

# اثرگذاری میدان‌های شعوری بر محاسبه‌ی مونت کارلوی سه بعدی (حجم)

محمدعلی طاهری<sup>۱</sup>، فرزاد احمدخانلو<sup>۲\*</sup>، ریحانه محلوجی<sup>۳</sup>

\* نویسنده مسئول: فرزاد احمدخانلو  
ایمیل: farzadkhanlou@hotmail.com

- ۱- بخش تحقیق و توسعه‌ی ساینسکت، مرکز تحقیقات کازموایتل، انتاریو، کانادا
- ۲- گروه مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه کالیفرنیا ایرواین، ایرواین، کالیفرنیا، ایالات متحده‌ی آمریکا
- ۳- دکتری فیزیک کاربردی، محقق کازموایتل

DOI: <http://doi.org/10.61450/joci.FA.v3i14.192>

## چکیده

پیش از این بررسی اثرگذاری میدان‌های شعوری بر تولید اعداد تصادفی و محاسبات مونت کارلوی یک و دو بعدی صورت گرفته است. طبق نتایج سه مطالعه‌ی محاسباتی قبل، با تولید سه سری عدد تصادفی به منظور محاسبه حجم مکعب مستطیل (محاسبه‌ی سه بعدی)، دیدن پاسخی مشخص‌تر در بخش سوم این مرحله، مورد انتظار بود. در واقع تاثیرگذاری میدان‌ها بر سه مجموعه‌ی عدد تصادفی، این توقع را ایجاد می‌کرد تا بتوان اثری قابل توجه‌تر در خروجی مطالعه طراحی شده بوجود بیاید. نتیجه‌ی حاصله، فرضیه آزمون را تایید کرد: تاثیرگذاری میدان شعوری ۲ در کاهش معنادار ( $p\text{-value} < 0.05$ ) فاصله مقدار محاسبه شده از مقدار تحلیلی (عدم قطعیت محاسبه)، افزایش ۴ درصدی در hitهای مورد انتظار در مقادیر حوالی مقدار تحلیلی و کاهش ۱۰ درصدی در مقدار انترپولی توزیع در مقایسه با کنترل. این پاسخها در مقایسه با داده‌های مطالعات قبل قابل توجه‌تر بنظر می‌رسند. در ادامه این پژوهش، مطالعه بر کدهای محاسباتی مونت کارلوی پیشرفته و بررسی تاثیرگذاری میدان‌های شعوری در شرایط پیچیده‌تر این کدها، در دستور کار نویسندگان این مطالعه قرار دارد.

**واژگان کلیدی:** میدان‌های شعوری، اعداد تصادفی، مونت کارلو، محاسبه‌ی حجم، عدم قطعیت

محاسبه‌ی این قسمت مربوط به حجم مشخصی است که با سه سری داده‌ی تصادفی صورت می‌گیرد. مقدار تحلیلی این حجم برابر با ۴۰ است. برای توضیحات بیشتر به بخش ۲-۲-۲ از ملاحظات مشترک این شماره مراجعه کنید. در این بررسی ابتدا آنالیز توصیفی تمام مقادیر بدست آمده از حجم در کنترل و دو نمونه صورت گرفته است. سپس با بین‌بندی (۰/۲) داده‌ها، توزیع آنها بدست آمده و تغییر در آن بین نمونه و کنترل به همراه محاسبه‌ی آنتروپی آن مقایسه شده است.

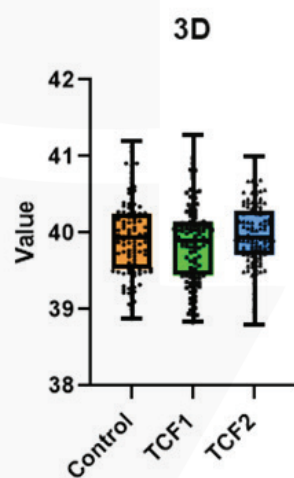
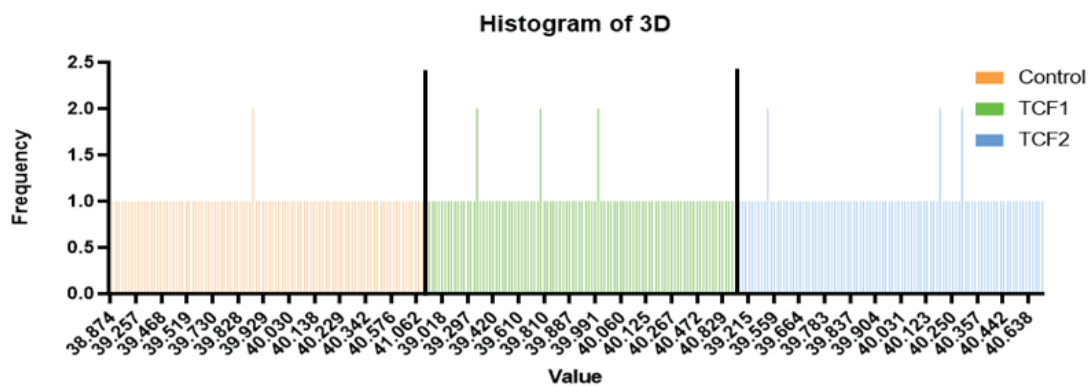
### نتایج و جمع‌بندی

طبق جدول ۱، تمایل میانگین به سمت مقدار تحلیلی مورد انتظار در مورد نمونه ۲، بیشتر از نمونه ۱ و کنترل است. همچنین در باکس پلات شکل ۱ کاهش دامنه تغییر مقادیر در نمونه‌ی دو در مقایسه با نمونه ۱ و کنترل مشخص است.

روش مونت کارلو، روشی آماری برای تولید طیف وسیعی از راه حل‌ها به منظور درک سیستم‌های پیچیده فیزیکی یا ریاضی است که این کار را با استفاده از اعداد تصادفی تولید شده به عنوان ورودی به آن سیستم‌ها انجام می‌دهد. با استفاده از تعداد آزمایشات بیشتر، احتمال راه حل‌ها را می‌توان با دقت بیشتر تعیین کرد. روش مونت کارلو در طیف وسیعی از موضوعات از جمله ریاضیات، فیزیک، زیست‌شناسی، مهندسی، و امور مالی و در مسائلی که در آنها تعیین یک راه حل تحلیلی بسیار وقت‌گیر است، استفاده می‌شود [۱]. برای مثال روش مونت کارلو با روش‌های قطعی مبتنی بر حل معادله انتقال و روش دینامیک مولکولی مقایسه می‌شود؛ قابلیت‌های برنامه‌های همه منظوره رایج مونت کارلو (SRIM، PENELOPE، MCNP، FLUKA و GEANT4) برای شبیه‌سازی مونت کارلو فرآیندهای پیچیده‌ی عبور ذرات از ماده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند [۲]. در این مطالعه، با سطحی از پیچیدگی بیشتر از مطالعات پیشین صورت گرفته در این شماره، به بررسی اثرات میدان‌های شعوری در سطح محاسبات مونت کارلو پرداخته ایم.

جدول ۱- آنالیز توصیفی مقادیر محاسبه شده‌ی سطح در نمونه‌ها و کنترل

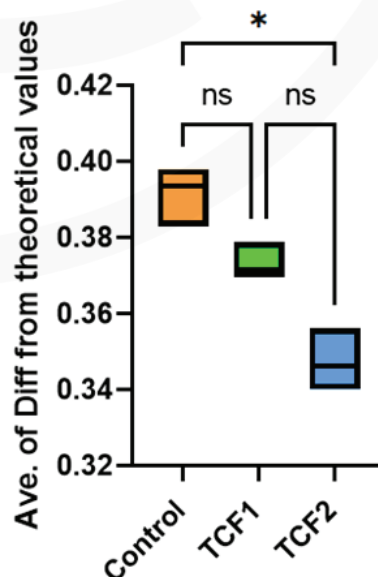
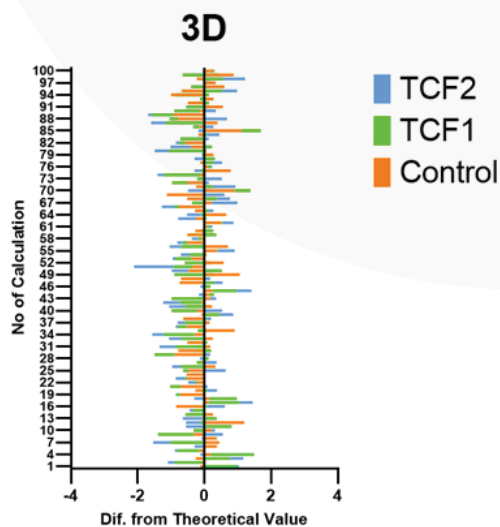
	Control	TCF1	TCF2
Number of values	100	100	100
Minimum	38.874	38.832	38.802
25% Percentile	39.522	39.443	39.709
Median	39.935	39.907	39.931
75% Percentile	40.254	40.141	40.293
Maximum	41.199	41.281	40.993
Range	2.325	2.449	2.191
Actual confidence level	96.480%	96.480%	96.480%
Lower confidence limit	39.782	39.810	39.879
Upper confidence limit	40.065	40.031	40.098
Mean	39.940	39.873	39.977
Std. Deviation	0.497	0.508	0.409
Std. Error of Mean	0.050	0.051	0.0409
Lower 95% CI of mean	39.841	39.772	39.896
Upper 95% CI of mean	40.038	39.974	40.059
+1 Sigma (round 0.1) of Mean	40.4	40.4	40.4
-1 Sigma (round 0.1) of Mean	39.4	39.4	39.6



شکل ۱-هیستوگرام تمام مقادیر تولید شده (بالا) به همراه آنالیز باکس مقادیر تولیدی (پایین).

در هر مقدار محاسبه شده با مقدار تحلیلی در نمونه‌ها و کنترل مقایسه شده‌اند.

طبق داده‌ی شکل ۱، تغییر در فرکانس مقادیر تولید شده در نمونه‌ها در مقایسه با کنترل در برخی بازه‌ها مشهود است. همچنین تفاوت



شکل ۲- (چپ) نمایش مقایسه‌ای مقادیر تفاضل بین مقدار محاسبه شده و مقدار تحلیلی در کنترل و نمونه‌ها در ۱۰۰ بار محاسبه (خط نشان صفر به معنای محاسبه معادل مقدار تحلیلی و تفاوت صفر است). (ب) آنالیز باکس متوسط عدم قطعیت محاسبه (متوسط فاصله از مقدار تحلیلی) در کنترل و نمونه‌ها در سه بار تکرار از هر کدام

همچنین بدلیل محاسبه فرکانس‌ها در نزدیک‌ترین بازه‌ها به مقدار تحلیلی، یک بازه کمتر و یک بازه بیشتر در دو طرف بین مقدار تحلیلی نیز، هایلایت و فرکانس کلی مقادیر محاسبه شده در این محدوده، محاسبه و در سطح آخر جدول ذکر شده است. در سطر آنتروپی، مقدار آنتروپی شانون در کل بازه‌ی مقادیر همین جدول، طبق رابطه آمده در مقدمه، محاسبه شده است.

همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود متوسط عدم قطعیت محاسبه بین نمونه‌ی میدان شعوری ۲ و کنترل تفاوت معنادار کاهشی حدود ۱۲٪ نشان می‌دهد، در حالی که این تفاوت بین کنترل و نمونه‌ی میدان شعوری ۱ و نمونه‌ی دو میدان شعوری معنادار نیست. جدول ۲، تمام فرکانس مقادیر محاسبات در بازه‌های مختلف در کنترل و نمونه‌ها را آورده است. در این جدول مقدار عددی تحلیلی در ستون اول با رنگ آبی هایلایت شده است؛

جدول ۲- داده‌ها در بین‌بندی صورت گرفته در آزمون محاسبه‌ی دو بعدی به همراه محاسبه‌ی آنتروپی شانون کل بازه؛ مقدار مشخص شده در ستون ۱، مقدار تحلیلی مورد انتظار است.

Bin Center	Control	TCF1	TCF2
38.80	1	1	1
39.00	3	6	2
39.20	7	7	2
39.40	11	13	5
39.60	9	8	13
39.80	16	14	21
40.00	16	23	17
40.20	17	11	15
40.40	7	6	13
40.60	5	4	10
40.80	3	4	0
41.00	3	2	1
41.20	2	1	0
<b>Entropy</b>	2.31	2.27	2.07
درصد خروجی محاسبه در نزدیک‌ترین بازه‌ها به مقدار تحلیلی	49%	48%	53%

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این شماره از سرکار خانم پانیذ هدایتی برای ویراستاری ادبی مقالات، نهایت تشکر و قدردانی را ابراز می‌دارند.

در جدول ۲، با دسته‌بندی اعداد محاسبه شده در بین‌های مختلف، و محاسبه تعداد آنها در هر بین، عملاً فرکانس اعداد تخمین زده شده در کنترل و نمونه‌ها بدست آمده است. از آنجا که مقدار تحلیلی مشخص مورد انتظار در این پژوهش ۴۰ بوده است، بین ویژه‌ای که عدد مرکزی آن ۴۰ است و نزدیک‌ترین بین‌ها از دو طرف آن (سطور رنگی در جدول ۲) به عنوان نزدیک‌ترین ناحیه به جواب مورد انتظار در نظر گرفته شده و میزان فرکانس اعداد تخمین زده شده در این محدوده نسبت به کل محاسبات، به عنوان رخداد یا هیت در نزدیک‌ترین ناحیه محاسبه شده و در سطر آخر جدول ۲ آمده است. همانطور که مشخص است کمترین فاصله از مقادیر محاسبه شده، با اختلاف حداقل ۴٪ از نمونه ۱ و کنترل، متعلق به میدان شعوری ۲ است. همچنین آنتروپی توزیع نمونه‌ی ۲، در حدود ۱۰٪ کمتر از کنترل است.

### منابع

1. Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2024). *Monte Carlo method*. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/science/Monte-Carlo-method>
2. Novikov, N. V. (2023). Monte Carlo Computer Simulation Method for Solving the Problem of Particle Passage Through Matter. *J. Surf. Investig.* 17, 712–723. <https://doi.org/10.1134/S1027451023030291>