nitrification and nitrogen leaching in some boreal Forest Soils", J. of Water, Air and Soil Pollution, 24 (1985) 153.
3. D. A. Cataldo, T. R. Garland, R.E. Wildung, "Nickel in plants", Plant Physiology, 62 (1978) 563-566.
4. S. M. Ross, "Toxic Metals in Soil-Plant Systems", John Wiley and Sons Ltd., London (1994).
5. G. K. Bsaras, Th. Constantinidis, B. Cotsopoulos and Y. Manetas, "Relative abundance of nickel in the leaf epidermis of eight hyperaccumulators: evidence that the metal is excluded from both guard cells and trichomes", Annals of Botany, 86 (2000) 73-78.
6. M. L. Berrow, I.C. Burridge, "Sources and Distribution of Trace Elements in Soils and Related Crops", CEP Consultants Ltd. Edinburgh, U.K. (1979).
7. S. Staunton, B. Bonafos, E. Leclerc-Cessac, "Possible effects of root action in the rhizosphere on the adsorption of trace amounts of nickel by various soils", In : Kabat-Pendias , A. (Ed.) Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press, (2001).
8. X. Yang , V.C. Baligar , D. C. Martens and R.B. Clark, "Plant tolerance to nickel toxicity. I: Influx , transport and accumulation of nickel in four species", J. of Plant Nutr., 19 (1996) 73-85.

9. C. E. Pankhurst, S. L. Rogers and V. V. S. R. Gupta, "Microbial parameters for monitoring soil pollution, In: Lynch, J.M. and Wiseman", A. (Eds) Environmental Biomonitoring: The Biotechnology Ecotoxicology Interface, Cambridge University Press (1998).
10. J. Proctor, L. Nagy, "Ultramafic rocks and their vegetation: an overview", In: Baker, A.J.M., Proctor, J. and Reeves, R. D. (Eds) The Vegetation of Ultramafic (Serpentine) Soils, Intercept, Ltd., Andover, Hants (1992).
11. F. A. Bazzaz, R. W. Carlson and G. L. Rolfe, "The effects of heavy metals on plants", In: Kabat-Pendias, A. (Ed.) Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press (2001).
12. S. J. Vesper, T. C. Weidensaul, "Effects of cadmium, nickel, copper and zinc on nitrogen fixation by soybeans", J. of Water, Air and Soil Pollution (1978).
13. A. I. Robertson And M. E. R. Meakin, "The effects of nickel on cell division and growth of *Brachystegia spiciformis* seedlings", In: Ross, S. M. (Ed.) Toxic Metals in Soil-Plant Systems, John Wiley & Sons Ltd. London ( 1994).
14. A. J. Anderson, D. R. Meyer, F. K. Mayer, "Effects of the environment on the symptom pattern of nickel toxicity in the oat plant", J. of Annals of Botany, 43 (1979) 271-283.
15. A. J. Anderson, D. R. Meyer, F. K. Mayer, "Heavy metal toxicities: Levels of nickel, cobalt and chromium in the soil and plants associated with visual symptoms and variation in growth of an oat crop", In: Kabat-Pendias, A. (Ed.) Trace Elements in Soils and Plants, CRC Press (2001).
16. E. A. Jenne, "Controls on Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn concentrations in soils and water: The significant role of hydrous Mn and Fe oxides", In: Ross, S.M (Ed.) Toxic Metals in Soils-Plant System, John Wiley and Sons, Ltd. London (1994).
17. P. H. Brown, R. M. Welch and E. E. Cary, Nickel: "A micronutrient essential for higher plants, Plant Physiology", 85 (1987) 80-83.
18. W. H. O. Ernst, Mine vegetation in Europe, In: Shaw, A. J. (Ed.) "Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects", CRC Press, Boca Raton, FL. (1990).
19. M. Mench, E. Martin, "Mobilization of cadmium and other metals from two soils by root exudates of *Zea mays* L.", *Nicotiana tabacum* L. and *Nicotiana rustica* L. Plant and soil, 32 (1991) 187-198.