

## بررسی مسیرهای پراکندگی و میزان پخش مواد رادیواکتیو در جو ناشی از عملکرد راکتور تحقیقاتی پیشنهادی فارس

یاسر حمیدی اطهر\*، فرشاد فقیهی، کمال حداد و احمد پیروزمند

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز، فارس، ایران.

\*فارس، شیراز، دانشگاه شیراز، دانشکده مهندسی مکانیک، بخش مهندسی هسته‌ای، کد پستی: ۷۱۹۳۶-۱۶۵۴۸

پست الکترونیکی: Hamidi.athar@gmail.com

### چکیده

در این تحقیق به بررسی مسیرهای پراکندگی و میزان غلظت هسته‌های پرتوزا در جو حاصل از عملکرد عادی راکتور تحقیقاتی پیشنهادی فارس پرداخته شده است. از آنجایی که هنوز راکتور موردنظر در مرحله طراحی مفهومی است، بنابراین از مشخصات راکتور تحقیقاتی تهران که بسیار شبیه این راکتور می‌باشد، استفاده شده است. شبیه‌سازی‌ها برای یک دوره یک‌ساله (۲۰۱۶) انجام شده و با استفاده از داده‌های نشت محصولات شکافت به بیرون در شرایط کارکرد عادی راکتور تحقیقاتی تهران و همچنین کد محیطی HYSPLIT، بررسی‌های مربوط به مسیر پراکندگی و محاسبات مربوط به توزیع غلظت انجام شده است. در این تحقیق از داده‌های هواشناسی NOAA(GDAS) استفاده شده و سپس معادل دز مؤثر کل سالانه (TEDE) محاسبه گردیده است. نتایج نشان می‌دهد با فرض اینکه راکتور تحقیقاتی موردنظر در طول یک سال کار کند، میزان دز دریافتی کمتر از حد مجاز (1mSv) پذیرفته شده توسط کمیسیون بین‌المللی حفاظت در برابر اشعه (ICRP) می‌باشد.

کلیدواژه‌گان: HYSPLIT، TEDE، مسیر پراکندگی، راکتور تحقیقاتی، پخش مواد رادیواکتیو

### ۱. مقدمه

در عملکرد عادی هر راکتور، مقداری مواد رادیواکتیو به محیط آزاد می‌شود. این ورود مواد رادیواکتیو به محیط می‌تواند از طرق مختلف صورت بگیرد. مقادیر بسیار کمی از مواد پرتوزا از طریق نشت به زمین وارد می‌شوند. مهم‌ترین راه

انتشار مواد پرتوزا از دودکش راکتور توسط سیستم‌های تهویه می‌باشد. در این تحقیق تنها به انتشار هسته‌های پرتوزایی که از دودکش راکتور خارج می‌شوند، پرداخته شده است. یکی از مهم‌ترین اقداماتی که قبل از احداث یک سایت هسته‌ای مدنظر

جدول شماره (۲): آهنگ انتشار مواد پرتوزا در حالت عملکرد عادی [۳].

نرخ انتشار به محیط (بکرل بر ساعت)	نیمه‌عمر (روز)	رادیو ایزوتوپ
1998E+07	0.0022	Kr-89
5994E+07	0.0026	Xe-137
53280E+07	0.0104	Xe-35m
173160E+07	0.0118	Xe-138
106560E+07	0.0542	Kr-87
15984E+07	0.0775	Kr-83m
106560E+07	0.1167	Kr-88
38628E+07	0.1833	Kr-85m
119880E+07	0.3833	Xe-135
1332E+07	2.3	Xe-33m
33300E+07	5.27	Xe-133
66.6E+07	12	Xe-31m
66.6E+07	3796	Kr-85
275E+07	8	I-131

این مجموعه شامل داده‌هایی در بازه‌های زمانی سه ساعته می‌باشد. هرروز چهار نوبت در ساعات ۰۰، ۰۶، ۱۲ و ۱۸ (ساعت جهانی (UTC<sup>۴</sup>)) عملیات ثبت انجام می‌گیرد. این داده‌ها در فایل‌های هفتگی قرار داده می‌شوند که با مراجعه به سایت NOAA می‌توان داده‌های مربوط به هر سال را دانلود نمود [۴]. مطابق شکل ۱ مناطق اطراف راکتور به چهار ناحیه مساوی تقسیم شده است. در این نواحی شهرها و بخش‌های مختلفی تا شعاع صد کیلومتری راکتور وجود دارند، سپس میزان جمعیت در هر یک از این نواحی طبق سرشماری مرکز آمار ایران در سال ۹۵ مطابق جدول شماره ۳ ارزیابی شده است. با توجه به جدول ۳ مشاهده می‌شود که ناحیه S3 از لحاظ چگالی جمعیت از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و بنابراین برای انجام محاسبات بر روی این ناحیه تمرکز بیشتری شده است. با استفاده از نرم‌افزار برای سال ۲۰۱۶ تعداد ۳۶۶ خروجی برای مسیر پراکندگی و ۳۶۶ خروجی برای غلظت محاسبه شده است.

قرار دارد، انتخاب مکانی مناسب برای احداث آن می‌باشد. یکی از سایت‌های پیشنهادی برای ساخت راکتور تحقیقاتی فارس موقعیت جغرافیایی باجگاه، در عرض جغرافیایی 29.72 N و طول جغرافیایی 52.59 E می‌باشد. در این تحقیق برای بررسی مسیر پراکندگی و تعیین میزان غلظت در حالت عملکرد عادی راکتور از مدل HYSPLIT استفاده شده است. مدل HYSPLIT در آزمایشگاه تحقیقات هوایی سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA<sup>۱</sup>) ایالات متحده توسط دراکسلر و هس توسعه پیدا کرد [۱].

## ۲. تئوری

برای انجام شبیه‌سازی و محاسبات مسیر پراکندگی<sup>۲</sup> و غلظت با استفاده از مدل HYSPLIT، به داده‌هایی از جمله موقعیت جغرافیایی راکتور، مشخصات مربوط به دودکش، داده‌های هواشناسی و نهایتاً مقدار ویژگی‌های عناصر آزادشده نیاز داریم [۲]. مشخصات راکتور مورد بررسی در این تحقیق در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول (۱): بعضی از مشخصات راکتور تحقیقاتی مورد نظر [۳].

علائم	توضیح	مقدار
H	ارتفاع فیزیکی دودکش (متر)	57
V	سرعت خروج رادیونوکلوئید (متر بر ثانیه)	8.7
R	شعاع دودکش (متر)	1.25
T	دمای بالای دودکش (درجه سلسیوس)	18
U	سرعت باد در دهانه دودکش (متر بر ثانیه)	2

در جدول ۲ آهنگ انتشار مواد پرتوزا برای راکتور تحقیقاتی مورد نظر در حالت عملکرد عادی نشان داده شده است. در محاسبات از داده‌های هواشناسی GDAS<sup>۳</sup> استفاده شده است.

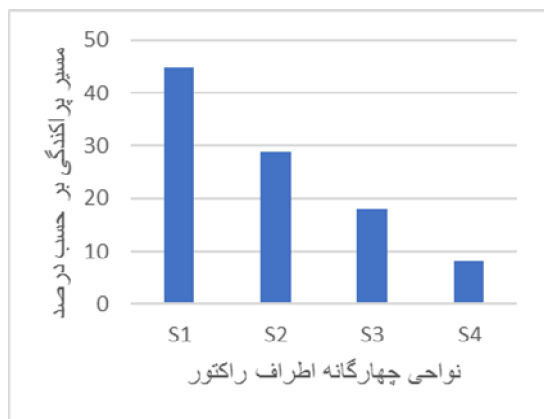
<sup>۱</sup> National Oceanic & Atmospheric Administration

<sup>۲</sup> Trajectory

<sup>۳</sup> Global Data Assimilation System

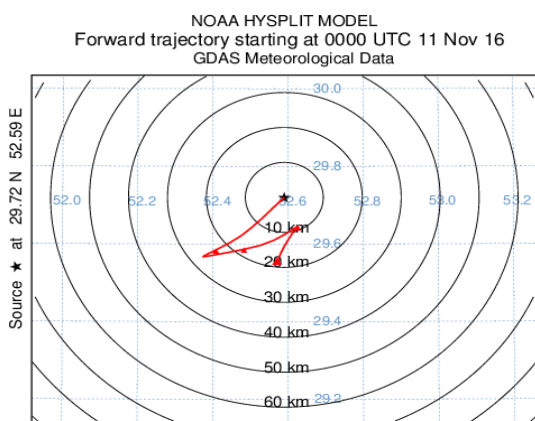
<sup>۴</sup> Coordinated Universal Time

قرار داده شد که در نهایت روز ۱۱ نوامبر ۲۰۱۶ دارای بیشترین غلظت بوده است.



شکل (۲): درصد مسیر پراکندگی در نواحی اطراف راکتور

در شکل ۳ انتشار مواد رادیواکتیو از دودکش نیروگاه برای ارتفاع انتشار مؤثر ۹۰ متر در روز ۱۱ نوامبر (۲۱ آبان ۹۵) نشان داده شده است که با ۸ دایره هرکدام به طول ۱۰ کیلومتر از هم جدا شده است. در این شکل مواد رادیواکتیو بعد از انتشار در طول ۲۴ ساعت مسافتی حدود کیلومتر بازنیروگاه را طی کرده اند.



شکل (۳): خروجی مسیر پراکندگی در روز ۱۱ نوامبر

در شکل ۴ نتایج محاسبات غلظت رادیو نوکلئیدهای منتشر شده در حالت عملکرد عادی در روز ۱۱ نوامبر نشان



شکل (۱): تقسیم بندی نواحی اطراف راکتور

برای محاسبات دز معادل مؤثر سالانه (TEDE)، از آنجایی که ناحیه S3 از لحاظ چگالی جمعیت از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است، بنابراین تعداد مسیرهای پراکندگی به سمت این ناحیه بررسی شد و خروجی غلظت های مربوط به روزهایی که مسیر پراکندگی به سمت این ناحیه بوده ارزیابی شده است. در نهایت روزی که بیشترین غلظت را داشت به عنوان معیاری برای انجام محاسبات کل سال در نظر گرفته شد.

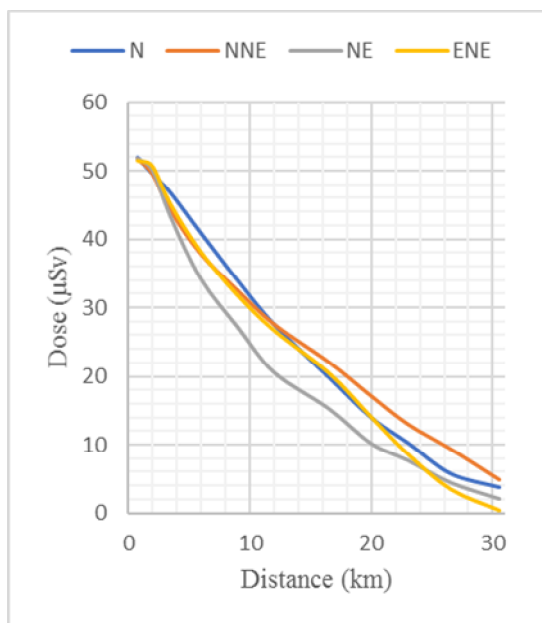
جدول (۳): توزیع جمعیت در اطراف راکتور

ناحیه	شهر انتخابی	میزان جمعیت در سال
		۹۵
S <sub>1</sub>	مرودشت - ارسنجان	۳۶۱۱۶۲
S <sub>2</sub>	خرامه - کوار	۱۳۸۷۴۷
S <sub>3</sub>	شیراز - ارژن	۱۸۹۲۴۶۲
S <sub>4</sub>	صدرا - بیضا	۱۳۱۷۴۶

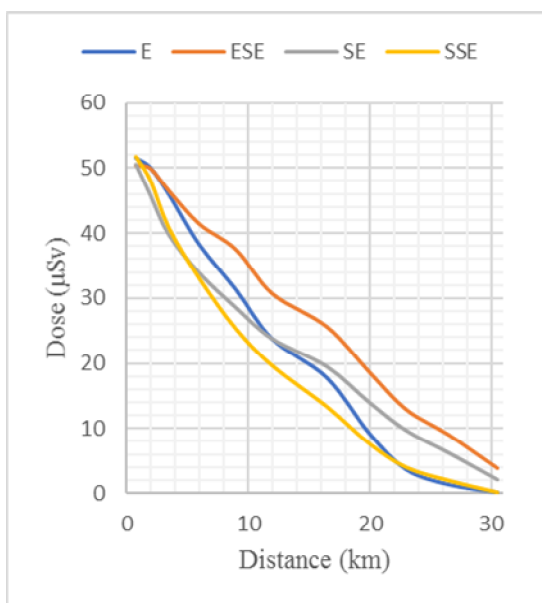
### ۳. نتایج و بحث

با محاسبات صورت گرفته، طبق شکل ۲، حدود ۱۸ درصد از مسیرهای پراکندگی به سمت ناحیه S3 بوده است. از تعداد ۳۶۶ خروجی برای غلظت، تعداد ۱۱۳ خروجی را که مسیر پراکندگی آن ها از ناحیه S3 عبور کرده بود مورد بررسی

در شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹ نمودار دز برحسب فواصل مختلف از راکتور برای نواحی تقسیم‌بندی شده در شکل ۵ در چهار نمودار مجزا برای چهار ربع رسم شده است. با توجه به شکل‌ها بیشترین دز سالیانه در فاصله‌ی ۸۰۰ متری از راکتور در حدود ۵۲.۹ میکرو سیورت در جهت W است. با افزایش فاصله از دودکش راکتور مقدار دز به سرعت کاهش می‌یابد.

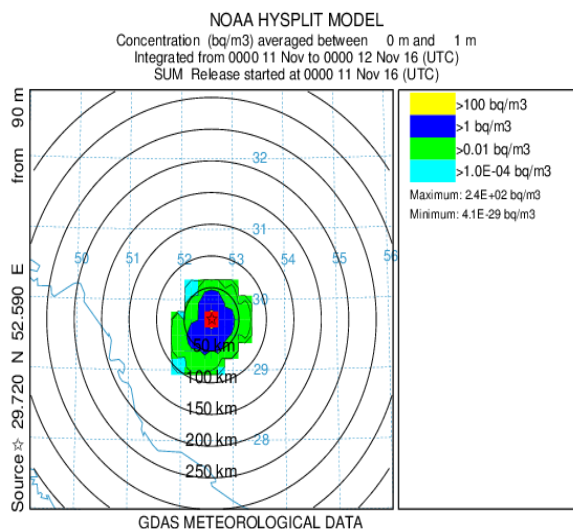


شکل (۶): نمودار دز برحسب فاصله در ربع اول.



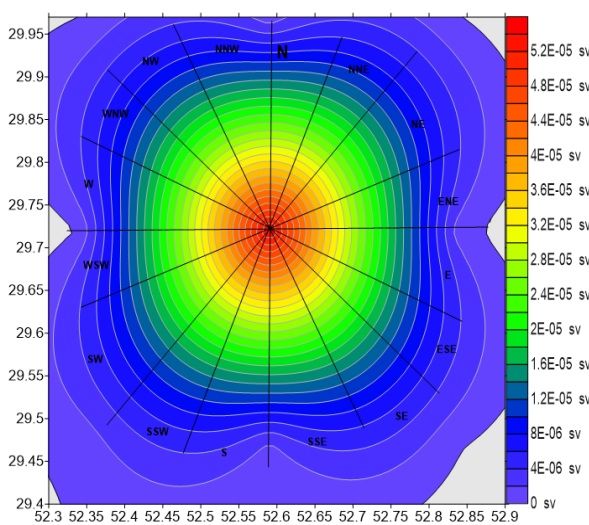
شکل (۷): نمودار دز برحسب فاصله در ربع دوم.

داده شده است. غلظت برحسب بکرل بر مترمکعب بارنگ‌های مختلف و همچنین مقادیر ماکزیمم و مینیمم پراکندگی نشان داده شده است.



شکل (۸): توزیع غلظت در روز ۱۱ نوامبر

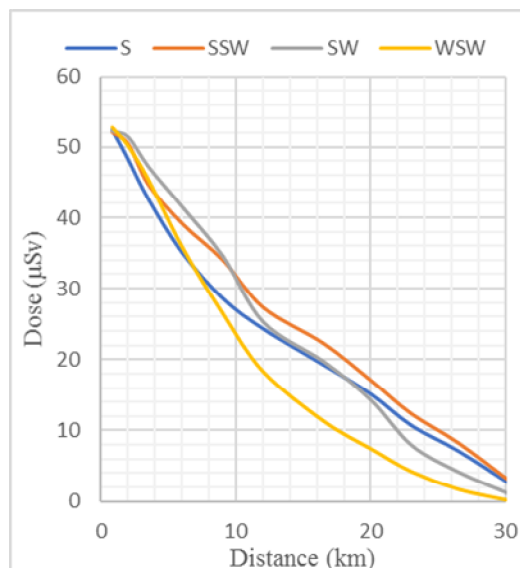
بر اساس شکل ۵ برای محاسبات دز، نواحی اطراف راکتور را به ۱۶ قسمت مساوی تقسیم شد و دز معادل مؤثر سالانه برای نواحی مختلف بر اساس فاصله از محل راکتور به دست آورده شد. دز در نواحی اطراف راکتور بارنگ‌های مختلف با مرکزیت نیروگاه نشان داده شده است.



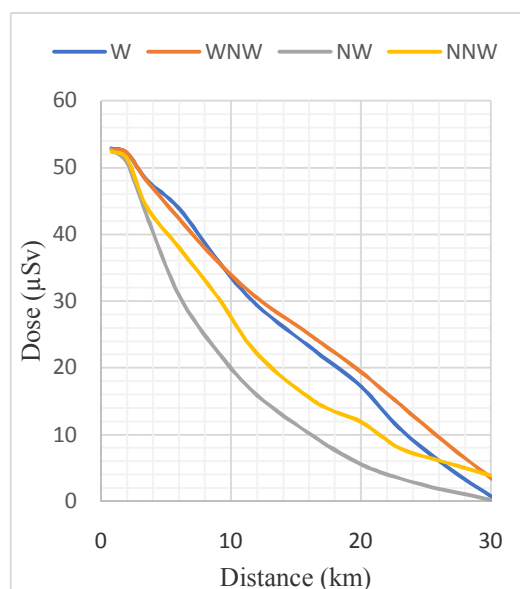
شکل (۹): ترسیم دز در نواحی اطراف راکتور.

#### ۴. نتیجه گیری

با نتایج استخراج شده از نمودارها، مقادیر دز معادل مؤثر سالانه برای تابش خارجی از اتمسفر، داری مرتبه‌ی بسیار پایین‌تری نسبت به حدود مجاز است. با توجه به نمودارها، بیشترین دز در فاصله‌ی ۸۰۰ متری از راکتور برای جهت W، حدود ۵۲/۹ میکرو سیورت در سال می‌باشد. با توجه به اینکه طبق استانداردهای بین‌المللی ICRP ماکزیمم دز موثر مجاز برای جمعیت اطراف نیروگاه برابر ۱ میلی‌سیورت در سال می‌باشد بنابراین کارکرد عادی راکتور در این محل از لحاظ رادیولوژیکی خطری را متوجه ساکنین اطراف راکتور تحقیقاتی نمی‌کند. از دیگر نتایج می‌توان به اثر باد و شرایط جوی بر میزان غلظت اشاره کرد. در نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داده شده است که ماکزیمم غلظت اطراف راکتور با سرعت باد رابطه عکس دارد. با افزایش سرعت باد مقدار غلظت کاهش یافته و پراکندگی در فاصله‌ی بیشتری از راکتور اتفاق افتاده است و بالعکس.



شکل (۸): نمودار دز بر حسب فاصله در ربع سوم.



شکل (۹): نمودار دز بر حسب فاصله در ربع چهارم.

## ۵. مراجع

- [1] R.R. Draxler, G.D. Hess. Description of The HYSPLIT\_4 Modeling System, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224. Air Resources Laboratory Silver Spring, Maryland, December 1997, Revised: 2004, January.
- [2] R.R. Draxler. An Overview of the HYSPLIT Modeling System for Trajectory and Dispersion Applications.
- [3] AEOI, Safety Analysis Report for the Tehran Research Reactor (LEU). Tehran, Iran, (2001).
- [4] J. Pasler. Description of the atmospheric Dispersion Model ATSTEP, (2000).