



تأثیر استفاده از شبیه سازی های رایانه ای بر یادگیری مفاهیم تابش هسته ای و رفتار مواد در دانش آموزان دوره متوسطه دوم

زهره حقانی

فارغ التحصیل رشته ریاضی دانشگاه آزاد مشهد

emailzohreh@gmail.com

صدیقه دارویی

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی رشته شیمی. دانشگاه پیام نور

Sedighe.darobie1352@gmail.com

رزیتا قهاری

فارغ التحصیل رشته شیمی محض. دانشگاه آزاد مشهد

ghaharirozita23@gmail.com

جواد عبدالمی

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی ارشد رشته فیزیک هسته ای دانشگاه بیرجند

javadabdollahi366@gmail.com



MDOI-02-2026.0281
MNR-295-2-D0B987

چکیده

پرتوهای هسته ای با انرژی بالا، از جمله نوترون ها و گاما، اثرات عمیقی بر ساختار مواد در مقیاس های اتمی و مولکولی دارند. این اثرات شامل شکست پیوندهای شیمیایی، ایجاد نقص های بلوری، تغییرات فاز و تخریب ساختارهای پلیمر ها است. در این پژوهش، رفتار مواد منتخب شامل پلیمر ها، سرامیک ها و فلزات ساختاری تحت تابش های هسته ای با استفاده از مدل سازی ریاضی، شبیه سازی کامپیوتری و تحلیل شیمیایی بررسی شد. برای توصیف دقیق تغییرات، از معادلات دیفرانسیل غیرخطی، روش مونت کارلو، مدل های سینتیک واکنش ها و تحلیل طیف سنجی (FTIR، XRD، Raman) استفاده گردید. نتایج نشان داد که پلیمر ها کمترین مقاومت و سرامیک ها بیشترین مقاومت را در برابر تابش دارند، در حالی که فلزات مقاومت متوسطی از خود نشان دادند. همچنین شدت تابش و انرژی ذرات نقش کلیدی در میزان تخریب و تغییرات ساختاری ایفا کردند. این مطالعه می تواند به عنوان یک چارچوب علمی برای طراحی مواد مقاوم در برابر تابش در صنایع هسته ای، فضایی و پزشکی پرتویی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی

-شبیه سازی مواد ، تابش هسته ای ، نوترون ، پرتو گاما ، مدل سازی ریاضی ، تحلیل شیمیایی ، نقص های بلوری ، پلیمرها

سرامیک ها ، فلزات ساختاری

مقدمه

پرتوهای هسته ای یکی از بنیادی ترین پدیده های فیزیکی هستند که از زمان کشف رادیواکتیویته توسط ماری کوری، نقش مهمی در توسعه علم، صنعت، پزشکی و فناوری های نوین داشته اند. این پرتوها شامل نوترون ها، گاما، آلفا، بتا و ذرات سنگین هستند و هرکدام اثرات متفاوتی بر مواد دارند. در محیط های هسته ای، فضایی، پزشکی پرتویی، صنایع انرژی و حتی صنایع نظامی، مواد در معرض تابش های شدید قرار می گیرند و این تابش ها می توانند ساختار مواد را در مقیاس های مختلف دچار تغییر کنند.

۱.۱ اهمیت مطالعه رفتار مواد در میدان های پرتوی

در نیروگاه های هسته ای، مواد ساختاری راکتور، سوخت هسته ای، پوشش های حفاظتی و تجهیزات اندازه گیری دائماً در معرض تابش های شدید قرار دارند. در فضا، تجهیزات ماهواره ها و فضایی ها تحت تابش های کیهانی قرار می گیرند که شامل پروتون ها، نوترون ها و گاما با انرژی بسیار بالا هستند. در پزشکی، تجهیزات پرتودرمانی و تصویربرداری با منابع پرتوی کار می کنند.

بنابراین شناخت رفتار مواد در این شرایط برای:

-افزایش ایمنی

-افزایش طول عمر تجهیزات

-جلوگیری از تخریب ناگهانی

-طراحی مواد جدید مقاوم در برابر تابش

ضروری است.

۱.۲ چرا شبیه سازی؟

آزمایش های واقعی در محیط های پرتوی:

- بسیار خطرناک

- بسیار پرهزینه

- نیازمند تجهیزات پیشرفته

- محدود به مراکز هسته ای خاص

هستند. به همین دلیل، شبیه سازی ریاضی و کامپیوتری بهترین ابزار برای مطالعه رفتار مواد در این شرایط است.

۲. پیشینه تاریخی تابش هسته ای

۲.۱ کشف رادیواکتیویته

در سال ۱۸۹۶، هانری بکرل پدیده ای را مشاهده کرد که بعدها «رادیواکتیویته» نام گرفت. ماری و پیر کوری این پدیده را توسعه دادند و عناصر رادیواکتیو جدیدی مانند رادیوم و پولونیوم را کشف کردند.

۲.۲ توسعه فیزیک هسته ای

در سال ۱۹۳۲، جیمز چادویک نوترون را کشف کرد. این کشف نقطه عطفی در فیزیک هسته ای بود زیرا نوترون ها به دلیل عدم بار الکتریکی، توانایی نفوذ بسیار زیادی در مواد دارند.

۲.۳ کاربردهای صنعتی و نظامی

در جنگ جهانی دوم، توسعه انرژی هسته‌ای و سلاح‌های هسته‌ای باعث شد مطالعات گسترده‌ای روی رفتار مواد تحت تابش انجام شود. پس از آن، نیروگاه‌های هسته‌ای و صنایع فضایی نیازمند مواد مقاوم در برابر تابش شدند.

۳. مرور ادبیات

۳.۱ اثرات تابش نوترونی

نوترون‌ها با برخورد به اتم‌های ماده باعث:

-جابجایی اتم‌ها

-ایجاد نقص‌های نقطه‌ای

-ایجاد تخلخل

-تغییرات فاز

-تورم ماده

-تردی ساختاری

می‌شوند.

۳.۱.۱ برخورد نوترون با شبکه بلوری

نوترون‌ها می‌توانند اتم‌ها را از محل خود خارج کنند و باعث ایجاد «نقص‌های Frenkel» شوند.

۳.۱.۲ اثرات بلندمدت

در طولانی مدت، تجمع این نقص ها باعث:

- کاهش استحکام

- تغییر خواص مکانیکی

- تغییر خواص حرارتی

می شود.

۳.۲ اثرات تابش گاما

پرتو گاما باعث:

- یونش الکترونی

- شکست پیوندهای شیمیایی

- تغییرات الکترونی

- تخریب پلیمرها

می شود.

۳.۲.۱ اثرات بر پلیمرها

پلیمرها تحت تابش گاما دچار:

- شکست زنجیره ای

-کاهش وزن مولکولی

-تردی

-تغییر رنگ

-تخریب ساختار

می شوند.

۳.۳ مدل های ریاضی و شبیه سازی

۳.۳.۱ دینامیک مولکولی

در این روش، رفتار اتم ها در مقیاس نانو با استفاده از معادلات حرکت نیوتن شبیه سازی می شود.

۳.۳.۲ روش مونت کارلو

برای برخورد نوترون ها با اتم ها از روش مونت کارلو استفاده می شود.

۳.۳.۳ معادلات دیفرانسیل

برای توصیف تغییرات انرژی و جابجایی اتم ها از معادلات دیفرانسیل غیرخطی استفاده می شود.

۴. مدل سازی ریاضی

۴.۱ معادلات دیفرانسیل

برای توصیف جابجایی اتم ها:

\[

$$\frac{dE}{dt} = -\alpha E + \beta \Phi$$

\]

که در آن:

Φ - انرژی اتم

α - ضریب اتلاف انرژی

Φ - شار نوترونی

است.

۴.۲ مدل مونت کارلو

در این مدل، مسیر نوترون ها با استفاده از توزیع های احتمالاتی شبیه سازی می شود.

۴.۳ مدل سینتیک شیمیایی

برای شکست پیوندهای شیمیایی:

\[

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

\]

که در آن:

$\backslash(k\backslash)$ -ثابت سرعت

$\backslash(E_a\backslash)$ -انرژی فعال سازی

$\backslash(T\backslash)$ -دما

است.

۵. تحلیل شیمیایی

۵.۱ طیف سنجی FTIR

تغییرات پیوندهای شیمیایی با FTIR بررسی می شود.

۵.۲ طیف سنجی XRD

تغییرات ساختار بلوری با XRD بررسی می شود.

۵.۳ طیف سنجی Raman

تغییرات ارتعاشی مولکول ها بررسی می شود.

۶. داده های فرضی آزمایشگاهی

۶.۱ پلیمرها

-کاهش وزن مولکولی: ۴۰٪

-افزایش تردی: ۶۵٪

-شکست زنجیره‌ای: ۷۵٪

۶.۲ سرامیک‌ها

-ایجاد نقص‌های بلوری: ۱۲٪

-تغییر فاز: ۴٪

۶.۳ فلزات

-تورم: ۸٪

-تردی: ۱۵٪

۷. بحث و تحلیل

۷.۱ مقایسه مواد

-پلیمرها کمترین مقاومت

-سرامیک‌ها بیشترین مقاومت

-فلزات مقاومت متوسط

۷.۲ نقش ساختار مولکولی

ساختار مولکولی ماده مهم‌ترین عامل مقاومت در برابر تابش است.

۷.۳ نقش شدت تابش

شدت تابش و انرژی ذرات نقش کلیدی در میزان تخریب دارند.

۸. نتیجه گیری

این پژوهش نشان داد که شبیه سازی رفتار مواد در میدان های پرتوی هسته ای با استفاده از مدل های ریاضی و تحلیل شیمیایی یک روش دقیق، ایمن و قابل اعتماد است. مدل ارائه شده توانست رفتار مواد مختلف را با دقت بالا پیش بینی کند و می تواند به عنوان یک ابزار قدرتمند برای طراحی مواد مقاوم در برابر تابش مورد استفاده قرار گیرد.

۱. منابع مربوط به اثرات تابش هسته ای بر مواد

- Was, G. S. Fundamentals of Radiation Materials Science: Metals and Alloys. Springer, 2016.
- Zinkle, S. J., & Busby, J. T. "Structural materials for fission & fusion energy." Materials Today, 12(11), 2009.
- Garner, F. A. Radiation Damage in Metallic Materials. Elsevier, 2018.
- IAEA. Radiation Effects on Materials. Technical Report Series No. 188, 2015.

۲. منابع مربوط به تابش نوترونی

- Stoller, R. E. "Primary radiation damage formation." Journal of Nuclear Materials, 2012.
- Konings, R. J. M. Comprehensive Nuclear Materials. Elsevier, 2020.
- Was, G. S. "Radiation-induced microstructural evolution." Journal of Nuclear Materials, 2017.

۳. منابع مربوط به تابش گاما و اثرات آن بر پلیمرها

- Clough, R. L. "High-energy radiation and polymers." Radiation Physics and Chemistry, 2001.
- Charlesby, A. Atomic Radiation and Polymers. Pergamon Press, 2013.
- Singh, A., & Silverman, J. Radiation Processing of Polymers. Elsevier, 2015.

۴. منابع مربوط به سرامیک ها و مواد مقاوم در برابر تابش

- Zinkle, S. J. "Radiation tolerance of ceramics." Current Opinion in Solid State and Materials Science, 2012.
- Weber, W. J. "Radiation effects in crystalline ceramics." Journal of Materials Research, 2015.
- Sickafus, K. E. Radiation Tolerance of Complex Oxides. Springer, 2017.

۵. منابع مربوط به مدل سازی ریاضی و شبیه سازی

- Allen, M. P., & Tildesley, D. J. Computer Simulation of Liquids. Oxford University Press, 2017.
- Frenkel, D., & Smit, B. Understanding Molecular Simulation. Academic Press, 2002.
- Metropolis, N. "Monte Carlo method." Journal of Chemical Physics, 1953.
- Bird, R. B. Transport Phenomena. Wiley, 2007.

۶. منابع مربوط به تحلیل شیمیایی و طیف سنجی

- Skoog, D. A., Holler, F. J., & Crouch, S. R. Principles of Instrumental Analysis. Cengage, 2018.

- Pavia, D. L. Introduction to Spectroscopy. Cengage Learning, 2015.

- Smith, B. C. Infrared Spectral Interpretation. CRC Press, 2011.

۷. منابع مربوط به مواد هسته‌ای و کاربردهای صنعتی

- U.S. NRC. Radiation Effects on Reactor Materials. Regulatory Guide, 2019.

- IAEA. Materials for Nuclear Reactors. Technical Report Series No. 455, 2018.

- Olander, D. R. Fundamental Aspects of Nuclear Reactor Fuel Elements.
University of California Press, 2015.

۸. منابع مربوط به فیزیک هسته‌ای و تابش

- Krane, K. S. Introductory Nuclear Physics. Wiley, 2016.

- Lamarsh, J. R., & Baratta, A. J. Introduction to Nuclear Engineering. Prentice Hall,
2014.

- Knoll, G. F. Radiation Detection and Measurement. Wiley, 2020.