

تغییرات عناصر ماکرو و میکرو در خاک و برگ نهال‌های توسکا بیلاقی تحت تأثیر تنش غرقابی

آتنا کیان‌مهر^۱، احسان قنبری^{۲*}، قاسم‌علی پاراد^۳، مسعود طبری کوچکسرای^۴ و زهرا بور^۵

- ۱- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. (atena.kianmehr@yahoo.com)
- ۲- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (ehsan.ghanbary29@yahoo.com)
- ۳- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (gh.parad64@yahoo.com)
- ۴- استاد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (mtabari@modares.ac.ir)
- ۵- کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران. (Zahra.boor.jangal@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۴/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۱۸

چکیده

غرقابی با تغییر ساختار خاک، تخلیه اکسیژن، تجمع دی اکسیدکربن، ایجاد شرایط بی‌هوایی در خاک، توسعه پوسیدگی ریشه، از بین رفتن قارچ‌های میکوریزی و کاهش متابولیسم ریشه، خاک را تحت تأثیر قرار داده و در نتیجه سبب تجزیه بی‌هوایی مواد آلی و تغییر در غلظت عناصر غذایی خاک و برگ گیاهان می‌شود. در این تحقیق، تغییرات غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو در خاک و برگ نهال‌های توسکا بیلاقی تحت تأثیر تنش غرقابی خاک در طول ۱۲۰ روز در یک آزمایش میدانی بررسی شد. نهال‌ها در معرض سه تیمار شاهد، غرقابی تا سه و ۱۵ سانتی‌متر بالای سطح خاک قرار گرفتند و در پایان دوره، غلظت عناصر ماکرو و میکرو در خاک و برگ اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که غرقابی تأثیری روی مقدار کلسیم، منیزیم، روی و کربن آلی خاک نداشت، اما سبب کاهش نیتروژن، فسفر و پتاسیم و افزایش غلظت آهن و منگنز خاک شد، اگرچه این افزایش به اندازه‌ای نبود که سبب سمیت خاک شود. در شرایط غرقابی غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، کربن آلی، منیزیم و روی در برگ نهال‌ها کاهش یافت، اما غلظت آهن و منگنز برگ نهال‌ها تا حد زیان‌آور افزایش یافته بود. همچنین بین اغلب عناصر خاک و برگ همبستگی مثبت و معنی‌دار وجود داشت. به‌طور کلی شرایط غرقابی سبب تغییر غلظت بیشتر عناصر در خاک و برگ نهال‌های توسکا بیلاقی شد، که یک پدیده معمول در شرایط کمبود اکسیژن در خاک به دلیل تنش غرقابی است.

واژه‌های کلیدی: شرایط بی‌هوایی، عناصر غذایی، کربن آلی، نیتروژن.

مقدمه

افزایش جذب مواد معدنی (Yamauchi et al., 2018;)
 رشد، پیری زودرس، زرد شدن و ریزش برگ هستند
 (Di Bella et al., 2020)، تغییر در تعادل هورمون‌های
 (Glenz et al., 2006; Parad et al., 2014a). معمولاً
 گیاهان وقتی که یک دوره به نسبت شدید کمبود
 ترکیبات ضروری و یا فوور ترکیبات سمی را تجربه
 کنند، تحت تنش در نظر گرفته می‌شوند (Majidi et al.,
 2016). خاک غرقاب شده تنوعی از فرآیندهای شیمیایی،
 فیزیکی و بیولوژیکی را به وجود می‌آورد که ظرفیت
 خاک را برای رشد گیاه تغییر می‌دهد (Kozłowski,
 1997; Parad et al., 2013b). در یک خاک غرقابی
 CO_2 ، متان، اسیدهای آلی و سولفید هیدروژن آزاد می-
 شود (Kozłowski, 1997) و مقادیر ازت، فسفر، پتاسیم،
 کلسیم، منیزیم، آهن، منگنز، مولیبدن، قلع، روی، مس و
 گوگرد دچار تغییر می‌شود (Kozłowski, 1997).
 Setter et al. (2009) گزارش کردند که تغییر قابلیت
 دسترسی عناصر محلول در خاک‌های غرقابی ممکن
 است موجب آسیب به گیاهان شود. اثرهای متقابل بین
 کاهش پتانسیل احیایی خاک و افزایش یا کاهش مقدار
 عناصر مانند آهن، منگنز، آلومینیوم، سدیم و بور را می-
 توان از دلایل عمده آن برشمرد (Jackson et al.,
 2009). از طرف دیگر، در میان عوامل فیزیولوژیکی
 مرتبط با رشد گیاهان، قابلیت دسترسی عناصر غذایی
 نقش حیاتی را ایفا می‌کند (Manzur et al., 2020).
 مقدار جذب یک ماده غذایی توسط گیاه معمولاً به شکل
 و مقدار توسعه و رشد ریشه، میانگین شعاع ریشه،
 میانگین تراکم ریشه‌های مویی و طول ریشه‌ها وابسته
 است (Ploschuk et al., 2018). تحت شرایط هوادهی
 ضعیف خاک عرضه ناکافی اکسیژن به ریشه‌های گیاه
 جذب و استفاده از عناصر ضروری غذایی مورد نیاز
 رویش گیاهی (نیترژن، فسفر، پتاسیم، کلسیم، منیزیم،
 آهن، منگنز، مس، روی، مس، بور، مولیبدن، سدیم و

در طبیعت، گیاهان در برابر تنش‌های زیست‌محیطی
 مختلفی مانند شوری، خشکی و غرقابی قرار می‌گیرند
 که رشد آن‌ها را محدود می‌کند (Glenz et al., 2006).
 غرقابی که یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی در
 مناطق پرباران به حساب می‌آید سبب خسارات زیادی
 به بسیاری از اراضی کشاورزی و مناطق طبیعی با
 زهکشی نامناسب وارد می‌کند (Parad et al., 2015).
 هنگامی که حجم آب خاک در لایه سطحی حداقل ۲۰
 درصد بالاتر از ظرفیت زراعی شود، شرایط غرقابی
 اتفاق می‌افتد که منجر به راکد شدن حرکت آب بر روی
 سطح خاک می‌شود (Buraschi et al., 2020). مهم‌ترین
 تأثیر غرقابی روی خاک، کاهش اکسیژن خاک اطراف
 ریشه گیاهان است که به دنبال آن شرایط بی‌هوایی در
 خاک ایجاد خواهد شد و فرآیندهای فیزیولوژیک در
 شرایط کمبود اکسیژن سبب می‌شود که تنفس به صورت
 بی‌هوایی درآید (Glenz et al., 2006). این وضعیت
 محدودیت شدیدی برای رشد گیاهان به وجود می‌آورد
 (Parad et al., 2014a). تنش همچنین ممکن است
 مراحل مختلف رویش گیاه را با شدت‌های مختلف
 تحت تأثیر قرار دهد. به طوری که مرحله استقرار نهال‌ها
 و گل‌دهی به طور ویژه‌ای حساس‌تر هستند (Glenz et
 al., 2006). تأثیر منفی غرقابی روی اعمال حیاتی گیاه
 و سلامت خاک در پژوهش‌های متعددی مورد تأکید
 قرار گرفته است (Parad et al., 2013a; Kotula et al.,
 2019; Kidd et al., 2020). اندکی پس از تنش غرقابی،
 تغییرات متوالی در متابولیسم و فرآیندهای فیزیولوژیکی
 گیاهان به وجود می‌آید. کاهش جذب عناصر غذایی و
 بسته شدن روزنه‌ها که منجر به کاهش نرخ فتوسنتز می-
 شود، مانند پاسخ‌های ابتدایی گیاه به تنش غرقابی است
 (Ploschuk et al., 2020; Manzur et al., 2020).
 تغییرات بعدی شامل کاهش تراوایی ریشه‌ها، کاهش یا

موجب کاهش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم و افزایش مقدار آهن و منگنز در برگ نهال‌ها شد. با عنایت به مطالب بیان شده، شناخت پاسخ تغذیه ای نهال‌های گونه‌های جنگلی موجود در مناطق جلگه ای و سیلابی به شرایط کمبود اکسیژن در خاک به دنبال غرقابی، در تدوین برنامه‌های مدیریتی برای حفاظت و بهره‌برداری مناسب از این اکوسیستم‌ها حائز اهمیت است، از این‌رو هدف از این پژوهش، بررسی مقدار تغییرات عناصر تغذیه‌ای و سنگین در خاک و برگ نهال های گونه توسکا بیلاقی تحت تیمارهای مختلف غرقابی خاک در یک آزمایش صحرائی است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از نهال‌های گلدانی یک‌ساله گونه توسکا بیلاقی پرورش‌یافته در نهالستان کلوده استفاده شد. شایان ذکر است بذور توسکا از منطقه‌ای واقع در ۳۰ کیلومتری شهرستان آمل به سمت جاده هراز با ارتفاع ۴۰۰ متر از سطح دریا تهیه شده بودند. گلدان‌ها در اواخر زمستان ۱۳۹۶ در یک فضای جداگانه نگهداری و مطابق مدیریت رایج نهالستان تا اواخر اردیبهشت آبیاری (بارانی) و وجین شدند. سپس نهال‌ها از گلدان های پلاستیکی خارج و در گلدان‌های بزرگ‌تری (۲۲ × ۲۳ سانتی‌متر) با کاشت شدند. خاک مورد استفاده گلدان‌ها به نسبت شش سهم خاک رایج نهالستان (بافت لومی رسی) و یک سهم ماسه (بدون اضافه کردن کود) با pH برابر با ۸/۰۴ بود. گلدان‌ها پس از گذشت ۱۰ روز از نهالستان کلوده به دانشکده منابع طبیعی نور برای انجام تنش غرقابی منتقل شدند. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی و تیمار رژیم آبی در سه سطح شاهد، غرقابی سطح یک (سه سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک گلدان‌ها) و غرقابی سطح دو (۱۵ سانتی‌متر بالاتر از سطح خاک گلدان‌ها) و با ۴ تکرار ۴ تایی مورد آزمایش

کلر) را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Kozłowski, 1997). غرقابی فرآیند آمونیفیکاسیون نیتروژن خاک را افزایش می‌دهد، درحالی‌که فرآیند نیتریفیکاسیون را کند می‌کند. علاوه بر این، عناصر سنگین (مانند آهن، منگنز و روی) ممکن است به حالت محلول درآمده و سبب آلودگی و سمیت خاک شوند (Parad et al., 2014b). در این شرایط، گیاهان سازگار به شرایط غرقابی از طریق تولید ریشه‌های نابجا در قسمت‌های بالایی، اکسیژن لازم برای قسمت‌های غوطه‌ور در آب را فراهم می‌کنند (Striker and Colmer, 2017). طی تحقیقی که توسط Schmul and Thomas (2000) روی گونه‌های *Fagus sylvatica* و *Q. petraea*, *Quercus robur* L. با غرقابی متناوب به مدت ۱۷ هفته انجام شد، غلظت کلسیم و پتاسیم در هر سه گونه تحت تأثیر غرقابی کاهش یافته بود. در گونه *Fagus sylvatica* غلظت منگنز و آهن در نهال‌های غرقابی نسبت به شاهد بیشتر بود. همچنین، Kreuzwieser et al. (2002) اثرهای غرقابی را روی متابولیسم نیتروژن گونه‌های *Fagus sylvatica* و *Quercus robur sylvatica* مورد آزمایش قرار دادند. به‌طور کلی، غرقابی به شدت متابولیسم نیتروژن را در گونه *F. sylvatica* تحت تأثیر قرار داده بود، درحالی‌که تأثیر کمتری روی گونه *Q. robur* داشت و تقریباً هیچ‌گونه تأثیری روی گونه *P. alba* نداشت. در پژوهشی که Chen et al. (2005) روی اکوفیزیولوژی گونه *Lepidium latifolium* تحت تنش غرقابی با عمق یک سانتی‌متر در طول ۵۰ روز داشتند، غلظت نیتروژن، پتاسیم، فسفر و روی در برگ گیاهان غرقابی نسبت به شاهد کمتر بود. از طرف دیگر، غلظت آهن و منگنز گیاهان غرقاب شده به ترتیب در برگ دو و هشت برابر و در ریشه ۱۵ و ۱۵۰ برابر نسبت به شاهد بیشتر بود. به‌علاوه، Parad et al. (2014b) در تحقیقی روی بلندمازو دریافتند که در پایان دوره ۵ ماهه، غرقابی

غرقابی ۳ سانتی متر هر روز آب‌دهی تا سطح ۳ سانتی - متری بالای سطح خاک گلدان‌ها (با توجه به شرایط جوی به طور متوسط حدود ۰/۷۵ لیتر) انجام شد. همچنین در سطح ۲ غرقابی هر ۲ روز (تا رسیدن به سطح مورد نظر) آب‌دهی انجام شد.

برای اندازه‌گیری عناصر برگ در پایان دوره، برای هر تکرار، نمونه‌های برگ از قسمت بالایی نهال گرفته شده و به مدت ۴۸ ساعت در دمای 70°C در آن خشک شدند. نمونه‌های خاک نیز از گلدان‌ها تهیه و خشک شد و با استفاده از الک ۲ میلی متر غربال شدند. برای تعیین مقدار آهن، منگنز، روی، پتاسیم، کلسیم و منیزیم از دستگاه جذب اتمی (Riberio et al., 2002) برای تعیین غلظت نیتروژن از دستگاه کج‌دال و برای تعیین غلظت فسفر نیز به روش مولیدن و وانادات، از دستگاه اسپکتروفتومتر استفاده شد (Riberio et al., 2002). برای تعیین کربن آلی خاک از روش والکلی و بلک استفاده شد (Nelson and Sommers, 1983). برای اندازه‌گیری مقدار مواد آلی برگ، از هر تکرار مقدار ۲ گرم برگ خشک‌شده وزن شد و پس از قراردادن در داخل کوره با دمای 500°C ، مقدار خاکستر به دست آمده را توزین نموده و آن مقدار را از وزن اولیه کم کرده و عدد حاصل به‌عنوان ماده آلی در نظر گرفته شد و همچنین ۵۸ درصد ماده آلی به‌عنوان کربن مدنظر قرار گرفت (Xuluc-Tolosa et al., 2003).

تجزیه و تحلیل

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS.17 و طراحی نمودار با نرم‌افزار Excel انجام شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف - اسمیرنوف و همگنی واریانس از آزمون لون استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها برای تعیین سطح معنی‌داری از آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون Duncan در سطح اطمینان ۵ درصد استفاده شد.

قرار گرفت. برای اجرای آزمایش از بین ۶۰ نهال موجود تعداد ۴۸ اصله از بهترین و همسان‌ترین نهال‌ها انتخاب شد. آزمایش در شرایط باز محیط در محوطه دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، شهرستان نور و طی یک دوره ۱۲۰ روزه انجام شد. همچنین، میانگین حداقل و حداکثر دما و متوسط مقدار بارش در طول دوره آزمایش، به ترتیب ۱۹، ۴۰ درجه سانتی‌گراد و ۷۱ میلی - متر بود. بعد از بازکاشت و قبل از اعمال غرقابی خاک گلدان‌ها بر اساس ظرفیت زراعی مورد آب‌دهی قرار گرفت و برای زهکشی بهتر نهال‌ها زیر هر یک از گلدان‌ها منفذ ایجاد شد. در اواسط خرداد ۱۳۹۷، تیمار غرقابی در سه سطح شاهد (آب‌دهی بر اساس ظرفیت زراعی خاک مورد استفاده در گلدان) غرقابی به اندازه ۳ سانتی متر بالای سطح خاک (غرقابی سطحی) و غرقابی به اندازه ۱۵ سانتی متر بالای سطح خاک (غرقابی عمقی) مورد آزمایش قرار گرفت و تا اواسط مهر ادامه داشت. برای اعمال غرقابی با سطح ۱۵ سانتی متر، قبلاً یک حوضچه (۲/۵ متر عرض و ۳/۵ متر طول و ۰/۵ متر عمق) با استفاده از بلوک ساخته و سطوح جانبی داخلی آن با کیسه پلاستیکی پوشیده شده تا مانع از زهکشی خاک شود و سپس نهال‌های گلدانی در آن‌ها قرار داده شدند و حوضچه تا سطح ۱۵ سانتی متر بالای خاک گلدان از آب پر شد. برای حفظ حالت غرقابی عمقی روزانه مقداری آب به حوضچه اضافه می‌شد که سطح غرقابی حدود ۱۵ سانتی متر بالای سطح خاک گلدان حفظ شود (با توجه به اینکه مقدار حجم آبی که روزانه در داخل حوضچه هدر می‌رفت قابل اندازه‌گیری نبود، در نتیجه مقدار آبی که روزانه اضافه می‌شد مشخص نبود). در غرقابی سطحی، برای عدم نفوذ آب گلدان و زهکشی خاک، نهال‌ها ابتدا در داخل نایلون - هایی که بدون منفذ بوده، قرار گرفت و سپس به گلدان - های پلاستیکی منتقل شد. برای حفظ حالت سطح

و ضریب کشیدگی در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است. نزدیک بودن مقادیر میانگین و میانه و همچنین دامنه تغییرات ضریب چولگی و کشیدگی نشان‌دهنده نرمال بودن تقریبی داده‌ها است. ضریب تغییرات نشان می‌دهد تغییرپذیری عناصر در منگنز کمترین مقدار و در نیتروژن و فسفر بیشترین مقدار بوده و در کل تغییرپذیری عناصر پایین بوده است. در برگ بیشترین درصد تغییرپذیری در پتاسیم و کمترین درصد در کربن بوده است.

آنالیز داده‌های غیرنرمال با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک معادل پارامتریک انجام شد و برای تعیین ارتباط بین عناصر خاک و برگ نیز از رگرسیون خطی استفاده شد.

نتایج

آمار توصیفی عناصر غذایی ماکرو و میکرو اندازه‌گیری شده در خاک و برگ شامل آماره‌های میانگین، میانه، کمینه و بیشینه، دامنه، ضریب تغییرات، ضریب چولگی

جدول ۱- نتایج آمار توصیفی عناصر ماکرو و میکرو خاک در نهال‌های توسکا ییلاقی

Table 1. Descriptive statistics of soil macro and micro elements in *Alnus subcordata* seedlings

عناصر Elements	میانگین Mean	میانه Median	کمینه Min	بیشینه Max	دامنه Range	ضریب تغییرات Coefficient of variation	ضریب چولگی Skewness	ضریب کشیدگی Kurtosis
نیتروژن (درصد) N (percent)	0.35	0.315	0.21	0.61	0.4	0.41	0.842	-0.654
فسفر (ppm) P (ppm)	0.48	0.396	0.25	0.87	0.63	0.41	1.05	0.154
پتاسیم (ppm) K (ppm)	10.05	10	5.5	15.6	10.1	0.33	0.185	-0.796
کلسیم (ppm) Ca (ppm)	88.16	88.5	71	106.5	35.5	0.12	0.042	-0.424
منیزیم (ppm) Mg (ppm)	26.42	27.05	18.05	30.6	12.55	0.13	-1.619	3.597
آهن (ppm) Fe (ppm)	11511.1	12662.5	7318.75	13581.25	6262.5	0.21	-1.08	-0.583
منگنز (ppm) Mn (ppm)	253.66	262.5	205.75	282	76.25	0.1	-1.22	0.373
روی (ppm) Zn (ppm)	30.5	30.25	24.75	38	13.25	0.12	0.582	0.728
کربن (درصد) C (percent)	0.34	0.33	0.24	0.48	0.24	0.22	0.335	-0.061

جدول ۲- آمار توصیفی عناصر ماکرو و میکرو برگ در نهال‌های توسکا ییلاقی

عناصر	میانگین	میان	کمینه	بیشینه	دامنه	ضریب تغییرات	ضریب چولگی	ضریب کشیدگی
Elements	Mean	Median	Minimum	Maximum	Range	Coefficient of variation	Skewness	Kurtosis
نیتروژن (درصد)	2.54	1.56	1.20	4.94	3.74	0.67	0.831	-1.686
N (percent)								
فسفر (ppm)	116.62	101.56	76.36	181.75	105.39	0.32	0.515	-1.185
P (ppm)								
پتاسیم (ppm)	3343.33	2100.00	320.00	7300.00	6980.00	0.83	0.619	-1.429
K (ppm)								
کلسیم (ppm)	5755.55	4300.00	1200.00	11400.00	10200.00	0.63	0.720	-0.743
Ca (ppm)								
منیزیم (ppm)	2455.55	2250.00	1160.00	4280.00	3120.00	0.41	0.675	-0.495
Mg (ppm)								
آهن (ppm)	307.61	387.00	93.50	477.00	383.50	0.51	-0.530	-1.790
Fe (ppm)								
منگنز (ppm)	102.66	120.00	33.00	170.00	137.00	0.49	-0.457	-1.455
Mn (ppm)								
روی (ppm)	36.50	32.50	20.00	58.50	38.50	0.36	0.549	-0.852
Zn (ppm)								
کربن (درصد)	3.86	3.65	2.26	5.48	3.22	0.31	-0.016	-1.731
C (percent)								

عناصر خاک

غرقابی سطحی و عمقی تفاوتی وجود نداشت (شکل ۱). هر دو عنصر آهن و منگنز خاک در شرایط غرقابی افزایش یافتند، اما در بین سطوح غرقابی فرقی نکردند. (شکل ۱). غرقابی تأثیر معنی‌داری روی غلظت عناصر منیزیم، کلسیم، روی و کربن آلی خاک نهال‌ها نداشت (شکل ۱).

همان‌طور که نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان می‌دهد بین غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، آهن و منگنز در خاک نهال‌ها در سطوح مختلف تیمار اختلاف معنی‌داری ($p < 0.05$) وجود دارد (جدول ۳). شرایط غرقابی موجب کاهش غلظت عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم خاک نهال‌ها شد و بین دو سطح

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) عناصر خاک در سطوح مختلف تیمار

Table 3. Results of One-way ANOVA analysis for soil elements in different treatment

P- value	F- value	عناصر خاک
		Leaf elements
0.004**	15.72	نیتروژن (درصد)
		N (percent)
0.004**	16.44	فسفر (ppm)
		P (ppm)

** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. ns عدم تفاوت معنی‌دار

** : $P \leq 0.01$, * : $P \leq 0.05$, ns : $P > 0.05$

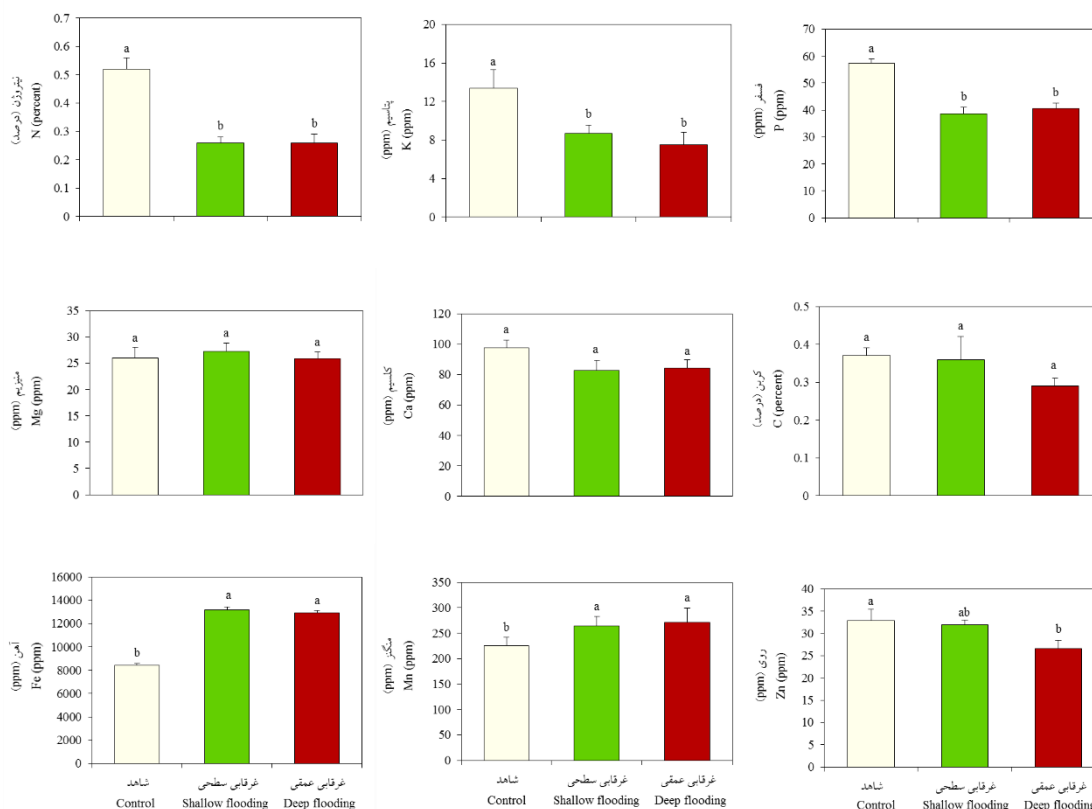
ادامه جدول ۳.

Continued table 3.

P- value	F- value	عناصر خاک Leaf elements
0.023*	7.06	پتاسیم (ppm) K (ppm)
0.211 ^{ns}	2.02	کلسیم (ppm) Ca (ppm)
0.913 ^{ns}	0.093	منیزیم (ppm) Mg (ppm)
0.001**	25.72	آهن (ppm) Fe (ppm)
0.041*	5.67	منگنز (ppm) Mn (ppm)
0.073 ^{ns}	4.169	روی (ppm) Zn (ppm)
0.513 ^{ns}	0.748	کربن (درصد) C (percent)

** معنی داری در سطح ۰/۰۱، * معنی داری در سطح ۰/۰۵، ns عدم تفاوت معنی دار

** : $P \leq 0.01$, * : $P \leq 0.05$, ns : $P > 0.05$



شکل ۱- مقایسه میانگین عناصر خاک نهال در سطوح مختلف تیمار با استفاده از آزمون Duncan، معنی داری در سطح ۰/۰۵

Figure 1. Mean comparison of soil elements in different treatment by Duncan test ($P < 0.05$)

عناصر برگ

سطوح غرقابی تفاوتی وجود ندارد. همچنین غلظت آهن و منگنز برگ در نهال‌های غرقابی در مقایسه با شاهد به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲). به‌علاوه، مقدار منگنز و آهن برگ نهال‌ها در سطوح غرقابی بیشتر از مقدار متوسط این عنصر در گیاه بود (جدول ۲)، همچنین مقدار روی برگ نهال‌ها در تمامی سطوح تیمار مطابق مقدار متوسط بود.

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه نشان داد که بین همه عناصر برگ نهال‌ها در سطوح مختلف تیمار اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۴).

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود غلظت عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم، روی، کربن آلی و کلسیم در برگ نهال‌های توسکا در سطوح غرقابی نسبت به شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافت و بین

جدول ۴- نتایج تجزیه واریانس یک‌طرفه (One-way ANOVA) عناصر برگ در سطوح مختلف تیمار

Table 4. Results of One-way ANOVA analysis for leaf elements in different treatment

P- value	F- value	عناصر برگ Leaf elements
0.000**	32.80	نیتروژن (درصد) N (percent)
0.022*	7.76	فسفر (ppm) P ppm
0.000**	60.22	پتاسیم (ppm) K (ppm)
0.003**	17.33	کلسیم (ppm) Ca (ppm)
0.009**	11.39	منیزیم (ppm) Mg (ppm)
0.000**	38.62	آهن (ppm) Fe (ppm)
0.037*	6.02	منگنز (ppm) Mn (ppm)
0.042*	4.853	روی (ppm) Zn (ppm)
0.025*	7.26	کربن (درصد) C (percent)

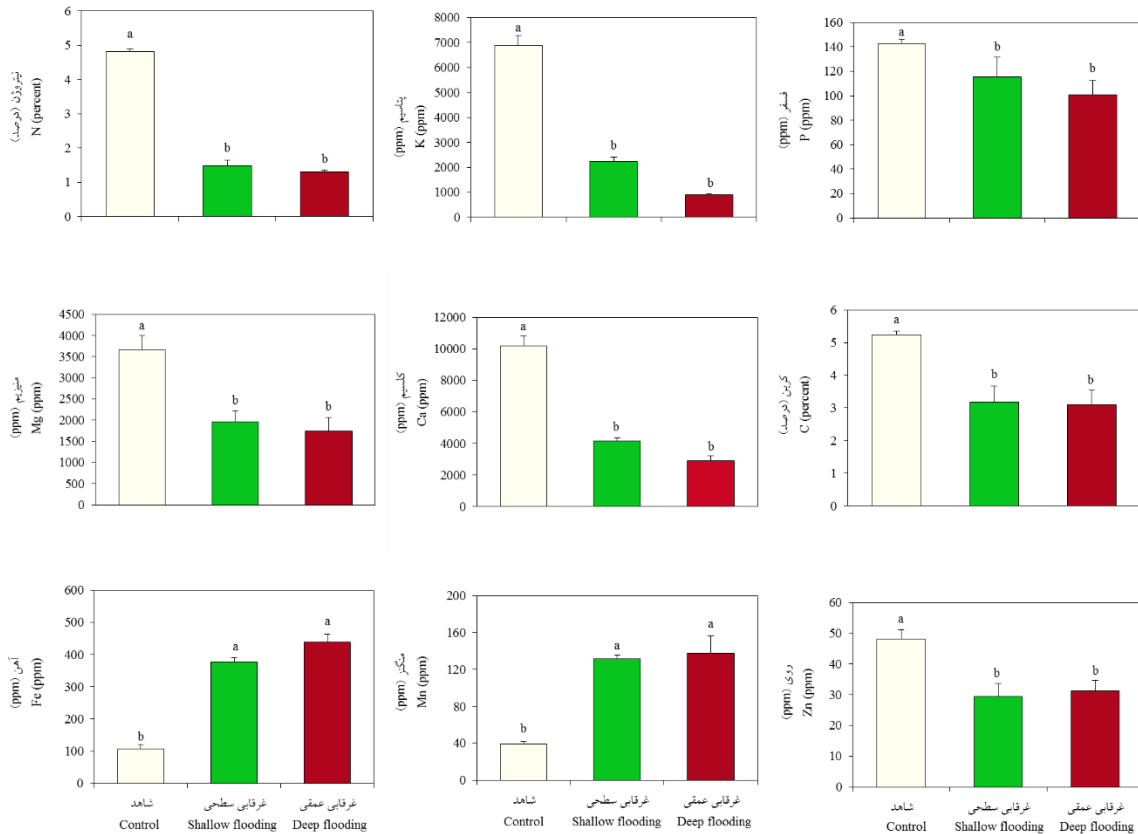
** معنی‌داری در سطح ۰/۰۱. * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵. ns عدم تفاوت معنی‌دار

** : $P \leq 0.01$, * : $P \leq 0.05$, ns : $P > 0.05$

ارتباط بین عناصر خاک و برگ

مثبت و معنی‌داری وجود دارد، ولی بین غلظت منیزیم خاک و برگ همبستگی معنی‌دار و منفی موجود است. همچنین در عناصر کلسیم، روی و کربن آلی همبستگی معنی‌داری بین خاک و برگ وجود نداشت.

شکل ۳ ارتباط عناصر خاک و برگ در نهال‌های توسکا بیلاقی را نشان می‌دهد. بین غلظت عناصر نیتروژن، آهن، منگنز، فسفر و پتاسیم خاک و برگ همبستگی



شکل ۲- مقایسه میانگین عناصر برگ نهال در سطوح مختلف تیمار با استفاده از آزمون Duncan، معنی داری در سطح ۰/۰۵.

Figure 2. Mean comparison of leaf elements in different treatment by Duncan test ($P < 0.05$)

در شرایط غرقابی به شکل مسمومیت و یا کمبود عناصر غذایی ظاهر می‌شود.

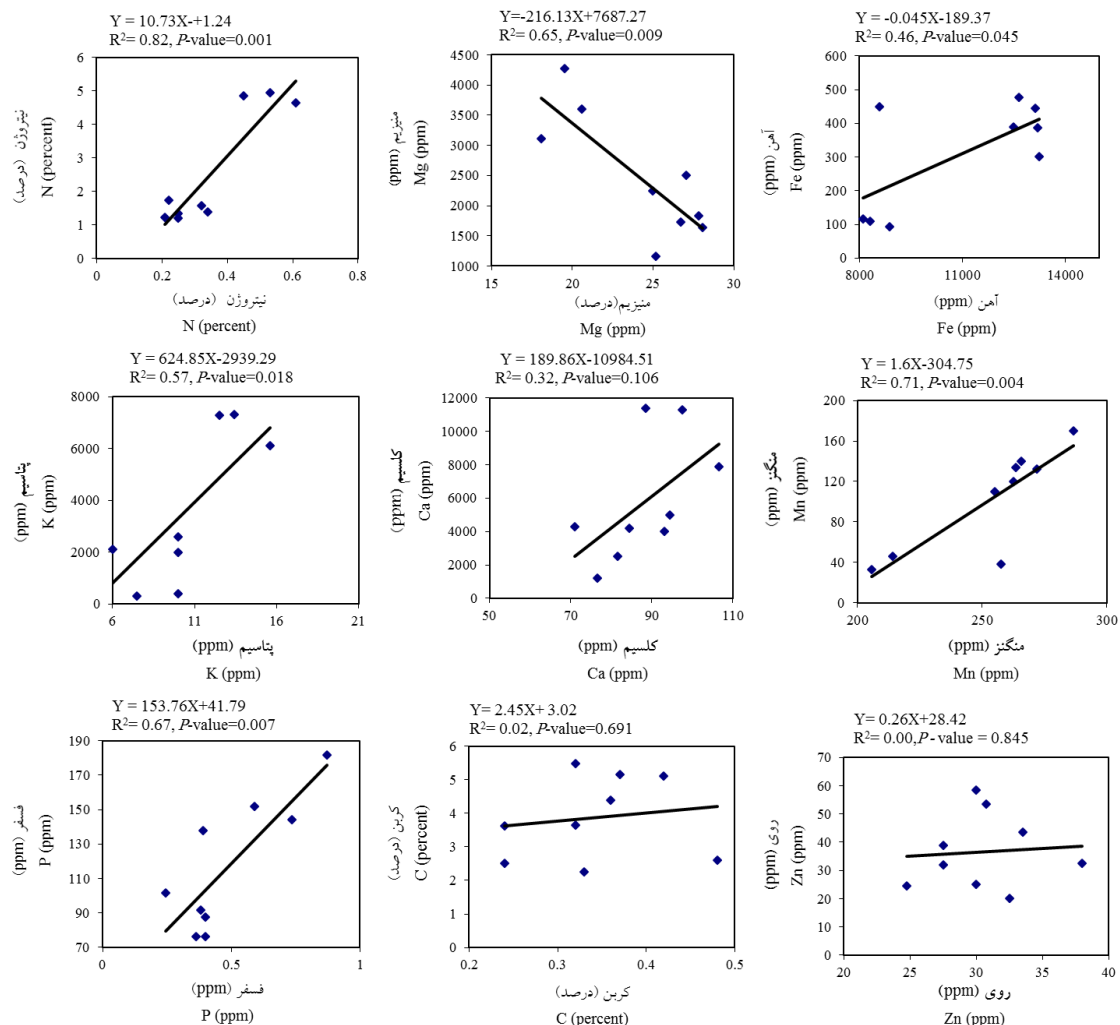
تحت شرایط غرقابی پتانسیل اکسایش-کاهش محیط خاک تغییر یافته و در نتیجه مشخصه‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک تغییر می‌یابد (Guifeng et al., 2008). در این پژوهش، غرقابی سبب تغییر غلظت برخی عناصر خاک شد که این تغییر در عناصر سنگین آهن، منگنز و عناصر ماکرو پتاسیم و نیتروژن نسبت به بقیه قابل ملاحظه‌تر بود. سطوح غرقابی سطحی و عمقی تأثیرات یکسانی بر مقدار تغییرات عناصر داشت. Gilliam et al. (1999) گزارش کردند تحت تأثیر غرقابی، غلظت نیتروژن، فسفر و کلسیم خاک کاهش و غلظت آهن و منگنز افزایش یافت، همچنین غلظت روی، پتاسیم و منیزیم تغییری

بحث

گیاهان در هر مرحله از رشد و نمو خود به مقدار کافی از عناصر ماکرو (ازت، فسفر و پتاسیم) و میکرو (آهن، روی و منگنز) نیاز دارند که این مواد غذایی نقش مهمی در فرآیندهای مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی برای افزایش مقاومت در مقابل تنش‌های زیست محیطی ایفا می‌کنند (Fageria et al., 2002; López Arredondo et al., 2013). غرقابی اثرهای نامطلوب شدیدی بر وضعیت شیمیایی و زیستی خاک دارد و می‌تواند سبب ایجاد محیط بی‌هوایی در خاک شود که تأثیرات آن به صورت کاهش در جذب آب و عناصر تغذیه‌ای از طریق ریشه در گیاهان تحت تنش ظاهر شود (Di Bella et al., 2020). تنش عناصر غذایی

توجهی نداشتند. Sahrawat (2005) گزارش کرد که به طور کلی غلظت نیتروژن، کربن آلی، یون‌های فریک (Fe^{3+}) و روی در خاک‌های غرقابی کاهش یافت.

نکرد. Gilmour and Gale (1998) در تحقیقی مشاهده کردند که غلظت منیزیم، پتاسیم، کلسیم، روی و مس در خاک‌های غرقابی به‌طور جزئی کاهش و یا تغییر قابل



شکل ۳- رابطه رگرسیونی عناصر خاک و برگ در نهال‌های توسکا بیلاقی. محور افقی مربوط به عناصر خاک و محور عمودی عناصر برگ است

Figure 3. Regression of soil and leaf elements in *Alnus subcordata* seedlings. The horizontal axis represents soil elements and the vertical axis represents leaf elements

نیتروژن از طریق دنیتریفیکاسیون اتفاق می‌افتد، که در آن نیترات به‌عنوان پذیرنده الکترون برای میکروبی‌های بی‌هوازی عمل می‌کند (Kozłowski, 1997).
تحت شرایط غرقابی، محلول‌های آهن و منگنز در خاک و برگ گیاه افزایش می‌یابد (Parad et al., 2014b). برخی پژوهشگران عقیده دارند که غلظت

گیاهان در معرض تنش غرقابی با کمبود نیتروژن مواجه هستند. یکی از عوامل کاهش نیتروژن تحت تنش غرقابی این است که در خاک‌های غرقابی NO_3^- به سرعت تخلیه شده، به‌طوری که اکسیژن به‌سرعت توسط موجودات خاک مصرف شده و موجب توسعه شرایط بی‌هوازی می‌شود. در نتیجه ازدست رفتن

گیاهان شود (Mancuso and Shabala, 2010). الگو- های پاسخ نهال‌های توسکا بیلاقی به غرقابی مشابه نتایج به‌دست‌آمده از دیگر تحقیقات است (Pezeshki, Chen et al., 2001, Striker and Colmer., 2017, et al., 2005). غلظت نیتروژن همانند غلظت‌های فسفر، پتاسیم، منیزیم، کلسیم، کربن و روی تحت تأثیر شرایط غرقابی کاهش یافت و مشاهده شد که برگ‌های گیاهان غرقاب‌شده نسبت به گیاهان شاهد تغییر رنگ داده و شروع به ریزش کردند که به‌نظر می‌رسد یکی از عوامل این اتفاق به‌دلیل پدیده نیترات‌زدایی است. در پی این فرآیند بخشی از نیتروژن خاک به‌صورت گاز از محیط خاک و از دسترس گیاه خارج می‌شود، در نتیجه انتقال آن به اندام هوایی گیاه هم کاهش می‌یابد و علائم آن به‌صورت تغییر رنگ برگ‌های مسن گیاه به سبز روشن تا زردی کامل پدیدار می‌شود (Kozłowski, 1997). کاهش تجمع نیتروژن در اندام‌های هوایی گیاهان تثبیت‌کننده ازت در شرایط غرقابی تا حدودی نتیجه کاهش در گره‌های حاوی باکتری‌های تثبیت‌کننده ازت (*Rhizobium spp.*) در ریشه‌های آن‌ها است (Kaelke and Dawson, 2003).

در تنش غرقابی با تبدیل Fe^{3+} و Mn^{3+} به Fe^{2+} و Mn^{2+} که فوق‌العاده محلول هستند، جذب آهن و منگنز توسط ریشه‌ها به‌شدت افزایش یافته، در نتیجه سبب مسمومیت گیاه می‌شوند (Colmer et al., 2019). علائم مسمومیت در وهله اول شامل کلروزه و نکروزه شدن حاشیه برگ‌ها است و همچنین ممکن است موجب مسمومیت ریشه‌ها شود (Hasanzadeh Ghort Tapeh and Ghiasi, 2008). در تحقیق حاضر، مقدار منگنز و آهن برگ نهال‌ها تحت تأثیر غرقابی بیشتر از مقدار متوسط این عناصر در گیاه با خاک غیراشباع بود که ممکن است موجب مسمومیت گیاه شده باشد. همچنین افزایش مقدار آهن در ریشه نهال‌ها ممکن است موجب

بالای محلول‌های آهن در رویشگاه‌های غرقابی ممکن است فراوانی گونه‌ها را کاهش داده و یا آن‌ها را حذف کند (Jones and Etherington, 1970). البته در این پژوهش اگرچه مقدار عناصر آهن و منگنز در خاک تحت تأثیر غرقابی افزایش یافت اما مقدار این عناصر مطابق با مقدار متوسط بود. در این ارتباط (2012) Salardini مقدار متوسط آهن در خاک را بین ۵۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ و مقدار منگنز را بین ۲۰۰ تا ۱۰۰۰۰ پی‌پی‌ام عنوان کردند که طبق نتایج به‌دست‌آمده می‌توان نتیجه گرفت که غرقابی موجب مسمومیت خاک نشده است. همچنین در این پژوهش، تحت تأثیر غرقابی مقدار بیشتر عناصر برگ به‌جز آهن و منگنز که غلظت آن‌ها افزایش یافته بود، کاهش یافت و شدت تغییرات در غلظت نیتروژن، پتاسیم، منگنز و آهن قابل ملاحظه‌تر بود. به‌علاوه، تفاوتی بین دو سطح غرقابی سطحی و عمقی روی تغییرات عناصر مورد اندازه‌گیری در برگ مشاهده نشد. تنش غرقابی ممکن است جذب آب و عناصر را به‌طور مستقیم از طریق افزایش نفوذپذیری ریشه‌ها در آب و به‌طور غیرمستقیم از طریق کاهش اندازه و حجم ریشه گیاهان، به‌علاوه کاهش جذب یون در واحد وزن ریشه به‌شدت کاهش دهد (Alam, 1999; Mancuso & Shabala, 2010). شواهد زیادی نشان می‌دهد که اختلال در عملکرد جذب مواد غذایی به‌وسیله ریشه‌ها تحت تأثیر غرقابی عمدتاً به‌دلیل فقدان اکسیژن همراه با اثرهای مضر متابولیکی است (Chapin, 1999). (Pang et al., 2007) نشان دادند که تحت شرایط ناکافی اکسیژن تخمیر محصولات حاصل از میکروب‌های خاک می‌تواند منجر به کاهش جذب یون‌ها شود. همچنین پایین‌بودن تنظیمات سیستم انتقالی که یک نوع استراتژی صرفه‌جویی انرژی در گیاهان است، می‌تواند موجب کاهش جذب مواد غذایی در

کمتری روی تجمع کلسیم و منیزیم نسبت به نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ داشته باشد. از این رو، غلظت آن‌ها به اندازه‌ای که در نیتروژن، فسفر و پتاسیم کاهش می‌یابد، تغییر نمی‌کند. با این حال، غلظت آن‌ها ممکن است به‌طور جزئی کاهش یابد و محتوای کلی آن‌ها نیز به دلیل متوقف شدن شدید رشد، کاهش محسوسی داشته باشد (Kozlowski, 1997).

نتایج نشان داد که بین غلظت بیشتر عناصر برگ و خاک همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. به‌طور کلی افزایش غلظت عناصر غذایی در گیاه به علت افزایش غلظت این عناصر در خاک است (Singh and Bhati, 2005, Rattan et al., 2005). در واقع عامل اصلی تعیین‌کننده غلظت عناصر در گیاه، محتوای عناصر موجود در خاک است (Rattan et al., 2005). Klinka (1997) and Wang نیز گزارش دادند که بین مقدار عناصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم برگ توده‌های طبیعی *Picea glauca* با مقدار همین عناصر در خاک ارتباط مثبتی وجود دارد. با این وجود (Sharma et al., 2007) با توجه به بررسی انجام شده مشاهده کردند که ضریب همبستگی عناصر خاک و گیاه در طول فصول مختلف سال تغییر می‌کند.

به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که غرقابی تأثیر منفی روی تغییرات غلظت عناصر غذایی ماکرو و میکرو برگ نهال‌های توسکا بیلاقی دارد. در واقع، تحت شرایط کمبود اکسیژن ناشی از شرایط مذکور، پتانسیل سیستم جذب ریشه تحت تأثیر قرار گرفته و در نتیجه سبب تغییر مقدار عناصر مختلف در گیاه می‌شود، که اثرهای این عامل به صورت سوختگی، نکروزه شدن و کلروزه شدن برگ خود را نشان داد. تفاوتی بین اثرهای غرقابی سطحی و عمقی روی تغییرات غلظت عناصر مورد اندازه‌گیری شده در خاک و برگ مشاهده نشد که نشان می‌دهد هر دو سطح تنش موجب ایجاد شرایط

کاهش جذب دیگر عناصر مانند فسفر شود (Yamauchi et al., 2018). (Pezeshki et al., 1999). گزارش کردند که غرقابی موجب کاهش مقدار منیزیم، فسفر، کلسیم و روی و افزایش آهن و منگنز در *Quercus nuttallii* و *Q. falcata* شد، در حالی که تأثیر خیلی جزئی روی مقدار این عناصر در سرو تالاب داشت. علاوه بر این (Parad et al., 2014b) نشان دادند که تنش غرقابی به‌طور معنی‌داری سبب کاهش غلظت نیتروژن، فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم در برگ گونه بلندمازو (*Quercus castaneifolia*) شد. همچنین کاهش مقدار روی در گیاهان تحت تنش غرقابی در بسیاری از پژوهش‌های گزارش شده است (Kashem and Singh, Vandecasteele et al., 2005). در نهال‌های ۴ ماهه گونه *Pinus taeda* L. تنش غرقابی غلظت کلی نیتروژن، روی، پتاسیم، فسفر، منیزیم، کلسیم و منگنز را کاهش یافته بود (Hook et al., 1983).

فسفر و پتاسیم از عناصر ماکرو هستند که رابطه تنگاتنگی بین غلظت آن‌ها در گیاه با شرایط تهویه خاک وجود دارد، به‌طوری‌که تحت تنش غرقابی کمبود آن‌ها در گیاهان مشاهده می‌شود (Hasanzadeh Ghort, Tapeh and Ghiasi, 2008). اثرهای بازدارندگی غرقابی روی جذب پتاسیم و فسفر همانند نیتروژن است و به دنبال غرقابی به دلیل تخریب سیستم ریشه‌ای غلظت فسفر و پتاسیم گیاه کاهش می‌یابد (Yamauchi et al., 2018). به نظر می‌رسد غرقابی سبب تغییر پتانسیل اکسایش-کاهش خاک شده که این امر جذب و آزادسازی فسفر و پتاسیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Cheng and Meng, 2020). کلسیم و منیزیم که از مهم‌ترین ترکیبات کلروفیل بوده که نقش مهمی در رشد و نمو گیاهان ایفا می‌کنند (Hashimoto and Kudla, 2011). به نظر می‌رسد غرقابی اثرهای بازدارندگی

محیط و همچنین شرایط رشد و پتانسیل گیاه برای مقابله با تنش‌های محیطی داشته باشد، بنابراین مدیریت صحیح مواد غذایی برای گیاه در شرایط تنش‌های زیستی بسیار ضروری است (Hossain et al., 2020). با توجه به تغییرات آب و هوایی و امکان بروز حوادث تنش‌زای زیست محیطی در آینده، شناخت و استفاده از گونه‌هایی که تحت تأثیر غرقابی از نظر شرایط جذب عناصر ماکرو و میکرو مقاومت و سازگاری بهتری دارند، می‌توان برای احیای مناطق باتلاقی و حاشیه رودخانه راهکار مناسبی باشد. پژوهش‌های آتی باید تأثیر سطوح دیگر تنش غرقابی را در دوره‌های متفاوت تر و روی گونه‌های دیگر برای دست‌یابی به اطلاعات علمی دقیق‌تر مورد بررسی قرار دهند.

References

- Alam, S. M., Nutrient uptake by plants under stress conditions. *Handbook of plant and crop stress* **1999**, 2, 285-313.
- Buraschi, F. B.; Mollard, F. P.; Grimoldi, A. A.; Striker, G. G., Eco-physiological traits related to recovery from complete submergence in the model legume *Lotus japonicus*. *Plants* **2020**, 9 (4), 538.
- Chapin, F.C., Integrated response of plants to stress. *Bioscience* **1999**, 41, 1-29.
- Chen, H.; Qualls, R. G.; Blank, R. R., Effect of soil flooding on photosynthesis, carbohydrate partitioning and nutrient uptake in the invasive exotic *Lepidium latifolium*. *Aquatic Botany* **2005**, 82 (4), 250-268.
- Cheng, J.; Meng, T. In *Preliminary Study on the Effect of Dry-wet Alternation on Soil Nutrient Elements*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing: 2020; p 052024.
- Colmer, T. D.; Kotula, L.; Malik, A. I.; Takahashi, H.; Konnerup, D.; Nakazono, M.; Pedersen, O., Rice acclimation to soil flooding: Low concentrations of organic acids can trigger a barrier to radial oxygen loss in roots. *Plant, cell & environment* **2019**, 42 (7), 2183-2197.
- Di Bella, C. E.; Kotula, L.; Striker, G. G.; Colmer, T. D., Submergence tolerance and recovery in *Lotus*: Variation among fifteen accessions in response to partial and

بی‌هوایی برای گیاه شده است. رژیم‌های هیدرولوژیکی موجود در مناطق باتلاقی و حاشیه رودخانه‌ها یک عامل مدیریتی بسیار مهم در تغییر و کاهش زیستی موجود در این مناطق است، بنابراین برای ایجاد یک مدیریت مطمئن در رابطه استقرار و زنده‌مانی گونه‌ها در این مناطق، آگاهی از وضعیت عناصر ماکرو و میکرو در طول تنش غرقابی در فصل رویش امری ضروری است. در واقع، برای مدیریت، احیا و حفاظت بهتر گیاهان نواحی باتلاقی و حاشیه رودخانه‌ها، علاوه بر شناخت چگونگی پاسخ گونه به غرقابی و همچنین دوره، عمق، زمان و تناوب غرقابی، اطلاع از مقدار عناصر غذایی خاک نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. تغییرات و عدم تعادل مواد غذایی می‌تواند اثرهای منفی روی

- complete submergence. *Journal of Plant Physiology* **2020**, 249, 153180.
- Fageria, N.; Baligar, V.; Clark, R., Micronutrients in crop production. *Advances in agronomy* **2002**, 77, 185-268.
- Gilliam, F.; May, J.; Fisher, M.; Evans, D., Short-term changes in soil nutrients during wetland creation. *Wetlands Ecology and Management* **1998**, 6 (4), 203-208.
- Gilmour, J.; Gale, P., Chemistry of metals and trace elements in a submerged soil. In *The ecology and management of wetlands*, Springer: 1988; pp 279-292.
- Glenz, C.; Schlaepfer, R.; Iorgulescu, I.; Kienast, F., Flooding tolerance of Central European tree and shrub species. *Forest Ecology and Management* **2006**, 235 (1-3), 1-13.
- Guifeng, W.; Ling, L., Juan, T., Phosphorus release from different soil layers during flooding [J]. *Environmental science and technology* **2008**, 31 (12), 21-23+139.
- Hasanzadeh Gorttapeh, A.; Ghiyasi, M., Waterlogging and that's Effect on Plant Ecophysiology. Jahad University of Orumieh Press: 2008.
- Hashimoto, K.; Kudla, J., Calcium decoding mechanisms in plants. *Biochimie* **2011**, 93 (12), 2054-2059.
- Hook, D.; DeBell, D.; McKee, W.; Askew, J., Responses of loblolly pine (mesophyte) and swamp tupelo (hydrophyte) seedlings to soil

- flooding and phosphorus. *Plant and Soil* **1983**, 71 (1), 387-394.
- Hossain, A.; Sabagh, A. E.; Erman, M.; Fahad, S.; Islam, T.; Bhatt, R.; Hasanuzzaman, M., Nutrient Management for Improving Abiotic Stress Tolerance in Legumes of the Family Fabaceae. In *The Plant Family Fabaceae*, Springer: 2020; pp 393-415.
- Jackson, M. B.; Ishizawa, K.; Ito, O., Evolution and mechanisms of plant tolerance to flooding stress. *Annals of Botany* **2009**, 103 (2), 137-142.
- Jones, H. E.; Etherington, J., Comparative studies of plant growth and distribution in relation to waterlogging: I. The survival of *Erica cinerea* L. and *E. tetralix* L. and its apparent relationship to iron and manganese uptake in waterlogged soil. *The Journal of Ecology* **1970**, 487-496.
- Kaelke, C.; Dawson, J., Seasonal flooding regimes influence survival, nitrogen fixation, and the partitioning of nitrogen and biomass in *Alnus incana* ssp. *rugosa*. In *Frankia Symbiosis*, Springer: 2003; pp 167-177.
- Kashem, M.; Singh, B., Metal availability in contaminated soils: I. Effects of flooding and organic matter on changes in Eh, pH and solubility of Cd, Ni and Zn. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* **2001**, 61 (3), 247-255.
- Kidd, D.; Di Bella, C.; Kotula, L.; Colmer, T.; Ryan, M.; Striker, G., Defining the waterlogging tolerance of *Ornithopus* spp. for the temperate pasture zone of southern Australia. *Crop and Pasture Science* **2020**, 71 (5), 506-516.
- Kotula, L.; Kwa, H. Y.; Nichols, P. G.; Colmer, T. D., Tolerance and recovery of the annual pasture legumes *Melilotus siculus*, *Trifolium michelianum* and *Medicago polymorpha* to soil salinity, soil waterlogging and the combination of these stresses. *Plant and Soil* **2019**, 444 (1), 267-280.
- Kozłowski, T., Responses of woody plants to flooding and salinity. *Tree physiology* **1997**, 17 (7), 490-490.
- Kreuzwieser, J.; Fürniss, S.; Rennenberg, H., Impact of waterlogging on the N-metabolism of flood tolerant and non-tolerant tree species. *Plant, Cell & Environment* **2002**, 25 (8), 1039-1049.
- López-Arredondo, D. L.; Leyva-González, M. A.; Alatorre-Cobos, F.; Herrera-Estrella, L., Biotechnology of nutrient uptake and assimilation in plants. *International Journal of Developmental Biology* **2013**, 57 (6-7-8), 595-610.
- Majidi, T.; Taheri, M.; Aqajanlou, F.; Mousavi, A.; Shojaei, M.; Tokasi, M.; Moradi, P.; Heidari, F., A study on the adsorption of zinc, copper, cadmium and lead elements in leaves of some woody species. *Journal of Forest Research and Development* **2016**, 1 (4), 271-284.
- Mancuso, S.; Shabala, S., *Waterlogging signalling and tolerance in plants*. Springer: 2010.
- Manzur, M.; Grimoldi, A.; Striker, G., The forage grass *Paspalum dilatatum* tolerates partial but not complete submergence caused by either deep water or repeated defoliation. *Crop and Pasture Science* **2020**, 71 (2), 190-198.
- Nelson, D.; Sommers, L. E., Total carbon, organic carbon, and organic matter. *Methods of soil analysis: Part 2 chemical and microbiological properties* **1983**, 9, 539-579.
- Pang, J.; Ross, J.; Zhou, M.; Mendham, N.; Shabala, S., Amelioration of detrimental effects of waterlogging by foliar nutrient sprays in barley. *Functional Plant Biology* **2007**, 34 (3), 221-227.
- Parad, G. A.; Kouchaksaraei, M. T.; Striker, G. G.; Sadati, S. E.; Nourmohammadi, K., Growth, morphology and gas exchange responses of two-year-old *Quercus castaneifolia* seedlings to flooding stress. *Scandinavian Journal of Forest Research* **2016**, 31 (5), 458-466.
- Parad, G. A.; Zarafshar, M.; Striker, G. G.; Sattarian, A., Some physiological and morphological responses of *Pyrus boissieriana* to flooding. *Trees* **2013**, 27 (5), 1387-1393.
- Parad, G.; Tabari, M.; Sadati, S. E., Effect of permanent and periodic flooding treatments on growth, morphological and physiological characteristics of one-year old potted seedlings of *Quercus castaneifolia* in Noor lowland. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2014**, 20 (4), 167-181.
- Parad, G.A.; Tabari, M. Sadati, E., Changes of macro and micro elements concentration in shoots and soil of *Quercus castaneifolia* seedling grown in flooding conditions. *Iranian Journal of Forest* **2014a**, 6 (1), 23-34.
- Parad, G.A., Tabri, M.; Sadati, E., Survival, Growth and Biomass Allocation in Seedlings of Common ash (*Fraxinus excelsior* L.) as

- affected by flooding Stress. *Applied Biology* **2013**, 26 (1), 9-20.
- Pezeshki, S., Wetland plant responses to soil flooding. *Environmental and Experimental Botany* **2001**, 46 (3), 299-312.
- Pezeshki, S.; DeLaune, R.; Anderson, P., Effect of flooding on elemental uptake and biomass allocation in seedlings of three bottomland tree species. *Journal of Plant Nutrition* **1999**, 22 (9), 1481-1494.
- Ploschuk, R. A.; Miralles, D. J.; Colmer, T. D.; Ploschuk, E. L.; Striker, G. G., Waterlogging of winter crops at early and late stages: impacts on leaf physiology, growth and yield. *Frontiers in plant science* **2018**, 9, 1863.
- Ploschuk, R. A.; Miralles, D. J.; Colmer, T. D.; Striker, G. G., Waterlogging differentially affects yield and its components in wheat, barley, rapeseed and field pea depending on the timing of occurrence. *Journal of Agronomy and Crop Science* **2020**, 206 (3), 363-375.
- Rattan, R.; Datta, S.; Chhonkar, P.; Suribabu, K.; Singh, A., Long-term impact of irrigation with sewage effluents on heavy metal content in soils, crops and groundwater—a case study. *Agriculture, ecosystems & environment* **2005**, 109 (3-4), 310-322.
- Ribeiro, C.; Madeira, M.; Araújo, M., Decomposition and nutrient release from leaf litter of Eucalyptus globulus grown under different water and nutrient regimes. *Forest Ecology and Management* **2002**, 171 (1-2), 31-41.
- Sahrawat, K., Fertility and organic matter in submerged rice soils. *Current science* **2005**, 735-739.
- Salardini, A.A., Soil Fertility. University of Tehran Press, 2012.
- Schmull, M.; Thomas, F. M., Morphological and physiological reactions of young deciduous trees (*Quercus robur* L., *Q. petraea* [Matt.] Liebl., *Fagus sylvatica* L.) to waterlogging. *Plant and Soil* **2000**, 225 (1), 227-242.
- Setter, T.; Waters, I.; Sharma, S.; Singh, K.; Kulshreshtha, N.; Yaduvanshi, N.; Ram, P.; Singh, B.; Rane, J.; McDonald, G., Review of wheat improvement for waterlogging tolerance in Australia and India: the importance of anaerobiosis and element toxicities associated with different soils. *Annals of Botany* **2009**, 103 (2), 221-235.
- Sharma, R. K.; Agrawal, M.; Marshall, F., Heavy metal contamination of soil and vegetables in suburban areas of Varanasi, India. *Ecotoxicology and environmental safety* **2007**, 66 (2), 258-266.
- Singh, G.; Bhati, M., Growth of *Dalbergia sissoo* in desert regions of western India using municipal effluent and the subsequent changes in soil and plant chemistry. *Bioresource Technology* **2005**, 96 (9), 1019-1028.
- Striker, G. G.; Colmer, T. D., Flooding tolerance of forage legumes. *Journal of Experimental Botany* **2017**, 68 (8), 1851-1872.
- Vandecasteele, B.; Du Laing, G.; Quataert, P.; Tack, F. M., Differences in Cd and Zn bioaccumulation for the flood-tolerant *Salix cinerea* rooting in seasonally flooded contaminated sediments. *Science of the total environment* **2005**, 341 (1-3), 251-263.
- Wang, G.; Klinka, K., White spruce foliar nutrient concentrations in relation to tree growth and soil nutrient amounts. *Forest Ecology and Management* **1997**, 98 (1), 89-99.
- Xuluc-Tolosa, F.; Vester, H.; Ramirez-Marcial, N.; Castellanos-Albores, J.; Lawrence, D., Leaf litter decomposition of tree species in three successional phases of tropical dry secondary forest in Campeche, Mexico. *Forest Ecology and Management* **2003**, 174 (1-3), 401-412.
- Yamauchi, T.; Colmer, T. D.; Pedersen, O.; Nakazono, M., Regulation of root traits for internal aeration and tolerance to soil waterlogging-flooding stress. *Plant physiology* **2018**, 176 (2), 1118-1130.

Variations of macro and micro nutrient concentration in soil and leaf of *Alnus subcordata* (L.) seedlings under flooding stress

A. Kianmehr¹, E. Ghanbary^{*2}, G. A. Parad³, M. Tabari⁴ and Z. Boor⁵

1- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Agriculture and Natural Resource University of Sari, Mazandaran, I. R. Iran. (atena.kianmehr@yahoo.com)

2- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, I. R. Iran. (ehsan.ghanbary29@yahoo.com)

3- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, I. R. Iran. (gh.parad64@yahoo.com)

4- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (mtabari@modares.ac.ir)

5- M.Sc. of Forestry, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences Noor, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran. (Zahra.boor.jangal@gmail.com)

Received: 19.07.2020 Accepted: 08.09.2020

Abstract

Flooding affects soils by altering soil structure, depleting O₂, accumulating CO₂, inducing anaerobic condition in soil, development of root rot, loss of mycorrhizae, and reductions in root metabolism, leads anaerobic decomposition of organic matter, and changing macro and micro elements of soil and leaf. In this experiment, the variations of macro and micro nutrient concentration in soil and leaf of *Alnus subcordata* (L.) seedlings under soil flooding stress were investigated during a 120-day outdoor experiment. Seedlings were subjected to three fixed treatments: 1) unflooded; 2) flooded to 3 cm depth and 3) flooded to 15 cm depth and their macro and micro nutrient concentration in leaf and soil were measured at the end of the experiment. Results indicated flooding had no effect on the concentration of Mg, Ca, Zn and organic C soil, while the concentration of P, N and K decreased and the concentration of Fe and Mn increased in the soil by flooding, although did not result in toxicity of elements of soil. In leaves of flooded seedlings, the concentrations of N, P, K, Zn, Ca, Mg and organic C decreased, but the concentrations of Mn and Fe increased to a detrimental level. In addition, there was a significant positive correlation between most of elements in soil and leaf. Generally, the results indicated that flooding changed the concentration of much elements in leaf and soil seedlings of *A. subcordata* that it is a current phenomenon in anaerobic condition of soil caused by flooding.

Keywords: Anaerobic conditions, Nutrient elements, Nitrogen, Organic carbon.

* Corresponding author

Tel: +989192375096