محاسبات زیست‌محیطی انتقال $Cs^{۱۳۷}$ در گیاهان

INC29-1090

بهارک اسلامی*

گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه پیام نور، ص. پ. ۴۶۹۷-۱۹۳۹۵ تهران، ایران.

چکیده:

برای حفظ سلامت انسان‌ها تخمین مقدار سزیم واردشده به گیاهان خوراکی اهمیت دارد. هر روشی که بتواند تخمین سریعی از مقدار ماده سزیم پرتوزا به گیاه داشته باشد موردتوجه خواهد بود. یکی از روش‌های تعیین مقدار آلودگی گیاهان خوراکی محاسبه ضرایب انتقال می‌باشد. در این مقاله با حل معادلات چندبخشی به روش رانگ کوتای مرتبه ۴، مقدار سزیم موجود در بخش‌های مختلف چند گیاه به‌دست‌آمده است. این کار توسط شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار MATLAB و محاسبه ضرایب انتقال $Cs^{۱۳۷}$ در چند نوع گیاه با استفاده از مدل دوبخشی و سه‌بخشی انجام‌شده است.

کلیدواژه‌ها: $Cs^{۱۳۷}$، ضریب انتقال، مدل چندبخشی، روش رانگ‌کوتا.

Environmental calculation of ^{137}Cs transport in plants

B. Eslami*

Department of Physics, Payame Noor University (PNU), P.O. Box 19395-4697, Tehran, Iran

Abstract:

To maintain human health, estimating the amount of cesium added to edible plants is essential. Therefore, any method that can quickly estimate the amount of radioactive cesium in the plant will be considered. One of the ways to determine the amount of contamination of edible plants is to calculate transfer coefficients. In this article, the amount of cesium present in different parts of several plants has been obtained by solving multi-part equations using the fourth-order Rang-Kuttai method. This work has been done by simulation using MATLAB software and calculating 137Cs transfer coefficients in several plants using two-part and three-part models.

Keywords: ^{137}Cs, Transmission coefficient, Multipart model, Rang-Kuttai method.

۱. مقدمه

سزیم یکی از فلزات قلیایی می‌باشد که عملکرد آن در بدن مشابه سدیم و پتاسیم می‌باشد و نیز دارای خاصیت جابجایی با آن‌ها است. به‌طوری‌که پس از جابجایی، عوارضی همانند ایجاد اختلال حواس و عدم تعادل در انسان داشته و درنهایت سبب بروز بیماری‌های خطرناک مثل سرطان معده می‌گردد. برخی مواد رادیواکتیو در اثر فعالیت انسان به‌صورت انبوه در محیط‌زیست پخش می‌شوند. ازجملهٔ این فعالیت‌ها می‌توان به آزمایش‌های هسته‌ای و به‌ویژه به حوادث بزرگ نیروگاه‌های هسته‌ای مانند چرنوبیل و فوکوشیما اشاره کرد[1].

پرتوگیری‌های خارجی و داخلی درنتیجهٔ ورود این رادیونوکلئیدها از طریق خوراکی‌ها، نوشیدنی‌ها و استنشاق هوای آلوده به بدن، می‌تواند خطرات بالقوه و بالفعلی را برای انسان ایجاد کند. میزان این پرتوگیری‌ها بسته به نوع رادیونوکلئید، میزان آلودگی ورودی و مدت‌زمان، متفاوت خواهد بود. چون سزیم از طریق کلیه، همراه با ادرار از بدن دفع می‌شود، درنتیجه ممکن است مجدداً وارد زنجیره غذایی شود. مهم‌ترین کاربرد سزیم در طبیعت به‌عنوان عنصر ردیاب است. این فلز قلیایی به دلیل نیمه‌عمر حدود ۳۰ساله خود به‌صورت طبیعی وجود ندارد و غالباً به‌عنوان پایه در اندازه‌گیری‌های گوناگون مورداستفاده قرار می‌گیرد.

آلودگی رادیواکتیو محیط‌زیست می‌تواند به صوت هرگونه افزایشی در تابش زمینه‌ی طبیعی ناشی از فعالیت‌های انسانی شامل استفاده از مواد رادیواکتیو تولیدشده به‌صورت مصنوعی یا طبیعی تعریف شود که معمولاً درنتیجه از دست دادن کنترل رهاسازی مواد رادیواکتیو به محیط ایجاد می‌شود که می‌تواند گه گاه اتفاقی و یا مستمر باشد[2]. خاک به‌عنوان منبع اصلی در انتقال عناصر بخصوص عناصر رادیواکتیو به آب، گیاهان و جانداران زنده نقش مهمی در بررسی‌های محیطی دارد[3]. دفن زباله‌های هسته‌ای در خاک و یا رهاسازی‌های کنترل نشده مواد رادیواکتیو به محیط که اقدامات حفاظتی لازم را به دنبال نداشته باشد می‌تواند آلودگی‌های سطحی و زیرزمینی خاک را منجر شود. بنابراین پایش هرگونه رهاسازی مواد رادیواکتیو به محیط‌زیست ازجمله خاک ضروری می‌باشد[4]. آنالیز و تعیین هرکدام از رادیونوکلئیدهای موجود در خاک نیازمند صرف زمان و هزینه زیاد می‌باشد. لذا روشی بهینه ازنظر زمانی و اقتصادی جهت بررسی عناصر رادیواکتیو در نمونه‌های موردبررسی که تصویری کلی از وجود عناصر رادیواکتیو در آن‌ها را نشان دهد، می‌تواند بسیار سودمند واقع شود[5].

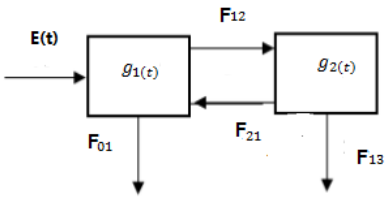
در پی بروز حوادث هسته‌ای، مواد رادیواکتیو به محیط اطراف منتشر می‌شود که سبب خطرات جانی برای انسان‌ها خواهد شد. مواد پرتوزا علاوه بر آلوده‌کردن محیط اطراف تأسیسات به همراه وزش باد و بارش برف و باران، به مناطق دیگر نیز انتقال می‌یابد و وسعت بیشتری را تحت تأثیر قرار می‌دهند. همچنین عناصر پرتوزا که در سطح زمین نشست می‌کنند، می‌توانند از طریق خاک به ریشه و ساقه و درنهایت میوه درختان و گیاهان نفوذ کنند. فرایند انتقال این مواد به گیاهان می‌تواند با ضرایب انتقال بیان شود که تجمع رادیونوکلئیدها را در گیاه نشان می‌دهد[6]. علاوه بر این جذب مواد پرتوزا در گیاهان سبب آلودگی جانوران منطقه شده و در زنجیره غذایی تأثیرگذار است که سلامت انسان را تهدید می‌کند. برای بررسی رادیونوکلئیدهای انتشاریافته در محیط‌زیست، اطلاعاتی درباره طول نیمه‌عمر و نحوه انتقال عناصر پرتوزا در خاک و مواد دیگر، امری بسیار مهم تلقی می‌شود. آن دسته از عناصر پرتوزا که دارای نیمه‌عمر کوتاهی هستند، برای زنجیره غذایی تهدید محسوب نمی‌شوند ولی عناصری با نیمه‌عمر طولانی‌تر حائز اهمیت هستند. ازجمله رادیوایزوتوپ‌هایی که طی حادثه هسته‌ای به محیط اطراف انتشار می‌یابند، ^{131}I و ^{137}Cs هستند که به ترتیب دارای نیمه‌عمر ۸ روز و ۳۰ سال می‌باشند[7]. با توجه به این که سزیم رادیواکتیو نیمه‌عمر طولانی‌تری دارد، می‌تواند مدت‌زمان بیشتری در محیط باقی بماند و نسبتاً سریع جذب گیاهان مختلف ازجمله گیاهان دارای مصرف خوراکی شود و در ادامه فرایند وارد بدن انسان شود. با ورود ^{137}Cs به بدن، در سراسر بافت نرم به‌طور یکنواخت توزیع می‌شود و روی سلامت انسان اثرات مخربی دارد. میزان آسیب بافت بر اثر مواد پرتوزا بسته به نوع رادیونوکلئید و میزان پرتوزایی متفاوت خواهد بود. پس لازم است تا میزان غلظت مواد رادیواکتیو در محیط، چگونگی انتقال رادیونوکلئیدها در بخش‌های مختلف ازجمله خاک، گیاه و میوه و مقادیر ضرایب انتقال و جذب مربوط به هر بخش موردبررسی قرارگرفته و تعیین‌شوند[8].

برای این کار باید مدل‌سازی مناسب صورت بگیرد تا با شبیه‌سازی حادثه هسته‌ای بتوان به مقادیر مطلوب دست‌یافت. همچنین می‌توان با مقایسه مقادیر به‌دست‌آمده با مقادیر واقعی، میزان دقت مدل‌سازی انجام‌شده را تشخیص داد.
برای حفظ سلامت انسان‌ها تخمین سریع مقدار سزیم وارد شده به گیاهان خوراکی اهمیت دارد. هر روشی که بتواند تخمین سریعی از مقدار ماده سزیم پرتوزا به گیاه داشته باشد موردتوجه خواهد بود. در این مقاله با در نظر گرفتن داده‌های حاصل از منطقه فوکوشیما در ۸ ماه بعد از حادثه به‌عنوان ورودی، ضرایب انتقال ^{137}Cs در اجزای چند گیاه غذایی محاسبه‌شده است. برای این کار از مدل دوبخشی و سه‌بخشی برای گیاهانی نظیر کلم بروکلی، ترب و جعفری استفاده‌شده است.

۲. روش کار

نظارت بر محیط‌زیست، محصولات کشاورزی، جنگل‌داری و شیلات از عوامل مهم جهت حفظ سلامت انسان به حساب می‌آید. ازجمله موارد پیشگیری‌کننده از آلودگی تعیین مقدار ماده پرتوزا در مواد غذایی مختلف است. هنگام حوادث هسته‌ای اختصاص امکانات و تجهیزات کافی برای تمام مناطق کار سختی است. راه ساده و سریع برای تعیین میزان آلودگی می‌تواند استفاده از شبیه‌سازی باشد. برای این منظور ابتدا باید میزان غلظت آلودگی محیط‌زیست به مواد رادیواکتیو ازجمله ^{137}Cs تعیین شود تا بتوان با مدل‌سازی مناسب، مقادیر ضرایب انتقال و جذب مربوط به خاک، گیاه و میوه را محاسبه کرد. بهترین مدل برای توصیف انتقال و جذب مواد رادیونوکلئیدها، مدل چندبخشی می‌باشد که می‌توان جهت بررسی سیستم‌های زیست‌محیطی از آن استفاده کرد[9].

در این مدل با تقسیم سیستم به چند بخش، عملکرد بخش‌ها را که توصیف‌کننده مقدار جذب ماده پرتوزا است بررسی می‌کنند. توصیف سیستم در مدل چندبخشی به کمک معادلات دیفرانسیل با ضرایب ثابت انجام می‌شود[10]. برای مثال جهت بررسی نحوه توزیع و جذب^{137}Cs در گیاهی مانند ترب که سیستم ساقه مجزا ندارد می‌توان مطابق با شکل ۱مدل دوبخشی را به کار برد که شامل ترب و قسمت ریشه آن است و با یک معادله دیفرانسیل، ضرایب انتقال و جذب بین دو بخش را محاسبه می‌کند. این کار به‌صورت کنترل‌شده با تعیین غلظت مشخص سزیم در محلول انجام می‌شود. در شکل ۱، $g_{1(t)}$ و $g_{2(t)}$ به ترتیب، توابع غلظت ^{137}Cs در بخش‌های ۱ و ۲ هستند که میزان پرتوزایی لحظه‌ای را در هر بخش نشان می‌دهند. ضرایب F_{12} و F_{21} ضرایب انتقال بین دو بخش ترب و ریشه آن است. $E(t)$تابع ورودی سزیم از خاک به ریشه ترب است. F_{13} و F_{01}ضرایب خروج سزیم از بدنه و ریشه ترب هستند.



شکل ۱. مدل دوبخشی.

معادلات تغییرات غلظت سزیم در هر بخش با معادلات زیر بیان می‌شود:

$$\frac{dg_1}{dt} = E(t) - F_{12}g_1 + F_{21}g_2 - F_R g_1 - F_{01}g_1 \qquad (1)$$

$$\frac{dg_2}{dt} = F_{12}g_1 - F_{21}g_2 - F_R g_2 - F_{13}g_2 \qquad (2)$$

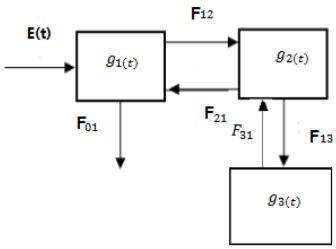
F_R آهنگ تغییرات پرتوزایی سزیم است. گیاهان بررسی‌شده در این تحقیق مصرف خوراکی دارند و در بسیاری از غذاهای محلی استفاده می‌شوند. قسمت بدنه ترب بخش g_2 و بخشی که در خاک هست g_1 در نظر گرفته‌شده است. ماده پرتوزا سزیم بین دو بخش همراه آب و مواد غذایی منتقل شده و قسمتی از آن مطابق فرآیندهای فیزیولوژیکی گیاه، متناسب با ضرایب F_{01} و F_{13} از آن خارج می‌شود. E (t) مقدار پرتوزایی سزیم در خاک در روزهای هنگام حادثه و بعدازآن است. واضح است که بیشترین مقدار سزیم در خاک در روزهای اولیه حادثه است و بعدازآن با فرآیندهای طبیعی مانند باران و شستشوی خاک و همچنین پرتوزایی سزیم، مقدار آن به‌تدریج کاهش پیدا می‌کند.

برای بررسی گیاهانی مانند جعفری و کلم بروکلی که می‌توان آن‌ها را به سه بخش برگ، ساقه و ریشه تقسیم کرد و با استفاده از مدل سه‌بخشی می‌توان ضرایب انتقال بین بخش‌ها را به دست آورد. در شکل۲ مدل سه‌بخشی نشان داده‌شده است. $g_{1(t)}$ و $g_{2(t)}$ و $g_{3(t)}$ به ترتیب سه بخش برگ، ساقه و ریشه هستند که توابع غلظت را نشان می‌دهند. F_{12} و F_{12} ضریب انتقال بین دو بخش ساقه و ریشه و F_{31} و F_{13} ضرایب انتقال بین دو بخش ساقه و برگ هستند. E (t) تابع ورودی سزیم از خاک به ریشه گیاه می‌باشد. F_{01} ضریب خروج سزیم از ریشه گیاه به خاک هست. آهنگ تغییرات پرتوزایی سزیم پرتوزا نیز F_R می‌باشد. معادلات تغییرات غلظت سزیم در هر بخش به این ترتیب است:

$$\frac{dg_1}{dt} = E(t) - F_{12}g_1 - F_{21}g_2 - F_R g_1 - F_{01}g_1 \qquad (3)$$

$$\frac{dg_2}{dt} = F_{12}g_1 - F_{21}g_2 - F_R g_2 - F_{13}g_2 + F_{31}g_3 \qquad (4)$$

$$\frac{dg_3}{dt} = F_{13}g_2 - F_{31}g_3 - F_R g_3 \qquad (5)$$



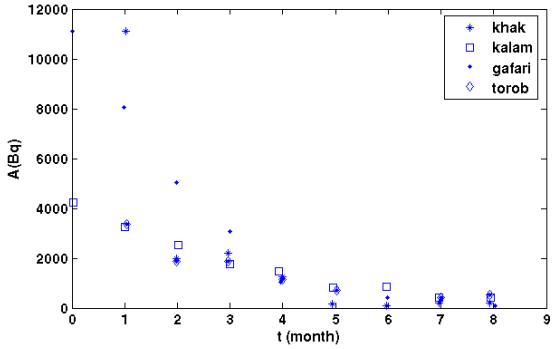
شکل ۲. مدل سه‌بخشی.

در این مقاله با حل معادلات چندبخشی با روش عددی رانگ کوتای مرتبه ۴مقدار سزیم موجود در بخش‌های مختلف گیاه به‌دست‌آمده است. یکی از روش‌های عددی مفید برای حل دستگاه معادلات دیفرانسیل روش رانگ کوتا می‌باشد که با در نظر گرفتن شرایط اولیه خاص به حل دستگاه معادلات می‌پردازد. در روش اویلر که خطا از مرتبه مجذور طول گام است، با افزایش طول گام و افزایش بازه موردبررسی خطای قبل ملاحظه‌ای در محاسبات ایجاد می‌شود. اما در روش رانگ کوتا خطا از مرتبه توان چهارم طول گام است. درواقع تفاوت عمده این روش نسبت به سایر روش‌های عددی کمتر بودن خطای آن می‌باشد. ورودی معادلات مقدار سزیم موجود در خاک در نظر گرفته شده است. با مقایسه دسته منحنی‌های به‌دست‌آمده با داده‌های واقعی می‌توان مقدار ضرایب انتقال در بخش‌های مختلف را به دست‌آورد. در اینجا با استفاده از دو مدل دو و سه‌بخشی و داشتن پرتوزایی خاک و گیاهان و با استفاده از داده‌های فوکوشیما ضرایب انتقال بین بخش‌ها به‌دست‌آمده است.

۳. نتایج

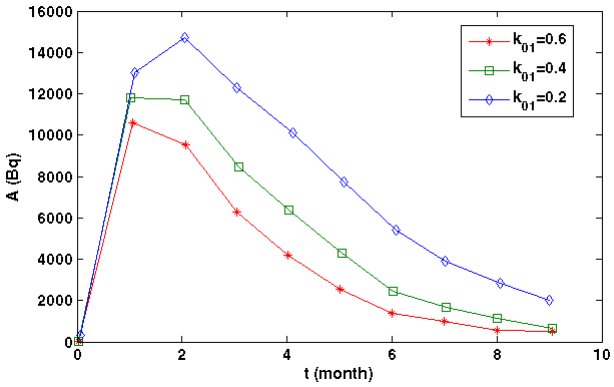
در این پژوهش برای به دست آوردن ضرایب انتقال ماده سزیم پرتوزا به گیاهان خوراکی از مدل دو و سه‌بخشی استفاده شده است. گیاهان موردنظر ترب، جعفری وکلم بروکلی بوده‌اند که مصرف خوراکی دارند. برای بررسی و تخمین ضرایب انتقال با توجه به ساختار گیاهان از مدل‌های دو و سه‌بخشی استفاده شده است.

برای ورودی شکل (۳) که پرتوزایی خاک و گیاهان مختلف برحسب فرایندهای طبیعی و زمان را بر اساس داده‌های فوکوشیما را نشان می‌دهد[11]، معادلات(۳) تا (۵) به ازای K های مختلف حل‌شده و با مقایسه با داده‌های واقعی حاصل از داده‌های فوکوشیما برای ترب، جعفری وکلم بروکلی، ضرایب انتقال بین بخش‌های مختلف به‌دست‌آمده است. تغییرات سزیم در روزهای مختلف به تغییرات آب‌وهوایی مانند باد و باران و سایر عوامل محیطی بستگی دارد. برای حل معادلات دیفرانسیل از روش رانگ کوتای مرتبه 4 که روش عددی پرکاربرد در حل دسته معادلات است در محیط برنامه‌نویسیMATLAB استفاده شده است. برای ارزیابی نتایج از استاندارد کمیته بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه برای سزیم استفاده‌شده است. در این استاندارد بر اساس نوع محصول، نوع خاک، نیمه‌عمر سزیم و تنوع آب و هوایی مناطق مختلف محدوده‌هایی برای ضریب انتقال کل گیاهان موردنظر داده‌شده است.



شکل ۳. پرتوزایی خاک و گیاهان مختلف

نمونه‌ای از دسته منحنی‌های به‌دست‌آمده با تغییرات F در قسمت‌های مختلف گیاهان و داده‌های واقعی برای گیاه در شکل۴ نشان داده‌شده است. با محاسبه تفاوت‌های بین منحنی‌های به‌دست‌آمده از معادلات و داده‌های واقعی برای کمترین اختلاف مقادیرF ها تخمین زده شده است.



شکل ۴. نمونه‌هایی از منحنی خروجی با ضرایب انتقال مختلف.

در جدول ۱ مقادیر محاسبه‌شده برایF های مختلف برای کلم بروکلی، جعفری و ترب نشان داده‌شده است.

جدول ۱. ضرایب انتقال محاسبه‌شده.

کلم بروکلی	جعفری	ترب	ضریب

F_{01}	۰,۱۹	۰,۸۰۹	۰,۹۰۶
F_{12}	۰,۵۶۰۶۲	۰,۹۲۰۷۳	۰,۷۴۰۹۷
F_{21}	۰,۱۳۰۸۸	۰,۱۳۰۸۸	۰,۱۳۰۸۸
F_{13}	۰,۰۱۹	۰,۰۸۱۸	۰,۰۹۱۸
F_{31}	–	۰,۰۴۰۷	۰,۰۴۵۹

برای انجام آزمایش‌ها و سنجش پرتوزایی با دستگاه، باید از نمونه‌های خشک خاک و گیاه استفاده کرد. زیرا اگر در نمونه‌ها رطوبتی وجود داشته باشد، در این صورت با تابش، هیدروژن موجود در آب نیز پرتوزا خواهد شد و در نتایج آزمایش و داده‌های نهایی اثرگذار خواهد بود. ازاین‌رو پرتوزایی به‌دست‌آمده، فراتر از میزانی که درواقع وجود دارد، نشان داده می‌شود. برای جعفری و ترب مقادیر ضرایب انتقال به‌صورت خاص در این استاندارد ذکر نشده و محدوده فقط برای گیاهان برگ‌دار آورده‌شده است که برای خاک معمولی و رسی محدوده تغییرات ضرایب انتقال به ترتیب 1.1×10^{-1} تا 2.9 و 3.6×10^{-1} تا 2.9 ذکر شده‌است. نتایج جدول (۱) با محدوده‌های استاندارد ذکرشده نشان می‌دهد که ضرایب انتقال محاسبه‌شده برای قسمت‌های مختلف گیاهان موردنظر در محدوده پیشنهادشده در این استاندارد هستند.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده از مدل‌سازی گیاهان خوراکی مختلف با مدل دو و سه‌بخشی و اطلاعات حاصل از داده‌های فوکوشیما برای این گیاهان مقدار ضرایب انتقال برای بدنه ترب، برگ جعفری و کلم با مقادیر عملی اندازه‌گیری شده در گزارش فنی آژانس انرژی اتمی با شماره۴۷۲ مطابقت دارد. این تحقیق به آماده‌سازی اطلاعات پایه برای انتقال سزیم در نمونه‌های گیاهی کمک خواهد کرد که می‌توان از آن‌ها برای مقایسه سطح رادیواکتیویته استفاده نمود. به‌کارگیری این ضرایب در روزهای اولیه حوادث هسته‌ای که امکانات لازم برای اندازه‌گیری دقیق آلودگی در گیاهان خوراکی وجود ندارد بسیار سودمند خواهد بود.

۵. مراجع

1-Joint Nordic nuclear research to strengthen nuclear emergency preparedness after the Fukushima accident. J Environ Radioac; 192:440-447, 2018.
2-Korobova E, Romanov S. Experience of mapping spatial structure of Cs-137 in natural landscape and patterns of its distribution in soil topo sequence, Journal of Geochemical Exploration, (109): 139–145, 2011.
3- A. Jabbar, M. Tufail, W. Arshed, A. S. Bhatti, S. S. Ahmad, P. Akhter, and M. Dilband, Transfer of radioactivity from soil to vegetation in Rechna Doab, Pakistan, Isotopes in Environmental and Health Studies 46, 495,2010.
4- Yalcin and Gurler, The radioactivity measurements in soil, coal and water in south Marmara region of Turkey, Radiation Measurements, 42, 281-285,2007.
5- L. S. Silva and B. R. S. Pecequilo, Radioprotection 46, S63, 2011.
6- Zorer, O.S., Ceylon, H., Dogru, M., Gross alpha and beta radioactivity concentration in water, soil and sediment of the Bendimahi River and Van Lake (Turkey), Environ. Monit. Assess, 148, 39-46, 2009.
7- Lu, X., Li, X., Yun, P., Luo, D., Wang, L., & Ren, C., Measurement of natural radioactivity and assessment of associated radiation hazards in soil around Baoji second coal-fired thermal power plant, China, Radiation Protection Dosimetry, 148 (2), 219-226, 2012.
8- Zhu Y.G., Smolders E. Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application, Journal of Experimental Botany, Vol. 51, Issue.351, P. 1635–1645, 2000.
9- Blomhoj M., Kjeldsen T.H., eaching mathematical modelling through project work, the international journal on mathematics education 38(2):163-177, 2006.
10- Yahaghi, E., Bahman Abadi, N. Calculation of transfer coefficients in root vegetables for Cesium-137, Journal of Environmental Science and Technology (JEST), P. 74:29-36, 2017.
11- MEXT. Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology, Japan (MEXT), 2011.