

Effects of Fluoride on germination, morphological and anatomical structure in *Rumex crispus* L.

Fatemeh Nejadhabivash

Department of Biology, Faculty of Science, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

Rumex is distributing all over the world that over 250 species have been reported. Almost 200 species in temperate regions of the Southern and Northern grow. *Rumex* leaves and flowers in treating bites, bruises, burns and as neutralizing venom are used. This plant is used as an active ingredient of a variety of medications. This study aimed to investigate the effect of different levels of sodium fluoride stress on germination and early seedling growth stages of *Rumex* seeds was conducted in a completely randomized design. In this experiment, different levels of stress include sodium fluoride at concentrations of 0 (treatments of control), 0.1, 0.5, and 1 mg F L⁻¹. The results showed that germination percentage was significant at 5% probability level, but the germination rate was not significant. The highest and lowest germination percentages were related to 0.1 mg L⁻¹ (39.99%) and 0.5 mg L⁻¹ (28.66%) treatments, respectively. Plumule and radicle length, fresh weight of plumule and radicle, radicle and plumule dry weight were significant at the 5 per cent level. Stress caused by sodium fluoride affects the germination of *Rumex* and seeds are sensitive to sodium fluoride. In the morphological study, harmful effects of sodium fluoride as necrosis, chlorosis, and wounds in the leaf, premature aging and wilting treated plants were observed. In roots and petioles, by increasing the concentration of sodium fluoride up to 0.5 mg L⁻¹, the thickness of the xylem and phloem decreased and increased with increasing concentration due to plant consistency. By increasing the concentration of sodium fluoride to 0.5 mg L⁻¹, the thickness of the xylem and phloem of root and petiole thickness decreased and with increasing the concentration of sodium fluoride due to plant adaptation increased. Also, by increasing the levels of sodium fluoride concentration to 0.5 mg L⁻¹ sodium fluoride, the thickness of the mesophylic and total leaf thickness decreased and then increased with increasing sodium fluoride concentration, which can be said decrease the leaf thickness due to increasing of fluoride due to reducing plant ability in the absorption of water leads to reduced growth. In general, the effect of sodium fluoride on the anatomical structure, morphology and germination characteristics of *Rumex crispus* L. was shown in this study.

Keywords: anatomical structure, germination, *Rumex*, sodium fluoride

* Corresponding Author: f.nejadhabivash@urmia.ac.ir

بررسی تأثیر فلوراید بر جوانه‌زنی، ساختار تشریحی و مورفولوژی ترشک (*Rumex crispus* L.)

فاطمه نژاد حبیب‌وش

گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

چکیده

جنس ترشک (*Rumex*) دارای بیش از ۲۵۰ گونه در دنیاست که تقریباً ۲۰۰ گونه از آن در مناطق معتدله جنوبی و شمالی کره زمین رشد می‌کنند. برگ و گل‌های ترشک در درمان نیش، کبودی، سوختگی و خنثی‌کنندگی سم استفاده می‌شوند و این گیاه به‌شکل ماده مؤثر در داروهای متنوع استفاده می‌شود. پژوهش حاضر به منظور بررسی اثر سطوح مختلف تنش سدیم فلوراید بر جوانه‌زنی بذرها و مراحل رشد اولیه گیاهچه ترشک در قالب طرح پایه کاملاً تصادفی انجام شد. تنش اعمال شده در این آزمایش شامل سطوح مختلف سدیم فلوراید با غلظت‌های صفر (تیمار شاهد)، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر بود و نتایج نشان دادند در بین تیمارهای بررسی شده، درصد جوانه‌زنی در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است، ولی سرعت جوانه‌زنی معنادار نیست. بیشترین و کمترین درصد جوانه‌زنی به ترتیب به تیمارهای ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر (۳۹/۹۹ درصد) و ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر (۲۸/۶۶ درصد) سدیم فلوراید مربوط بودند. طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن خشک ساقه‌چه و ریشه‌چه اختلاف معنادار آماری در بین تیمارهای بررسی شده داشتند. تنش ایجاد شده از طریق سدیم فلوراید، مرحله جوانه‌زنی بذرهای ترشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بذرهای ترشک به سدیم فلوراید حساسند. در بررسی ریخت‌شناختی، آثار زیان‌بار سدیم فلوراید به شکل بافت‌مردگی، زردشدگی، زخم در سطح پهنک برگ، پیری زودرس بوته گیاه و پژمردگی گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد مشاهده شدند. در بررسی تشریحی برگ، افزایش سطوح غلظت فلوراید سدیم سبب کاهش ضخامت کوتیکول، اپیدرم فوقانی و تحتانی برگ شد؛ در حالی که در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر سدیم فلوراید، این ویژگی‌ها افزایش یافتند. افزایش غلظت سدیم فلوراید تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر سبب کاهش ضخامت آوند آبکش و آوند چوبی ریشه و دمبرگ شد و با افزایش غلظت سدیم فلوراید، این ویژگی‌ها به علت سازگاری گیاه افزایش یافتند؛ همچنین افزایش سطوح غلظت سدیم فلوراید تا ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر فلوراید سدیم توانست ضخامت مزوفیل و کل برگ را کاهش دهد و با افزایش غلظت سدیم فلوراید، این ویژگی‌ها افزایش یافتند و می‌توان گفت کاهش ضخامت برگ در اثر افزایش فلوراید از کاهش توانایی گیاه در جذب آب ناشی و به کاهش رشد منجر می‌شود. در کل، تأثیر سدیم فلوراید بر ساختار تشریحی، ریخت‌شناسی و شاخص‌های جوانه‌زنی گیاه ترشک در پژوهش حاضر بررسی و اثبات شد.

واژه‌های کلیدی: جوانه‌زنی، ترشک، ساختار تشریحی، سدیم فلوراید

* نگارنده مسئول: نشانی پست الکترونیک: f.nejadhabibvash@urmia.ac.ir، شماره تماس: ۰۹۱۴۳۴۶۷۴۴۰

مقدمه

طولانی‌بودن زمان واکنش آب و سنگ، حضور فعال یون‌های سدیم و بیکربنات، فقر کلسیم و منیزیم و اسیدیته (Guo *et al.*, 2007). در خاک‌های غیرآلوده، غلظت فلوراید در بافت‌های گیاه کمتر از ۳۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک است (Kabata-Pendias, 2001)، اما در خاک‌های آلوده، گیاهان فلوراید را جذب و در خود انباشته می‌کنند. برخی گیاهان نشانه‌های سمیت را حتی در غلظت‌های زیاد فلوراید (تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم) نشان نمی‌دهند، اما سایر گیاهان نشانه‌های سمیت را در غلظت‌های کمتر فلوراید نیز نشان می‌دهند و برخی گونه‌های گیاهی حتی به غلظت‌های کمتر از ۲۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید حساسند (Stevens *et al.*, 1998).

فلوراید از طریق مصرف انواع غذاها، سبزیجات و نوشیدنی‌ها جذب بدن انسان می‌شود. نخستین گام در بررسی جذب فلوراید از طریق رژیم غذایی، تعیین غلظت آن در مواد غذایی مختلف است. سمیت زیستی فلوراید به غلظت آن در جو، حساسیت و مدت زمان قرارگرفتن گیاهان در معرض فلوراید بستگی دارد (Weinstein and Davison, 2004). سمیت فلوراید بر سیستم‌های زیستی و انسان کمی بیشتر از سرب ارزیابی شده است و می‌تواند موجب شکستگی و اختلال در رفتار کروموزوم‌های سلول‌های گیاهی، جانوری و انسانی شود (Zeiger *et al.*, 1993). بسیاری از فلورایدها از جمله سدیم‌فلوراید و پتاسیم‌فلوراید بسیار سمی هستند. طبق گزارش‌های ارائه‌شده در مجله زیست‌محیطی (مارس ۲۰۱۳)، غلظت‌های بیش از ۲۰۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید در

فلوراید، ماده‌ای است که معمولاً در سطح کره زمین وجود دارد و به‌طور طبیعی در آب، خاک و اتمسفر یافت می‌شود. غلظت زیاد فلوراید در محیط، مشکلات جدی سلامتی را در سطح جهان به وجود آورده است. باتوجه به ارتباط درخور توجهی که فلوراید با گیاه دارد، شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مختلف، رشد و تولید گیاه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Gadi *et al.*, 2012; Sant'Anna- Santos *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2015). فلوراید، عنصری ضروری برای گیاه محسوب نمی‌شود (Jha *et al.*, 2013) و افزایش غلظت آن سبب مهار جوانه‌زنی، ایجاد ناهنجاری‌های فراصوت، کاهش ظرفیت فتوسنتزی، تغییر نفوذپذیری غشا، کاهش بهره‌وری، کاهش زیست‌توده و سایر اختلال‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاه می‌شود (Sabal *et al.*, 2006; Divan *et al.*, 2008; Bhargava and Bhardwaj, 2010; Datta *et al.*, 2012). عمدتاً فلوراید سازوکار متابولیسم گیاه را تغییر می‌دهد یا متلاشی می‌کند و بسیاری از گیاهان به فلوراید حساسند (Gautam and Bhardwaj, 2010). برخی از فرایندهای ریخت‌شناختی گیاه از جمله کاهش رشد برگ، کلروز، سوختگی نوک برگ، نکروز و سوختگی برگ از جمله آثار فلوراید به شمار می‌آیند. فلوراید از طریق ریشه‌های گیاه جذب و از طریق آوندهای چوبی به سایر اندام‌های ترشحی و عمدتاً برگ منتقل می‌شود و تجمع می‌یابد که این امر آثار نامطلوبی را در پی دارد (Gupta *et al.*, 2009). عوامل مؤثر در ایجاد آلودگی فلوراید در آب عبارتند از: هوازگی و آبشویی سنگ‌ها و کانی‌های حاوی فلوراید،

دنیا گسترش دارد و بالغ بر ۲۵۰ گونه از آن گزارش شده است. تقریباً ۲۰۰ گونه از جنس ترشک در مناطق معتدله جنوبی و شمالی کره زمین رشد می‌کنند (Hall, 1994). در منطقه آذربایجان، مردم بومی و محلی این گیاه دارویی را به‌طور تازه و خام و به‌شکل سبزی‌های کوهی استفاده می‌کنند (Tukan et al., 1998). تاکنون مطالعه‌ای درباره تأثیر سدیم فلوراید بر جوانه‌زنی، شکل ظاهری و ساختار تشریحی گیاه ترشک در ایران و جهان انجام نشده است و از این‌رو، در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر این ماده بر گیاه ترشک پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در بهار سال ۱۳۹۸ به‌شکل دو آزمایش مجزا در محیط کشت پتری‌دیش (بذری) و گلدانی (گیاهچه‌ای) انجام شد.

محیط کشت پتری‌دیش (آزمون جوانه‌زنی):

به‌منظور بررسی اثر غلظت‌های مختلف سدیم فلوراید بر مرحله جوانه‌زنی و رویش گیاه ترشک (*Rumex crispus* L.)، بذر این گونه از رویشگاه طبیعی آن در شهرستان ارومیه جمع‌آوری شد. به‌منظور انجام آزمون جوانه‌زنی در طرح کاملاً تصادفی، بذره‌های سالم ترشک با آب ژاول ۳ درصد ضدعفونی و برای جوانه‌زنی درون پلیت‌های استریل قرار داده شدند و تیماردهی به‌شکل روزانه و با اسپری محلول سدیم فلوراید در چهار سطح غلظت صفر (تیمار شاهد)، ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر در سه تکرار انجام شد. شمارش جوانه‌ها پس از ۱۴ روز در گروه‌های مختلف

خاک‌های اسیدی وجود دارد که می‌تواند ناشی از آلودگی‌های اتمسفری باشد (Fornasiero, 2001). اهمیت رشد و جوانه‌زنی بذر به‌طور گسترده شناخته شده است و پژوهشگران مختلف آثار سمیت فلوراید روی این فرایندها را مطالعه کرده‌اند (Stanley et al., 2002; Sabal et al., 2006). برخی از فرایندهای فیزیولوژیکی گیاه از جمله جوانه‌زنی بذر، رشد ریشه و برگ، کلروز و نکروز برگ به‌طور درخور توجهی تحت تأثیر فلوراید قرار دارند (Weinstein and Davison, 2004). Arbabiyan و همکاران (۲۰۱۲) در مطالعه خود به بررسی تأثیر تیمار سدیم فلوراید بر جوانه‌زنی، ریخت‌شناسی و ساختار تشریحی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) پرداختند و در فاز رویشی، آثار زیان‌بار سدیم فلوراید طی آبیاری‌های روزانه را به‌شکل نکروزه‌شدن، کلروزه‌شدن، زخم در سطح پهنک برگ، پیری زودرس بوته گیاه و پژمردگی گیاهان تیمار شده نسبت به شاهد مشاهده کردند؛ همچنین سدیم فلوراید سبب افزایش طول ساقه و کاهش طول ریشه و انشعابات ریشه شد. در بررسی تشریحی، افزایش تعداد آوندهای چوبی و به‌هم‌ریختگی نظم آوندها مشاهده شد. Datta و همکاران (۲۰۱۲) اثر سمیت فلوراید بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را در گیاه *Cicer arietinum* L. cv. *Anuradha* بررسی و تأثیر فلوراید و کاهش معنادار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک و تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی را مشاهده کردند.

ترشک (*Rumex crispus* L.)، گیاهی علفی از تیره Polygonaceae است. جنس ترشک در سراسر

شاهد و گیاهان تیمار شده انجام شد؛ سپس به منظور تهیه برش‌های دستی، نمونه‌ها به مدت دو هفته در تثبیت‌کننده الکل اتانول-گلیسرین (۱:۱) قرار گرفتند. پس از طی زمان یادشده، مقطع‌گیری دستی با تیغ معمولی انجام و برش‌ها با استفاده از رنگ آمیزی مضاعف (سبز متیل و کارمن زاجی) رنگ آمیزی شدند. در این مرحله، برش‌ها چند دقیقه (۱۵ تا ۳۰ دقیقه) در کارمن زاجی قرار گرفتند؛ به طوری که بافت‌های سلولزی آنها به رنگ قرمز ارغوانی درآمدند و سپس برش‌ها با آب مقطر شستشو شدند. رنگ آمیزی بافت‌های چوبی با سبز متیل انجام شد؛ به این ترتیب که پس از خارج کردن برش‌ها از کارمن زاجی و شستشو با آب مقطر، آنها چند ثانیه در رنگ سبز متیل قرار گرفتند. پس از شستشو با آب مقطر، نمونه‌های آماده شده روی لام قرار گرفتند و پس از قراردادن لامل روی آنها، تثبیت شدند. در مرحله بعد، نمونه‌ها با میکروسکوپ نوری Olympus، مدل CX21 بررسی شدند. ساختار تشریحی نمونه‌های شاهد و تیمار شده مقایسه، تفاوت‌های موجود یادداشت و از مقاطع با دوربین دیجیتالی Samsung، مدل Es95 عکس‌برداری شد. اندازه‌گیری‌ها با استفاده از عدسی مدرج روی میکروسکوپ نوری انجام شدند. ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاهان تیمار شده بررسی و نتایج یادداشت شدند.

تحلیل آماری داده‌ها: به منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS، نسخه ۲۰ استفاده شد. تجزیه واریانس داده‌ها با استفاده از ANOVA انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

تیمار شده انجام شد و شاخص‌های جوانه‌زنی از جمله سرعت و درصد جوانه‌زنی، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، متوسط جوانه‌زنی روزانه، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه ارزیابی شدند.

به منظور محاسبه سرعت جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر از رابطه‌های ۱ تا ۳ استفاده شد (Tabatabaee Zade *et al.*, 2014).

$$Gs = \sum \frac{mi}{Di} \quad (1)$$

در این رابطه، Gs : سرعت جوانه‌زنی، mi : تعداد بذرهای جوانه‌زده در روزهای شمارش و Di : تعداد روز پس از آغاز آزمایش است.

$$PG = \frac{Ni}{N} \times 100 \quad (2)$$

PG : درصد جوانه‌زنی، Ni : تعداد بذر جوانه‌زده در روز آخر شمارش و N : تعداد کل بذرهاست.

$$VI = \% Gr \times SL \quad (3)$$

VI : شاخص بنیه بذر، Gr : درصد جوانه‌زنی و SL : طول گیاهچه است.

کشت گلدانی ترشک: به منظور کشت گلدانی، ۱۵ عدد بذر درون هر گلدان کاشته شد. ابتدا آبیاری به طور روزانه با آب شهری انجام شد و پس از مشاهده اولین برگ مرکب در گیاه، تیماردهی همراه با آبیاری روزانه (به علت مستقل شدن فتوسنتز) آغاز شد. به منظور آبیاری و تیمار از محلول‌های سدیم فلوراید با غلظت‌های مختلف ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد.

مطالعه تأثیر سدیم فلوراید بر ساختار تشریحی و ریخت‌شناسی گیاه ترشک: پس از گذشت یک دوره هفتادروزه، نمونه‌برداری به طور هم‌زمان از بخش‌های یکسان دم‌برگ، برگ و ریشه گیاهان

نتایج

بررسی آزمایش جوانه‌زنی، نه صفت درصد و سرعت جوانه‌زنی، متوسط جوانه‌زنی روزانه، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه، وزن تر و خشک ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه بررسی شدند (جدول ۲).

تجزیه واریانس برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی (ANOVA) در جدول ۱ آمده است. نتایج نشان دادند طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه، وزن تر و خشک ساقه‌چه و متوسط جوانه‌زنی روزانه در سطح احتمال ۵ درصد معنادار هستند (جدول ۱). در

جدول ۱- تجزیه واریانس برخی از شاخص‌های جوانه‌زنی ترشک تیمار شده با سدیم فلوراید

میانگین مربعات									
منبع تغییرات	درجه آزادی	سرعت جوانه‌زنی	درصد جوانه‌زنی	طول ساقه‌چه	طول ریشه‌چه	متوسط جوانه‌زنی روزانه	وزن خشک ساقه‌چه	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه‌چه
تیمار	۳	۰/۰۰۴ ⁿ	۲۲۵/۵۷ [*]	۱/۳۶ [*]	۱/۶۳ [*]	۳/۶۰۳ ⁿ	۰*	۰*	۰*
خطا	۸	۰/۰۲۵	۱۹/۴۵۰	۰/۰۴۲	۰/۱۹۰	۳/۹۵۸	۰	۰	۰

n و * به ترتیب غیر معنادار بودن و معنادار بودن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۲- تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر جوانه‌زنی ترشک

صفت	شاهد	۰/۱ (میلی گرم در لیتر)	۰/۵ (میلی گرم در لیتر)	۱ (میلی گرم در لیتر)
درصد جوانه‌زنی	۴۹/۳۳ ^a	۳۹/۹۹ ^b	۲۸/۶۶ ^c	۳۵/۴۴ ^{bc}
سرعت جوانه‌زنی (روز)	۰/۲۸۵ ^a	۰/۲۸۵ ^a	۰/۲۳۷ ^a	۰/۲۳۱ ^a
طول ساقه‌چه (میلی متر)	۴/۰۳ ^{ab}	۲/۳۶ ^b	۵/۵۳ ^a	۵ ^a
طول ریشه‌چه (میلی متر)	۲/۶۰ ^{ab}	۱/۵۰ ^b	۳/۴۶ ^a	۳/۳۶ ^a
متوسط جوانه‌زنی روزانه	۳/۰۶۶ ^d	۳/۴۰۰ ^c	۴/۱۶۶ ^b	۴/۷۰۰ ^a
وزن تر ساقه‌چه (میلی گرم)	۰/۰۰۲ ^c	۰/۰۰۲ ^c	۰/۰۰۳ ^b	۰/۰۰۴ ^a
وزن تر ریشه‌چه (میلی گرم)	۰/۰۱۶ ^a	۰/۰۱۴ ^b	۰/۰۱۳ ^c	۰/۱۲۳ ^d
وزن خشک ساقه‌چه (میلی گرم)	۰/۰۰۰۶ ^a	۰/۰۰۰۵ ^b	۰/۰۰۰۳ ^c	۰/۰۰۰۱ ^d
وزن خشک ریشه‌چه (میلی گرم)	۰/۰۰۰۴ ^b	۰/۰۰۰۵ ^c	۰/۰۰۰۷ ^d	۰/۰۰۰۸ ^a

میانگین‌های هر ستون که حرف‌های یکسان دارند، اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

اثر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر شاخص‌های

جوانه‌زنی: مقایسه میانگین داده‌های مطالعه شده نشان داد تمام تیمارها از جوانه‌زنی بذرهای جلوگیری می‌کنند. مقایسه میانگین صفت‌های بررسی شده نشان داد درصد جوانه‌زنی نمونه شاهد نسبت به تیمار با غلظت‌های ۰/۱، ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر

اختلاف معنادار آماری در سطح احتمال ۵ درصد دارد. سرعت جوانه‌زنی اختلاف معنادار آماری بین گروه‌های مطالعه شده نشان نداد (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌های مطالعه شده نشان داد طول ساقه‌چه و ریشه‌چه از گیاه شاهد به سمت تیمار ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید کاهش نشان

تمام سطوح سدیم فلوراید نسبت به شاهد اختلاف معنادار دارد و مقدار وزن تر ساقه‌چه تیمارشده با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید در مقایسه با شاهد از نظر آماری معنادار است (جدول ۲).
باتوجه به نتایج جدول ۲، وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش تنش ناشی از سدیم فلوراید به ترتیب کاهش و افزایش می‌یابند. مقایسه میانگین با آزمون دانکن نشان داد وزن خشک ریشه‌چه و ساقه‌چه در تمام سطوح غلظت سدیم فلوراید از نظر آماری معنادار است (جدول ۲).

تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی برگ ترشک: نتایج نشان دادند سدیم فلوراید بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی گیاه تأثیر دارد و به آسیب‌های شدید در گیاه منجر می‌شود که برخی از آنها دیده می‌شوند و برخی دیگر دیده نمی‌شوند. در بررسی ریخت‌شناختی، آثار زیان‌بار سدیم فلوراید به شکل بافت‌مردگی، زردشدگی، زخم در سطح پهنک برگ، پیری زودرس بوته گیاه و پژمردگی گیاهان تیمارشده نسبت به شاهد مشاهده شدند.

بررسی ساختار تشریحی: نتایج تجزیه واریانس ویژگی‌های ساختار تشریحی برگ ترشک در جدول ۳ آورده شده است.

می‌دهد، ولی به علت سازگاری گیاهان با افزایش غلظت، طول ساقه‌چه و ریشه‌چه به سمت تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید افزایش می‌یابد (جدول ۲). مقایسه میانگین صفت‌های بررسی شده نشان داد تغییرات طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در غلظت‌های ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید نسبت به شاهد با اطمینان ۹۵ درصد معنادار نیستند (جدول ۳).

طبق جدول مقایسه میانگین‌ها (جدول ۱)، میزان متوسط جوانه‌زنی روزانه بذرهای ترشک با افزایش غلظت فلوراید سدیم افزایش می‌یابد؛ به طوری که بیشترین درصد و سرعت جوانه‌زنی به تیمارهای ۰/۵ و ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید تعلق دارند. مقایسه میانگین متوسط جوانه‌زنی روزانه نشان داد این صفت در تمام سطوح غلظت سدیم فلوراید دارای اختلاف معنادار آماری در سطح ۵ درصد با نمونه شاهد است (جدول ۲). متوسط جوانه‌زنی روزانه تحت تأثیر غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید کاهش یافت، ولی با افزایش غلظت سدیم فلوراید تا ۱ میلی گرم در لیتر، روند افزایشی داشت (جدول ۲).

باتوجه به نتایج جدول ۲، وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه با افزایش تنش ناشی از سدیم فلوراید به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. مقایسه میانگین صفت‌های بررسی شده نشان داد وزن تر ریشه‌چه در

جدول ۳- تجزیه واریانس صفت‌های مطالعه‌شده برگ ترشک

میانگین مربعات						
منابع تغییرات	درجه آزادی	کوینکول	اپیدرم فوقانی	اپیدرم تحتانی	مزوفیل	کل برگ
تنش	۳	۵۰۰*	۴۶۸/۷۵۰*	۴۶۸/۷۵۰*	۷۷۹۸۳/۴۹۰*	۹۷۴۲۶/۹۶۲ ^۱
خطا	۸	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۳۰۳	۲۷۹۸۵/۰۸۵

n و * به ترتیب غیر معنادار بودن و معنادار بودن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهند.

غلظت سدیم فلوراید در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود (جدول ۳). در بخش مزوفیل برگ، سلول‌های نردبانی در یک یا دو ردیف با آرایش متراکم قرار داشتند و با افزایش سطوح غلظت سدیم فلوراید تا ۰/۵ میلی گرم در لیتر، ضخامت مزوفیل و کل برگ کاهش و سپس با افزایش غلظت سدیم فلوراید، افزایش یافت (جدول ۴). بیشترین مقدار ضخامت مزوفیل و کل برگ در گیاه شاهد و تیمار شده با غلظت ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب برابر ۴۶۹/۹۹۶ و ۶۳۰ میکرومتر و ۳۸۶/۳۳۳ و ۴۴۹/۹۹۶ میکرومتر) دیده شد. کمترین مقدار ضخامت مزوفیل و کل برگ در گیاهان تیمار شده با غلظت ۰/۵ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب برابر ۱۲۰/۶۳۳ و ۱۸۹/۹۹۶ میکرومتر) مشاهده شد (جدول ۴). مقایسه میانگین صفت‌های بررسی شده نشان داد ضخامت مزوفیل در تمام غلظت‌های سدیم فلوراید دارای تفاوت معنادار در سطح احتمال ۵ درصد است، ولی ضخامت کل برگ در سطح احتمال ۵ درصد معنادار نیست (جدول ۳).

تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ویژگی‌های ساختار تشریحی برگ ترشک: نتایج
مطالعه برش‌های عرضی برگ زیر میکروسکوپ نوری و با بزرگ‌نمایی‌های مختلف نشان دادند سطوح مختلف سدیم فلوراید تأثیر محسوسی بر ساختمان برگ ترشک دارند (شکل ۱). در برش عرضی برگ تمام گونه‌ها، اپیدرم فوقانی، تحتانی و مزوفیل برگ مشاهده شدند و سلول‌های اپیدرم به شکل‌های کروی یا چندوجهی نامنظم در اندازه‌های گوناگون دیده شدند. نتایج نشان دادند با افزایش غلظت سدیم فلوراید، ضخامت کوتیکول، اپیدرم فوقانی و تحتانی برگ کاهش و در غلظت ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید، افزایش می‌یابد (جدول ۴). بیشترین مقدار ضخامت اپیدرم فوقانی و تحتانی در تیمار شاهد و ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب برابر ۵۹/۹۹۶ و ۵۴/۹۹۶ میکرومتر و ۴۹/۹۹۶ و ۴۹/۹۹۶ میکرومتر) مشاهده شد. کمترین مقدار ضخامت اپیدرم فوقانی و تحتانی در تیمار ۰/۵ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب برابر ۲۹/۹۹۶ و ۲۴/۹۹۶ میکرومتر) مشاهده شد (جدول ۴). تفاوت میانگین ضخامت کوتیکول، اپیدرم فوقانی و تحتانی در تمام سطوح

جدول ۴- تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ساختار تشریحی برگ ترشک

تیمار	کوتیکول (μm)	اپیدرم فوقانی (μm)	اپیدرم تحتانی (μm)	مزوفیل (μm)	کل برگ (μm)
شاهد	۳۹/۹۹۶ ^a	۵۹/۹۹۶ ^a	۵۴/۹۹۶ ^a	۴۶۹/۹۹۶ ^a	۶۳۰ ^a
۰/۱ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^c	۴۴/۹۹۶ ^c	۳۹/۹۹۶ ^c	۳۱۰ ^c	۴۱۹/۹۹۶ ^{ab}
۰/۵ (میلی گرم در لیتر)	۹/۹۹۶ ^d	۲۹/۹۹۶ ^d	۲۴/۹۹۶ ^d	۱۲۰/۶۳۳ ^d	۱۸۹/۹۹۶ ^b
۱ (میلی گرم در لیتر)	۲۹/۹۹۶ ^b	۴۹/۹۹۶ ^b	۴۴/۹۹۶ ^b	۴۴۹/۹۹۶ ^b	۳۸۶/۳۳۳ ^{ab}

میانگین‌های هر ستون که حرف‌های یکسان دارند، اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

سدیم فلوراید تا ۰/۵ میلی گرم در لیتر، ضخامت آوند آبکش و آوند چوبی را کاهش داد و افزایش غلظت (به علت سازگاری گیاه) سبب افزایش صفت یادشده شد (جدول ۶). بیشترین ضخامت آوند آبکش و چوبی به گیاهان شاهد و گیاهان تیمار شده با ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب برابر ۱۰۰ و ۱۹۰ میکرومتر) مربوط بود. کمترین مقدار ضخامت آوند آبکش و چوب در ۰/۵ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (به ترتیب ۶۴/۹۹۶ و ۱۲۹/۹۹۶ میکرومتر) مشاهده شد (جدول ۶). مقایسه میانگین داده‌ها نشان دادند ضخامت آوند آبکش و چوب در تمام سطوح غلظت به جز ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید نسبت به شاهد با احتمال ۵ درصد معنادار است (جدول ۶).

اثر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ساختار تشریحی ریشه ترشک: نتایج مطالعه برش‌های عرضی ریشه زیر میکروسکوپ نوری و با بزرگ‌نمایی‌های مختلف نشان دادند سطوح مختلف سدیم فلوراید تأثیر محسوسی بر ساختمان ریشه دارند (شکل ۱). نتایج نشان دادند گیاه با افزایش غلظت سدیم فلوراید و برای مقابله با تنش، ضخامت اپیدرم خود را افزایش می‌دهد (جدول ۶). بیشترین ضخامت اپیدرم (۵۰ میکرومتر) به گیاهان تیمار شده با محلول ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید و کمترین مقدار آن (۲۰ میکرومتر) به گیاهان شاهد مربوط بود (جدول ۷). مقایسه میانگین صفت‌های بررسی شده نشان داد ضخامت اپیدرم در تمام غلظت‌های سدیم فلوراید در سطح احتمال ۵ درصد معنادار است (جدول ۵). افزایش غلظت

جدول ۵- تجزیه واریانس صفت‌های مطالعه‌شده ریشه ترشک

میانگین مربعات							
منبع تغییرات	درجه آزادی	کوتیکول	اپیدرم	پارانشیم	گزپلم	فلوئم	آوند چوبی کوچک / آوند چوبی بزرگ
تنش	۳	۷۴/۵۰۱*	۴۷۵/۳۳۴*	۶۷۵*	۸۲۰/۵۸۴*	۱۶۶۸* ۲۷۰۱	۱۴۷۳/۸۹۰* ۷۴/۶۶۸*
خطا		۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۰/۰۸۵ ۰/۰۰۲

n و * به ترتیب غیر معنادار بودن و معنادار بودن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهند.

جدول ۶- تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ساختار تشریحی ریشه ترشک

غلظت	کوتیکول (μm)	اپیدرم (μm)	فلوئم (μm)	گزپلم (μm)	پارانشیم (μm)	آوند چوبی کوچک (μm)	آوند چوبی بزرگ (μm)
شاهد	۱۰ ^b	۲۰ ^c	۱۰۰ ^a	۱۹۰ ^a	۱۲۹/۹۹۶ ^a	۲۹/۹۹۶ ^a	۱۰۹/۹۹۶ ^a
۰/۱ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^a	۲۹/۹۹۶ ^b	۶۹/۹۹۶ ^c	۱۴۹/۹۹۶ ^b	۹۹/۹۹۶ ^b	۲۰ ^b	۷۲/۹۹۶ ^b
۰/۵ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^a	۲۹/۹۹۶ ^b	۶۴/۹۹۶ ^d	۱۲۹/۹۹۶ ^c	۹۹/۹۹۶ ^b	۲۰ ^b	۷۰ ^c
۱ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^a	۵۰ ^a	۱۰۰ ^a	۱۹۰ ^a	۹۹/۹۹۶ ^b	۱۹/۹۹۶ ^b	۱۰۹/۹۹۶ ^a

میانگین‌های هر ستون که حرف‌های یکسان دارند، اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

جدول ۷- تجزیه واریانس صفت‌های مطالعه‌شده دمبرگ ترشک

میانگین مربعات								
منبع تغییرات	درجه آزادی	کوئیکول	ایدرم	پارانسیم	گزیم	فلوئم	آوند چوبی کوچک	آوند چوبی بزرگ
تنش	۳	۲۰۰*	۱۰۰*	۱۴۷۵/۸۳۴*	۱۴۳/۶۶۷*	۲۱۷*	۷۵*	۷۵*
خطا	۸	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳

* معنادار بودن در سطح احتمال ۵ درصد را نشان می‌دهد.

جدول ۸- مقایسه میانگین صفت‌های مطالعه‌شده دمبرگ ترشک

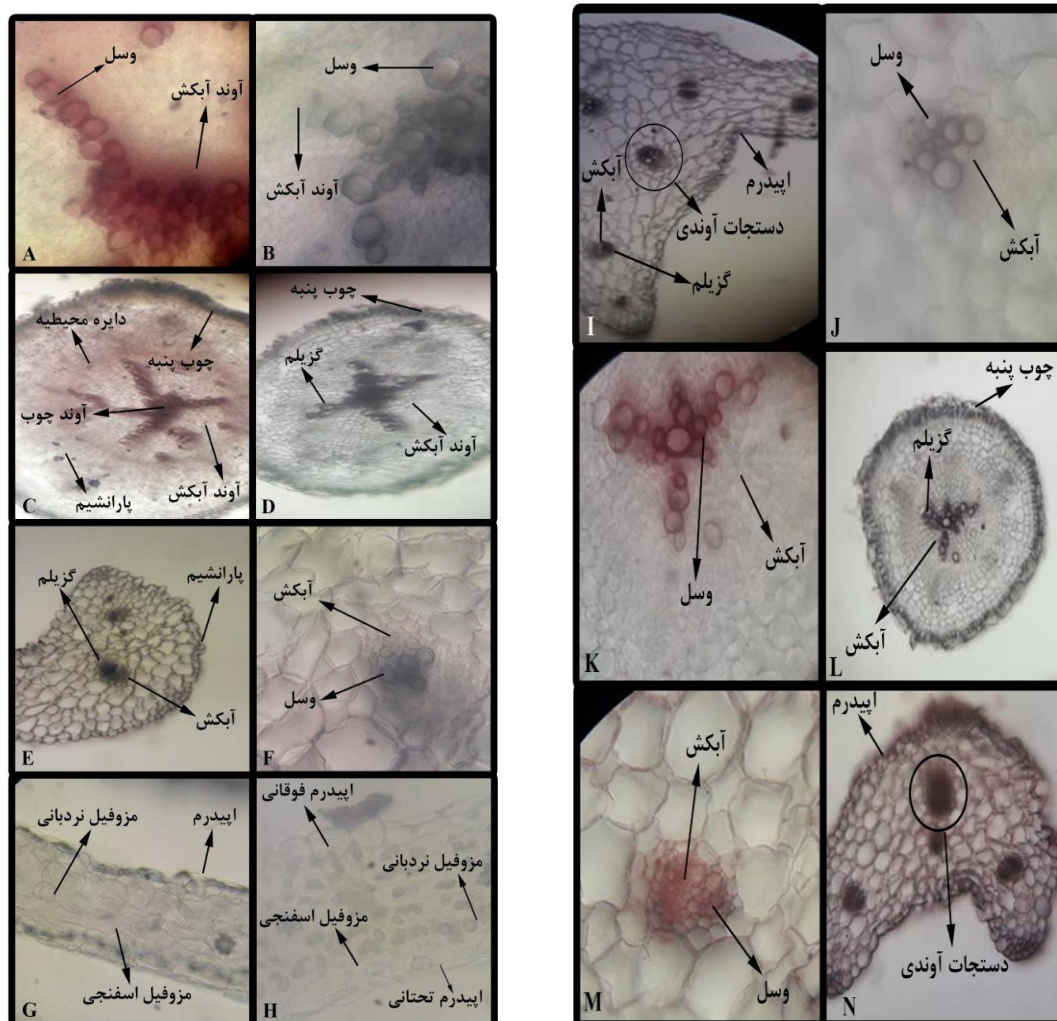
غلظت	کوئیکول (μm)	ایدرم (μm)	پارانسیم (μm)	فلوئم (μm)	گزیم (μm)	آوند چوبی کوچک (μm)	آوند چوبی بزرگ (μm)
شاهد	۹/۹۹۶ ^c	۲۹/۹۹۶ ^b	۱۷۰ ^b	۸۹/۹۹۶ ^a	۸۹/۹۹۶ ^a	۱۹/۹۹۶ ^b	۵۹/۹۹۶ ^a
۰/۱ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^b	۲۹/۹۹۶ ^b	۱۷۹/۹۹۶ ^a	۸۲/۳۰۰ ^c	۸۴/۹۹۶ ^c	۲۹/۹۹۶ ^a	۵۹/۹۹۶ ^a
۰/۵ (میلی گرم در لیتر)	۱۹/۹۹۶ ^b	۳۹/۹۹۶ ^a	۱۲۹/۹۹۶ ^d	۶۹/۹۹۶ ^d	۷۴/۹۹۶ ^d	۱۹/۹۹۶ ^b	۵۹/۹۹۶ ^a
۱ (میلی گرم در لیتر)	۲۹/۹۹۶ ^a	۳۹/۹۹۶ ^a	۱۴۹/۹۹۶ ^c	۸۴/۹۹۶ ^b	۸۹/۰۳۳ ^b	۱۹/۹۹۶ ^b	۴۹/۹۹۶ ^b

میانگین‌های هر ستون که حرف‌های یکسان دارند، اختلاف معناداری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون دانکن ندارند.

تأثیر سطوح مختلف سدیم فلوراید بر ساختار

تشریحی دمبرگ ترشک: نتایج مطالعه برش‌های عرضی دمبرگ زیر میکروسکوپ نوری و با بزرگ‌نمایی‌های مختلف نشان دادند سطوح مختلف سدیم فلوراید تأثیر محسوسی بر ساختمان دمبرگ دارند (شکل ۱). تحلیل واریانس صفت‌های مطالعه‌شده نشان داد با افزایش غلظت سدیم فلوراید، مقادیر به دست آمده در غلظت‌های مختلف نسبت به شاهد در سطح احتمال ۵ درصد اختلاف معنادار دارند (جدول ۷). بیشترین مقدار ضخامت بافت‌های

اندازه‌گیری شده در دمبرگ گیاهان شاهد و تیمار شده با غلظت ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید مشاهده شد و کمترین مقدار به گیاهان تیمار شده با ۰/۵ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید تعلق داشت. ضخامت آوند چوبی و آبکش دمبرگ با افزایش غلظت تا سطح ۰/۵ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید، کاهش و سپس با افزایش غلظت، افزایش یافت (جدول ۸).



شکل ۱- مقایسه ساختار تشریحی اندام‌های رویشی گیاه ترشک در تیمار شاهد و تیمارهای مختلف سدیم فلوراید؛ A. آوند چوبی و آبکش ریشه شاهد ترشک (۴۰×)، B. آوند چوبی و آبکش ریشه ترشک تیمار شده با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، C. مقطع عرضی ریشه شاهد ترشک (۴۰×)، D. مقطع عرضی ریشه ترشک تیمار شده با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، E. مقطع عرضی دمبرگ ترشک تیمار شده با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، F. آوند چوبی و آبکش دمبرگ ترشک تیمار شده با غلظت ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، G. مقطع عرضی برگ شاهد ترشک (۴۰×)، H. مقطع عرضی برگ ترشک تیمار شده با ۰/۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، I. مقطع عرضی دمبرگ شاهد ترشک (۱۰×)، J. آوند چوبی و آبکش دمبرگ شاهد ترشک (۴۰×)، K. آوندهای چوبی و آبکش ریشه ترشک تیمار شده با ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، L. مقطع عرضی ریشه ترشک تیمار شده با ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۱۰×)، M. آوندهای چوبی و آبکش در دمبرگ ترشک تیمار شده با ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۴۰×)، N. مقطع عرضی دمبرگ ترشک تیمار شده با ۱ میلی گرم در لیتر سدیم فلوراید (۱۰×)

سدیم فلوراید در گیاه ترشک سبب کاهش معنادار درصد جوانه‌زنی شد؛ به عبارت دیگر، تنش ایجاد شده از طریق سدیم فلوراید بر مرحله جوانه‌زنی

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، افزایش میزان فلوراید از تیمار شاهد به سمت تیمار ۱ میلی گرم در لیتر

فلوراید اعمال شده بود (Jha *et al.*, 2009)؛ این یافته با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتایج آزمون جوانه‌زنی در گروه‌های تیماری با سدیم فلوراید نشان دادند افزایش غلظت سدیم فلوراید از جوانه‌زنی گیاه ترشک جلوگیری می‌کند که این امر نشانه سمیت زیاد محلول‌هایی است که غلظت‌های بیش از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر دارند. اگرچه تیمارهای با غلظت کمتر از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر از جوانه‌زنی کامل جلوگیری نکردند، کاهش جوانه‌زنی در گیاهان تیمار شده مشاهده شد. به نظر می‌رسد فلوراید با جلوگیری از عملکرد آنزیم‌هایی که در تنفس و جوانه‌زنی دخالت دارند، سبب مرگ دانه می‌شود (Yiamouyiannis, 1983).

Khan و Iram (۲۰۱۶) اثر غلظت‌های مختلف سدیم فلوراید را بر جوانه‌زنی، رشد گیاهک و صفت‌های بیوشیمیایی *Abelmos esculentus* بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند با افزایش غلظت سدیم فلوراید، درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد؛ همچنین این پژوهشگران شاخص‌های رشد گیاهک (طول ریشه، طول اندام هوایی و شاخص جوانه‌زنی) و شاخص‌های بیوشیمیایی (مقدار کلروفیل، نیتروژن، پروتئین و همچنین جذب فلوراید به وسیله گیاهک) را مطالعه کردند.

Bhargava و Bhardwaj (۲۰۱۰) تأثیر غلظت‌های مختلف سدیم فلوراید را روی بذرهاى *Triticum aestivum* var. Raj.4083 و رشد گیاهک آن مطالعه کردند و نتایج پژوهش آنها نشان دادند سدیم فلوراید تأثیر معناداری روی جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهک گندم دارد.

بذر ترشک تأثیر گذاشت. Brewer و همکاران (۱۹۶۰) با مطالعه روی گیاه یونجه دریافتند غلظت فلوراید در برگ‌های این گیاه در مزارعی که در مناطق غیرصنعتی و صنعتی قرار دارند، به ترتیب ۳ تا ۹ و ۱۳ تا ۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. در پژوهش دیگر، پژوهشگران با افزایش سطوح غلظت سدیم فلوراید دریافتند طول ریشه افزایش و طول اندام هوایی کاهش می‌یابد (Arbabiyani *et al.*, 2012). در پژوهش حاضر با افزایش غلظت سدیم فلوراید، نسبت طول ریشه‌چه به ساقه‌چه افزایش یافت. به‌طور کلی با افزایش سدیم فلوراید، رشد ریشه کمتر از رشد ساقه و اندام هوایی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. توسعه ریشه و طولیل شدن اندام هوایی، فرایندی وابسته به آماس است (Lauchli *et al.*, 1990). در بررسی Jha و همکاران (۲۰۰۸)، کاهش معنادار وزن خشک ریشه و اندام هوایی اسفناج در تیمارهایی مشاهده شد که غلظت‌های ۲۷۰ و ۳۶۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم فلوراید اعمال شده بود.

Stevens و همکاران (۱۹۹۸) در مطالعه خود روی جو دوسر نتیجه گرفتند در اثر افزودن فلوراید به محیط کشت، تفاوت معناداری بین وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه مشاهده نمی‌شود؛ این پژوهشگران پیشنهاد کردند جو دوسر با جلوگیری از ورود فلوراید به ریشه یا سم‌زدایی در سطح سلولی می‌تواند مقادیر زیاد فلوراید در محلول خاک را تحمل کند. در بررسی دیگری، پژوهشگران کاهش معنادار زیست‌توده ریشه و اندام هوایی پیاز را در تیمارهایی مشاهده کردند که غلظت‌های ۱۸۰، ۲۷۰، ۳۶۰ و ۹۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم

دارد. در بخش دمبرگ گیاهان تیمارشده، آوندهای چوبی در اندازه‌های کوچک و بزرگ و حتی ریز در کنار یکدیگر مشاهده شدند؛ در حالی که اندازه آنها در گیاه شاهد یک‌دست‌تر و هم‌اندازه‌تر بود؛ این ویژگی با مشاهده‌های دیگر پژوهشگران (Arbabian, 2012) مطابقت دارد. افزایش غلظت سدیم‌فلوراید تا ۰/۵ میلی‌گرم‌درلیتر سبب کاهش ضخامت آوند آبکش و آوند چوبی دمبرگ شد و این ویژگی با افزایش غلظت سدیم‌فلوراید (به‌علت سازگاری گیاه)، افزایش یافت.

References

- Arbabian, S., Esmaili, S. T. and Marandi, S. G. (2012) The effect of fluoride on the vegetative organs (*Phaseolus vulgaris* L.). Iranian Journal of Plant Biology 3(10): 1-10.
- Bhargava, D. and Bhardwaj, N. (2010) Effect of sodium fluoride on seed germination and seedling growth of *Triticum aestivum* var. Raj. 4083. Journal of Phytology 2(4): 41-43.
- Brewer, R. F., Creveling, R. K., Guillemet, F. B. and Sutherland, F. H. (1960) The effects of hydrogen fluoride on seven *citrus* varieties. Proceeding of the American Society for Horticultural Science 75: 236-۲۴۳.
- Das, C., Dey, U., Chakraborty, D., Kumar Datta, J. and Kumar Mondal, N. (2015) Fluoride toxicity affects in potato plant (*Solanum tuberosum* L.) grown in contaminated soils. Journal of Environmental Research 3(2): 136-143.
- Datta, J. K., Maitra, A., Mondal, N. K. and Banerjee, A. (2012) Studies on the impact of fluoride toxicity on germination and seedling growth of gram seed (*Cicer arietinum* L. cv. *Anuradha*). Journal of Stress Physiology and Biochemistry 8 (1): 194-202.

زردبرگی، بافت‌مردگی، پارگی برگ و پژمردگی گیاه از جمله آسیب‌هایی هستند که به ورود یون سمی فلوراید به درون گیاه و تأثیر آن بر ساختار گیاه مربوط می‌شوند؛ به‌طوری‌که نمای کلی گیاهان کشت‌شده در ابتدای تیماردهی و اواخر آن، این تغییرات و به‌ویژه پژمردگی گیاهان را به‌خوبی نشان می‌دهد. با توجه به یافته‌های Mc Nulty و Newman (۱۹۶۱)، زردبرگی و بافت‌مردگی نخستین نشانه‌های اثر فلوراید هستند که در گیاهان مشاهده می‌شوند.

نتایج بررسی ساختار تشریحی در پژوهش حاضر نشان دادند سمیت محلول سدیم‌فلوراید می‌تواند ساختار تشریحی گیاه را تحت‌تأثیر قرار دهد. Arbabian و همکاران (۲۰۱۲) از مطالعه روی گیاه لوبیا به این نتیجه رسیدند در اثر تیمار سدیم‌فلوراید، علاوه بر کاهش نظم و انسجام سلولی در ساختار برگ، بخشی از بافت‌های پارانشیمی برگ نیز از بین می‌رود. افزایش غلظت سدیم‌فلوراید تا ۰/۵ میلی‌گرم‌درلیتر سبب کاهش ضخامت آوند آبکش و آوند چوبی ریشه شد و با افزایش غلظت، این ویژگی به‌علت سازگاری گیاه افزایش یافت. در پژوهش حاضر، تأثیر سدیم‌فلوراید بر ساختار تشریحی گیاه برای نخستین بار گزارش می‌شود؛ از این‌رو، مقایسه با نتایج پژوهشگران پیشین امکان‌پذیر نیست؛ همچنین با افزایش سطوح غلظت سدیم‌فلوراید تا ۰/۵ میلی‌گرم‌درلیتر فلوراید سدیم، ضخامت مزوفیل و کل برگ کاهش و با افزایش غلظت سدیم‌فلوراید، افزایش یافت و می‌توان گفت کاهش ضخامت برگ به‌علت افزایش فلوراید از کاهش توانایی گیاه در جذب آب ناشی می‌شود که کاهش رشد را در پی

- Divan., A. M., Oliva, M. A. and Ferreira, F. A. (2008) Dispersal pattern of airborne emissions from an aluminium smelter in Ouro Preto, Brazil, as expressed by foliar fluoride accumulation in eight plant species. *Ecological Indicators* 8(5): 454-461.
- Fornasiero, R. B. (2001) Phytotoxic effects of fluorides. *Plant Science* 161: 979-985.
- Jha, S. K., Nayak, A. K. and Sharma, Y. K. (2008) Response of spinach (*Spinacea oleracea*) to the added fluoride in an alkaline soil. *Food and Chemical Toxicology* 46(9): 2968-2971.
- Jha, S. K., Nayak, A. K. and Sharma, Y. K. (2009) Fluoride toxicity effects in Onion (*Allium cepa* L.) grown in contaminated soils. *Chemosphere* 76: 353-356.
- Jha, S. K., Damodaran, T., Verma, C. L., Mishra, V. K., Sharma, D. K., Sah, V., Rai, R. B. and Dhama, K. (2013) Fluoride partitioning in rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticum aestivum*) upon irrigation with fluoride-contaminated water and its risk assessment. *South Asia Journal of Experimental Biology* 3(3): 137-144.
- Gadi, B. R., Pooja, V. and Ram, A. (2012) Influence of NaF on seed germination, membrane stability and some Biochemicals content in *Vigna* seedlings. *Journal of Chemical, Biological and Physical Sciences* 2(3): 1371-1378.
- Gautam, R. and Bhardwaj, N. (2010) Bioaccumulation of fluoride in different plant parts of *Hordeum vulgare* (barley) var. rd-2683 from irrigation water. *Fluoride* 43(1): 57-60.
- Guo, Q., Wang, Y., Ma, T. and Ma, R. (2007) Geochemical processes controlling the elevated fluoride concentration in groundwaters of the Taiyuan Basin, Northern China. *Journal of Geochemical Exploration* 93: 1-12.
- Gupta, S., Banerjee, S. and Mondal, S. (2009) Fluoride phytotoxicity in the germination of paddy. *Fluoride* 42(2): 142-146.
- Hall, G. (1994) *Peronospora rumicis* [Descriptions of Fungi and Bacteria]. CABI Bioscience, Walling Ford, Oxford Shire, UK.
- Iram, A. and Khan, T. I. (2016) Effect of sodium fluoride on seed germination, seedling growth and biochemistry of *Abelmoschus esculentus*. *Journal of Plant Biochemistry and Physiology* 4(2): 1-3.
- Kabata-Pendias, A. (2001) Trace elements in soils and plants. 3th edition. CRC Press LLC, New York.
- Läuchli, A. and Epstein, E. (1990) Plant response to salinity and sodic conditions. In: *Agricultural salinity assessment and management* (Ed. Tanji, K. K.) 71: 113-137. American Society of Civil Engineers, New York.
- Mc Nulty, I. B. and Newman, D. W. (1961) Mechanism(s) of fluoride induced chlorosis. *Plant Physiology* 36: 385-388.
- Sabal, D., Khan, T. I. and Saxena, R. (2006) Effect of sodium fluoride on cluster bean (*Cyamopsis tetragonoloba*) seed germination and seedling growth. *Fluoride* 39(3): 228-230.
- Sant'Anna-Santos, B. F., Azevedo, A. A. Alves, T. G. Campos, N. V. Oliva, M. A. and Valente, V. M. M. (2014) Effects of emissions from an aluminium smelter in a tree tropical species sensitive to fluoride. *Water, Air and Soil Pollution* 225(1): 1817.
- Stanley, V. A., Shaleesha, A., Murthy, P. B. K. and Pillai, K. S. (2002) Retarding fluoride accumulation in *Amaranthes viridis* through liming and implications of reatment. *Journal of Environmental Biology* 23: 265-269.
- Stevens, D. P., Mc Laughlin, M. J. and Alston A. M. (1998) Phytotoxicity of the fluoride ion and its uptake by *Avena sativa* and *Lycopersicon esculentum*. *Plant and Soil* 200: 119-129.
- Tabatabaee Zade, M. S., Pajouhan, M., Soltani, M., Tajamolian, M. and

- Shahbandari, R. (2014). Allelopathic effects of (*Artemisia aucheri* Boiss.) essential oil on seed germination and early seedling growth of red-root Amaranth (*Amaranthus retroflexus* L.) and field Bindweed (*Convolvulus arvensis* L.). *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production* 24: 87-95.
- Tukan S. K., Takruri H. R. and Al-Eisawi D.M. The use of wild edible plants in the Jordanian diet. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 1998; 49: 225-35.
- Yiamouyiannis, J. (1983) Fluoride, the aging factor. Health Action Press, Delaware, Ohio, USA.
- Zeiger, E., Shelby, M. and Witt, K. (1993) Genetic toxicity of fluoride. *Environmental and Molecular Mutagenesis* 21: 309-318.
- Weinstein, L.H. and Davison, A. W. (2004) Fluorides in the environment. CABI Publishing, Wallingford, Oxon, UK.