دوماهنامه طبّ جنوب
پژوهشکده زیست- پزشکی خلیج فارس
دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی بوشهر
سال بیستم، شماره ۱، صفحه ۷۶– ۷۰ (فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۶)

Iran South Med J 2017; 20(1): 70-76

# برآورد دوز جذبی مؤثر سالیانه ناشی از گازهای رادون و تورون در مجاور گسل‌های فعال در شمال شرق ایران

علی‌اصغر مولوی [۱*]، فرهاد محمدجعفری [۲]

[۱] گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری

[۲] گروه فیزیک، دانشگاه پیام نور تهران

(دریافت مقاله: ۹۴/۱۰/۲۵- پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۶)

## چکیده

**زمینه:** گسل‌های فعال در واقع به عنوان مهم‌ترین عامل ورود رادون و تورون به سطح زمین می‌باشند. قرار گرفتن مناطق مسکونی بر روی این گسل‌ها یکی از دلایل اصلی افزایش تراکم این دو گاز رادیواکتیو در آنها است.

**مواد و روش‌ها:** با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری **RTM1688** میزان غلظت رادون و تورون در ۲۰۰ منزل مسکونی نزدیک به گسل‌های فعال در خراسان شمالی واقع در شمال شرق ایران اندازه‌گیری شد.

**یافته‌ها:** دامنه اندازه‌گیری‌های رادون از ۱۲ بکرل بر متر مکعب تا ۱۸۸ بکرل بر متر مکعب با مقدار متوسط ۷۵/۴۳ بکرل بر مترمکعب ثبت شد. بیش‌ترین دوز جذبی مؤثر سالیانه در نمونه‌ها ۵/۴۵ میلی‌سیورت و کم‌ترین مقدار ۰/۳۵ میلی‌سیورت با میانگین ۲/۱۸۷ میلی‌سیورت محاسبه شد. دامنهٔ مقادیر تورون از صفر تا ۸۴۰ بکرل بر متر مکعب با مقدار متوسط ۳۲۵/۴۸ بکرل بر متر مکعب ثبت شد. بیش‌ترین دوز جذبی مؤثر سالیانهٔ تورون ۲۱/۱۷ میلی‌سیورت و کم‌ترین مقدار آن صفر با مقدار میانگین ۸/۲۰ میلی‌سیورت محاسبه شد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد که در نواحی نزدیک به گسل‌های فعال شمال شرق ایران؛ تراکم گاز تورون، دو تا سه برابر حد مجاز است. همچنین مشخص شد که درصدی از مناطق مسکونی مورد مطالعه که در معرض دوز جذبی مؤثر سالیانه بیشتر از حد مجاز قرار دارند، برای رادون برابر ۲۰ درصد و برای تورون برابر با ۵۴ درصد می‌باشد. تراکم بالای رادون و تورون در منازل مسکونی منطقه، بیانگر نقش مؤثر گسل‌های فعال در تولید گازهاست و می‌تواند احتمال ابتلا به بیماری‌های ریوی را افزایش دهد.

**واژگان کلیدی:** رادون، تورون، گسل فعال، دوزجذبی مؤثر سالیانه

* سبزوار، دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده علوم پایه، گروه فیزیک

**Email: amowlavi@hsu.ac.ir**

[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

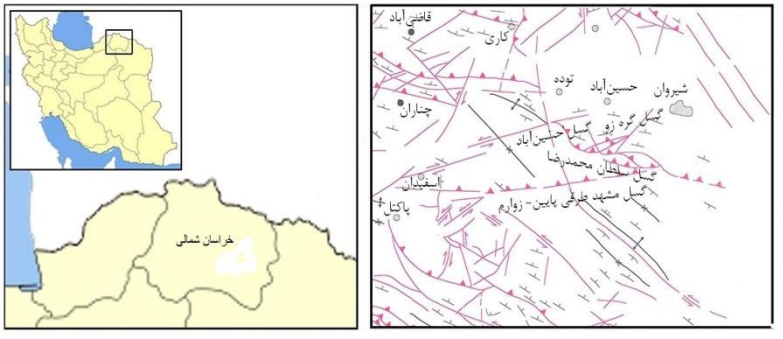
[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

## مقدمه

رادون، تورون و دختر هسته‌های آنها، یکی از عوامل مهم ایجاد سرطان ریه پس از دخانیات در انسان می‌باشند (۳-۱). به همین دلیل، مطالعه و اندازه‌گیری این دو گاز در محیط زندگی افراد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۴ و ۵). میزان تراکم رادون و تورون در مناطق مسکونی به عوامل مختلفی مانند ساختار زمین‌شناسی منطقه، جنس خاک، شرایط آب و هوا، نوع مصالح ساختمانی مورد استفاده در ساخت‌وساز منازل، شکل هندسی منازل و سبک زندگی افراد بستگی دارد (۷-۵). از زمان پیدایش زمین، اورانیوم و توریم به‌صورت نسبتاً یکنواخت در اعماق زمین توزیع شده‌اند. رادون و تورون که ناشی از واپاشی اورانیوم و تورون به‌صورت گاز به سطح زمین نفوذ کرده و به دلیل سنگین‌تر بودن از هوا در مجاورت سطح زمین انباشت می‌شوند (۸ و ۹). نتایج سایر محققان نشان می‌دهد که مقادیر رادون و تورون و مقادیر دوز جذبی در بخشی از ایالات هند از جمله کانامانا، چاتراپور، ماتیخالو تراکم رادون از $۲۴Bqm^{-3}$ تا $۹۸Bqm^{-3}$ و تورون از $۴۶Bqm^{-3}$ تا $۶۸۹Bqm^{-3}$ تغییر داشته است؛ در بخش‌هایی از شمال ژاپن مقادیر رادون از $۳۴Bqm^{-3}$ تا $۲۵۳Bqm^{-3}$ و تورون از $۵۰Bqm^{-3}$ تا $۳۷۳Bqm^{-3}$ متغییر بوده است (۱۲-۹). به دلیل نیمه عمر کوتاه تورون، معمولاً اثرات زیست محیطی آن نادیده گرفته می‌شود. با بررسی مطالعات اخیر در حدود ۱۷ درصد دوز ناشی از استنشاق گازهای رادیواکتیوته، مربوط به تورون و دختر هسته‌های آن است (۱۰). در این تحقیق تراکم گاز رادون و تورون در ۲۰۰ منطقه مسکونی در مجاورت گسل‌های شمال شرق ایران، مورد مطالعه و اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس با استفاده از روابط دوز مؤثر سالیانه، مقادیر دوز این دو گاز محاسبه و با یکدیگر مقایسه شد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق، منطقه مورد اندازه‌گیری، مطابق شکل (۱)، در شمال شرق ایران می‌باشد که شامل زمین‌های مسطحی است که شمال و جنوب آن را مناطق کوهستانی فراگرفته است. جنس خاک دشت‌ها، آبرفتی مخروط افکنه و از نوع مارن قرمز و ماسه‌سنگ می‌باشد. گسل‌های فعالی در حوزه شمال شرق ایران وجود دارند؛ که از جمله می‌توان به گسل‌های معروف مشهدطرقی، زورم، سلطان محمدرضا، حسین آباد و گره‌زو اشاره کرد.




شکل ۱) نقشه بعضی از گسل‌های شمال شرق ایران

منطقه از لحاظ شرایط آب و هوایی در حالت مطبوع و معتدل بود. تمام منازل از سیستم تهویهٔ طبیعی برخوردار بودند. سبک زندگی افراد و شکل هندسی منازل در تمام مناطق مسکونی مورد سنجش، تقریباً یکسان بودند.



[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

اندازه‌گیری دو گاز رادون و تورون از اوایل اردیبهشت شروع و تا اواخر خرداد به اتمام رسید. در این تحقیق برای اندازه‌گیری تورون به روش فعال پیوسته از دستگاه RTM1688 استفاده نموده‌ایم که اساس کار آن به صورت زیر است:

غلظت گاز تورون براساس محصولات دختر هسته‌های دارای نیمه عمر کوتاه اندازه‌گیری می‌شود که بعد از واپاشی تورون، در درون اتاقک اندازه‌گیری، تولید شده‌اند. پس از واپاشی تورون، پلوتونیوم ۲۱۶ با نیمه عمر ۰/۱۴۵ ثانیه، به یک هسته باردار مثبت با نیمه‌عمر کوتاه تبدیل می‌شود (۱۴-۱۲). این یون‌ها تحت تأثیر یک میدان الکتریکی بر روی سطح یک آشکارساز نیمه رسانا جمع شده و بعد از واپاشی، شمارش آنها معرف غلظت گاز تورون است (۱۵). دستگاه در وسط اتاق و در ارتفاع ۱۸ سانتی‌متر از کف آن قرار گرفت. برای هر اندازه‌گیری یک ساعت زمان صرف شد.

با در نظر گرفتن نقشه گسل‌های فعال منطقه و مقایسه با نقشه جغرافیایی استان، مکان‌های مسکونی مناسب انتخاب شد. اندازه‌گیری‌ها در ۲۰۰ مکان مشخص که اغلب نزدیک یک یا دو گسل فعال قرار داشتند، انجام گرفت. مقادیر دو گاز رادون و تورون به صورت هم زمان و در سه بازهٔ زمانی صبح و ظهر و شب اندازه‌گیری شد. مقدار متوسط سه اندازه‌گیری به عنوان تراکم گاز رادون و تورون هر مکان در نظر گرفته شد. مقدار متوسط داده‌ها به صورت نمودار با نرم‌افزار اورجین (OriginLab) رسم شده‌اند.

**محاسبه دوز جذبی سالیانه مؤثر ناشی از رادون و تورون**

تراکم بیش از حد مجاز رادون و تورون در محیط‌های مسکونی باعث افزایش ریسک ابتلا به انواع سرطان‌ها به ویژه سرطان ریه در انسان می‌شوند؛ لذا محاسبه مقادیر دوز جذبی سالانه این دو گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (۲۰-۱۶). از روابط زیر برای محاسبه دوز سالانه مؤثر برحسب تراکم رادون و تورون استفاده شد:

(۱) دوز سالیانهٔ مؤثر رادون

$$= C_{Rn}\left(Bqm^{-3}\right)\times 0.46\times 7000h\times 9ns\left(Bqhm^{-3}\right)$$

(۲) دوز سالیانهٔ مؤثر تورون

$$= C_{Th}\left(Bqm^{-3}\right)\times 0.09\times 7000h\times 40ns\left(Bqhm^{-3}\right)$$

که در آنها CRn و CTh به ترتیب مقدار متوسط تراکم گاز رادون و تورون در داخل منزل مسکونی است. همچنین مقدار متوسط ضرایب تعادل برای رادون و تورون و دختر هسته‌هایشان برابر با ۰/۴۶ و ۰/۰۹ است (۲۱).

**نتایج اندازه‌گیری رادون و تورون**

نتایج اندازه‌گیری تراکم رادون و تورون نشان می‌دهد که حدود ۲۰ درصد از منازل دارای تراکم رادون بیشتر از حد مجاز $100\ Bqm^{-3}$ بودند و تقریباً ۵۵ درصد از منازل مسکونی غلظت تورون بیشتر از حد مجاز $250Bqm^{-3}$ داشتند. مقدار متوسط گاز رادون و تورون در همه مکان‌ها به ترتیب $75/43Bqm^{-3}$ و $325/48Bqm^{-3}$ بود. در اکثر مناطق نزدیک به دو یا چند گسل مانند روستاهای چپانلو، اسپیدان، گرماب، هنامه، گره‌زو و مشهد طرقی تراکم گاز رادون و تورون نسبت به سایر مکان‌ها بیشتر بود. فراوانی تعداد نمونه‌ها در همین مقادیر بازه‌بندی شده دوز جذبی مؤثر سالیانه رادون و تورون در جدول (۱) درج شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که بیش‌ترین دوز جذبی مؤثر سالیانه رادون 5/45mSv و کم‌ترین آن 0/35mSv می‌باشد. ۸۰ درصد از منازل دوز رادون کمتر از حد مجاز و ۲۰ درصد در معرض دوز رادون بیشتر از حد مجاز بودند. بیش‌ترین دوز جذبی



[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

مؤثر سالیانهٔ تورون ۲۱/۱۷mSv و کم‌ترین مقدار آن صفر به‌دست آمد. ۴۵/۵ درصد از منازل دوز تورون کمتر از حد مجاز و ۵۴/۵ درصد در معرض دوز بیشتر از حد مجاز بودند.

**جدول ۱) فراوانی تعداد نمونه‌های تراکم گاز را دون و تورون در منازل مسکونی مورد بررسی.**

| | گاز رادون | | | گاز تورون | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| تراکم درون منازل (بکرل بر متر مکعب) | ۰–۵۰ | ۵۰–۱۰۰ | ۱۰۰–۲۰۰ | ۰–۱۲۰ | ۱۲۰–۲۵۰ | ۲۵۰–۸۵۰ |
| محدوده دوز جذبی مؤثر سالیانه( میلی سیورت) | ۰–۱/۵ | ۱/۵–۳ | ۳–۶ | ۰–۳ | ۳–۶ | ۶–۲۲ |
| تعداد منازل مسکونی در طبقه بندی دوز | ۵۸ | ۱۰۲ | ۴۰ | ۴۳ | ۴۸ | ۱۰۹ |

## بحث

مقادیر رادون و تورون با نتایج پژوهش‌ها در بخشی از ایالات هند از جمله کانامانا، چاتراپور، ماتیخالو، باداپوتی، کالیابالی و یاموناگار مقایسه شد و نتایج به‌دست آمده تطابق خوبی با هم داشتند (۹–۱).

با توجه به ساختار زمین‌شناسی منطقه که بیشتر از سنگ‌های آهکی و خاک آبرفتی مخروط افکنه از جنس ماسه سنگ بود، میزان نفوذپذیری را برای گازهای رادیواکتیو به سطح افزایش داده و گسل‌های فعال منطقه نیز در افزایش تراکم این دو گاز در سطح زمین نقش بسیار مؤثری را ایفا کرده‌اند. که با پژوهش‌های متعددی که در نقاط زلزله‌خیز ایران همچون بردسیر انجام گرفته همخوانی دارد (۲۱). در بیشتر اندازه‌گیری‌های انجام شده بر روی گازهای رادیواکتیو در کشورهایی مانند چین، هند، روسیه و مجارستان میزان تراکم رادون و تورون در فصول مختلف تغییرات اندکی نسبت به هم داشته‌اند. بر همین اساس می‌توان نتایج حاصل از این اندازه‌گیری را برای تمام فصول سال تقریباً یکسان در نظر گرفت.

تراکم بالای رادون و تورون در منازل مسکونی منطقه، بیانگر نقش مؤثر گسل‌های فعال در تولید گازهاست. در بسیاری از نمونه‌ها میزان تراکم گاز تورون نسبت به رادون بیشتر بوده و در بعضی مناطق دو تا سه برابر حد مجاز ثبت شده است که به ساختار زمین شناختی منطقه مرتبط است. با توجه به اینکه خطر ابتلا به بیماری‌های ریوی ناشی از گازهای رادیواکتیو برای رادون در محدودهٔ ۵ میلی‌سیورت و برای تورون در محدودهٔ ۶ میلی‌سیورت است، دوز جذبی بالاتر از آن، احتمال ابتلا به بیماری سرطان ریه را افزایش می‌دهد (۲).

## نتیجه‌گیری

با محاسبه دوز جذبی مؤثر سالیانه ناشی از رادون و تورون مشخص شد که تورون در مقایسه با رادون نقش مخرب‌تری در ابتلا به بیماری‌های ریوی در مناطق شمال شرق ایران ایفا می‌کند. با در نظر گرفتن دوز جذبی سالیانه مؤثر هر دو گاز در این مناطق، توصیه می‌شود که جهت کاهش این گاز رادیواکتیو در منازل مسکونی توصیه‌های ساده و عملی نظیر استفاده از سیستم‌های تهویه و فن انجام شود.

## پیشنهاد

چون این اندازه‌گیری در فصل مشخصی انجام شده تخمینی از دوز معادل سالیانه است. در این تحقیق میزان رطوبت، دما و شکل منازل که در سنجش تراکم گازها مؤثر است کمتر مورد توجه قرار گرفته است، بنابراین پیشنهاد می‌شود این اندازه‌گیری‌ها در تمام فصول و در شرایط یکسان انجام شود.

این پژوهش تحت حمایت مالی هیچ سازمان یا مؤسسه‌ای نیست.



[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

**تضاد منافع**

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.

## References:

1.Kumar A, Chauhan RP. Measurement of indoor radon–thoron concentration and radon soil gas in some North Indian dwellings. J Geochem Explor 2014; 143: 155-62.
2.ICRP publication 103. The 2007 recommendations of the international commission on radiological protection. In: Valentin J, editor. Holland: Elsevier, 2007, 53-69.
3.WHO. Handbook on indoor radon: a Public Health Perspective. In: Zeeb H, Shannoun, editors. New York: WHO Press, 2009, 78-89.
4.Mohanty AK, Sengupta D, Das SK, et al. Natural radioactivity and radiation exposure in the high background area at Chhatrapur beach placer deposit of Orissa, India. J Environ Radioact 2004; 75(1): 15-33.
5.UNSCEAR. United Nations Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation sources, effects and risks of ionizing radiation. New York: United Nations, 2000, 212-21.
6.Beir VI. Health effects of exposure to radon. Committee on health risks of exposure to radon, Board on radiation effects research, Commission on life sciences, National Research Council. Washington: National Academy Press, 1999, 444-9.
7.Panatto D, Ferrari P, Lai P, et al. Relevance of air conditioning for 222Radon concentration in shops of the Savona Province, Italy. Sci Total Environ 2006; 355(1-3): 25-30.
8.Durrani SA, Ilic R. Radon Measurements by Etched Track Detectors: applications to radiation protection, earth science and the environment. Singapore: World Scientific, 1997, 124-8.
9.Ramola RC, Rautela BS, Gusain GS, et al. Measurements of radon and thoron concentrations in high radiation background area using pin-hole dosimeter. Radiation Measurements 2013; 53-54: 71-3.
10.Asadi Mohammad Abadi A, Rahimi M, Jabbari Koopaei L. The estimation of radon gas annual absorbed dose in rafsanjan and anar residents based on measurement of radon concentration dissolved in water. Iran South Med J 2015; 18(5): 960-9. (Persian)
11.Mansour HH, Khdar S, Abdulla HY, et al. Measurement of indoor radon levels in Erbil capital by using solid state nuclear track detectors. Radiation Measurements 2005; 40(2-6): 544-7.
12.Application note an-002-en, Measuring Principals–Decay Statistics–Test Planning. (Accessed June 25, 2016, at https://www.sarad.de/cms/media/docs/application/AN-002_MeasurementPrincipals-Statistics-TestPlanning_EN_09-05-12.pdf)
13.Mowlavi AA, Shahbahrami A, Binesh A. Dose evaluation and measurement of radon concentration in some drinking water sources of Ramsar regions in Iran. Isotopes Environ Health Stud 2009; 45(3): 269-72.
14.Somlai K, Tokonami S, Ishikawa T, et al. $^{222}Rn$ concentration of water in the Balaton Highland and in the southern part of Hungary, and the assessment of the resulting dose. Radiation Measurements 2007; 42(3): 491-5.
15.EPA: Environmental Protection Agency (US). National primary drinking water regulations; radio nuclides; proposed rules. Federal Register 1991; 67(9): 33050.
16.IARC: International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans. Vol 43. Lyon, France: World Health Organization International Agency for Research on Cancer, 1988, 173-97.
17.United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Effects of Ionizing Radiation: Report to general



[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

assembly, with scientific annexes. New York: United Nations, 2008, 333-50.
18.Ramola RC, Prasad G, Gusain GS, et al. Preliminary indoor thoron measurements in high radiation background area of southeastern coastal Orissa, India. Radiat Prot Dosimetry 2010; 141(4): 379-82.
19.Ramachandran TV, Eappen KP, Nair RN, et al. Radon Thoron levels and inhalation dose distribution patterns in Indian dwellings. Mumbai: Bhabha Atomic Research Centre, 2003,1-43 .
20.Ramola RC, Negi MS, Choubey VM. Measurement of equilibrium factor "F" between Radon and its progeny and thoron and its progeny in the indoor atmosphere using nuclear track detectors. Indoor Built Environment 2003; 12(5): 351-5.
21.Dehnavi ZN, Askari HR, Rahimi M, et al. Measuring radon gas concentration inside houses Bardsir city to determine the mean radiation zone. Proceedings of the Conference of Radon- Environmental risks. 2010 Feb. 177-212, Mashhad, Iran.

[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]

***Original Article***

# The Estimated Annual Effective Dose Caused By Radon and Thoron Gases in the Vicinity of Active Faults in the North East of Iran

***AA. Mowlavi [1*], F. Mohammad Jafari [2]***

*[1] Department of Physics, School of Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran.*
*[2] Department of Physics, Tehran Payam Noor University, Tehran, Iran.*

**(Received 15 Jan, 2016 Accepted 25 Apr, 2016)**

***Abstract***

**Background**: Active faults are actually the most important factor in the entry of radon and thoron to the surface of Earth. The location of residential areas on these faults is one of the main reasons for increasing the concentration of these radioactive gases in them.

**Materials and Methods:** By using RTM1688, the concentration of Radon and Thoron was measured in 200 houses in rural residential areas placed on the active faults in Northern Khorasan in the north-east of Iran. **Results:** Radon measurements range was registered from 12Bqm$^{-3}$ and 188 Bqm$^{-3}$ with an average of 75.43 Bqm$^{-3}$. The highest annual effective dose in samples was 5.45 mSv and the lowest was 0.35 mSv with an average of 2.187mSv. The range of Thoron was registered between 0.0 Bqm$^{-3}$ and 840Bqm$^{-3}$ with an average of 325.48 Bqm$^{-3}$. The highest annual effective dose in samples was 21.17 mSv and the lowest was 0 mSv with an average of 8.20 mSv.

**Conclusion:** The results show that in close areas to active faults of north-east of Iran the concentration of Thoron and Radon is two to three times more than the safe level. It was found that 20 percent of residential areas are subject to annual effective dose greater than the limit for radon and 54 percent for Thoron. The high concentration of Thoron and Radon in these areas show that the active faults play the main role of producing of these gases which may increase of lung diseases.

**Key words:** Radon, Thoron, active fault, annual effective absorption dose

©Iran South Med J. All rights reserved.

***Cite this article as: Mowlavi AA, Mohammad Jafari F. The Estimated Annual Effective Dose Caused By Radon and Thoron Gases in the Vicinity of Active Faults in the North East of Iran. Iran South Med J 2017; 20(1): 70-76***

Copyright © 2017 Mowlavi, et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

*[*]Address for correspondence:* Department of Physics, School of Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, IRAN. Email: amowlavi@hsu.ac.ir

**Website: http://bpums.ac.ir**
**Journal Address: http://ismj.bpums.ac.ir**

[ Downloaded from ismj.bpums.ac.ir on 2026-11-08 ]

[ DOI: 10.18869/acadpub.ismj.20.1.70 ]