مجله علوم و فنون هسته‌ای، دوره ۴۴، شماره ۳، جلد ۱۰۵، پاییز ۱۴۰۲

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 44 (4), Serial Number 105, 2023

تعیین فاکتور انتقال خاک به گیاه یون استرانسیم از نمونه خاک استان تهران به دو گونه گیاهی تربچه و شاهی و بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر روی آن

مهرنوش زوار موسوی[۱]، سید امیرحسین فقهی[۱]، حسن آقایان*[۲]، امیرمسعود طاهریان[۳]، حسین قاسمی[۲]، طاهر یوسفی[۲]

۱. دانشکده‌ی مهندسی هسته‌ای، دانشگاه شهید بهشتی، صندوق پستی: ۱۹۸۳۹۶۳۱۱۳، تهران - ایران
۲. پژوهشکده چرخه سوخت هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران، صندوق پستی: ۸۴۸۶-۱۱۳۶۵، تهران- ایران
۳. شرکت مدیریت پسمان‌های پرتوزای ایران، کدپستی: ۱۴۳۹۹۵۵۹۳۱، تهران ـ ایران

*Email: haghayan@aeoi.org.ir

مقاله‌ی پژوهشی

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۹/۱۲

چکیده

در این تحقیق به بررسی فاکتور انتقال از خاک به گیاه (به عنوان یکی از پارامترهای مهم در محاسبات تحلیل ایمنی و تعیین میزان پرتوگیری افراد) یون استرانسیم (رادیونوکلییید متعارف در آلودگی‌های ناشی از سوانح هسته‌ای) به دو نمونه گیاهی شامل تربچه و شاهی (گیاهان پرمصرف در زنجیره غذایی) رشد داده شده در خاک منطقه جنوب تهران می‌پردازد. در این تحقیق، آزمایشات در گلدان‌های با قطر ۱۵٫۵ و ارتفاع ۱۵٫۷ سانتی‌متر حاوی ۲ کیلوگرم خاک مخلوط شده با کود کمپوست گیاهی و در شرایط نورطبیعی آفتاب هوای تهران انجام گرفت. جهت بررسی اثر غلظت یون استرانسیم بر فاکتور انتقال، خاک موردنظر ابتدا با کود گیاهی با نسبت ۳:۱ مخلوط شد و با استفاده از محلول نمکی استرانسیم نیترات در چهار غلظت متفاوت (۱۰۰۰-۵۰۰-۲۰۰-۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک) آلوده گردید. آبیاری گلدان‌ها با حجم مشخصی از آب به طور هفتگی و در دو اسیدیته متفاوت (pH =۵و۶) جهت بررسی اثر pH بر فاکتور انتقال صورت گرفت. هم‌چنین غلظت یون استرانسیم در دو بافت برگ و ریشه تربچه و برگ شاهی انجام گرفت تا تجمع یون استرانسیم در هر یک از بافت‌ها و میزان تأثیرگذاری آن ها بر فاکتور انتقال مشخص گردد. نتایج نشان داد با افزایش غلظت استرانسیم خاک، میزان جذب این عنصر در هر دو گیاه افزایش یافته و فاکتور انتقال کاهش می‌یابد. هم‌چنین در خاک با pH کم‌تر گیاه جذب بیش‌تری داشته و فاکتور انتقال بیش‌تری گزارش شد. هم‌چنین با استفاده از یک روش تجربی ضریب توزیع که یک پارامتر مهم و کاربردی در مدل‌سازی انتقال آلاینده‌ها و ارزیابی ریسک آلودگی منابع آب و خاک می‌باشد با استفاده فاکتور انتقال از خاک به گیاه تعیین شد. در این پژوهش هم‌چنین امکان آلودگی‌زدایی استرانسیم از خاک با استفاده از تربچه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که می‌توان از این گیاه به عنوان یک پالاینده برای پالایش خاک‌های آلوده به استرانسیم استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: فاکتور انتقال، استرانسیم، جذب، تربچه، شاهی

مجله علوم و فنون هسته‌ای، دوره ۴۴، شماره ۳، جلد ۱۰۵، پاییز ۱۴۰۲

Journal of Nuclear Science and Technology
Vol. 44 (4), Serial Number 105, 2023

Determining of Soil-to-plant transfer factors of strontium ion from the soil sample of Tehran province to two plant species including radish and watercress and investigating the influencing parameters

M. Zavar Mousavi[1], S.A.H. Feghhi[1], H. Aghayan*[2], A.M. Taherian[3], H. Ghasemi Mobtaker[2], T. Yousefi[2]
1. Nuclear Engineering Faculty, Shahid Beheshti University, P.O. Box: 1983963113, Tehran – Iran
2. Nuclear Fuel Cycle Research School, Nuclear Science and Technology Research Institute, AEOI, P.O.Box: 11365-8486, Tehran – Iran
3. Iran Radioactive Waste Management Company, Postal code: 1439955931, Tehran-Iran

Research Article
Received 14.3.2022, Accepted 3.12.2022

Abstract

This research investigates the transfer factor in the soil to plant (as one of the important parameters in safety analysis calculations and determining the amount of radiation of people) of strontium ion (a conventional radionuclide in pollution caused by nuclear accidents) to two plant samples including radish (Raphanus sativus var. sativus) and watercress (Lepidium sativum) as highly consumed plants in the food chain grown in the southern soil of Tehran. In this research, experiments were carried out in pots with a diameter of 15.5 cm and a height of 15.7 cm. These pots contained 2 kg of soil mixed with compost under the natural sunlight conditions of Tehran. In order to investigate the effect of strontium ion concentration on the transfer factor, the desired soil was first mixed with compost at a ratio of 3:1 and, using strontium nitrate salt solution in four different concentrations (50-200-500-1000 mg/kg) was infected. Pots were irrigated weekly with a specific volume of water at two different acidity levels (pH = 5 and 6) to investigate the effect of pH on the transfer factor. Also, the concentration of strontium ions in two tissues of the leaf and root of radish and watercress was done. This was examined to determine the accumulation of strontium ions in each of the tissues and their influence on the transfer factor. The results showed that with the increase in soil strontium concentration, the amount of adsorption of this element in both plants increases and the transfer factor decreases. Also, the plant had more adsorption in the soil with lower pH and a higher transfer factor was reported. The comparison of transfer factor and strontium adsorbed between the two plants also showed that radish adsorbed more strontium than watercress and had more transfer factor. Also, using an experimental method, the distribution coefficient, which is a crucial and practical parameter in pollutant transfer modeling and pollution risk assessment in soil and water resources, was determined by using the transfer factor from soil to plant. In this research, the possibility of decontamination of strontium from the soil by applying radish was investigated. The results showed that this plant could be used as a purifier to purify soils contaminated with strontium.

Keywords: Transfer factor, Strontium, Adsorption, Raphanus sativus var, Sativus and Lepidium sativum

۱. مقدمه

یکی از پارامترهای مهم در محاسبات تحلیل ایمنی و تعیین میزان پرتوگیری افراد پارامتر انتقال موادپرتوزا از خاک به گیاهان می‌باشد. از آن‌جایی که گیاهان به طور مستقیم و غیرمستقیم در رژیم غذایی انسان قرار دارند، بنابراین میزان انباشت مواد پرتوزا در گیاهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. آلودگی گیاهان با رادیونوکلئیدها بعد از سوانح هسته‌ای یکی از خطرات بزرگ سلامتی بشر است. بنابراین اندازه‌گیری فاکتور انتقال و بررسی عوامل مؤثر بر آن از اهمیت فراوانی برخوردار می‌باشد [۱، ۲].

به طور کلی رادیونوکلئیدها می‌توانند با سه مکانیسم به گیاه انتقال یابند که شامل تعلیق از سطح خاک، جذب توسط ریشه از لایه‌های عمیق‌تر خاک و ریزش باران می‌باشند. اهمیت هر یک از این مکانیسم‌ها به توزیع عمودی رادیونوکلئید در خاک، ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی رادیونوکلئید، طبیعت، شرایط و آهنگ رشد گیاه بستگی دارد. رادیونوکلئیدها تمایل دارند بیش‌تر از هر بخش از اکوسیستم در خاک تجمع یابند. برای خاک، مکانیسم‌های رایج انتقال به حیوانات و مردم از طریق گیاهان صورت می‌گیرد. از عوامل مؤثر بر انتقال از خاک به گیاه می‌توان به ویژگی‌های پخش، زمان بعد از آلودگی، ویژگی‌های خاک، ویژگی‌های گیاه و نوع رادیونوکلئید اشاره کرد [۳، ۴]. بنابراین رادیونوکلئیدها و گیاهانی که قرار است بر روی آن‌ها آزمایش انجام شود، باید با دقت بالایی انتخاب شوند. پارامترهای مختلفی بر روی این انتخاب تأثیر می‌گذارد که برخی از آن‌ها عبارتند از:

- وجود رادیونوکلئیدها در فهرست رادیونوکلئیدهایی که در محصولات شکافت وجود خواهند داشت؛
- اندازه‌گیری و تعیین آن‌ها در آزمایشگاه‌ها، قابل دسترس و میسر باشد؛
- از نظر فاکتور انتقال دارای اهمیت ویژه‌ای باشند؛
- امکان تهیه رادیونوکلئیدها وجود داشته باشد؛
- هم‌چنین گیاهان منطقه باید مورد مطالعه قرار بگیرند و گیاهان مشابه از نظر ویژگی‌های جذب انتخاب شوند؛

تاکنون تحقیقات گسترده‌ای توسط منابع مختلف جهت بررسی فاکتور انتقال و پارامترهای تأثیرگذار منتشر شده است. مهم‌ترین مدرک منتشر شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی اتمی IAEA TECDOC ۱۶۱۶ در زمینه تعیین انتقال رادیونوکلئید در محیط‌های زمینی و آب شیرین برای ارزیابی‌های رادیولوژیکی بوده و شامل پارامترهای فاکتور انتقال اصلاح شده و مفاهیم رادیولوژیکی است. اکثر فعالیت‌های انجام شده در ایران به منظور به دست آوردن فاکتور انتقال از خاک به گیاه نیز به منطقه‌ی رامسر اختصاص داشته است. به طور مثال در سال ۲۰۰۰ آقامیری و همکاران به بررسی اندازه‌گیری نسبت غلظت، از خاک به گیاه رادیم در خاک‌های منطقه‌ی رامسر پرداختند [۵].

شاید بتوان گفت، پخش رادیونوکلئیدها از رآکتور آسیب دیده‌ی چرنوبل در سال ۱۹۸۶ مهم‌ترین عاملی بود تا فرصتی برای محققین فراهم آورد که تحقیقات خود را برای به دست آوردن فاکتور انتقال رادیونوکلئیدها به خصوص سزیم و استرانسیم از آزمایشات گلدانی به آزمایشات مزرعه بسط دهند [۶-۱۴]. یک ماه بعد از این حادثه، پاسیکالیو[1] و همکارانش مطالعات خود را در سال ۱۹۸۶ و بر روی خاک‌های آلوده‌ی فنلاند متمرکز کردند [۱۵]. روتا و والجو[2] در سال ۱۹۹۴ جذب ریشه ^{134}Cs و ^{85}Sr را در گیاه کاهو که در دو خاک آلوده با ویژگی‌های متضاد رشد کرده بودند بررسی نمودند [۱۶]. ولاسکو[3] و همکارانش در سال ۲۰۰۸ به مطالعه و بررسی آماری عوامل مؤثر بر فاکتور انتقال در محیط‌های گرمسیری و نیمه‌گرمسیری پرداختند.

۲. روش تحقیق

در این تحقیق میزان جذب استرانسیم به عنوان عنصری با دسترسی زیستی و تحرک بالا و رادیونوکلئید متعارف در آلودگی‌های ناشی از سوانح هسته‌ای، به وسیله تربچه و شاهی به عنوان گیاهان پرمصرف در زنجیره غذایی در خاک اطراف تهران که به طور مصنوعی آلوده شده بود بررسی شد. استرانسیم چهار ایزوتوپ طبیعی پایدار دارد. یکی از مهم‌ترین ایزوتوپ‌های ناپایدار استرانسیم ^{90}Sr با نیمه‌عمر ۲۸٫۱ سال که محصول جانبی شکافت است. شعاع یونی Sr^{2+}، ۱٫۱۲ آنگستروم نزدیک به Ca^{2+} ۰٫۹۹ آنگستروم است. به همین دلیل استرانسیم می‌تواند رفتار شیمیایی مشابه کلسیم داشته باشد و جانشینی برای کلسیم در ساختارهای شماری از مواد معدنی باشد [۱۷]. در قالب یک طرح کاملاً تصادفی، بذرهای تربچه و شاهی در خاک آلوده شده با غلظت‌های ۵۰۰، ۲۰۰، ۵۰ و ۱۰۰۰ میلی گرم بر کیلوگرم از محلول آبی استرانسیم در دو سطح pH ۵ و ۶ رشد داده شدند (شکل ۱). نمونه‌های رشد داده شده بعد از اتمام زمان رشد، برداشت و سپس خشک شد. جهت تعیین میزان یون استرانسیم جذب شده توسط هربافت گیاه از دستگاه ICP-OES استفاده گردید.

1. Paassikallio
2. Rota &Vallejo
3. Velasco

شکل ۱. گیاه تربچه و شاهی، محل مورد استفاده و گلدان‌های کاشت شده.

۳. بخش تجربی

۱.۳ نحوه انجام آزمایشات

آزمایش در یک مکان سرباز در سازمان انرژی اتمی ایران در شهر تهران با استفاده از گلدان انجام گرفت. نمونه‌برداری از خاک مورد نیاز از اطراف شهر تهران با مختصات جغرافیایی °۳۵,۲۹۴۳۹ شمالی °۵۱,۶۵۰۶۶۹ شرقی صورت گرفت. نمونه‌های خاک ابتدا در هوا خشک شدند. سپس خاک مورد نظر خوب کوبیده شده و از الک ۲ میلی‌متری گذرانده شد تا به صورت یکنواخت درآید. کود کمپوست گیاهی تهیه و ۰٫۵ کیلوگرم از آن به ازای هر ۱٫۵ کیلوگرم خاک الک شده مخلوط شد. محلول با غلظت‌های ۵۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ گرم بر کیلوگرم خاک یا PPM از نمک استرانسیم نیترات با فرمول شیمیایی $Sr(NO_3)_2$ که دارای جرم مولی ۲۱۱٫۶۳ g/mol می‌باشد، تهیه شد. هر گلدان با قطر ۱۵٫۵ و ارتفاع ۱۵٫۷ سانتی‌متر با ۲ کیلوگرم از خاک آلوده شده با محلول استرانسیم در غلظت‌های ذکر شده و در دو سطح pH =۵ و pH=۶ پر شد. به منظور بررسی تأثیر pH بر فاکتور انتقال، محلول‌های آبیاری نیز در دو pH=۵ و pH=۶ تهیه شدند. نمونه‌ها در هر غلظت و pH سه بار تکرار شدند. بعد از کاشت بذرها در گلدان‌ها، آبیاری با استفاده از از رژیم آبیاری قطره‌ای، با حجم ۱۲۵ سی سی و سه بار در هفته انجام گرفت. عملیات کاشت، رشد و برداشت گیاه در اردیبهشت‌ماه و زیر نور طبیعی آفتاب انجام شد. برداشت شاهی ۲۲ روز بعد از کاشت و برداشت تربچه ۳۵ روز بعد از کاشت، در پایان دوره رشد گیاه صورت گرفت. عملیات کاشت دو روز پس از مخلوط کردن محلول با خاک صورت گرفت. جهت سنجش میزان استرانسیم در نمونه‌های خشک و پودر شده گیاهی از روش دفتر حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[1] برای آماده‌سازی نمونه استفاده شد. ابتدا نمونه‌های خشک وزن و سپس درون ظرف بشر قرار داده شدند. ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک به نمونه‌ها اضافه و به مدت ۱۵ دقیقه زیر دمای نقطه‌ی جوش حرارت داده شدند. بعد از سرد شدن نمونه‌ها ۵ میلی لیتر هیدروژن پراکساید به نمونه‌ها اضافه و مجدداً حرارت داده شدند. این کار تا متوقف شدن خروج گاز ادامه یافت. بعد از سرد شدن نمونه‌ها مجدداً ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک اضافه کرده و برای ۱۵ دقیقه دیگر نمونه‌ها تحت حرارت قرار گرفتند. نمونه‌ها در بالن حجمی به حجم ۱۰۰ میلی لیتر رسانده شدند و مدت ۵ دقیقه در دستگاه سانتریفوژ به منظور جدا شدن بخش کلوییدی آن قرار داده شدند. سپس جهت تعیین مقدار استرانسیم نمونه‌ها آنالیز شدند.

۲.۳ شناسایی خاک

نمونه‌های خاک خشک شده برای انجام تجزیه‌های آزمایشگاهی و آنالیز توسط دستگاه XRF[2] و XRD[3] مورد بررسی قرار گرفتند. روش پراش اشعه ایکس برای شناسایی اجزای خاک استفاده شد که برای این منظور از دستگاه پراش اشعه ایکس ساخت STOE آلمان مدل STADI MP استفاده گردید. ترکیب شیمیایی خاک با استفاده از روش فلورسانس اشعه ایکس به دست آمد که برای این منظور از دستگاه فلورسانس ساخت OXFORD مدل ED۲۰۰۰ استفاده شد. نمک استرانسیم مورد استفاده نیز دارای خلوص تجزیه‌ای (۹۰ درصد) بوده و از شرکت مرک آلمان تهیه شد. در جدول‌های ۱ و ۲ کانی‌ها و عناصر تشکیل‌دهنده خاک آورده شده‌اند.

دانه‌های شن معمولاً از کوارتز و ذرات رس به گروهی از کانی‌ها به نام آلومینو سیلیکات‌ها تعلق دارند. با توجه به درصد بالای SiO_2 در خاک (۶۶٫۰۶٪) و میزان Al_2O_3 پایین خاک (۱۰٫۶۳٪) با توجه به نمودار مثلثی خاک، این خاک را می‌توان در گروه خاک‌های لوم- ماسه‌ای طبقه‌بندی کرد [۱۸].

جدول ۱. فازهای شناسایی شده توسط آنالیز XRD در نمونه خاک

فرمول شیمیایی	کانی
SiO_2	کوارتز
$Na_{0.3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2\text{-}xH_2O$	مونتموریلونیت
$(K,Na)(Al,Mg,Fe)_2(Si_{3/1}Al_{0.9})O_{10}(OH)_2$	مسکوویت
$CaCO_3$	کلسیم کربنات
$NH_4Ca_2P_3O_{10}.2.5H_2O$	آمونیم کلسیم فسفات هیدرات

1. USEPA
2. X-Ray Fluorescence
3. X-Ray Diffraction

جدول ۲. نتایج آنالیز XRF نمونه خاک

ترکیب	درصد وزنی در خاک
SiO_2	۶۶٫۰۶
Al_2O_3	۱۰٫۶۳
Fe_2O_3	۱٫۳۶
FeO	۰٫۲۶
MgO	۴٫۶۵
CaO	۸٫۸۰
Na_2O	۰٫۱۷
K_2O	۰٫۴۷

۴. بحث و نتیجه‌گیری

۱.۴ تأثیر افزایش غلظت و pH خاک بر میزان جذب استرانسیم در گیاه

همان‌طور که در شکل‌های ۲ تا ۶ و جدول ۳ دیده می‌شود، با افزایش غلظت استرانسیم در خاک، استرانسیم جذب شده در هر دو گیاه تربچه و شاهی افزایش یافته است که در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM این افزایش به میزان ۲۱۱٪ تا ۰٫۲٪ بوده است. با افزایش غلظت از ۵۰۰ PPM به ۱۰۰۰ PPM میزان افزایش جذب استرانسیم خاک توسط گیاه در محدوده‌ی ۲۲٪ تا ۰٫۲٪ بوده است که می‌تواند بر اساس منحنی مکلیس منتین توجیه شود. براساس این منحنی سرعت جذب یک یون با توجه غلظت یون از تابع لگاریتمی تبعیت می‌کند. افزایش غلظت عناصر تا یک اندازه‌ای در محیط ریشه سبب افزایش جذب شده، اما با افزایش بیش‌تر غلظت ثابت می‌ماند. فعالیت ناقلین با توجه به غلظت عناصر در محیط ریشه متغیر است و وقتی غلظت عناصر در محیط ریشه زیاد باشد، مکانیسم انتقال پایین فعال می‌باشد. در این مرحله تمام قسمت‌های یک ناقل توسط یون‌های جذب شده اشغال شده است. نتایج جدول ۳ هم‌چنین نشان می‌دهد که با افزایش pH خاک از ۵ به ۶ مقدار کم‌تری استرانسیم در گیاهان انباشته شده است که در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM این میزان کاهش در بازه‌ی ۲۴٪ تا ۱٫۷۷٪ بوده است. علت این امر، تأثیر pH برظرفیت تبادلی کاتیونی خاک است. با افزایش pH و افزایش OH^- خاک تعداد بارهای منفی روی کلوییدهای خاک افزایش می‌یابد. بنابرین CEC خاک افزایش می‌یابد. هر چه CEC خاک بالاتر باشد، تمایل به جذب شکل کاتیونی عناصر در آن‌ها افزایش می‌یابد و این عناصر دسترسی کم‌تری برای گیاه خواهند داشت. در خاک‌هایی که CEC پایین‌تر دارند، جذب بیش‌تر عناصر توسط گیاه صورت می‌گیرد. با کاهش pH، یون‌های H^+ به کلوییدهای خاک که بار منفی دارند می‌چسبند و کاتیون‌ها مجبور به ترک خاک شده و وارد آب می‌شوند. در این حالت CEC هم‌چنین قابلیت حل شدن نمک‌های وابسته به pH بوده و معمولاً در pH اسیدی نمک‌ها بهتر حل می‌شوند که در این پروژه از نمک استرانسیم نیترات استفاده شد.

مقایسه بین استرانسیم جذب شده در برگ و ریشه تربچه نشان می‌دهد که غلظت استرانسیم جذب شده در برگ تربچه در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM، ۳۶٪ تا ۵۴٪ بیش‌تر از ریشه تربچه بوده است. با توجه به این‌که غلظت کلسیم در بافت‌های آبکش بسیار کم‌تر از غلظت کلسیم در بافت‌های چوبی می‌باشد بنابراین می‌تواند دلیلی برای جذب بیش‌تر متشابه‌ی شیمیایی آن یعنی استرانسیم در برگ‌ها باشد.

بررسی جدول ۳ هم‌چنین نشان می‌دهد که میزان استرانسیم جذب شده در برگ تربچه در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM بیش‌تر از برگ شاهی بوده است که این تفاوت در بازه‌ی ۵۸٪ تا ۰٫۰۱٪ متغیر بوده است و این نشان‌دهنده‌ی این است که گیاه تربچه توانایی بیش‌تری را نسبت به شاهی در جذب کردن استرانسیم خاک دارد.

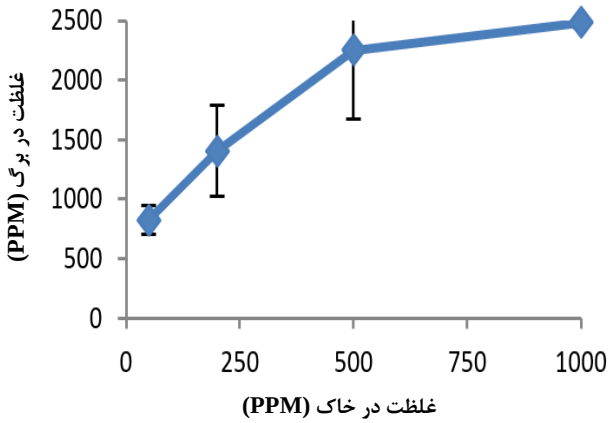
۲.۴ فاکتور انتقال

فاکتور انتقال برای جذب هر رادیونوکلوییدی از خاک به گیاه معمولاً به صورت نسبت غلظت رادیونوکلویید در وزن خشک گیاه به غلظت رادیونوکلویید در وزن خشک لایه خاک مورد نظر تعریف می‌شود. این پارامتر در برخی منابع با TF[1] و در برخی منابع با Fv نیز نشان داده شده است. غلظت وزن خشک در همه گیاهان به جز میوه‌ها جهت کاهش عدم قطعیت به کار می‌رود. رابطه کلی برای به دست آوردن فاکتور انتقال در رابطه زیر ارائه شده است [۱۹].

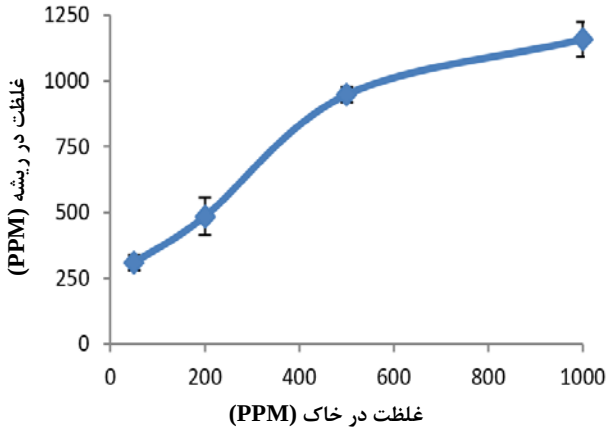
$$TF = \frac{\left(BqKg^{-1}\right) \text{غلظت رادیونوکلویید در وزن خشک گیاه}}{\left(BqKg^{-1}\right) \text{غلظت رادیونوکلویید در وزن خشک خاک}} \quad (۱)$$

به منظور بیان پراکندگی توزیع نتایج آنالیز میانگین حسابی و انحراف معیار فاکتور انتقال نمونه‌ها با سه بار تکرار محاسبه شد. حد بالا و پایین میانگین با محاسبه‌ی حدود اطمینان ۹۰٪ با استفاده از آزمون t از جدول‌های آماری به دست آمد. میزان استرانسیم جذب شده در دو گیاه تربچه و شاهی در ۴ غلظت ۵۰، ۲۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ بر حسب میلی‌گرم بر کیلوگرم و در pH= ۵ و pH=۶ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج در شکل‌های ۲ تا ۷ ارائه شده است.

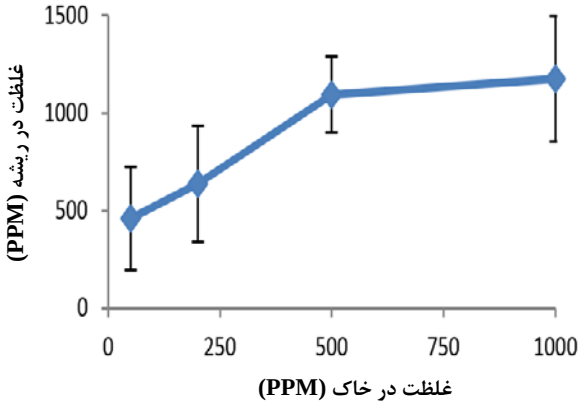
1. Transfer Factor



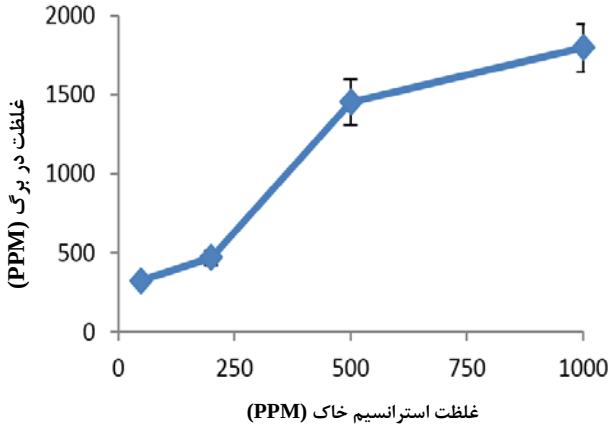
شکل ۲. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (pH=۵) بر غلظت استرانسیم جذب شده در برگ تربچه.



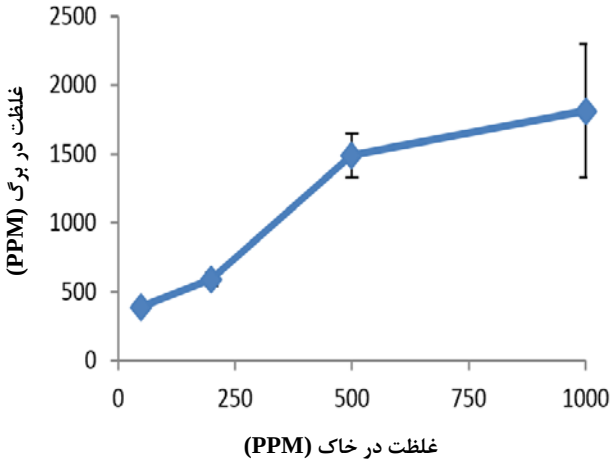
شکل ۵. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (pH=۶) بر غلظت استرانسیم جذب شده در ریشه تربچه.



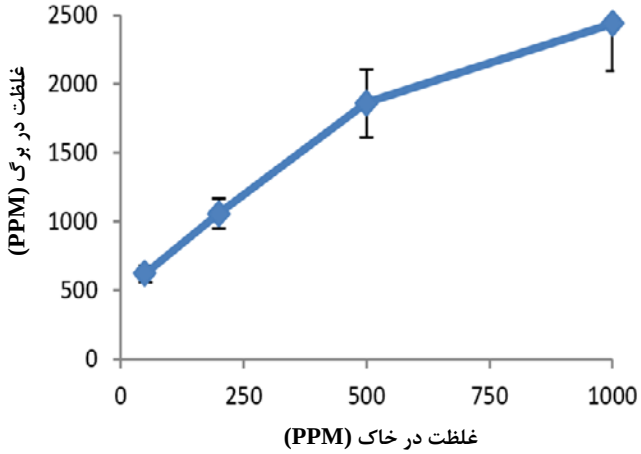
شکل ۳. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (PH=5) بر غلظت استرانسیم جذب شده در ریشه تربچه.



شکل ۶. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (pH=۵) بر غلظت استرانسیم جذب شده در برگ شاهی.



شکل ۴. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (pH=۶) بر غلظت استرانسیم جذب شده در برگ تربچه.



شکل ۷. تأثیر افزایش غلظت استرانسیم خاک (pH=۶) بر غلظت استرانسیم جذب شده در برگ شاهی.

جدول ۳. تأثیر غلظت استرانسیم خاک و pH بر فاکتور انتقال

غلظت استرانسیم در خاک (PPM)		فاکتور $\bar{x}$ انتقال (TF)	S.D	$\bar{x}$ میانگین غلظت استرانسیم (PPM)	S.D
۵۰		۱۶٫۴۷	۱٫۴۵	۸۳۲	۷۳
۲۰۰	برگ تربچه	۷٫۰۳	۱٫۱۳	۱۴۰۷	۲۲۶
۵۰۰	pH = ۵	۴٫۴۹	۱٫۳۸	۲۲۴۹	۲۷۷
۱۰۰۰		۲٫۴	۰٫۰۲	۲۴۸۳	۲۶۰
۵۰		۹٫۲	۱٫۸	۴۶۰	۹۰٫۵
۲۰۰	ریشه تربچه	۳٫۱۸	۰٫۵۱	۶۳۷	۱۰۳
۵۰۰	pH = ۵	۲٫۱	۰٫۱۳	۱۰۹۴	۶۷٫۵
۱۰۰۰		۱٫۱۷	۰٫۰۵	۱۱۷۴	۵٫۶
۵۰		۱۲٫۴۴	۱٫۲۱	۶۲۲	۶۰٫۵۰
۲۰۰	برگ تربچه	۵٫۰۳	۰٫۵۴	۱۰۶۰	۱۰۸٫۴
۵۰۰	pH = ۶	۳٫۷۲	۰٫۴۹	۱۸۶۲	۲۴۶٫۳
۱۰۰۰		۱٫۸۰	۰٫۳۴	۲۴۳۹	۳۴۶٫۱
۵۰		۶٫۱۷	۰٫۳۵	۳۰۹	۲۹٫۷۵
۲۰۰	ریشه تربچه	۲٫۴۰	۰٫۲۱	۴۸۵	۷۱٫۹۱
۵۰۰	pH = ۶	۱٫۸۹	۰٫۰۳	۹۴۷	۲۸٫۹۰
۱۰۰۰		۱٫۱۵	۰٫۰۳	۱۱۵۸	۶۷٫۳۸
۵۰		۷٫۸۳	۰٫۰۷۳	۳۹۰	۳٫۶۵
۲۰۰	برگ شاهی	۲٫۹۳	۰٫۱۴	۵۸۹	۲۸٫۰۴
۵۰۰	pH = ۵	۲٫۹۸	۰٫۱۹	۱۴۹۰	۹۵٫۳
۱۰۰۰		۱٫۸۰	۰٫۲۴	۱۸۱۲	۲۸۴٫۶
۵۰		۶٫۵۰	۰٫۵۵	۳۲۵	۲۷٫۶۱
۲۰۰	برگ شاهی	۲٫۳۳	۰٫۲۱	۴۶۷	۴۲٫۹
۵۰۰	pH = ۶	۲٫۹۱	۰٫۲۸	۱۴۵۵	۱۴۳٫۷
۱۰۰۰		۱٫۸۰	۰٫۱۵	۱۷۹۸	۱۵۰٫۶

همان‌طور که جدول ۳ نشان می‌دهد با افزایش غلظت استرانسیم در خاک فاکتور انتقال هم در ریشه و برگ تربچه و هم برگ شاهی کاهش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل کاهش توانایی گیاه برای جذب استرانسیم با افزایش غلظت استرانسیم خاک باشد.

مقایسه فاکتور انتقال بین برگ و ریشه تربچه هم نشان‌دهنده‌ی بیش‌تر بودن فاکتور انتقال در برگ تربچه است که نتایج تی بان نای [1] و مراماستو [2] در سال ۲۰۰۲ را تأیید می‌کند. هم‌چنین مقادیر گزارش شده برای برگ و ریشه تربچه در مدرک سری ایمنی ۲۴۷ آژانس بین‌المللی انرژی اتمی هم نشان‌دهنده بزرگ‌تر بودن فاکتور انتقال برگ نسبت به ریشه است.

با افزایش pH خاک از ۵ به ۶ مقدار کم‌تری استرانسیم در گیاهان انباشته شده و در نتیجه فاکتور انتقال کاهش یافته است. نتایج مشابه توسط رومنی ۱۹۵۹ و حقیری ۱۹۶۱ گزارش شده است [۲۰]. بررسی‌ها هم‌چنین نشان می‌دهد که فاکتور انتقال برگ تربچه هم نسبت به ریشه‌ی آن در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM به میزان ۴۴٪ تا ۵۴٪ بیش‌تر بوده است. از سوی دیگر فاکتور انتقال برگ تربچه در محدوده‌ی غلظت ۵۰ PPM تا ۱۰۰۰ PPM بیش‌تر از برگ شاهی بوده است که این تفاوت در بازه‌ی ۵۸٪ تا ۰٫۰۱٪ متغیر بوده است و این نشان‌دهنده‌ی این است که گونه‌های گیاهی مختلف فاکتورهای انتقال متفاوتی دارند.

۳.۴ ضریب توزیع

آلودگی منابع آب و خاک یکی از چالش‌های مهم استفاده بهینه از این منابع در سرتاسر جهان است. ضریب توزیع نه تنها یک پارامتر کاربردی در مدل‌سازی انتقال آلاینده‌ها در خاک است، بلکه در ارزیابی ریسک آلودگی منابع آب و خاک نیز کاربرد دارد. روش‌های آزمایشگاهی مختلفی وجود دارند که معمولاً برای اندازه‌گیری K_d استفاده می‌شوند. علاوه بر روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین ضریب توزیع بایس و شپرد [3] در سال ۱۹۸۴ و شپرد در سال ۱۹۸۹ یک روش تجربی برای محاسبه‌ی K_d برای رادیونوکلوییدی که نسبت غلظت خاک به گیاه آن TF است بر اساس رابطه مابین K_d و TF بیان کردند شپرد و تیبالت [4] در سال ۱۹۹۰ را ارایه دادند [۲۱]:

$$\ln Kd = a + b(\ln TF) \qquad (۲)$$

در این معادله پارامترهای a و b ثابت هستند. مقدار برای b ۰٫۵- است که بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی تعیین شده است. مقدار a بستگی به نوع خاک دارد که از جدول ۴، ۲٫۱۱ تعیین شد.

همان‌طور که در جدول ۵ مشخص است، با افزایش غلظت استرانسیم خاک و افزایش pH، فاکتور k_d در بیش‌تر غلظت‌ها افزایش یافته است که این میزان افزایش در بازه‌ی ۵٫۴٪ تا ۲۰٪ متغیر بوده است. با افزایش pH و افزایش CEC خاک احتمال جذب Sr^{2+} توسط خاک افزایش می‌یابد.

جدول ۴. رابطه‌ی مابین a و جنس خاک برای محاسبه‌ی K_d

نوع خاک	a
Sandy	۲٫۱۱
Loam	۳٫۳۶
Clay	۳٫۷۸
Otganic	۴٫۳۲

1. T. Ban-Nai
2. Y. Muramatsu
3. Baes et al and Sheppard
4. Thibault

جدول ۵. محاسبه‌ی K_d به کمک فاکتور انتقال

غلظت استرانسیم در خاک (PPM)		۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
K_d برگ تربچه	pH=۵	۷٫۰۲	۱۰٫۵	۱۳٫۴	۱۸٫۵
	pH=۶	۸	۱۲٫۸	۱۴٫۸	۱۸٫۲
K_d ریشه تربچه	pH=۵	۹٫۴۸	۱۴٫۸	۱۹٫۷	۲۴٫۵
	pH=۶	۱۱٫۵	۱۸٫۵	۲۰٫۹	۲۶٫۸
K_d برگ شاهی	pH=۵	۱۰٫۳	۱۶٫۸	۱۶٫۹	۲۱٫۳
	pH=۶	۱۱٫۲	۱۸٫۷	۱۶٫۸	۲۱٫۳

۴.۴ شاخص تجمع زیستی[1] و جابه‌جایی[2]

شاخص تجمع زیستی یا ضریب تجمع زیستی مشخص‌کننده‌ی توانایی گیاهان برای تحمل و تجمع فلزات در اندام‌های خود بوده و شاخص جابه‌جایی یا ضریب جابه‌جایی نشان‌دهنده‌ی توانایی خاص گیاهان برای جذب و انتقال فلزات از رسوبات و سپس ذخیره‌ی آن‌ها در بخش‌های بالایی سطح زمین است. مقادیر این شاخص مطابق راوابط زیر محاسبه می‌گردند.

$$\text{ضریب تجمع زیستی اندام زیرزمینی} = \frac{\text{غلظت در اندام زیرزمینی}}{\text{غلظت فلز در خاک}} \quad (۳)$$

$$\text{ضریب تجمع زیستی اندام هوایی} = \frac{\text{غلظت در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در خاک}} \quad (۴)$$

$$\text{شاخص جابه‌جایی از اندام زیرزمینی به اندام هوایی} = \frac{\text{غلظت فلز در اندام هوایی}}{\text{غلظت فلز در اندام زیرزمینی}} \quad (۵)$$

با توجه به این‌که تجمع بالای فلزات سنگین در محیط می‌تواند اثرات منفی زیادی بر روی سلامتی اکوسیستم‌ها داشته باشد به همین جهت، آلودگی فلزات سنگین در سرتاسر جهان همواره به عنوان یک مشکل جدی مطرح بوده است. یکی از روش‌های نوین گیاه پالایی، استخراج گیاهی[3] است که در آن از گیاهان تجمع‌دهنده فلز جهت پاک‌سازی محیط‌های حاوی مقادیر بالای فلزات سنگین استفاده می‌گردد. این گیاهان می‌توانند مقادیر مهمی از فلزات را در بخش هوایی و قابل برداشت خود مجتمع نمایند.

اگرچه تاکنون بیش از ۴۰۰ گونه گیاهی بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین شناسایی شده است، با این وجود استفاده از تکنیک استخراج گیاهی هنوز به طور عملی در سطح وسیع انجام نشده است. بنابراین، بررسی و ارزیابی دقیق پوشش گیاهی موجود در مناطقی که به علت فعالیت‌های انسانی به ویژه فعالیت‌های ذوب فلز دربرگیرنده غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین هستند، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است و می‌تواند منجر به شناسایی گونه‌های گیاهی مناسب برای پاک‌سازی خاک از فلزات سنگین شود. طبق تعریف یک گیاه بیش تجمع‌دهنده فلز سنگین با چهار شاخص مشخص می‌شود: الف) توانایی تجمع فلز در بخش هوایی، یعنی حد آستانه میزان فلز در بخش هوایی باید بالاتر از گیاهان معمولی باشد، ب) داشتن شاخص تغلیظ زیستی (BF) بزرگ‌تر از یک، ج) داشتن فاکتور جابه‌جایی (TF) بزرگ‌تر از یک و د) توانایی تحمل در برابر غلظت‌های بالای فلز.

با توجه به فاکتور انتقال تعریف شده از خاک به گیاه برای برگ تربچه و شاهی و ریشه تربچه، شاخص تجمع زیستی برابر فاکتور انتقال خواهد بود. شاخص جابه‌جایی نیز از میانگین این مقدار برای گیاه تربچه در جدول ۶ آمده است. بزرگ‌تر از یک بودن فاکتورهای انتقال و جابه‌جایی، نشان‌دهنده‌ی توانایی گیاه تربچه برای جذب و انباشت استرانسیم خاک است و با توجه به رشد سریع آن، این گیاه می‌تواند برای پالایش خاک‌های آلوده به استرانسیم مناسب باشد.

جدول ۶. شاخص تجمع زیستی و جابه‌جایی برای تربچه در غلظت و pHهای مختلف

غلظت استرانسیم در خاک (PPM)		۵۰	۲۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰
pH=۵	شاخص تجمع	۱۶٫۴۷	۷٫۰۳	۴٫۴۹	۲٫۴
pH=۶	زیستی (BF)	۱۲٫۴۴	۵٫۰۳	۳٫۷۲	۱٫۸
pH=۵	شاخص جابه‌جایی	۱٫۷۸	۲٫۲	۲٫۰۵	۲٫۲۶
pH=۶	(TF)	۲٫۰۱	۲٫۱۸	۱٫۹	۲٫۱

مراجع

1. International atomic energy agency, *Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments*, Technical Report Series, no 472 (2010).
2. John E. Till, Helen Grogan, *Radiological Assessments Corporation, Helen A. Grogan President Radiological Assessments Corporation*, (2008).
3. F.W. Whicker, T.B. Kirchner, *A dynamic food-chain model to predict radionuclide ingestion after fallout* Health Phys., **52(6),** 717-737 (Jun 1987).
4. H. Velasco a, J. Juri Ayub a, U. Sansone, *Analysis of radionuclide transfer factors from soil to plant in tropical and subtropical environments*, (2008).
5. S.M.R. Aghamiri, M.R.D. Seaward, M. Beitollahi, *Soil to-plant 226Ra concentration ratio in elevated narural radiation areas in iran*, Journal of Radiological Protection, **22(2)**, (2000).

1. Bioconcentration Factor
2. Translocation Factor
3. Phytoextraction

6. A.B. Ramadan, *Soil-to-plant uptake of ^{137}Cs and ^{85}Sr in some Egyptian plants grown in Ins has region*, Egypt, J Environ Radioact, (2021), doi: 10.1016/j.jenvrad.2021.106632.
7. M. Al-Oudat, *Transfer factor of ^{137}Cs and ^{90}Sr to various crops in semi-arid environment*, J. Environ Radioact, doi: 10.1016/j.jenvrad.2020.106525.
8. L.A. Attar, *Transfer factor of ^{90}Sr and ^{137}Cs to lettuce and winter wheat at different growth stage applications*, Journal of Environmental Radioactivity, **150**, 104-110 (2015).
9. Keith F. Eckerman, Jeffrey C. Ryman, *External exposure to radionuclides in air, water and soils*, Federal Guidance Report, NO. 12 (1993).
10. S. Topcuoglu, et al, *Transfer of caesium-137, strontium-90 and polonium-210 from soil to maize and black cabbage crops*, (2003).
11. *Classification of soil systems on the basis of transfer factors from soil to reference plant*, Report of Final Research, Coordination Meeting Organized by the Joint FAO/IAEA Programme of Nuclear Techniques in Food and Agriculture.
12. A. Kabata-Pendias, A. Mukhergee, *Trace elements from soil to human*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 561 (2007).
13. United States environmental protection agency, *Understanding Variation Inpartition Coefficient, Kd*, Values. Volume II. 402-R-99-004B (1999).
14. Dharmendra Kumar Gupta, Clemens Walther, *Radinuclide Contamination and Remediation Through Plants*, (2014).
15. A. Paassikallio, *The effect of time on the availability of strontium 90 and cesium 137 to plants from finnish soils*, Annales Agriculturae Fenniae, 109-120 (1984).
16. M.C. Rota, V.R. Vallejo, *Effect of Soil Potassium and Calcium on Caesium and Strontium Uptake by Plant Roots*, J. Environ. Radioactivity, **28(2)**, 141-159 (1994).
17. A. Kabata-Pendias, H. Pendias, *Trace Elements in Soils and Plants*, 3rd ed. CRC Press, Washington, D.C (2001).
18. Hillel-Daniel, *Getting to know soil physics*, Translated by Mirza Khani Reza. Tehran University Publishing Center (1382) (In Persian).
19. International atomic energy agency, *Quantification of Radionuclide, Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments for Radiological Assessments*, TECDOC-1616 (2009).
20. J. Benton JONES Jr and F. Haghiri, *Reducing the Uptake of Sr90 by Plants on Contaminated Ohio Soils*, Ohio Journal of Science, **62(2)**.
21. C. Yu, et al, *Data Coliection Handbook to Support Modeling Impacts of Radioactive Material in Soil*, (1993).

|COPYRIGHTS
©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

استناد به این مقاله

مهرنوش زوار موسوی، سید امیرحسین فقهی، حسن آقایان، امیرمسعود طاهریان، حسین قاسمی، طاهر یوسفی (۱۴۰۲)، تعیین فاکتور انتقال خاک به گیاه یون استرانسیم از نمونه خاک استان تهران به دو گونه گیاهی تربچه و شاهی و بررسی پارامترهای تأثیرگذار بر روی آن، ۱۰۵، ۱۵۰-۱۵۸

DOI: 10.24200/nst.2022.1068.1722 **Url**: https://jonsat.nstri.ir/article_1524.html