



بررسی نحوه به کارگیری هوش مصنوعی عمومی برای حل معادلات در مهندسی مکانیک

شاهده محمدنیا گالشکلامی، امیر نوروززاده

فارغ التحصیل مقطع کارشناسی دانشکده مهندسی مکانیک، گروه طراحی کاربردی، دانشگاه گیلان

mohammadniashahede@gmail.com

عضو هیات علمی دانشکده مهندسی مکانیک، گروه طراحی کاربردی، دانشگاه گیلان

nourouzzadeh@guilan.ac.ir

چکیده:

هدف اصلی این پژوهش، بررسی توانایی‌های هوش مصنوعی به‌ویژه در حوزه پردازش زبان طبیعی در حل مسائل پیچیده مهندسی مکانیک است. در این راستا، چگونگی بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای تحلیل و حل معادلات مهندسی مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از بخش‌های نوآورانه این تحقیق، ارائه الگوهای پیشرفته پرامپت‌نویسی برای تعامل مؤثر با مدل‌های زبانی بزرگ است. این الگوها به مهندسان امکان می‌دهند تا با استفاده از زبان طبیعی، مسائل مکانیک را فرمول‌بندی کرده و راه‌حل‌های اولیه را استخراج نمایند. در این مطالعه، دو مورد کاربردی به عنوان مطالعات موردی تحلیل شده‌اند: محاسبه عمق بحرانی و نرمال در کانال‌های دوزنقه‌ای و سهموی و تحلیل ارتعاشات تیرها تحت شرایط مرزی مختلف. در هر مورد، فرمول‌ها و روش‌های حل با استفاده از چارچوب هوش مصنوعی طراحی شده در این تحقیق، بازآفرینی و ارزیابی شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که هوش مصنوعی می‌تواند به عنوان یک دستیار هوشمند، سرعت و دقت فرمول‌بندی و حل مسائل مکانیک را به‌طور چشمگیری افزایش دهد. این پژوهش مسیری نوین در تلفیق هوش مصنوعی و مهندسی مکانیک ترسیم کرده و ابزارهای مفهومی و عملی برای بهره‌گیری از هوش مصنوعی در حل مسائل مهندسی فراهم می‌سازد.

کلمات کلیدی: هوش مصنوعی، مهندسی مکانیک، الگوهای پیشرفته پرامپت‌نویسی، مدل‌های زبانی، حل مسائل مکانیک



بخش اول: مقدمه

هوش مصنوعی به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین دستاوردهای فناوری در قرن بیست و یکم، تحولی شگرف در حوزه‌های مختلف علمی و صنعتی ایجاد کرده است. در مهندسی مکانیک، این فناوری با ارائه راه‌حل‌های هوشمند، سریع و مقیاس‌پذیر، توانایی حل مسائل پیچیده را با کارایی بی‌سابقه‌ای می‌دهد. با افزایش روزافزون حجم مسائل پیچیده در مهندسی مکانیک، از تحلیل دینامیک سیالات محاسباتی گرفته تا طراحی بهینه سازه‌ها [۱]، نیاز به ابزارهای محاسباتی هوشمند بیش از پیش احساس می‌شود. هوش مصنوعی عمومی می‌تواند به عنوان یک دستیار پژوهشی هوشمند عمل کرده و به مهندسان در فرمول‌بندی، حل و تحلیل مسائل کمک کند. هوش مصنوعی در سال‌های اخیر به شکل فزاینده‌ای وارد عرصه مهندسی مکانیک شده است. مطالعات نشان می‌دهند که چگونه می‌توان از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی خرابی ماشین‌آلات [۲] یا بهینه‌سازی مصرف انرژی در سیستم‌های مکانیکی استفاده کرد. با این حال، چالش اصلی درک توانایی این سیستم‌ها در تحلیل مفاهیم عمیق مهندسی مکانیک است. این پژوهش با هدف بررسی دقیق قابلیت‌های مدل‌های زبانی بزرگ در حل مسائل مکانیک طراحی شده است. نوآوری اصلی این تحقیق، ارائه الگوهای پیشرفته پرامپت‌نویسی [۳] برای تعامل مؤثر با مدل‌های زبانی بزرگ در جهت درک، فرمول‌نویسی و حل مسائل مکانیک است. شرکت‌هایی مانند زیمنس از هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی طراحی قطعات و کاهش هزینه‌های تولید استفاده می‌کنند. در این مقاله، یک چارچوب سیستماتیک برای به کارگیری هوش مصنوعی در حل مسائل مکانیک ارائه شده است. این چارچوب شامل توسعه الگوهای پرامپت‌نویسی تخصصی، حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی [۴]، و حل معادلات جبری غیرخطی [۵] در مسائل هیدرولیک کانال‌های باز می‌باشد. پژوهشی در سال ۲۰۲۳، از مدل زبانی GPT-4 برای تولید کدهای شبیه‌سازی جریان هوا حول یک آیرودینام [۶] استفاده شد.



بخش دوم: الگوهای پرامپت نویسی برای مهندسی مکانیک [۷]

طراحی مؤثر پرامپت نقش تعیین کننده‌ای در بهبود عملکرد مدل‌های هوش مصنوعی برای حل معادلات مکانیک دارد. این بخش به بهینه‌سازی پرامپت‌ها برای افزایش دقت حل معادلات می‌پردازد.

الگوهای کلیدی پرامپت نویسی

۱. الگوی گام به گام^۱

هدف از این الگو شکستن مسئله پیچیده به مراحل کوچک‌تر است. به عنوان مثال حاصل عبارت زیر را محاسبه کن و هر مرحله را توضیح بده

$$(15 \times 4) + (27 \div 3) - 10$$

۲. الگوی طراحی تکرار شونده^۲

هدف از این الگو مدل‌سازی مسائل چندمرحله‌ای با جزئیات کامل است. به عنوان مثال ابتدا معادله دیفرانسیل حرارتی ناپایدار با ثابت $k = k(T)$ و Q را مدل‌سازی کن. سپس با روش تفاضل محدود گسسته‌سازی کن. حالا کد متلب کامل آن را بنویس. در پایان نمودار برای $T(x, t)$ رسم کن.

۳. الگوی شرطی^۳

هدف از این الگو ساختن سناریوهای ذهنی برای تحلیل خالق است. به عنوان مثال مهندسی فرض کن مدیر پروژه یک پالایشگاه هستم که باید سیستم خنک‌کاری اضطراری طراحی کنم. چه پارامترهایی را در نظر بگیرم و چگونه محاسبات را انجام دهم؟

۴. الگوی تخلیلی/خلاقانه^۴

هدف از این الگو تولید راه‌حل‌های نوآورانه برای مسائل مهندسی است. به عنوان مثال اگر می‌خواهیم یک ماده کامپوزیت جدید با استحکام بالا و وزن کم طراحی کنیم، چه ترکیباتی را پیشنهاد می‌کنی و چرا؟

¹ Step-by-Step

² Iterative Design

³ Conditional Scenarios

⁴ Creative Generation



مثال‌های کاربردی در مهندسی مکانیک

مثال استاتیک: شما مهندس مکانیک متخصص در استاتیک هستید. تیر ساده‌ای به طول ۴ متر تحت نیروی ۱۰۰ نیوتن در وسط قرار دارد. با استفاده از روابط تعادل نیرو و گشتاور، عکس‌العمل‌های تکیه‌گاه‌ها را محاسبه کنید. ($\sum F = 0$, $\sum M = 0$)

مثال ترمودینامیک: شما مهندس مکانیک متخصص ترمودینامیک هستید. موتور کارنو بین دو منبع حرارتی با دماهای ۶۰۰ و ۳۰۰ کلوین کار می‌کند. با استفاده از فرمول راندمان کارنو، راندمان موتور را محاسبه و به درصد بیان کنید.

الگوهای پرامپت‌نویسی ارائه شده، امکان تعامل مؤثر با هوش مصنوعی برای حل مسائل پیچیده مهندسی مکانیک را فراهم می‌کنند. این الگوها دقت، سرعت و قابلیت اطمینان راه‌حل‌های تولید شده را به طور قابل توجهی افزایش می‌دهند.

بخش سوم:

مورد مطالعاتی اول: حل معادلات جبری غیرخطی در مهندسی مکانیک با هوش مصنوعی

این بخش به بررسی روش‌های عددی برای حل معادلات جبری غیرخطی در مسائل هیدرولیک کانال‌های باز می‌پردازد که شامل به‌کارگیری هوش مصنوعی برای حل معادله جبری غیرخطی است. در مقاله مورد استفاده [۶] از روش‌های تحلیلی برای حل معادلات غیرخطی استفاده شده است و ما می‌خواهیم که با روش‌های عددی مختلف و پیشنهادی هوش مصنوعی از فرآیند‌های پیچیده گفته شده در مقاله اجتناب کنیم. یعنی به طور واضح برای هوش مصنوعی با انواع پرامپت‌ها بیان کنیم که چه روش یا روش‌های عددی را پیشنهاد می‌دهد و چه مزایا و معایبی برای آنها می‌گوید، نقاط قوت مقاله، محدودیت‌ها و نکات دیگر را ذکر کند. با استفاده از هوش مصنوعی، روش‌های بهینه برای محاسبه عمق بحرانی^۱ و عمق نرمال^۲ در کانال‌های دوزنقه‌ای و سهموی ارائه شده است. محاسبه عمق بحرانی و عمق نرمال از جمله مسائل بنیادین در مهندسی هیدرولیک کانال‌های باز محسوب می‌شود. این پارامترها نقش تعیین‌کننده‌ای در طراحی بهینه کانال‌ها، تحلیل پایداری جریان، و مدیریت کارای منابع آب ایفا می‌کنند. معادلات حاکم بر این پدیده‌ها، به دلیل ماهیت غیرخطی و ساختار پیچیده، عموماً فاقد حل تحلیلی دقیق هستند.

¹ Critical Depth

² Normal Depth



معادلات حاکم و چالش های حل

۱. عمق بحرانی

معادله حاکم برای کانال ذوزنقه ای:

$$\frac{\alpha Q^2 T_c}{g A_c^3} = 1 \quad (1)$$

که در آن A_c سطح مقطع جریان، T_c عرض سطح آب، و Q دبی است. این معادله به دلیل غیرخطی بودن، معمولاً نیاز به حل عددی دارد.

معادله بی بعد:

$$t_c^6 - \varepsilon_c t_c - 1 = 0 \quad (2)$$

که در آن $t_c = (2\eta_c + 1)^{\frac{1}{3}}$ و $\eta_c = \frac{zy_c}{B}$. با استفاده از روش نیوتن-رافسون و حدس اولیه ی بهینه (معادله ۲۳)، حل صریح با خطای کمتر از $6 \times 10^{-6}\%$ ارائه شده است.

۲. عمق نرمال

معادله مانینگ برای جریان یکنواخت:

$$Q = \lambda \frac{A_n^{\frac{5}{3}} S_0^{\frac{1}{2}}}{p_n^{\frac{2}{3}}} \quad (3)$$

معادله بی بعد:

$$t_n^2 - \varepsilon_n (z_* + t_n)^{0.4} - 1 = 0 \quad (4)$$



روش های عددی ارائه شده

۱. روش نیوتن-رافسون^۱: مزایای این روش همگرایی سریع (درجه ۲) و کاربرد آن حل معادله عمق بحرانی کانال دوزنقه ای است.

فرمول تکرار:

$$t_{c.new} = t_{c.old} - \frac{f(t_{c.old})}{f'(t_{c.old})} \quad (5)$$

۲. روش تکرار نقطه ثابت^۲: مزایای این روش ساده و پایدار بودن و کاربرد آن حل معادله عمق نرمال است.

فرمول تکرار:

$$t_n = \sqrt{1 + \varepsilon_n(z_* + t_n)^{0.4}} \quad (6)$$

مطالعه موردی: کانال دوزنقه ای

مثال عددی:

$$Q = 10m^3/s \quad B = 5m \quad z = 2 \quad g = 9.81m/s^2 \quad \alpha = 1$$

$$\varepsilon_c = 4 \left(\frac{1 \times 2^3 \times 10^2}{9.81 \times 5^5} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.8 \quad (7)$$

نتایج حدس اولیه $t_{c0} = 1.12$ ، پس از ۲ تکرار $t_c = 1.127$ و عمق بحرانی $y_c = 1.5$

مطالعه موردی: کانال سهموی

معادله بی بعد:

$$S_n^{15/2} - \delta_n (\ln(S_n + \sqrt{1 + S_n}) + S_n \sqrt{1 + S_n}) = 0 \quad (8)$$

نقاط قوت آن خطاهای بسیار کم در حد $10^{-6}\%$ برای حل های صریح، کاهش تعداد متغیرها با بی بعدسازی، فرمول های آماده برای طراحی عملی و محدودیت های آن حل برای مقاطع متقارن و دقت کمتر برای کانال های باریک ($S_n < 1$) است.

¹ Newton-Raphson² Fixed-Point Iteration



با استفاده از برنامه GetData مقادیر مشخصی برای شکل ۲ مقاله و شکل به دست آمده توسط هوش مصنوعی به دست آوردیم و با استفاده از برنامه Excel با استفاده از مقادیر تطابق دو نمودار را بررسی کردیم.

جدول ۱- مقادیر شکل ۲ مقاله

Line #1		Line #2	
0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00
4.53E+00	1.83E+00	1.54E+00	8.06E-01
9.93E+00	3.49E+00	4.92E+00	2.15E+00
1.33E+01	4.41E+00	9.16E+00	3.49E+00
2.29E+01	6.67E+00	1.27E+01	4.52E+00

Line 1 → رنگ آبی

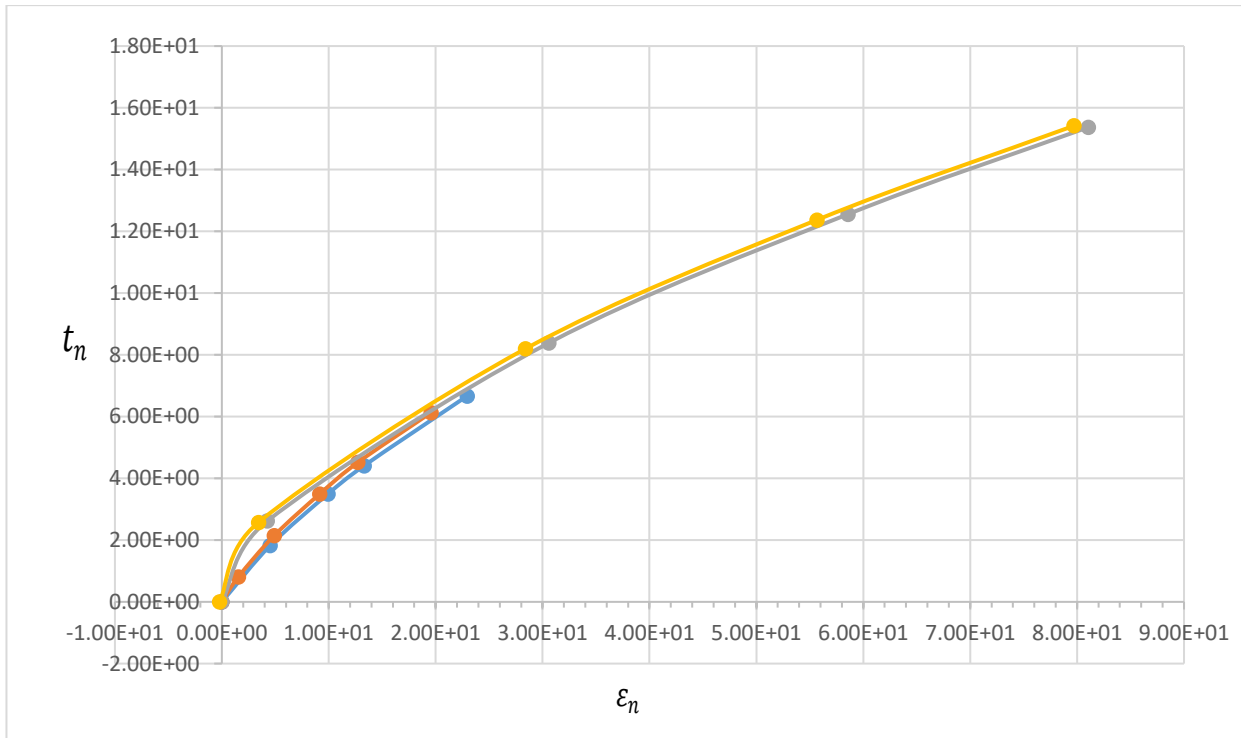
Line 2 → رنگ قرمز

جدول ۲- مقادیر به دست آمده از هوش مصنوعی

Line #1		Line #2	
0.00E+00	-1.94E-04	-2.07E-01	0.00E+00
4.26E+00	2.62E+00	3.43E+00	2.57E+00
3.06E+01	8.39E+00	2.84E+01	8.20E+00
5.86E+01	1.26E+01	5.57E+01	1.24E+01
8.10E+01	1.54E+01	7.97E+01	1.54E+01

Line 1 → رنگ طوسی

Line 2 → رنگ زرد



شکل ۱- بررسی تطابق دو نمودار

این نمودار نتیجه راستی آزمایی یا شبیه سازی علمی پاسخ هوش مصنوعی طبق مقاله ارائه شده را نشان می دهد. شکل کلی نمودار شبیه به یک توزیع نرمال یا گاوسی است که در نقطه حدود $x = 40$ به اوج خود می رسد. مقدار منفی در محور Y ممکن است نشان دهنده خطای اندازه گیری یا یک مقدار پایه باشد.

هوش مصنوعی توانایی حل معادلات غیرخطی پیچیده در مهندسی مکانیک را با دقت و سرعت بالا دارد. روش های ارائه شده جایگزین مناسبی برای روش های تحلیلی پیچیده هستند.



بخش چهارم:

مورد مطالعاتی دوم: تحلیل ارتعاشات تیرها با حل معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی

این بخش به تحلیل ارتعاشات تیرهای الاستیک با استفاده از حل معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی اویلر-برنولی می‌پردازد. این پروژه به تحلیل ارتعاشات تیرهای الاستیک تحت سه شرایط مرزی مهم: تیر با دو سر تکیه‌گاه ساده، تیر با دو سر گیردار، تیر یک سر گیردار، یک سر آزاد می‌پردازد. هدف اصلی استخراج دقیق فرکانس‌های طبیعی و شکل مودها برای چهار مود اول ارتعاشی با استفاده از حل تحلیلی معادله اویلر-برنولی و تطبیق نتایج با یافته‌های مقاله مرجع است. چهار هدف کلیدی دنبال می‌شود: اول، محاسبه تحلیلی فرکانس‌های طبیعی هر شرایط مرزی. دوم، ترسیم کیفی شکل مودها. سوم، تأیید دقت نتایج از طریق مقایسه با داده‌های مقاله. چهارم، ارزیابی نقاط قوت و ضعف روش‌های تحلیلی در مقابل راه‌حل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی. سه شرایط مرزی اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. [۵]

معادله حاکم

معادله اویلر-برنولی برای ارتعاشات تیر:

$$c^2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^4}(x, t) + \frac{\partial^2 w}{\partial t^2}(x, t) = 0 \quad \text{where} \quad c = \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (9)$$

شرایط مرزی

۱. تکیه‌گاه ساده^۱

$$w = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0$$

۲. تکیه‌گاه گیردار^۲

$$w = 0 \rightarrow \frac{\partial w}{\partial x} = 0$$

^۱ Simply Supported^۲ Fixed/Clamped



۳. انتهای آزاد^۱

$$\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \rightarrow \frac{\partial}{\partial x} \left(EI \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right) = 0$$

روش حل تحلیلی

فرض جداسازی متغیرها: $w(x, t) = \phi(x) \cdot T(t)$

معادله مکانی:

$$\frac{d^4 \phi}{dx^4} - \beta^4 \phi = 0 \quad . \quad \beta^4 = \frac{\omega^2}{c^2} \quad (10)$$

۱. دو سر تکیه گاه ساده

معادله مشخصه: $\sin(\beta L) = 0$

فرکانس طبیعی:

$$\omega_n = \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (11)$$

شکل مود:

$$\phi_n(x) = \sin\left(\frac{n\pi x}{L}\right) \quad (12)$$

۲. دو سر گیردار

معادله مشخصه: $\cos(\beta L) \cosh(\beta L) = 1$

مقادیر ویژه: $\beta_1 L = 4.730 \quad . \quad \beta_2 L = 7.853 \quad . \quad \beta_3 L = 10.996 \quad . \quad \beta_4 L = 14.137$

شکل مود:

¹ Free End



$$\varphi_n(x) = [\cosh(\beta_n x) - \cos(\beta_n x)] - \sigma_n [\sinh(\beta_n x) - \sin(\beta_n x)] \quad (13)$$

۳. تیر کنسول (یک سر گیردار، یک سر آزاد)

$$\cosh(\beta l) \cos(\beta l) = -1 \quad \text{معادله مشخصه}$$

$$\beta_1 L = 1.875 \quad \beta_2 L = 4.694 \quad \beta_3 L = 7.855 \quad \beta_4 L = 10.996 \quad \text{مقادیر ویژه}$$

پارامترهای تیر فولادی:

$$L = 2.0 \text{ m} \quad E = 2e11 \text{ Pa} \quad I = 8e-6 \text{ m}^4 \quad \rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \quad A = 0.01 \text{ m}^2$$

نتایج فرکانس‌های طبیعی:

دو سر ساده:

$$\text{مود ۱: } 12.5 \text{ Hz} \quad / \quad \text{مود ۲: } 50.0 \text{ Hz} \quad / \quad \text{مود ۳: } 112.5 \text{ Hz}$$

دو سر گیردار:

$$\text{مود ۱: } 22.4 \text{ Hz} \quad / \quad \text{مود ۲: } 61.6 \text{ Hz}$$

تیر کنسول:

$$\text{مود ۱: } 20.2 \text{ Hz} \quad / \quad \text{مود ۲: } 12.7 \text{ Hz}$$

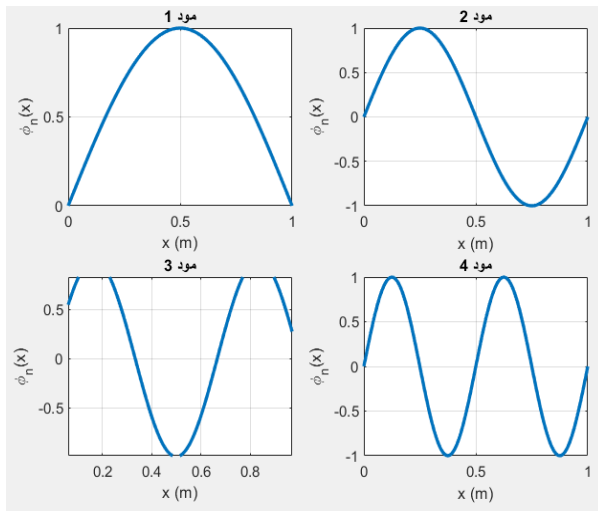
هوش مصنوعی توانسته است استخراج خودکار معادلات از متون تخصصی، حل تحلیلی معادلات دیفرانسیل، تولید کدهای متلب برای محاسبات عددی، ترسیم شکل مودها و توزیع فرکانس‌ها را به‌دست آورد. حل معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی ارتعاشات تیرها با استفاده از هوش مصنوعی، دقت و سرعت قابل توجهی در مقایسه با روش‌های مرسوم ارائه می‌دهد.



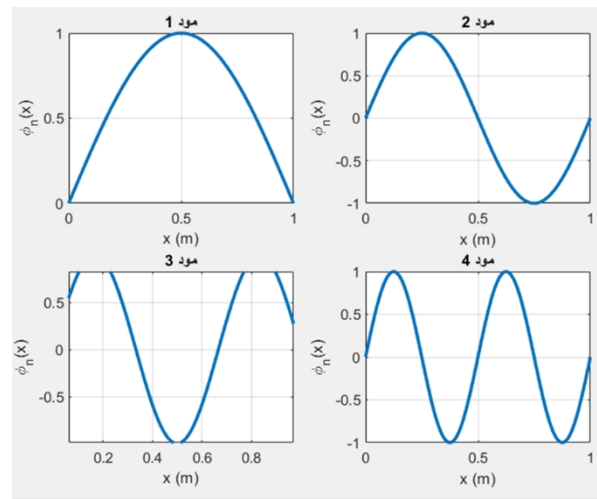
جدول ۱- جمع بندی معادلات مشخصه و فرکانس ها

شرایط مرزی	معادله مشخصه	$\beta_1 L$	ω_1
ساده-ساده	$\sin(\beta L) = 0$	π	$(\pi)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}}$
گیردار-گیردار	$\cos(\beta L) \cosh(\beta L) = 1$	۴.۷۳۰	$(4.730)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}}$
کنسول	$\cos(\beta L) \cosh(\beta L) = -1$	۱.۸۷۵	$(1.875)^2 \sqrt{\frac{EI}{\rho AL^4}}$

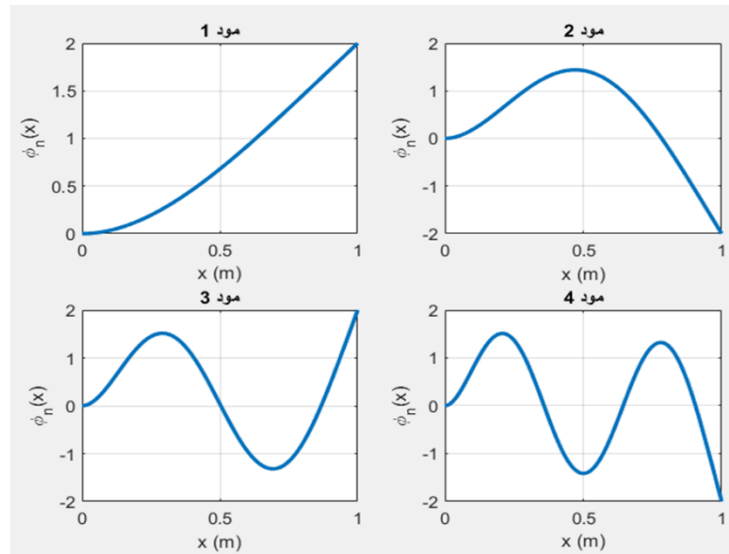
شکل مودها برای شرایط مرزی مختلف بررسی شد.



شکل ۲- شکل مود دوسر گبردار



شکل ۱- شکل مود دو سر ساده



شکل ۳- شکل مود کنسول

نتیجه گیری

این تحقیق با ارائه چارچوبی سیستماتیک برای به کارگیری هوش مصنوعی عمومی در حل مسائل مهندسی مکانیک، به نتایج ارزشمندی از جمله طراحی پرامپت‌های تخصصی برای حوزه‌های مختلف مکانیک (استاتیک، دینامیک، ترمودینامیک، مکانیک سیالات)، امکان تعامل مؤثر با مدل‌های زبانی بزرگ با استفاده از زبان طبیعی، معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی: ارتعاشات تیرها تحت شرایط مرزی مختلف، معادلات جبری غیرخطی: محاسبه عمق بحرانی و نرمال در کانال‌های باز، معادلات انتقال حرارت: حل تحلیلی و عددی مسائل پایدار و ناپایدار، ارزیابی دقت پاسخ‌های ChatGPT و DeepSeek در مسائل مکانیک، شناسایی نقاط قوت (سرعت، انعطاف‌پذیری) و ضعف (وابستگی به کیفیت پرامپت) هوش مصنوعی، اثربخشی راهکار پیشنهادی، تسهیل درک مفاهیم پیچیده مهندسی از طریق توضیحات گام‌به‌گام، تولید مثال‌های کاربردی و متنوع برای دروس تخصصی، تسریع فرآیند فرمول‌نویسی و حل مسائل، امکان بازتولید و اعتبارسنجی نتایج مقالات علمی، ارائه راه‌حل‌های اولیه برای مسائل طراحی و بهینه‌سازی، کاهش زمان و هزینه‌های محاسباتی دست یافته است.



پیشنهاد هایی برای تحقیقات آتی:

توسعه سیستم های هیبرید انسان-هوش مصنوعی، طراحی دستیاران هوشمند تخصصی برای هر شاخه مکانیک، اعتبارسنجی عملی خروجی های هوش مصنوعی، مقایسه با نرم افزارهای استاندارد (Ansys. Abaqus. COMSOL)، توسعه قابلیت های چندوجهی، تحلیل همزمان متن، تصویر و نمودارهای مهندسی، کاربرد در آموزش مهندسی، توسعه آموزگران هوشمند شخصی سازی شده

جمع بندی نهایی

هوش مصنوعی عمومی نه به عنوان جایگزین، بلکه به عنوان دستیار هوشمند می تواند تحول شگرفی در فرآیندهای طراحی، تحلیل و بهینه سازی مهندسی مکانیک ایجاد کند. این پژوهش گام مؤثری در جهت استانداردسازی تعامل بین مهندسان و سیستم های هوش مصنوعی برداشته و افق های جدیدی برای تحقیقات بین رشته ای گشوده است و چشم انداز آن ادغام هوش مصنوعی در چرخه کامل طراحی مهندسی و از ایده پردازی تا ساخت و بهره برداری است.



منابع

1. Liu & Gaynor, "Machine Learning-aided Topology Optimization", Structural and Multidisciplinary Optimization, 2021
2. Lei, Y., et al. (2020). Intelligent fault diagnosis and prognosis for engineering systems.
3. The Art of Asking Chat GPT for High-Quality Answers: A Complete Guide to Prompt Engineering Techniques
4. Mechanical Vibrations in SI Units, Global 6th Edition Singiresu S. Rao
5. Vatankhah, A. (2012) "Explicit solutions for critical and normal depths in trapezoidal and parabolic open channels" <http://www.sciencedirect.com/science/journal/20904479>
6. Brunton et al., "Machine Learning for Fluid Mechanics", Annual Review of Fluid Mechanics, 2020
7. <https://learnprompt.org/>