



دانشگاه کاشان  
University of Kashan

مجله محاسبات نرم

## SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: [scj.kashanu.ac.ir](http://scj.kashanu.ac.ir)



### توسعه نرم افزار شبیه ساز تغییرات دما در پوسته های جامد با بهره گیری از ترکیب تکنیک واقعیت افزوده و دینامیک سیالات محاسباتی

فاطمه محبی نژاد<sup>۱</sup>، دانشجوی کارشناسی ارشد، محمد کاظم مؤیدی<sup>۲\*</sup>، استادیار، فرانک فتوحی<sup>۱</sup>، استادیار

<sup>۱</sup> گروه مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه قم، قم، ایران.

<sup>۲</sup> گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه قم، قم، ایران.

#### اطلاعات مقاله

#### چکیده

#### تاریخچه مقاله:

دریافت ۲۷ آذر ماه ۱۴۰۰

پذیرش ۰۳ خرداد ماه ۱۴۰۱

#### کلمات کلیدی:

واقعیت افزوده

دینامیک سیالات محاسباتی

گوشی های هوشمند

شبیه سازی عددی

تغییرات دما

واقعیت افزوده یکی از فناوری های نوین در دهه های اخیر است که به ویژه در دستگاه های سیار نمود پیدا کرده است. در واقعیت افزوده، اشیاء مجازی در یک محیط واقعی و در کنار سایر اشیاء واقعی قرار می گیرند. از دلایل دیگر اهمیت واقعیت افزوده، قابل اجرا بودن برنامه های مبتنی بر واقعیت افزوده بر روی دستگاه های همراه و شخصی مانند گوشی های هوشمند و تبلت ها است. ادغام واقعیت افزوده با یک روش شبیه سازی عددی مانند دینامیک سیالات محاسباتی، ابزاری شناختی، علمی و کارآمد برای کاربران متخصص و غیر حرفه ای جهت تحلیل مسائل کاربردی فراهم می کند. علاوه بر این با استفاده از تکنیک دینامیک سیالات محاسباتی و یک سیستم مبتنی بر واقعیت افزوده، تحلیل های مهندسی و نتایج شبیه سازی به صورت مستقیم بر روی اشیاء دنیای واقعی حاصل می شود که سبب درک بهتر و ارتباط بین نتایج شبیه سازی و دنیای واقعی می گردد. در این پژوهش از ترکیب واقعیت افزوده و روش دینامیک سیالات محاسباتی جهت پیاده سازی یک نرم افزار اندرویدی برای شبیه سازی تغییرات دمای اجسام جامد با جنس های مختلف در گذر زمان استفاده شده است.

© ۱۴۰۱ - مجله محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

#### ۱. مقدمه

را با اجسام گرافیکی تولید شده توسط کامپیوتر ترکیب می کند و ویژگی اصلی آن بلادرنگ بودن آن است که تشخیص، ردیابی و تعامل با اجسام را در زمان واحد انجام می دهد. در واقع واقعیت افزوده به گونه ای مفاهیم مجازی را به مفاهیم واقعی می افزاید که کاربر حس حضور در دنیای واقعی را داشته باشد [۱، ۲].

دینامیک سیالات محاسباتی عبارت است از تحلیل سیستم های شامل جریان سیال، انتقال حرارت و پدیده های همراه که بر اساس شبیه سازی کامپیوتری صورت می گیرد. معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی یکی از ابزارهای اصلی در مدل سازی بسیاری از پدیده ها در دنیای واقعی [۳] و یکی از

افزایش روزافزون گوشی های هوشمند و پر قدرت تر شدن این دستگاه ها در سال های اخیر، سبب تشویق بسیاری از محققان برای پیاده سازی سیستم های واقعیت افزوده بر روی تلفن های هوشمند شده است. واقعیت افزوده موجودیت های دنیای واقعی

✦ نوع مقاله: پژوهشی

\* نویسنده مسئول

پست (های) الکترونیک: [fatemeh.mohebinejad75@gmail.com](mailto:fatemeh.mohebinejad75@gmail.com) (محبی نژاد)

[moayyedi@qom.ac.ir](mailto:moayyedi@qom.ac.ir) (مؤیدی)

[f-fotouhi@qom.ac.ir](mailto:f-fotouhi@qom.ac.ir) (فتوحی)

نحوه ارجاع به مقاله: محبی نژاد، فاطمه، مؤیدی، محمد کاظم، فتوحی، فرانک، «توسعه نرم افزار شبیه ساز تغییرات دما در پوسته های جامد با بهره گیری از ترکیب تکنیک واقعیت افزوده و دینامیک سیالات محاسباتی»، مجله محاسبات نرم، جلد ۱۰، شماره ۲، ص ۴۴-۵۵، پاییز و زمستان ۱۴۰۰.

وضوح و اندازه صفحه نمایش دستگاه‌های همراه و همچنین درک کاربران از اطلاعات مجازی افزوده شده، تونیس و همکاران فلش‌هایی را برای راهنمایی مسیر پیشنهاد دادند. این فلش‌ها به سرعت وابسته بودند و با توجه به سرعت کاربر تغییراتی در این فلش‌ها ایجاد می‌شد که زمینه درک بهتر کاربر از برنامه کاربردی را فراهم می‌کرد [۱۰].

از جمله مطالعات انجام شده با استفاده از ترکیب واقعیت افزوده و دینامیک سیالات محاسباتی، در سیستم پیشنهادی فوکودا و همکاران است که برای درک آسان نمایش، نتایج دینامیک سیالات محاسباتی به صحنه‌های واقعی افزوده می‌شود تا اطلاعات درباره اثرات حرارتی گزینه‌های نوسازی به صورت تعاملی در اختیار کاربران قرار گیرد [۱۱]. در این سیستم، دینامیک سیالات محاسباتی و واقعیت افزوده یکپارچه هستند و شامل پنج مرحله: ایجاد مدل اطلاعاتی ساختمان<sup>۱</sup>، تولید شبکه محاسباتی، تنظیم شرایط مرزی، شبیه‌سازی عددی و تجسم واقعیت افزوده است. ابتدا یک مدل اطلاعاتی از ساختمان تولید و در مرحله بعد حجم شبکه محاسباتی مدل اطلاعاتی ساختمان ایجاد می‌شود. شرایط مرزی براساس اطلاعات مدل، مانند شار حرارتی دیوارها و میزان گردش هوا از سیستم‌های تهویه هوا تنظیم می‌شود. در مرحله شبیه‌سازی، عملکرد سیال ناپایدار با استفاده از یک نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی بر اساس شرایط مرزی تعریف شده شبیه‌سازی می‌شود، سپس نتایج شبیه‌سازی بر روی صحنه‌های محیط داخلی واقعی با استفاده از فناوری واقعیت افزوده نمایش داده می‌شود. مالک‌اوی و همکاران یک مدل واقعیت افزوده مبتنی بر تشخیص گفتار و حرکات ارائه داده‌اند که برای تعامل با ساختمان‌ها و محیط‌های گرمایی آنها طراحی شده است [۱۲]. این مدل شامل ۴ مولفه: داده‌های حسگر بی‌سیم، تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی، تعامل انسان و کامپیوتر<sup>۲</sup> و نمایش واقعیت افزوده است. مولفه داده‌های حسگر، تغییرات دما و سرعت در زمان واقعی را در داخل اتاق ردیابی و شرایط مرزی را برای شبیه‌سازی به‌روز

مباحث بسیار مهمی است که به عنوان پیش‌نیاز برای انجام محاسبات دینامیک سیالات محاسباتی در نظر گرفته می‌شود. در دینامیک سیالات محاسباتی از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی جهت رسیدن به جواب بهره می‌برند، ولی در تمامی موارد دامنه مساله را به تعداد زیادی اجزاء کوچک تقسیم می‌کنند و برای هر یک از این اجزاء مساله را حل می‌کنند.

ادغام واقعیت افزوده با یک روش شبیه‌سازی عددی مانند دینامیک سیالات محاسباتی، ابزاری شناختی، علمی و کارآمد برای کاربران متخصص و غیرحرفه‌ای جهت تحلیل مسائل کاربردی فراهم می‌کند. علاوه بر این، با استفاده از فناوری دینامیک سیالات محاسباتی و یک سیستم مبتنی بر واقعیت افزوده، تحلیل‌های مهندسی و نتایج شبیه‌سازی به صورت مستقیم بر روی اشیاء دنیای واقعی قرار می‌گیرد که سبب درک بهتر و ارتباط بین نتایج شبیه‌سازی و دنیای واقعی می‌شود.

اولین کارها در زمینه واقعیت افزوده توسط فینر و همکاران انجام شد. آنها سامانه‌ای به نام Machine Touring طراحی کردند که از نمایشگرهای سربند، لپ‌تاپ و یک کوله‌پشتی مجهز به تجهیزات رایانه‌ای و حسگرها استفاده می‌کرد [۴]. هولر و همکاران سیستم Machine Touring را توسعه دادند و به آن قابلیت‌های دیگری برای افزایش دقت و کارایی اضافه نمودند [۵]. استیدمن و همکاران نشان دادند که در واقعیت افزوده افزایش اطلاعات مجازی بر روی صفحه نمایش سبب اختلال بصری می‌شود. در نتیجه کاربران نمی‌توانند اهداف مورد نظر خود را شناسایی و ردیابی نمایند [۶]. جولیر و همکاران یک سیستم واقعیت افزوده پیشنهاد دادند که در آن اطلاعات براساس منطقه کاربر، فیلتر می‌شد و فقط اطلاعات ضروری برپایه قصد کاربر ارائه می‌شد [۷]. پیکارسکی و همکاران سامانه‌ای به نام Tinmith راه‌اندازی کردند. این سیستم جزء اولین سامانه‌های واقعیت افزوده بود که اشکال سه‌بعدی را در لحظه و به صورت بلادرنگ در فضاهای باز تولید می‌کرد و به کاربر نمایش می‌داد [۸]. ریتمایر و همکاران سامانه‌ای توسعه دادند که در آن از واقعیت افزوده برای ناوبری در فضای باز و نمایش اطلاعات عوارض مختلف استفاده می‌شد [۹]. برای غلبه بر محدودیت

<sup>1</sup> Building information modeling (BIM)

<sup>2</sup> Human-Computer Interaction (HCI)

پیدا می‌کند [۱۵]. در مقابل آن، واقعیت مجازی<sup>۱</sup> قرار دارد که یک شبیه‌سازی از دنیای واقعی را جایگزین دنیای واقعی می‌کند [۱۶].

### ۲.۱. تعریف واقعیت افزوده

دایتر کلر و همکارانش بیان کردند واقعیت افزوده یک فناوری است که دید کاربر از دنیای واقعی را با افزودن اطلاعاتی که توسط کامپیوتر تولید می‌شود، پیشرفته می‌کند و یا آن را توسعه می‌دهد. این پیشرفت، از طریق قرارگیری اشیاء هندسی مجازی در محیط طبیعی و یا اطلاعاتی غیرهندسی درباره اشیاء واقعی موجود در صحنه، حاصل می‌شود. این اطلاعات می‌توانند متن، تصویر یا صوت باشند [۱۷]. طبق تعریف آزوما یک سیستم واقعیت افزوده باید دارای سه ویژگی اصلی زیر باشد [۱۸]:

- ا. محیط واقعی و مجازی را با یکدیگر ترکیب کند،
- ب. قابلیت تعامل را به صورت بلادرنگ داشته باشد،
- ج. محیط واقعی به‌مراه اشیاء مجازی را به صورت سه‌بعدی نمایش دهد.

خصوصیت اول به این معنی است که نتیجه نهایی باید دنیای واقعی را به همراه مولفه‌هایی مجازی و در ترکیب با یکدیگر داشته باشد. طبق خصوصیت دوم، دنیای حقیقی و مجازی در واقعیت افزوده به صورت ساده جمع نمی‌شوند بلکه به طور کامل حالت تعاملی دارند به طوری که گویا اجسام مجازی جزئی از واقعیت هستند. همچنین خصوصیت سوم بیان می‌کند که پیاده‌سازی و اشیائی که قرار است به محیط واقعی افزوده شوند، باید سه‌بعدی باشند. میلگرام معتقد است گستره دنیای واقعی تا فضای مجازی سیر پیوسته‌ای دارد [۱۶]. در شکل (۱) این گستره به صورت یک طیف به نمایش در آمده است که در یک سوی آن، محیط واقعی و در سوی دیگر آن محیط مجازی قرار گرفته است. هر چیزی از جمله واقعیت افزوده که بین این دو محیط قرار می‌گیرد، متعلق به واقعیت آمیخته<sup>۲</sup> می‌باشد. این

می‌کند. ماژول تجزیه و تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی، با شرایط مرزی جدید، شبیه‌سازی را انجام داده و داده‌های پس‌پردازش را ذخیره می‌کند. مؤلفه تعامل انسان و کامپیوتر متشکل از کتابخانه‌ای از وظیفه‌های تشخیص گفتار و حرکات است. این وظایف در دستکاری داده‌ها برای مؤلفه تجسم واقعیت افزوده کمک می‌کند. ماژول تجسم واقعیت افزوده حرکت کاربر را در زمان واقعی ردیابی می‌کند و اطلاعات گرافیکی را در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا مجموعه داده‌های دینامیک سیالات محاسباتی را در صحنه واقعی تجسم کند. وانگ و همکاران در پژوهشی انگیزه‌ها و رویکرد فنی در ترکیب واقعیت افزوده با دینامیک سیالات محاسباتی را برای آموزش بر روی دیگ بخار یک نیروگاه زغال سنگ شرح دادند [۱۳]. در این پژوهش واقعیت افزوده برای فراهم کردن دسترسی آسان به همه جزئیات یک مدل مجازی، در یک محیط سه‌بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مطالعه‌ای دیگر، فوکودا و همکاران یک ابزار طراحی یکپارچه ارائه داده‌اند که شامل دینامیک سیالات محاسباتی، واقعیت افزوده، واقعیت مجازی و مدل اطلاعات ساختمان است [۱۴]. این ابزار برای مشکلات یک پروژه طراحی مسکونی واقعی به عنوان یک تحقیق عملی به کار گرفته شد. از طریق تحقیق مشاهداتی، محتوای بازخورد طراحی بر روی مسائل طراحی از طریق شبیه‌سازی در پروژه آشکار شد و ویژگی‌های هر ابزار در فرآیند بازخورد مورد بحث قرار گرفت. در این پژوهش با توجه به مزایای استفاده از تلفن‌های هوشمند، یک نرم‌افزار اندرویدی برای اجرا بر روی گوشی‌های هوشمند توسعه داده شده است تا نتایج شبیه‌سازی تغییرات دما به صورت مستقیم بر روی جسم واقعی قابل مشاهده باشد.

### ۲. واقعیت افزوده

واقعیت افزوده یک فناوری است که در آن اشیاء یا عناصر تولید شده توسط کامپیوتر به یک نما از دنیای واقعی افزوده می‌شوند. واقعیت افزوده بین دنیای واقعی و دنیای مجازی قرار دارد به صورتی که در آن تصویر دنیای واقعی به وسیله کامپیوتر تغییر

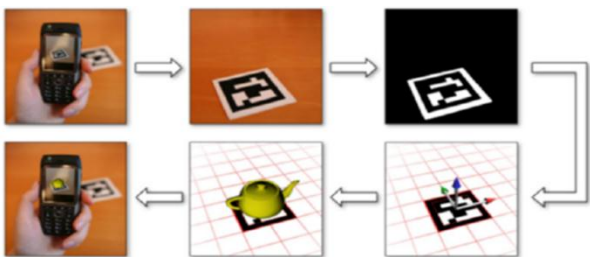
<sup>۱</sup> Virtual Reality

<sup>۲</sup> Mixed Reality (MR)

استخراج ویژگی از تصویر مانند در نظر گرفتن گوشه‌ها و لبه-های تصویر به عنوان ویژگی [۲۰]، انجام می‌شود. این نوع، واقعیت افزوده بدون نشانگر نام دارد که به سه بخش ردیابی با استفاده از ویژگی‌های تصویری، ردیابی بر پایه مدل و ردیابی با استفاده از حسگرها تقسیم می‌شوند.

### ۲.۳. جریان کار عمومی برنامه‌های واقعیت افزوده

یک جریان کار ساده وجود دارد که بین تمام برنامه‌های واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر مشترک است. پس از دریافت تصویر از یک دوربین، با تشخیص لبه‌ها، نشانگر از تصویر جدا می‌شود، سپس با استفاده از مختصات چهار گوشه آن که به دست آمده است می‌توان ماتریس انتقال را برای شیء مجازی محاسبه کرد. در انتها، ماتریس اعمال و شیء مجازی روی تصویری که در گام اول گرفته شده، نمایش داده می‌شود [۲۱]. شکل (۳) جریان کار عمومی یک برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر را نمایش می‌دهد.

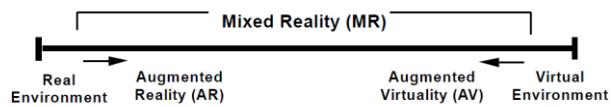


شکل (۳): جریان کار عمومی برنامه واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر [۲۱]

### ۳. دینامیک سیالات محاسباتی

دینامیک سیالات محاسباتی روشی برای شبیه‌سازی و تحلیل مساله‌های مکانیک سیالات و انتقال حرارت می‌باشد. در گذشته برای طراحی و در نهایت تولید یک محصول، تنها بر آزمون‌های آزمایشگاهی، فیزیکی و محاسبات دستی تکیه می‌شد، اما با افزایش پیچیدگی‌های طراحی و رقابت برای کاهش هزینه‌ها، امروزه مدل‌سازی و شبیه‌سازی فرآیندها به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. در دینامیک سیالات محاسباتی از روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی جهت رسیدن به جواب بهره برده می‌شود ولی در تمامی موارد دامنه

طیف بیان می‌کند که می‌توان عناصر مجازی را وارد دنیای واقعی کرد یا عناصر واقعی را به درون محیط مجازی آورد. میلگرام معتقد است که واقعیت افزوده در مراحل ابتدایی گذار از واقعیت به مجاز جای می‌گیرد.



شکل (۱): طیف واقعیت - مجازی [۱۶]

### ۲.۲. سیستم‌های واقعیت افزوده بر پایه نوع پیاده‌سازی

سیستم‌های واقعیت افزوده را از چند جهت می‌توان دسته‌بندی کرد که یک دسته‌بندی مهم آن نوع پیاده‌سازی سیستم است. این دسته‌بندی شامل واقعیت افزوده با نشانگر و بدون نشانگر می‌باشد که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

#### ۲.۲.۱. واقعیت افزوده با نشانگر

نشانگر<sup>۱</sup> یک الگوی سیاه و سفید دوبعدی معمولاً به شکل مربع است که پرینت آن در محیط قرار می‌گیرد و به سادگی توسط دستگاه تشخیص داده می‌شود. با تشخیص نشانگر، عمل تخمین وضعیت<sup>۲</sup> و ثبت به سادگی انجام می‌شود. در شکل (۲) تصاویر تعدادی نشانگر قابل مشاهده است.



شکل (۲): شکل تعدادی نشانگر که در محیط قرار می‌گیرند

#### ۲.۲.۲. واقعیت افزوده بدون نشانگر

برخی از سیستم‌های واقعیت افزوده برای پیدا کردن مکان قرارگیری شیء مجازی نیازی به تصویر از قبل تعریف شده ندارند. در این سیستم‌ها عمل ردیابی، توسط روش‌های پردازش تصویر مانند استفاده از شبکه‌های عصبی کانولوشن بر پایه ناحیه<sup>۳</sup> که سرعت بالایی دارند [۱۹] و یا روش‌های مبتنی بر

<sup>۱</sup> Marker

<sup>۲</sup> Pose Estimation

<sup>۳</sup> Region-Convolutional Neural Network

جسم فراهم شود. پس از ثبت تصویر، نقاط مرجع شامل دو نقطه مرجع اندازه‌گیری و شش نقطه تعیین ابعاد سه‌بعدی جسم شامل طول، عرض و ارتفاع توسط کاربر بر روی تصویر درج شده و در نهایت، واحد اندازه‌گیری (یعنی متر یا سانتی‌متر) نیز مشخص می‌شود تا هندسه جسم تشکیل و شبکه محاسباتی مورد نظر ایجاد شود.

#### ۵.۲. پردازش

نرم‌افزاری که در محیط اندروید توسعه یافته است، در مرحله پردازش، فرآیند شبیه‌سازی را با استفاده از معادله هدایت حرارتی و شرایط مرزی منطبق با رابطه مطلوب (شرط مرزی ترکیبی) انجام می‌دهد.

#### ۵.۲.۱. روش حل عددی

معادله هدایت حرارتی شامل عبارات بر حسب مشتقات زمانی و مکانی بوده که برای شبیه‌سازی مساله مورد نظر نیاز به گسسته‌سازی آنها می‌باشد. برای گسسته‌سازی ترم‌های مکانی، روش تفاضل محدود مرکزی مرتبه دوم طبق معادله (۲) به کار گرفته شده است.

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} = \frac{F_{i+1} - 2F_i + F_{i-1}}{\Delta x^2} \quad (2)$$

برای انتگرال‌گیری زمانی معادله نیز از روش صریح رانگ کوتای مرتبه چهارم استفاده شده است.

#### ۵.۲.۲. تعیین مقدار اولیه و شرایط مرزی

برای محاسبه توزیع دما حاصل از انتقال حرارت هدایتی گذرا، باید برای شروع فرآیند حل یک مقدار اولیه برای دما در نظر گرفته شود. بنابراین مقدار دمای محیط اطراف به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته شده است. برای تعیین شرایط مرزی منطبق بر شرایط واقعی از شرط مرزی ترکیبی جابجایی-هدایت یعنی معادله (۳) در مرزهای قطعات جامد استفاده شده است.

$$k \frac{\partial T}{\partial n} = h(T_{air} - T) \quad (3)$$

مساله را به تعداد زیادی اجزاء کوچک تقسیم و برای هر یک از این اجزاء معادلات حاکم بر مساله حل می‌شود.

#### ۴. شبیه‌سازی تغییرات دما در یک پوسته جامد

اگر دما در قسمتی از جسم نسبت به نواحی دیگر آن بالاتر باشد، حرارت از قسمت‌های گرم به سمت نواحی با دمای کمتر جریان می‌یابد، این پدیده را رسانش حرارتی یا هدایت حرارتی می‌نامند. شدت انتقال حرارت هدایتی یا مقدار حرارت منتقل شده در واحد زمان متناسب با شیب تغییرات دما در جسم و اندازه سطح عبور تغییر می‌کند. برای مدل‌سازی فرآیند انتقال حرارت هدایت از معادله هدایت حرارتی گذرای سه‌بعدی مبتنی بر قانون فوریه استفاده شده است. این معادله در فرم بی‌بعد و غیربقیایی در سیستم مختصات کارتزین به شرح زیر است:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

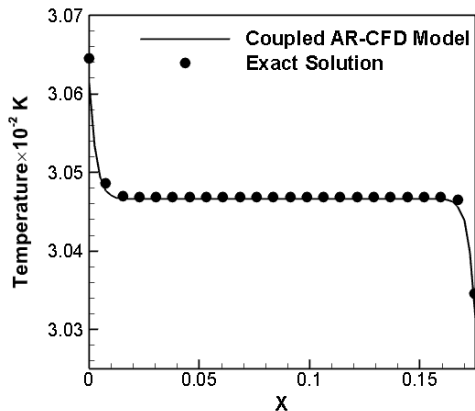
در رابطه فوق،  $T$  دما و  $\alpha$  ضریب نفوذ حرارتی ماده مورد نظر می‌باشد.

#### ۵. مراحل طراحی شبیه‌سازی تغییرات دما

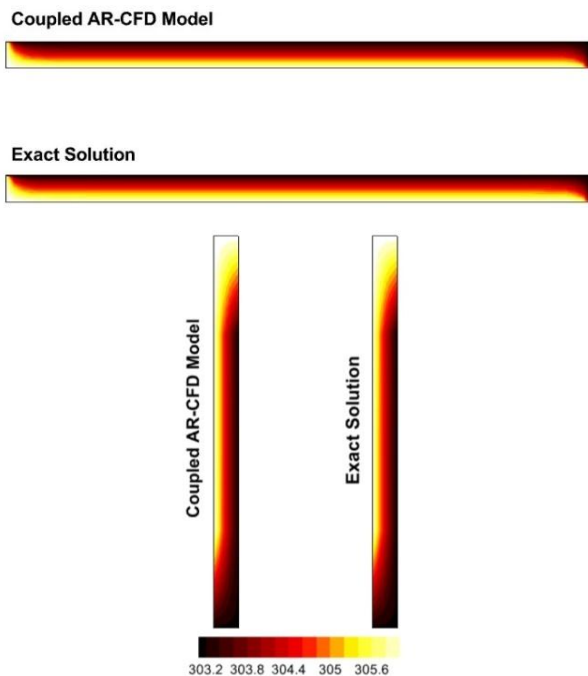
برای طراحی یک نرم‌افزار شبیه‌سازی تغییرات دما در پوسته‌های جامد در محیط اندرویدی، سه مرحله اصلی شامل پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش در نظر گرفته شده که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

#### ۵.۱. پیش‌پردازش

اولین قدم در مرحله پیش‌پردازش ایجاد مدل هندسی از جسم مورد نظر است. فرآیند پیش‌پردازش بطور کلی شامل تشخیص و ردیابی جسم، تولید هندسه و ایجاد شبکه محاسباتی و تعیین شرایط اولیه و مرزی مناسب می‌باشد. پس از راه‌اندازی دوربین، از واقعیت افزوده مبتنی بر نشانگر به منظور تشخیص مکان قرارگیری شیء مورد نظر استفاده می‌شود. با اجرای برنامه اندرویدی و راه‌اندازی دوربین گوشی، ابتدا تصویری از جسم توسط دوربین دستگاه تهیه می‌شود تا امکان ساخت هندسه



شکل (۴): مقایسه توزیع دما حاصل از مدل ترکیبی و حل مستقیم عددی، برای قطعه شیشه‌ای در زمان ۳۰۰ ثانیه



شکل (۵): مقایسه خطوط همتراز دما روی صفحه  $Z = 0.06M$  (تصویر بالا) و  $X = 0.08M$  (تصویر پایین) حاصل از مدل ترکیبی و حل مستقیم عددی، برای قطعه شیشه‌ای در زمان ۳۰۰ ثانیه

## ۷. نتایج

به منظور شبیه‌سازی تغییرات دما در پوسته‌های جامد با استفاده از واقعیت افزوده و دینامیک سیالات محاسباتی، یک برنامه اندرویدی ساخته شد. سناریوی این برنامه براساس یک نرم‌افزار آموزشی برای نمایش تغییرات دمای سطوح جامد چیده شده است. با اجرای برنامه و پس از نمایش صفحه خوش‌آمدگویی،

در رابطه (۳)،  $h$  ضریب هدایت حرارتی جسم و  $n$  معرف بردار نرمال بر سطح می‌باشد. با توجه به استفاده از شرط مرزی ترکیبی جابجایی-هدایت در پژوهش، انتقال حرارت از هر دو سمت (یعنی پوسته جامد به هوا و هوا به پوسته جامد) می‌تواند صورت گیرد.

## ۵.۳. پس‌پردازش

نتایج حاصل از شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم، در قالب یک نقشه گرمایی تنظیم شده و با استفاده از رویکرد واقعیت افزوده، این داده‌های دما در محیط واقعی بر روی جسم جامد نمایش داده می‌شود.

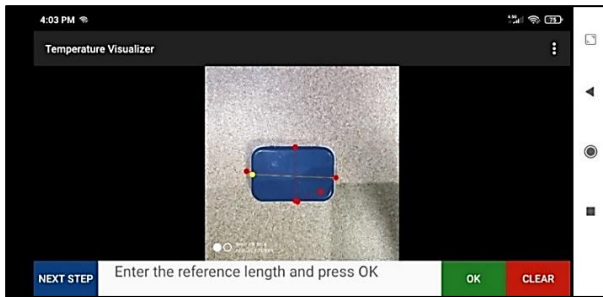
## ۶. اعتبارسنجی حلگر عددی

به منظور اعتبارسنجی و سنجش دقت مدل توسعه یافته، نتایج حاصل از نرم‌افزار با داده‌های حاصل از حل مستقیم عددی روی رایانه شخصی، مقایسه شد [۲۲]. نتایج شبیه‌سازی تغییرات دما توسط نرم‌افزار روی یک جسم شیشه‌ای با مشخصات هندسی مطابق جدول (۱) با دمای اولیه ۳۰ درجه سانتی‌گراد در مرزهای بالا، راست و عقب و دمای ۳۳ درجه سانتی‌گراد در مرزهای چپ، پایین و جلو به ازای زمان ۳۰۰ ثانیه به دست آمد. مقدار دمای محیط اطراف در این شبیه‌سازی برابر ۲۹۳ درجه کلوین تنظیم شد. سپس مقایسه‌ای بین نتایج نرم‌افزار با داده‌های کد اعتبارسنجی شده انجام شد که در شکل (۴) نمایش داده شده است. واضح است نتایج به دست آمده دارای دقت مناسبی بوده و تطابق خوبی در مقایسه با داده‌های مرجع دارند. همچنین در شکل (۵) خطوط همتراز دما روی سطوح در موقعیت‌های ثابت روی محورهای  $x$  و  $z$  نمایش داده شده است. روشن است که در هر دو تصویر داده‌های حاصل از مدل ترکیبی در قیاس با نتایج حل عددی مستقیم (دقیق) از دقت قابل قبول برخوردار هستند.

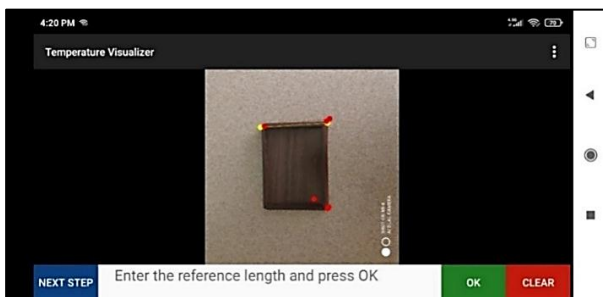
جدول (۱): ابعاد هندسی قطعه شیشه‌ای (سانتی‌متر)

جنس ماده	طول	عرض	ارتفاع
شیشه	۱۷/۵	۰/۴	۶

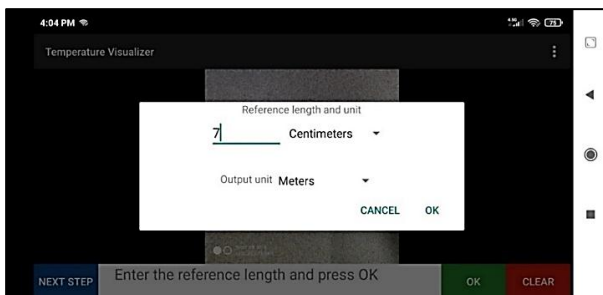
مرحله ثبت میزان فاصله و واحد اندازه‌گیری نقاط برای جسم آهنی در نرم‌افزار می‌باشد.



شکل (۷): ثبت نقاط مرجع بر روی تصویر جسم آهنی توسط کاربر



شکل (۸): ثبت نقاط مرجع بر روی تصویر جسم چوبی توسط کاربر

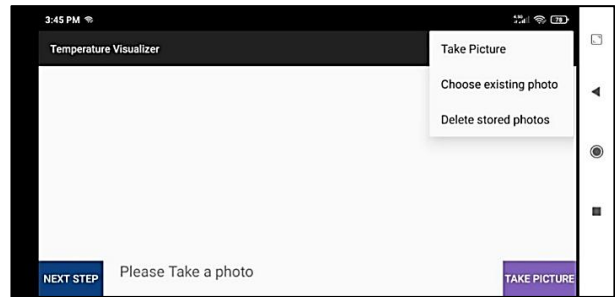


شکل (۹): ثبت میزان فاصله و واحد اندازه‌گیری نقاط مرجع برای جسم آهنی توسط کاربر

در مرحله بعد کاربر باید تعداد نقاط اندازه‌گیری دما (تعداد نقاط شبکه محاسباتی) را در هر کدام از محورهای  $x$ ،  $y$  و  $z$  وارد نماید که درج تنها مقادیر بین ۵ تا حداکثر ۵۰ نقطه در هر محور امکان‌پذیر است. شکل (۱۰) صفحه تعیین تعداد نقاط شبکه محاسباتی هر محور برای جسم آهنی توسط کاربر را نشان می‌دهد.

در صفحه جدید، کاربر باید از میان لیستی که نمایش داده می‌شود، جنس قطعه جامد مورد نظر را تعیین نماید تا ضریب نفوذ حرارتی آن ماده در محاسبات اعمال شود. سپس دو مقدار

به صورت خودکار صفحه اصلی برنامه که در شکل (۶) مشخص است، نمایان می‌شود.



شکل (۶): صفحه اصلی برنامه

در منوی صفحه اصلی برنامه، سه گزینه شامل گرفتن تصویر، انتخاب تصویر موجود در حافظه و حذف تصویر وجود دارد که کاربر برای گرفتن عکس از جسم و راه‌اندازی دوربین می‌تواند گزینه اول را انتخاب نماید. برای بررسی عملکرد نرم‌افزار، دو قطعه جامد آهنی و چوبی با ابعاد هندسی و خواص فیزیکی مطابق جدول (۲) در نظر گرفته شد. دمای اولیه هر دو جسم برابر ۲۷ درجه سانتی‌گراد در مرزهای بالا، راست و عقب و ۳۲ درجه سانتی‌گراد در مرزهای چپ، پایین و جلو تعیین گردید. مقدار دمای محیط اطراف نیز برابر ۲۹۳ درجه کلوین تنظیم شد. پس از گرفتن عکس از هر دو جسم نقاط مرجع بر روی تصویر آنها ثبت شد. سپس برای ایجاد مدل هندسی جسم، کاربر باید دو نقطه مرجع اندازه‌گیری و نقاط ابتدا و انتهای طول، عرض و ارتفاع جسم را بر روی تصویر ترسیم کند. شکل (۷) و (۸) به ترتیب مراحل درج نقاط مرجع بر روی تصویر قطعات آهنی و چوبی در نرم‌افزار را نشان می‌دهند. در این اشکال نقاط زرد رنگ فاصله مرجع و نقاط قرمز رنگ، فاصله طول، عرض و ارتفاع جسم را مشخص می‌کنند.

جدول (۲): مشخصات فیزیکی قطعات چوب و آهن

جنس	$\rho(\text{kg/m}^3)$	$\kappa(\text{W/mK})$	$C_p(\text{J/gK})$	طول	عرض	ارتفاع
آهن	۷۸۶۰	۸۰	۰/۴۱۲	۷/۵	۴/۵	۲
چوب	۷۴۰	۰/۱۷	۱/۷	۹	۱۲	۲

در گام بعدی کاربر باید اندازه دقیق فاصله نقاط مرجع به همراه واحد اندازه‌گیری آنها را وارد کند. شکل (۹) نمایش دهنده



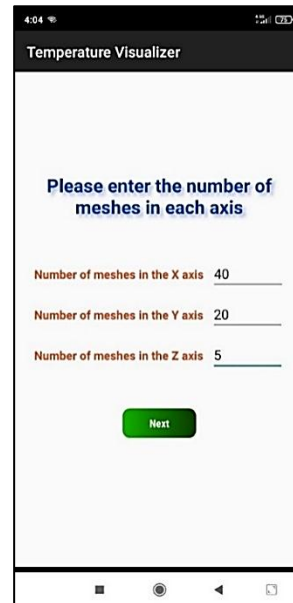
با کلیک بر روی دکمه calculation محاسبه انجام شده و پس از اتمام محاسبه، به دلیل این که شبیه سازی تغییرات دما به صورت سه بعدی محاسبه شده است ولی تنها نمایش دوبعدی تغییرات دمای جسم در هر صفحه امکان پذیر است، کاربر باید نوع نمایش دلخواه خود را از بین گزینه های نمایش در صفحه های  $x-y$ ،  $x-z$  و  $y-z$  انتخاب نماید. در واقع برای نمایش دوبعدی، مؤلفه یک بعد باید ثابت در نظر گرفته شود. با انتخاب هر گزینه دیالوگی جدید باز می شود که کاربر باید مقدار مؤلفه بعد سوم را در بازه ای که به او نمایش داده شده است، وارد نماید. این مقدار همان عدد ثابت بعد سوم برای نمایش دوبعدی را مشخص می کند. شکل (۱۲) مرحله انتخاب نوع نمایش تغییرات دما توسط کاربر را نشان می دهد.



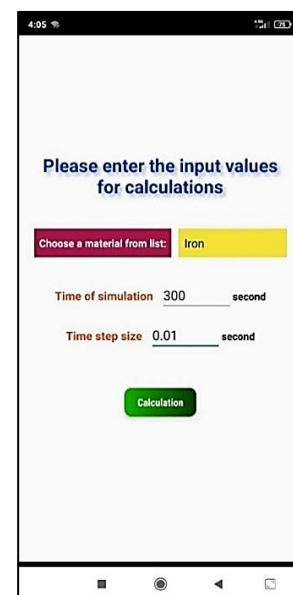
شکل (۱۲): انتخاب نوع نمایش تغییرات دما توسط کاربر

با تکمیل مرحله قبل، نتایج محاسبه دما در هر نقطه از جسم پردازش شده است و در قالب یک نقشه گرمایی بر روی کل جسم نمایش داده می شود. برای این کار، کلاسی با نام GoogleMapActivity ساخته شده است. در این کلاس ابتدا تابعی به نام onMapReady یک نقشه گوگل ساخته و چون دما به صورت نقطه ای نشان داده می شود، طول و عرض جغرافیایی هر نقطه برابر طول و عرض جغرافیایی نقاط شبکه محاسباتی قرار داده می شود. برای مقداردهی هر نقطه به یک آرایه وزن دار نیاز است؛ بنابراین با استفاده از یک حلقه، آرایه سه بعدی دما، که

ورودی مدت زمان شبیه سازی و اندازه گام های زمانی را با واحد ثانیه وارد نماید. هر کدام از مقادیر تعداد نقاط شبکه محاسباتی، زمان شبیه سازی و اندازه گام های زمانی از کاربر دریافت و در ادامه کاربر برای انجام پردازش باید بر روی دکمه calculation کلیک نماید. شکل (۱۱) نمایانگر این مرحله یعنی انتخاب جنس جسم، تعیین مدت زمان و اندازه گام زمانی برای شبیه سازی می باشد.



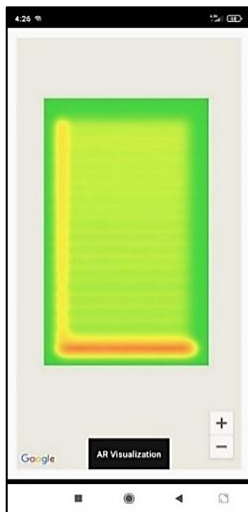
شکل (۱۰): تعیین تعداد نقاط شبکه محاسباتی برای جسم آهنی



شکل (۱۱): تعیین جنس جسم آهنی، مدت زمان شبیه سازی ۳۰۰ ثانیه و گام زمانی ۰/۰۱ ثانیه توسط کاربر



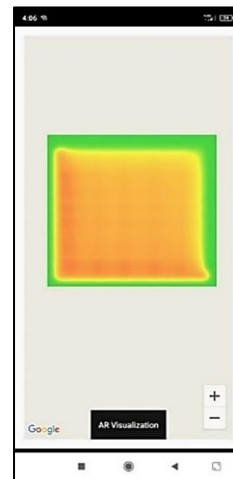
ایجاد کند. بزرگنمایی و محل قرارگیری قاب بر پایه محورهای  $x$  و  $y$  نیز از طریق نوارهای تعبیه شده پایین صفحه، قابل تغییر می‌باشند. به منظور ردیابی صحیح جسم، یک اسکرپت کد با کلاسی با عنوان ImageRecognition به دوربین واقعیت افزوده در نرم‌افزار یونیتی اضافه شد. طبق این کد، در صورت مشاهده نشانگر، یک قاب روی نشانگر ایجاد می‌شود. پس از شناسایی نشانگر، کلاسی دیگر با عنوان CubeManager ساخته شد. در این کلاس با استفاده از تابع PickImage امکانی فراهم شد تا تصویر از محل مورد نظر در حافظه، توسط کاربر انتخاب شود و در قاب قرار گیرد. بنابراین در صورتی که قاب ساخته شده باشد، مسیر عکس فراخوانی شده و در نهایت، عکس به صورت بافت دوبعدی بر روی قاب نمایش داده می‌شود. شکل‌های (۱۵) و (۱۶) بخش واقعیت افزوده برنامه را نشان می‌دهند که در آنها نتایج شبیه‌سازی تغییرات دما در دو قطعه آهنی و چوبی به صورت مجازی در محیط واقعی ظاهر می‌شود.



شکل (۱۴): نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم چوبی پس از گذشت ۶۰۰ ثانیه روی صفحه  $X-Y$  و  $Z=0.014$

با توجه به شکل (۱۵)، سطح مقطع انتخاب شده در پوسته آهنی با ضخامت  $0.21/0$  متر و به ازای  $z = 0.018$ ، نزدیک به سطح پوسته قرار دارد. لذا مطابق شکل انتقال حرارت از چهار وجه و با توجه به دمای هوای اطراف با شدت بیشتری صورت گرفته و از سطح پوسته (در راستای محور  $Z$ ) انتقال حرارت با شدت کمتری با توجه به دمای سطح مشرف به این صفحه صورت

با  $T$  نمایش داده می‌شود و پیش از این محاسبه شده است، به عنوان آرایه وزن‌دار در نظر گرفته می‌شود. مقدار بعد سوم آرایه دما، عددی ثابت می‌باشد و در مرحله قبل از کاربر دریافت شده است. همچنین تابعی به نام buildheatmap در این کلاس تعریف شده است که وظیفه ساخت نقشه گرمایی را بر عهده دارد. در این تابع، عناصر نمایشی نقشه گرمایی، مانند رنگ‌ها، شعاع هر نقطه که دما را نشان می‌دهد، تنظیم می‌شود. سپس آرایه وزن‌دار که همان آرایه دما می‌باشد، برای نمایش بر روی نقشه فراخوانی می‌شود. در شکل (۱۳) نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم آهنی پس از گذشت ۳۰۰ ثانیه و در شکل (۱۴) نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم چوبی پس از گذشت ۶۰۰ ثانیه نمایش داده شده است.



شکل (۱۳): نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم آهنی پس از گذشت ۳۰۰ ثانیه روی صفحه  $X-Y$  و  $Z=0.018$

کاربر باید ابتدا از این نقشه گرمایی یک اسکرین شات گرفته تا در بخش واقعیت افزوده از آن استفاده کند. سپس بر روی دکمه AR Visualization کلیک کند تا به بخش واقعیت افزوده نرم‌افزار منتقل شود. بخش واقعیت افزوده برنامه به شکلی است که زمانی که دوربین واقعیت افزوده راه‌اندازی می‌شود، ابتدا نشانگر بر روی جسم جامد ردیابی و سپس یک قاب عکس ظاهر می‌شود. کاربر باید اسکرین شات نقشه گرمایی را از طریق گالری گوشی در قاب قرار دهد تا بر روی جسم قابل مشاهده باشد. یک دکمه reset در این قسمت قرار داده شده تا کاربر بتواند مجدد قاب خالی جدیدی برای درج اسکرین شات جدید

می‌گیرد. با توجه به شکل (۱۶)، در پوسته چوبی، ضخامت قطعه ۰/۰۲۷ متر بوده و با توجه به سطح مقطع انتخاب شده در  $z = 0.014$ ، صفحه مورد نظر در بخش‌های میانی ضخامت صفحه قرار دارد. در این حالت نیز با توجه دمای هوای اطراف پوسته، انتقال حرارت از چهار وجه اطراف بیشتر صورت گرفته و در راستای محور  $z$ ، (سطح پوسته مورد نظر) انتقال حرارت با شدت کمتری اتفاق افتاده است.

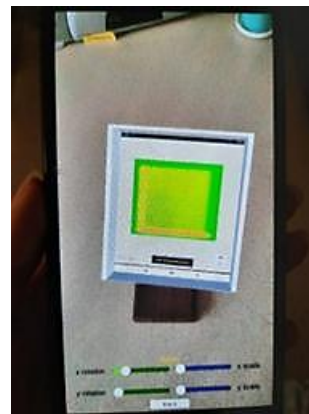
می‌باشد. بخش پس‌پردازش نقش مهمی در تبدیل داده‌های خام به مفاهیم معنادار برای طراحان و مهندسان دارد. در بخش پس‌پردازش امکان نمایش داده‌ها به صورت نمودارهای خطی و توزیعی بسیار پرکاربرد می‌باشد. ایجاد امکان نمایش داده‌ها در یک محیط واقعی تر به عنوان یک ویژگی شاخص در یک فرآیند پس‌پردازش محسوب می‌شود. در این پژوهش، توسعه یک نرم‌افزار در بستر اندروید به منظور شبیه‌سازی تغییرات دما در اجسام جامد، با بهره‌گیری از ترکیب رویکرد واقعیت افزوده و دینامیک سیالات محاسباتی مورد بررسی قرار گرفته است. مساله مدل‌سازی تغییرات دما بر روی قطعات جامد از جنس آهن و چوب در این تحقیق ارزیابی شد. پس از ردیابی جسم با استفاده از واقعیت افزوده بانشانگر، هندسه و ابعاد آن توسط نرم‌افزار تولید و شبکه محاسباتی توسط اطلاعات هندسی ایجاد می‌شود. نرم‌افزار توسعه یافته، فرآیند شبیه‌سازی را با استفاده از معادله هدایت حرارتی و شرایط مرزی تعریف شده در زمان‌های مختلف انجام می‌دهد. در مرحله پس‌پردازش نیز نتایج حاصل به نرم‌افزار گرافیکی منتقل و توزیع داده‌های دمای جسم جامد با استفاده از رویکرد واقعیت افزوده بر روی محیط واقعی توسط تلفن همراه نمایش داده می‌شود. مهمترین ویژگی تحقیق حاضر، ترکیب واقعیت افزوده و مدل‌سازی عددی انتقال حرارت روی گوشی تلفن همراه و در بستر سیستم عامل اندروید است. این نرم‌افزار می‌تواند به عنوان ابزار طراحی، تحلیل و آموزش مهندسی حرارت و سیالات مورد استفاده قرار گیرد.

قابلیت اصلی نرم‌افزار ایجاد شده نمایش محاسبات سه‌بعدی دمای جسم می‌باشد که امکان مشاهده تغییرات دما در هر بعد را فراهم می‌کند. سرعت به نسبت بالای شبیه‌سازی نیز قابلیت مهم در جهت سنجش کیفیت نرم‌افزار به شمار می‌رود. زمان محاسبات با توجه به تعداد نقاط شبکه محاسباتی، مدت زمان شبیه‌سازی و گام زمانی تعیین شده، متغیر است. هر چه تعداد نقاط شبکه و مدت زمان واقعی شبیه‌سازی بیشتر باشد، زمان محاسبات طولانی‌تر خواهد بود. کیفیت شبکه محاسباتی وابسته به قدرت سخت‌افزاری دستگاه مورد استفاده نیز متغیر است. لذا در صورتی که بتوان دستگاه مورد نظر را به یک ماشین محاسبات

می‌گیرد. با توجه به شکل (۱۶)، در پوسته چوبی، ضخامت قطعه ۰/۰۲۷ متر بوده و با توجه به سطح مقطع انتخاب شده در  $z = 0.014$ ، صفحه مورد نظر در بخش‌های میانی ضخامت صفحه قرار دارد. در این حالت نیز با توجه دمای هوای اطراف پوسته، انتقال حرارت از چهار وجه اطراف بیشتر صورت گرفته و در راستای محور  $z$ ، (سطح پوسته مورد نظر) انتقال حرارت با شدت کمتری اتفاق افتاده است.



شکل (۱۵): نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم آهنی پس از گذشت ۳۰۰ ثانیه روی صفحه X-Y و  $z=0.018$  با استفاده از واقعیت افزوده



شکل (۱۶): نتایج شبیه‌سازی تغییرات دمای جسم چوبی پس از گذشت ۶۰۰ ثانیه روی صفحه X-Y و  $z=0.014$  با استفاده از واقعیت افزوده

## ۸. نتیجه‌گیری

توسعه بسترهای شبیه‌سازی و تحلیل‌های مهندسی با ارائه یک رابط کاربری آسان برای کاربران، از جمله اهداف نرم‌افزارهای تجاری در سال‌های اخیر می‌باشد. یک شبیه‌سازی از رفتار یک سیستم دارای بخش‌های پیش‌پردازش، پردازش و پس‌پردازش

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

میزبان متصل کرد، می‌توان محاسبات حجیم‌تر (متاثر از شبکه بهبود یافته) را روی بستر مورد اشاره منتقل کرد و در نتیجه محدودیت تعداد نقاط شبکه را کمتر نمود.

## مراجع

- [1] Li W., Nee A. Y. C., and Ong S. K., "A state-of-the-art review of augmented reality in engineering analysis and simulation," *Multimodal Technologies and Interaction*, 1(3): 17, 2017.
- [2] Lin J. R., Cao J., Zhang J. P., van Treeck C., and Frisch J., "Visualization of indoor thermal environment on mobile devices based on augmented reality and computational fluid dynamics," *Automation in Construction*, 103: 26-40, 2019.
- [۳] افضل‌ی س.، مؤیدی م.ک.، فتوحی ف.، «توسعه یک مدل رتبه کاسته بدون معادله مبتنی بر الگوهای متفاوت استخراج ویژگی روی مجموعه داده انتقال حرارت دو بعدی پایا»، *مجله محاسبات نرم*، جلد ۱۰، شماره ۱، ص. ۱۶-۳۱، ۱۴۰۰.
- [4] Feiner S., MacIntyre B., Höllerer T., and Webster A., "A touring machine: Prototyping 3D mobile augmented reality systems for exploring the urban environment," *Personal Technologies*, 1(4): 208-217, 1997.
- [5] Höllerer T., Feiner S., Terauchi T., Rashid G., and Hallaway D., "Exploring MARS: developing indoor and outdoor user interfaces to a mobile augmented reality system," *Computers and Graphics*, 23(6): 779-785, 1999.
- [6] Stedmon A. W., Kalawsky R. S., Hill K., and Cook C. A., "Old theories, new technologies: cumulative clutter effects using augmented reality," *Proceeding of IEEE International Conference on Information Visualization (Cat. No. PR00210)*, pp. 132-137, 1999.
- [7] Julier S., Lanzagorta M., Baillet Y., Rosenblum L., Feiner S., Hollerer T., and Sestito S., "Information filtering for mobile augmented reality," In *Proceedings of IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000)*, pp. 3-11, 2000.
- [8] Piekarski W. and Thomas B. H., "Tinmith-metro: New outdoor techniques for creating city models with an augmented reality wearable computer," In *Proceeding of 15th International Symposium on Wearable Computers*, pp. 31-38, 2001.
- [9] Reitmayr G. and Schmalstieg D., "Collaborative augmented reality for outdoor navigation and information browsing," In *Proceedings of the 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography*, pp. 53-62, 2003.
- [10] Tonnis M., Klein L., and Klinker G., "Perception thresholds for augmented reality navigation schemes in large distances," In *Proceeding of 7th IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 189-190, 2008.
- [11] Fukuda T., Yokoi K., Yabuki N., and Motamedi A., "An indoor thermal environment design system for renovation using augmented reality," *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(2): 179-188, 2019.
- [12] Malkawi A. M. and Srinivasan R. S., "A new paradigm for Human-Building Interaction: the use of CFD and Augmented Reality," *Automation in construction*, 14(1): 71-84, 2005.
- [13] Moreland J., Wang J., Liu Y., Li F., Shen L., Wu B., and Zhou C., "Integration of augmented reality with computational fluid dynamics for power plant training," In *Proceedings of the International Conference on Modeling, Simulation and Visualization Methods (MSV)*, p. 1, 2013.
- [14] Fukuda T., Mori K., and Imaizumi J., "Integration of CFD, VR, AR and BIM for design feedback in a design process-an experimental study," In *Proceeding of 33rd eCAADe Conference*, Vienna University of Technology, Vienna, Austria, 2015.
- [15] Rabbi I. and Ullah S., "A survey on augmented reality challenges and tracking," *Acta graphica*, 24(1-2): 29-46, 2013.
- [16] Milgram P., Takemura H., Utsumi A., and Kishino F., "Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum," *Telemanipulator and telepresence technologies*, 2351: 282-292, 1995.
- [17] Koller D., Klinker G., Rose E., Breen D., Whitaker R., and Tuceryan M., "Automated camera calibration and 3D egomotion estimation for augmented reality applications," In *Proceeding of International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns*, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 199-206, 1997.

[18] Azuma R. T., "A survey of augmented reality,"  
Presence: teleoperators and virtual environments, 6(4):  
355-385, 1997.

[۱۹] نخعی ف.، ایران‌نژاد م.، محمدنژاد س.، «کاربرد سیستم‌های  
آنالیز تصویر در فرآیند فلوتاسیون»، مجله محاسبات نرم،  
جلد ۵، شماره ۲، ص. ۶۶-۸۳، ۱۳۹۵.

[۲۰] مرادی م.، حسینی م.، مومنی ازندریانی ا. «تشخیص نوع  
خودرو با استفاده از مدل ۳-بعدی»، مجله محاسبات نرم،  
جلد ۴، شماره ۱، ص. ۲-۱۳، ۱۳۹۴.

[21] Wagner D., Handheld Augmented Reality, PhD  
dissertation, Graz University of Technology, Institute  
for Computer Graphics and Vision, 2007.

[22] Moayyedi M. K. and Sabaghzadeghan F.,  
"Development of parametric and time dependent  
reduced order model for diffusion and convection-  
diffusion problems based on proper orthogonal  
decomposition method," Amirkabir Journal of  
Mechanical Engineering, 53(7): 8, 2021.