

مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک

غلامحسین رحیمی^۱

چکیده: هدف اصلی مقاله حاضر نشان دادن این واقعیت است که چگونه می توان با استفاده از نمونه ها و مثالهای مندرج در کتب علمی قدیم تمدن ایران و اسلام مباحث جدید علمی را برای دانشجویان مهندسی تشریح و تفهیم کرد. برای این منظور، کتاب معیارالعقول منسوب به ابن سینا مورد توجه قرار می گیرد و اهرمهای ساده و مرکب تشریح شده در کتاب برای مثال، انتخاب می شود. در خلال تحلیل رفتار این دو نوع اهرم، مفاهیم متعدد جدید علمی معرفی و تشریح می شود.

واژه های کلیدی: اهرم ساده و مرکب، معیارالعقول، ابن سینا.

۱. دانشیار مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. rahimi_gh@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۱۰/۲۷)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۰ / ۲ / ۸)

۱. مقدمه

مسئله‌یابی و حل مسئله موضوع مهمی در تعلیم مفاهیم اساسی در برنامه درسی محسوب می‌شود. در رشته‌های مهندسی علاوه بر معرفی کمیتهای اصلی، ارائه نمونه‌های مهندسی و صنعتی در خلال فرایند یاددهی اهمیت ویژه‌ای دارد. استادان در پی یافتن مسائلی هستند که در خلال حل آنها مفاهیم پایه‌ای را به دانشجویان منتقل کنند. آنها نمونه‌هایی را مد نظر قرار می‌دهند که توصیف علمی رفتار آنها مستلزم به‌کارگیری مفاهیم و روشهای علمی در مهندسی و به ویژه رشته مربوط است. مطمئناً انتخاب مسائلی که از زندگی واقعی استنتاج شده است یا مثالهایی از دانشمندی که خود پایه‌گذار رشته و شاخه‌ای از علم بوده‌اند، می‌تواند جاذبه خاصی برای دانشجویان داشته باشد.

در یک مدل مهندسی محتوا را به شیوه‌ها و از جنبه‌های مختلف می‌توان مورد تحلیل قرار داد. در هر حال، در زنجیره مدلسازی، اعتبارسنجی مدل، توصیف ریاضی رفتار جسم یا فرایند، روشهای حل معادلات حاکمه، فرضهای ساده کننده در مرحله مدلسازی، توصیف ریاضی و حل روابط حاکمه، اخذ نتایج و تحلیل و تفسیر آنها و غیره، باید شیوه‌ای اتخاذ شود تا به یاددهی عمیق و همه جانبه منجر شود. در هر حال، پیدا کردن مسائل و مثالهای مناسب که همزمان بتوانند اهداف چندگانه را دنبال کنند، چندان ساده نیست، ولی برای استادان و معلمان محدودیتی در انتخاب مثال و مدل و زمینه‌های خاص در چارچوب مباحث اصلی رشته وجود ندارد. لذا، می‌توان از منابع علمی قدیمی در کنار منابع جدید سود جست. گاهی برای آغاز مطلب یا تشریح مفاهیم پایه‌ای مسئله در دست بررسی استفاده از نمونه‌های تاریخی مفیدتر است. اغلب، طبیعت مسائل عملی قدیمی ملموس‌تر و مفهوم‌تر از نمونه‌ها و مفاهیم پیچیده جدید است.

بنا به دلایلی، شاید به نظر برسد که مثالهای استخراج شده از منابع علمی تاریخی در سطحی نباشند که برای دانشجویان مهندسی مناسب باشد. نخست، منسوخ بودن یا بیش از حد ساده و احتمالاً پیش پا افتاده بودن آنها و دوم ناسازگاری با مطالب کتب درسی جدید. علاوه بر این، توصیفهای انجام شده ممکن است به‌طور کلی متفاوت یا بیگانه با روشهای جدید باشد. همچنین، تصور شود که نمونه‌ها غیر کاربردی اند و لذا، می‌تواند ذهن دانشجو را از مطالب عملی و مورد نیاز وی دور سازد و عملاً یک بحث کاربردی جدید را به یک مطلب غیر واقعی یا غیر لازم یا ابتدایی و حتی بی فایده که فقط ارزش تاریخی دارد، مبدل سازد.

این مقاله ادعا دارد که مدلسازی و تحلیل جدید یک نمونه قدیمی یا تحلیل یک نمونه جدید به شیوه علمی قدیم، بسته به موقعیت، می‌تواند بسیار مفید باشد. به خصوص، روشهای جدید چون معمولاً متضمن انبوهی از اطلاعات پیچیده، بعضاً خام و تحلیل نشده است، تفهیم مطالب را به اتکالی آنها بسیار دشوار می‌کند. انتخاب صحیح مثالها می‌تواند حتی در خوداتکایی و اعتماد به نفس علمی دانشجو مؤثر باشد، چرا که در این صورت وی می‌تواند خارج از قالب کتاب درسی خود با استفاده از

اصول شناخته شده علمی به تفسیر کامل یک سیستم ساده همت گمارد. قابل توجه آنکه بسیاری از مثالهای جدید بدین دلیل که قبلاً بارها حل شده است و دانشجو فقط می‌آموزد که چگونه روش حل را فرا بگیرد، بدون اینکه وی کوچک‌ترین نقشی در این روشها داشته باشد، در فرایند یادگیری نقش اساسی ایفا نمی‌کند. علاوه بر این، حتی مسائل طرح شده در کتاب درسی نیز نقشی را برای مشارکت دانشجو باقی نمی‌گذارد.

مثالهای تاریخی اگر خوب انتخاب و به درستی معرفی و به شیوه صحیح تحلیل شوند، علاوه بر اینکه می‌توانند بخشی از فرایند یاددهی و یادگیری باشند، چون از قالبهای سنتی تدریس فاصله می‌گیرند، می‌توانند برای دانشجویان جالب و هیجان انگیز باشند.

تجربه نگارنده مؤید این مطلب است که مؤثر بودن و نبودن این روش وابسته به نوع رویکردی است که اتخاذ می‌شود. رویکرد اشتباه قطعاً به نتایج نامطلوب منجر می‌شود، اما اتخاذ رویکرد صحیح می‌تواند بسیار مؤثر و مفید باشد.

در این مقاله نمونه‌هایی از کتاب معیارالعقول با رویکردی انتخاب شده است که می‌تواند در شرایط جدید علمی مفید و مؤثر باشد. این رویکرد مبتنی بر انتقال مفاهیم علمی قدیم به جدید یا استفاده از نمونه‌های قدیم برای تحلیل علمی جدید یا بالعکس انتقال مفاهیم جدید به مدد نمونه‌های قدیم است. اگر این رویکرد موفق باشد، به تدریج تعدادی از مهم‌ترین آثار علمی تمدن ایران و اسلام می‌تواند به مثابه بخشی از منابع آموزشی و علمی جدید تلقی شود و مورد استفاده قرار گیرد.

در انتهای این بخش یادآوری می‌شود که با رویکرد یاد شده، به منابع علمی دانشمندان تمدن اسلامی کمتر پرداخته شده است. در هر حال، مقالاتی که توسط آقای دکتر یوسف یاسی و همکاران در فصلنامه آموزش مهندسی چاپ و در آنها طراحی، ساخت و نحوه عملکرد برخی از ابزارهای ابداعی بنوموسی شرح داده شده است^۱ و نیز مقالات آقای دکتر غلامحسین دانشی از دانشگاه صنعتی شریف که در همین فصلنامه مذکور درج شده است^۲، می‌تواند زمینه خوبی را برای ورود به آثار علمی دانشمندان ایرانی و مسلمان با رویکرد آموزشی فراهم سازد. به هر حال، مقالات مذکور با هدف دیگری تدوین شده است.

۱. این مقالات در شماره های ۴۷ (سال ۱۳۸۹)، ۴۴ (سال ۱۳۸۸)، ۴۲ (سال ۱۳۸۸) و ۳۹ (سال ۱۳۸۷) فصلنامه آموزش مهندسی به چاپ رسیده است.

۲. این مقالات در شماره‌های ۳۵ (سال ۱۳۸۶)، ۳۳ (سال ۱۳۸۶)، ۲۹ (سال ۱۳۸۵) و ۲۵ (سال ۱۳۸۴) فصلنامه آموزش مهندسی به چاپ رسیده است.

۲. اهرم ساده و مرکب معیارالعقول، نمونه‌ای تاریخی و علمی

۱.۲ معرفی کتاب معیارالعقول

معیارالعقول منسوب به ابن سینا (قرن پنجم هجری/یازدهم میلادی) یکی از کتب قدیمی در تاریخ تمدن ایران و اسلام است که تعدادی از ماشینهای ساده و مرکب را، مبتنی بر تجارب و یافته‌های بشر تا آن زمان همراه با نوآوریهای ویژه، به اختصار معرفی و رفتار آنها را به صورت کمابیش علمی توصیف می‌کند [۱]. این کتاب به زبان فارسی نگاشته شده است و از معدود کتب علمی مصور تاریخ تمدن ایران محسوب می‌شود. ابزارهای معرفی شده در کتاب معیارالعقول را رحیمی با ادبیات جدید مهندسی توصیف و تحلیل کرده است [۲].

مباحث کتاب معیارالعقول را در چارچوب ادبیات، بخش بندی و عناوین دانش مکانیک امروز به صورت زیر می‌توان تقسیم کرد:

الف. ماشینهای ساده شامل گوه، اهرم، قرقره، سطح شیبدار، چرخ و محور، چرخ دنده و محور، پیچ و مهره؛

ب. ماشینهای مرکب شامل اهرم مرکب، قرقره مرکب، دنده و محور مرکب (نوعی جعبه دنده)؛
پ. گران کش یا جرثقیل که از ترکیب ماشینهای ساده و مرکب به شکلهای مختلف ساخته می‌شود.
نکته بسیار جالب در این کتاب آن است که همانند کتب جدید علمی که برای معرفی و توصیف یک دستگاه پیچیده نخست اجزای اصلی تشکیل دهنده آن معرفی می‌شود او معمولاً در کلاسهای درس به طور جدی به ماشین پیچیده اصلی پرداخته نمی‌شود. در کتاب معیارالعقول نیز دقیقاً همین روش منطقی رعایت شده است؛ به عبارت بهتر، کتب جدید از شیوه منطقی کتب علمی که توسط دانشمندان مسلمان و ایرانی تدوین شده است، تبعیت می‌کند. برای مثال، عبدالرحمن خازنی در کتاب میزان الحکمه نیز در شرح ترازوی حکمت نخست اجزای ترازو را تشریح می‌کند. سپس، با سوار کردن اجزا و ذکر نکات فنی در انجام آن، دستگاه مورد نظر را می‌سازد.

۲.۲ اهرم ساده

اهرم میله‌ای است که روی یک نقطه تکیه‌گاهی^۱ آزادانه دوران می‌کند. جرمی که در یک انتهای اهرم قرار می‌گیرد، بار مقاوم خوانده می‌شود. به نیرویی که باعث جا به جایی بار می‌شود، نیروی محرک گفته می‌شود.

در کاربردهای مختلف، انواع متفاوتی از اهرمها به چشم می‌خورد. حسب محل قرارگیری نقطه تکیه‌گاهی، آنها به سه دسته تقسیم می‌شوند: نوع اول اهرمی است که تکیه‌گاه بین نیروی محرک و

بار مقاوم قرار گرفته است. معمولاً مراد از اهرم بیشتر این نوع است. یکی از ترازوهای قدیمی ایرانی به نام قپان و نیز وسیله بازی مشهور الاکلنگ^۱ نمونه‌های خوبی از اهرم نوع اول است. نقطه تکیه گاهی در قپان در محلی بین [نه لزوماً وسط] و در الاکلنگ در میانه فاصله وزنه و بار قرار می‌گیرد. در این‌گونه اهرمها، متناسب با نیرویی که به یک انتها وارد می‌شود، جسم واقع در انتهای دیگر بلند می‌شود. اهرم نوع اول همواره جهت نیرو را تغییر می‌دهد، اما مقدار خود نیرو را ممکن است افزایش دهد یا ثابت نگه دارد. با توجه به اینکه اهرم ساده ابن سینا از نوع اول است، لذا، این نوع اهرم به تفصیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در نوع دوم اهرمها، محل اعمال بار در یک انتها و نقطه تکیه‌گاهی در انتهای دیگر واقع است. وسیله مشهور جا به جا کردن بار؛ یعنی فرغون^۲ (چرخ دستی) نمونه مناسبی از اهرم نوع دوم است. در دسته سوم اهرمها مجدداً نقطه تکیه‌گاهی در یک طرف و دو نیروی محرک و مقاوم در طرف دیگر تکیه‌گاه وارد می‌شوند. اما، در این اهرمها معمولاً نیروی محرک بیش از نیروی مقاوم است. هدف اصلی بیشتر تسهیل انجام یافتن عمل مورد نظر است.

تعریف ابن سینا از اهرم که آن را مُخَل یا بیرم (بارم) می‌خواند^۳، به زبان امروزی چنین است: میله‌ای بلند و سخت (صلب^۴) است که آن را بر تکیه‌گاه می‌نهند و یک سر آن را در زیر بار می‌گذارند و سپس، با نیروی اندکی که به انتهای دیگر وارد می‌کنند، آن بار را بلند می‌کنند. نکته‌ای که ابن سینا بدان اشاره می‌کند آن است که مردم اهرم را می‌شناسند، اما به تقلید و از قاعده علمی آن مطلع نیستند و با مشاهده شیوه به‌کارگیری توسط دیگران اهرم را مورد استفاده قرار می‌دهند. شکل ۱ نمودار اهرم رسم شده در معیار العقول را نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد، اهرم مورد استفاده ابن سینا از نوع اول است. درخصوص قانون اهرمها ابن سینا می‌گوید: "چون خواهند که بدین آلت ثقل^۵ معلوم را

1. Cantharis

2. Wheelbarrow

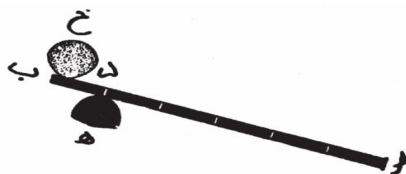
۳. "ابن آلت سخت معروف است، لیکن عامه خلق به تقلید دانند و آن جرمی است صلب و دراز، قسمت کرده به اقسام چندانکه باید، یعنی نصف و ثلث و ربع و مانند آن اجزاء بر وی پیدا آورده و جرمی دیگر صلب در زیر آن جرم نهند و یک سر وی در زیر ثقلی که آن را خواهند برداشت کنند و دیگر سر وی سوی زمین کشند ثقل بر بالا آید به آسانی و صورتش اینست." (معیارالعقول، صفحات ۳۳ و ۳۴)

4. Rigid

۵. ثقل: بارگران، وزن، جمع ثقل، ائقال

۹۴ مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک

به قوت^۱ معلوم بردارند، نسبت بعد بعید از مرکز با بعد قریب از مرکز چون نسبت ثقل به قوت نگاه دارند بتکافی^۲.



شکل ۱: اهرم ساده از کتاب معیارالعقول [۱]

بیان واضح مطلب مذکور به زبان امروزی آن است که نسبت نیروی محرک به نیروی مقاوم برابر با نسبت طول بازوی مقاوم به طول بازوی محرک است. به زبان ریاضی به صورت زیر است (شکل ۲ را ببینید):

$$\frac{F}{R} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \Rightarrow F = R \frac{\ell_2}{\ell_1} \quad (1)$$

لذا، هرچه ℓ_1 بزرگتر باشد، نیروی کمتری برای جابه‌جایی وزنه^۳ R لازم است. با توجه به این توضیح مزیت مکانیکی اهرم ساده مذکور در بالا برابر است با:

$$م.م = \ell_1 / \ell_2 \quad (2)$$

ابن سینا مثال عددی ذکر می‌کند^۳. بیان امروزی ابن سینا چنین است که اگر بخواهیم بار ۵ من^۴ را، وزن ج در شکل ۱، با نیروی یک من بلند کنیم، بازوی محرک باید ۵ برابر بازوی مقاوم باشد. رابطه^۱ (۱) می‌دهد:

(۳)

$$\frac{F}{R} = \frac{1}{5} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \Rightarrow \ell_1 = 5\ell_2$$

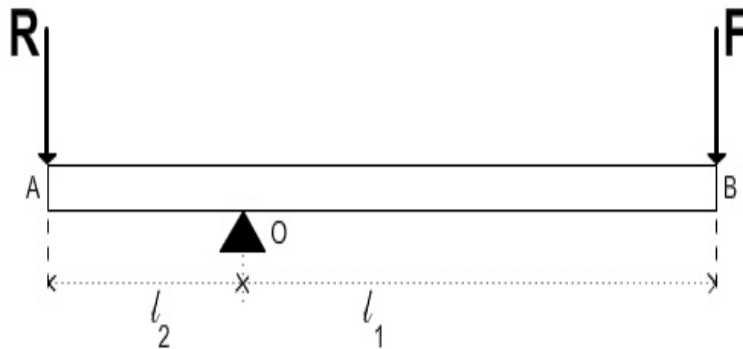
بنابراین، مزیت مکانیکی اهرم نمونه‌ای ابن سینا ۵ است.

۱. قوت: نیرو، جمع آن قوا؛ توانایی، زور و طاقت نیز از معانی عمومی آن است.

۲. "معیارالعقول" - صفحات ۳۴ و ۳۵

۳. ابن سینا می‌نویسد: "مثلاً خواهیم از این آلت ثقل پنج من را بقوت منی برداریم چنانکه متکافی باشد، چون ثقل ج. سر ب را از چوب ا ب در زیر ثقل کنیم و قسم د را که سدس جرم است از سوی ثقل مرکز کنیم و جرم را در زیر د نهیم و سر ا را از جرم ا ب بقوت منی سوی زمین کشیم - ثقل خ را که پنج من است بر بالا آرد" (معیارالعقول، صفحه ۳۵)

۴. من: معادل سه کیلوگرم



شکل ۲: پیکره آزاد اهرم ساده ابن سینا

استخراج قانون حاکم بر اهرم: قاعده حاکم بر اهرمها را که ابن سینا به وضوح آن را بیان می‌کند، مبتنی بر اصولی است که به راحتی می‌توان به زبان ریاضی توصیف کرد و رابطه علمی حاکم بر رفتار اهرم مورد نظر را به دست آورد. این رابطه را به شیوه‌های مختلف می‌توان استخراج کرد. روش تعادل گشتاورها: شیوه ساده‌ای است که از آن می‌توان قاعده مورد نظر را استخراج کرد. اهرم حول نقطه تکیه گاهی می‌تواند آزادانه دوران کند. معنای این سخن آن است که باید لنگر یا گشتاور (ممان) خمشی حول نقطه تکیه‌گاهی صفر باشد. اکنون با مراجعه به شکل ۲ تعادل ممانها را می‌توان نوشت:

(۴)

$$\sum M_o = 0 \Rightarrow Fl_1 - Rl_2 = 0 \Rightarrow Fl_1 = Rl_2$$

در رابطه (۴) از هر نوع اصطکاک و مقاومت تکیه‌گاهی صرف نظر شده است و اینکه جهت نیروهای F و R در خلال حرکت همواره عمود بر اهرم باقی می‌ماند. علاوه بر این، از وزن اهرم نیز صرف نظر شده است.

روش انرژی: شیوه علمی و عمومی تری است که می توان به کمک آن قاعده حاکم بر اهرم را استخراج کرد. در این ارتباط، اصل پایستگی یا بقای انرژی مورد استفاده قرار می گیرد. بر این اساس، کار انجام شده توسط نیروی محرک باید برابر با کار انجام شده روی نیروی مقاوم باشد^۱. کار به صورت حاصل ضرب نیرو در جا به جایی آن در امتداد نیرو تعریف می شود. بنابراین، اگر نیروی F به اندازه u_1 و نیروی R به اندازه u_2 جا به جا شوند (در اینجا نیروهای F و R به ترتیب، به طور عمودی به سمت پایین یا بالا حرکت می کنند) داریم:

$$Fu_1 = Ru_2 \quad (5)$$

گفتنی است که هر دو کمیت نیرو، F یا R ، و تغییر مکان، u ، کمیت های برداری هستند، منتها چون در اینجا به ترتیب در یک راستا قرار دارند، به صورت کمیت عددی یا نرده ای نوشته شده اند^۲.

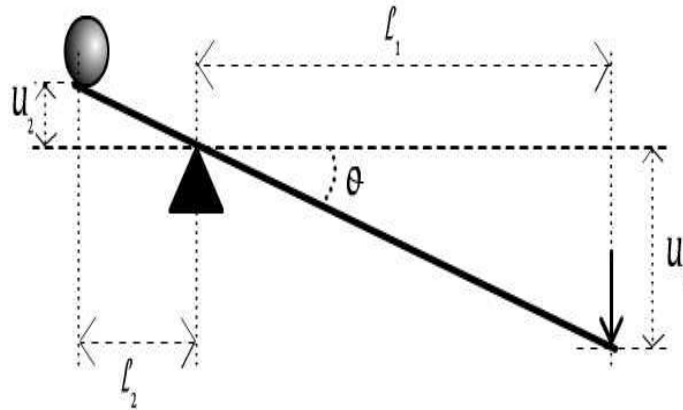
مقادیر u_1 و u_2 معلوم نیستند. نیاز به یک رابطه کمکی است. برای به دست آوردن این رابطه کمکی از هندسه دستگاه بهره می گیریم. چون اهرم صلب فرض شده است، چنانچه اهرم به اندازه θ دوران کند، با توجه به شکل ۳ می توان نوشت:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{u_1}{l_1} = \frac{u_2}{l_2} \Rightarrow u_1 = u_2 \frac{l_1}{l_2} \quad (6)$$

از قراردادن رابطه (۶) در رابطه (۵) مجدداً به رابطه (۴) یا (۱) می رسیم.

۱. به عبارت دیگر، در هر حالت و موقعیتی، رفتار ماشین ساده باید به گونه ای باشد که اصل پایستگی کار و انرژی برقرار باشد. یعنی اگر از استهلاکها صرف نظر شود، کار خروجی دستگاه باید برابر با مقدار کار یا انرژی داده شده به آن باشد.

۲. در فیزیک جدید یکای (واحد) کار یا انرژی نیوتن متر (Nm) است که ژول (J) نامیده می شود. نیوتن یکای نیرو است و آن نیرویی است که اگر به جرم یک کیلوگرم وارد شود، به آن شتابی برابر یک متر بر مجذور ثانیه بدهد (1N=kg.m.s⁻²).



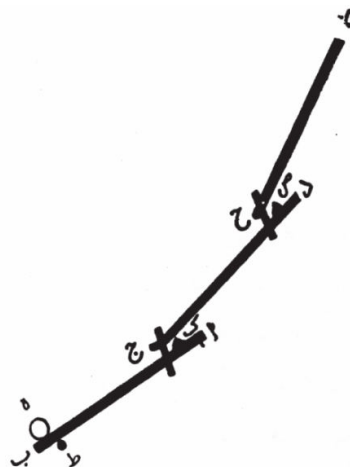
شکل ۳: نمودار اهرم ساده پس از جابه‌جایی

۲. ۳. اهرم مرکب^۱

یکی از ابزارهای ساده و بسیار جالب اهرم مرکب است که در رساله معیار العقول تشریح شده است. احتمالاً، اهرم مرکب از ابداعات مؤلف معیارالعقول باشد یا اینکه در قرون چهارم و پنجم مورد استفاده در کشور ایران بوده است و ابن سینا آن را با توضیح و ذکر مثال عددی به زبان علمی توصیف و قواعد علمی حاکم بر آن را بیان کرده است. گفته می‌شود که در غرب جان ویات^۲ (۱۷۰۰-۱۷۶۶ میلادی) مفهوم اهرم مرکب را، با زبانی که امروزه استفاده می‌شود، معرفی کرد.

اهرم مرکب مجموعه‌ای به هم پیوسته از اهرمهای ساده است که بلند کردن بارهای سنگین را به مراتب راحت‌تر می‌سازد. به هر حال، قاعده اساسی اهرمها کماکان معتبر است؛ یعنی نسبت بازوهای اهرم همواره معکوس نسبت نیروهاست. ابن سینا اهرم مرکب خود را همراه با ذکر مثالی تشریح می‌کند. تصویر اهرم مرکب ابن سینا در شکل ۴ نشان داده شده است.

-
1. Compound Lever
 2. John Wyatt



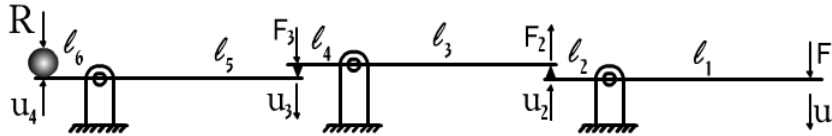
شکل ۴: اهرم مرکب ابن سینا [۱]

از نظر مکانیکی توصیف بوعلی از اهرم مرکبش که قادر است با نیروی معادل ده من بار ده هزار من را بلند کند، به زبان امروزی چنین است^۱:

سه اهرم ساده با هم ترکیب شده‌اند، به نحوی که بازوی محرک هر اهرم ساده برابر با طول بازوی مقاوم آنهاست. در ضمن، ترکیب این اهرمها به نحوی است که نیروی مقاوم در یکی نیروی محرک برای دیگری است. از نظر کمی بازوی محرک در هر اهرم ده برابر بازوی مقاوم است. بنابراین، نیروی معادل ده من که بر بازوی محرک اهرم بالایی وارد می‌شود، در اهرم اولی ده برابر و حاصل در اهرم دومی ده برابر و در اهرم سومی نیز ده برابر می‌شود؛ یعنی با توجه به نیروی محرک در نهایت، ده هزار من می‌شود.

۱. "چون خواهند که بدین آلت ده هزار من بار بقوت ده من بردارند چون ثقل «ه» بیرمی سازند از چوب یا آهن چنانکه ده هزار من بار برتابد چون بیرم «اب» و سر «ب» را در زیر ثقل «ه» کنند و جرمی صلب در زیر بیرم نهند چون جرم «ط» و قسم «ط ا» ده بار چند قسم «ط ب» کنند. آنگاه بیرمی دیگر سازند چنانکه هزار من بار برتابد چون بیرم «د ج» و سر «ج» را از آن دو سر با بیرم «اب» ترکیب کنند و جرمی صلب در زیر آن نهند چنانکه «ط» و از استقامت بیرم «ب» بیرون نیاید چون جرم «ک» و این جرم «ک» باید که در میان هر دو بیرم بود نه بر زمین و قسم «د ک» ده بار چند قسم «ک ج» کنند. پس بیرمی دیگر بیاورند چنانکه صد من بار برتابد چون بیرم «ر ح» و بر بیرم «ج د» ترکیب کنند همچنانکه «ج د» را بر «اب» کرده اند و جرمی صلب در میان بیرم «ج د» و بیرم «ر ح» نهند چنانکه در بیرم «اب» و بیرم «ج د» کرده اند چون جرم «ص» و قسم «ر ص» ده بار چند قسم «ص ح» کنند تا قوت بر ثقل غلبه کند. آنگاه سر «ر» را از بیرم «ر ح» بقوت ده من سوی زمین کشند ثقل «ه» را که ده هزار من است به آسانی بر بالا برد و صورتش این است. «(معیار العقول، ص ۴۸ و ۴۹)

توضیح مؤلف معیار العقول کاملاً وقوف وی را نسبت به قواعد علمی حاکم بر اهرمهای ساده و مرکب می‌رساند. با توجه به توصیف ابن سینا، شکل بازسازی شده اهرم مرکب معیار العقول در شکل ۵ ترسیم شده است.



شکل ۵: نمودار ترسیم شده از اهرم مرکب ابن سینا

رابطه نهایی که ابن سینا برای اهرم مرکب پیشنهاد می‌کند، و از متن مثال عددی وی استنتاج می‌شود، به زبان ریاضی عبارت است از:

$$F = R \frac{l_6}{l_5} \cdot \frac{l_4}{l_3} \cdot \frac{l_2}{l_1} \quad (7)$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، نیروی محرک متناسب با نسبت بازوهای مقاوم به محرک (که کوچک تر از یک است) است. چنانچه بار مقاوم ده هزار من و بازوی محرک هر سه اهرم ۱۰ برابر بازوی مقاوم باشد، رابطه (۸) به دست می‌آید.

$$\text{من} \quad (8)$$

$$F = 10000 \times \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} \cdot \frac{1}{10} = 10$$

بنابراین، مزیت مکانیکی اهرم مرکب ابن سینا ۱۰۰۰ است.

۱۰۰ مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک

در حالت کلی، اگر n اهرم پیاپی و با ترتیب مشخص یک اهرم مرکب را تشکیل دهند، رابطه زیر بین نیروی محرک و بار مقاوم وجود دارد:

(۹)

$$F = R \frac{l_2 \cdot l_4 \cdot l_6 \cdot \dots \cdot l_{2n-2} \cdot l_{2n}}{l_1 \cdot l_3 \cdot l_5 \cdot \dots \cdot l_{2n-3} \cdot l_{2n-1}}$$

محاسبه جابه‌جاییهای نیروی محرک و بار مقاوم نکته مهمی را آشکار می‌سازد. با توجه به شکل ۶ برای هر یک از اهرمها می‌توان نوشت:

دوران و جابه‌جایی اهرم اول

$$\operatorname{tg} \theta_1 = \frac{u_1}{l_1} = \frac{u_2}{l_2} \Rightarrow u_1 = u_2 \frac{l_1}{l_2}$$

دوران و جابه‌جایی اهرم دوم

$$\operatorname{tg} \theta_2 = \frac{u_2}{l_3} = \frac{u_3}{l_4} \Rightarrow u_2 = u_3 \frac{l_3}{l_4}$$

دوران و جابه‌جایی اهرم سوم

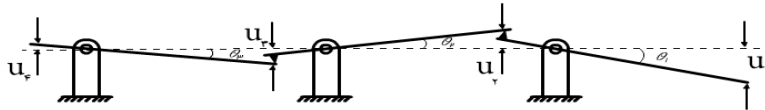
$$\operatorname{tg} \theta_3 = \frac{u_3}{l_5} = \frac{u_4}{l_6} \Rightarrow u_3 = u_4 \frac{l_5}{l_6}$$

از ترکیب روابط یاد شده، رابطه بین جابه‌جایی عمودی نیروی محرک و بار مقاوم حاصل می‌شود:

(۱۰)

$$u_1 = u_3 \frac{l_3}{l_4} \cdot \frac{l_1}{l_2} = u_4 \frac{l_5}{l_6} \cdot \frac{l_3}{l_4} \cdot \frac{l_1}{l_2}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، میزان جابه‌جایی بار مقاوم متناسب با نسبتهای بازوهای محرک به مقاوم است، لذا، میزان جابه‌جایی بار مقاوم می‌تواند بسیار کوچک باشد.



شکل ۶: نمودار اهرم مرکب ابن سینا پس از جابه‌جایی

بر اساس رابطه (۱۰) اگر نیروی محرک در اهرم مرکب ابن سینا یک متر جا به جا شود، بار مقاوم فقط یک میلی‌متر جابه‌جا خواهد شد که چندان کاربردی نیست. تعمیم رابطه (۱۰) برای ترکیب سری n اهرم عبارت است از:

(۱۱)

$$u_1 = u_{n+1} \frac{l_1}{l_2} \cdot \frac{l_3}{l_4} \cdot \frac{l_5}{l_6} \dots \frac{l_{2n-3}}{l_{2n-2}} \cdot \frac{l_{2n-1}}{l_{2n}}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، اگر بلند کردن بار سنگین با نیروی کم مدنظر باشد، هرچه بازوهای محرک نسبت به بازوهای متناظر مقاوم بلندتر باشند، به نیروی محرک کمتری نیاز است. از سوی دیگر، جا به جایی بار مقاوم می‌تواند چنان کوچک باشد که عملاً استفاده از اهرم مرکب را بی‌فایده سازد. در هر حال، همواره می‌توان رابطه بهینه‌ای بین نیروی محرک و جا به جایی بار مقاوم مورد نیاز با تنظیم دقیق طول اهرمها پیدا کرد. نکته مهمی که باید مجدداً تأکید شود آن است که کار انجام شده توسط نیروی محرک (حاصل ضرب نیرو در جا به جایی) برابر با انرژی پتانسیل (درون مایه موقعیتی) ذخیره شده در بار مقاوم (یا کار انجام شده روی بار مقاوم) است.

۳. ساخت یک اهرم نمونه‌ای

اهرم مرکب ابن سینا بر پایه توصیف وی در رساله معیار العقول از جنس و پلاکسی گلاس ساخته شده است. این نمونه اهرم مرکب متشکل از سه اهرم ساده است که در شکل ۷ نشان داده شده است.

۱۰۲ مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک
 بازوی محرک هر اهرم دو برابر بازوی مقاوم آن است. در نتیجه، نیروی ورودی ۸ برابر می شود، و
 بنابراین، مزیت مکانیکی آن ۸ است. اهرم مرکب ساخته شده به خوبی کار می کند.



شکل ۷: تصویر دو نمونه از اهرم مرکب ساخته شده

مقاومت اهرم در برابر بارهای وارده: با توجه به مطالب بیان شده و آنچه در پی می آید، اجزا و قطعات در نظر گرفته شده، صلب در نظر گرفته می شود. جسم صلب جسمی است که در اثر نیروهای وارده اجزای آن نسبت به یکدیگر حرکتی ندارند؛ به عبارت دیگر، هیئت داخلی و بیرونی جسم بدون تغییر باقی می ماند. اجسام واقعی در برابر نیروهای خارجی شکل پذیرند که میزان آن به مقدار نیروی وارده و خواص فیزیکی و مکانیکی جسم وابسته است. این موضوع مهم در بحث مقاومت مصالح مطرح می شود.

یکی از نکاتی که در کتاب معیارالعقول همواره مورد توجه قرار گرفته است، مقاومت^۱ جسم در برابر نیروهای وارده است که از آن به "برتابیدن" تعبیر شده است. مثلاً برای اهرم اول ابن سینا می‌گوید: "... چنانکه ده هزار من بار برتابد" و برای اهرم وسط: "... چنانکه هزار من بار برتابد" و به همین ترتیب؛ به عبارت دیگر، مؤلف کتاب معیارالعقول بر این امر کاملاً واقف بوده است که با هر اهرمی هر باری را نمی‌توان بلند کرد و باید مقاومت یا قابلیت تحمل اهرم متناسب با بار وارد شده باشد. علاوه بر این، به این نکته ظریف نیز توجه شده است که در اهرم مرکب دلیلی نیست که تمام اهرمها مقاومت یکسانی داشته باشند. با استفاده از روابط مشهور مقاومت مصالح می‌توان مقاومت اهرم نمونه‌ای معیارالعقول را، با توجه به جنس و هندسه آن، به سادگی محاسبه و آن را طراحی کرد.

۴. نکات تعلیمی

اکنون با توجه به توصیف علمی یاد شده، مهم‌ترین نکات آموزشی حاصل از طرح و تحلیل اهرمهای ساده و مرکب ابن سینا را می‌توان به قرار زیر دانست:

۴.۱. اهرمها از ساده ترین اجزای سازه‌ای مکانیک محسوب می‌شوند. بنابراین، با طرح این مسئله هم یک وسیله قدیمی مطرح می‌شود و هم نمونه‌ای که کماکان مورد استفاده است، تشریح می‌شود. علاوه بر این، وسیله چنان ساده به نظر می‌رسد که هیچ دانشجویی در تصور اهرم ساده و مرکب و نیز کاربردهای کنونی آن مشکلی نخواهد داشت.

۴.۲. با درج شکل ترسیم شده در کتاب معیارالعقول دانشجویان با نحوه ترسیم نمودارهای فنی و به ویژه نمادگذاری فارسی در کتب علمی قدیمی ایران آشنا می‌شوند.

۴.۳. با درج تحلیل ابن سینا از اهرم، دانشجویان با نحوه توصیف علمی رفتار سازه‌ها در کتب علمی دانشمندان مسلمان آشنا می‌شوند. خاصه آنکه چگونه دانشمندان از روش غیر نمادین استفاده می‌کرده‌اند و آنچه اینک با زبان ریاضی توصیف می‌شود، در گذشته به شیوه لفظی بیان می‌شده است.

۴.۴. به منظور به‌کارگیری اصول علمی [در اینجا مکانیک] در توصیف رفتار سازه‌ها، معمول آن است که جسم مورد نظر را از اجسام دیگر به‌گونه‌ای مجزا کنیم که بتوان به‌طور کامل و دقیق تمام نیروهای وارد شونده به جسم را در نظر گرفت. این فرایند مجزا و منفرد سازی *isolation* به‌طور ذهنی انجام و بر روی کاغذ رسم می‌شود. به چنین نمودار جسم ایزوله شده‌ای که روی آن تمام نیروهای خارجی وارد شده نمایش داده شده است، نمودار پیکر آزاد گفته می‌شود. با استفاده از مثال اهرمهای ساده و مرکب ابن سینا می‌توان مفهوم نمودار پیکر آزاد را آموزش داد.

۱۰۴ مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک

۴.۵. برای تشریح مفهوم تعادل نیروها و گشتاورها، اگر اهرم در حالت استاتیکی لحاظ شود، می‌توان از این مثال بهره گرفت. شرایط تعادل^۱ یک جسم آن است که برآیند تمام نیروها و ممانهای وارد بر جسم صفر باشد. تعادل نیروهایی که می‌توانند هم امتداد باشند [که فقط یک معادله تعادل نیروها خواهیم داشت]، یا در یک صفحه و متقاطع باشند [که به دو معادله تعادل نیرو نیاز است] یا حالت کلی نیروهای واقع در یک صفحه [که با دو معادله تعادل نیرو و یک معادله تعادل ممان نیاز است] را به کمک اهرمهای ابن سینا می‌توان توضیح داد و تشریح کرد.

۴.۶. مفهوم کار و انرژی را به بهترین شکل با استفاده از اهرمهای ابن سینا می‌توان تشریح کرد. موازنه کار خارجی انجام شده و افزایش انرژی پتانسیل بار مقاوم با این مثال ساده به سادگی معرفی و تفهیم می‌شود.

۴.۷. همان‌گونه که نشان داده شد، با استفاده از مثال اهرمهای ساده و مرکب می‌توان مفهوم و قانون حاکم بر اهرم ساده را به اهرم مرکب سه جزئی و سپس، به سیستمی متشکل از n اهرم تعمیم داد و از این طریق دانشجو را با شیوه تعمیم علمی آشنا ساخت. علاوه بر این، با استخراج قانون حاکم بر حرکت اهرم مرکب متشکل از n اهرم، حالت‌های خاص اهرم مرکب سه تایی یا اهرم ساده به دست می‌آید. در اینجا حتی به کمک این مثال می‌توان دانشجو را با مفهوم استقرا و قیاس و در نتیجه، حرکت از جزء به کل و از کل به جزء کاملاً آشنا ساخت.

۴.۸. به کمک مثال اهرمها می‌توان مفهوم درجات آزادی^۲ را نیز تشریح کرد. درجات آزادی یک سیستم مکانیکی تعداد مختصات مستقلی است که برای توصیف کامل هیئت دستگاه لازم است. در این ارتباط می‌توان اهرم مرکب متشکل از n اهرم را به صورت تمرین در نظر گرفت.

۴.۹. مفهوم کار مجازی به سادگی با استفاده از مثال اهرمها قابل طرح و توضیح است و اینکه به کمک اصل کار مجازی می‌توان رابطه حاکم بر حرکت اهرمها را استخراج کرد.

۴.۱۰. علاوه بر استاتیک [یا دینامیک] اهرمها به مثابه یک جسم صلب، می‌توان اهرمها را به عنوان اجسام شکل‌پذیر نیز در نظر گرفت. در این حالت موضوع وارد حوزه مقاومت مصالح می‌شود. مفاهیمی مانند مقاومت، نمودارهای توزیع نیروهای برشی و لنگرهای خمشی را به کمک اهرمهای ابن سینا می‌توان به نیکی توضیح داد.

۴.۱۱. با مثال اهرم می‌توان طراحی تیرهای منشوری و غیر منشوری را برای تحمل برش و خمش تشریح کرد. علاوه بر این، می‌توان پروژه طراحی اهرم مرکب را با حداقل وزن اهرمها در اهرم مرکب ابن سینا طرح و ارائه کرد.

1. Equilibrium Conditions

2. Degrees of Freedom

۴.۱۲. در حین تحلیل اهرم به مفاهیمی مانند موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- الف. مزیت مکانیکی و بازده مکانیکی و اهمیت آن در طراحی؛
 - ب. رفتار سازه‌ای که از نظر استاتیکی نامعین است. بدین معنا که در استخراج معادله حاکم بر اهرم علاوه بر معادله تعادل نیاز به روابط سینماتیک نیز هست؛
 - پ. انواع نیروهای مکانیکی وارد شونده به سازه‌ها (نیروهای سطحی یا مرزی و حجمی یا کالبدی)؛
 - ت. محدودیتهای مهندسی در طراحی سازه‌ها، برای مثال، برای افزایش مزیت مکانیکی دستگاه که نمی‌توان اهرم را با هر طولی ساخت. در این ارتباط به ادعای مشهور هرون اسکندرانی [که به غلط به ارشمیدس منسوب شده است] مبنی بر اینکه اگر اهرمی و نقطه اتکایی بدهید، من زمین را جا به جا می‌کنم، می‌توان اشاره کرد و اینکه ابن سینا با توجه به مقاومت اهرمها به این نکته واقف بوده است؛
 - ث. مفهوم اجسام صلب و شکل پذیر؛
 - ج. مفهوم گرانیگاه (مرکز ثقل) و نحوه تعیین آن درمیله‌ها و اهرمهای ساده و مرکب؛
- و مفاهیم و کمیتهای متعدد دیگر.

در انتها شایان ذکر است که نمونه انتخاب شده برای دروس استاتیک، مقاومت مصالح و با تعمیمهای مناسب، بخشی از درس طراحی اجزای ماشین قابل استفاده است. علاوه بر این، باید تأکید کرد که تمام مفاهیم، اصول و قوانین مذکور در بندهای یاد شده را با نمونه‌ها و مثالهای جدید نیز می‌توان توضیح داد. اما، این روش فاقد بخشی از مزیت‌هایی است که به آنها اشاره شد.

۵. تمرینها

به کمک نمونه اهرمهای ابن سینا می‌توان طیف وسیعی از مثالها، تمرینها و مسائل متنوع را از ساده تا پیشرفته طراحی کرد. در زیر نمونه‌هایی از این تمرینها و مسائل طرح شده است که غالب آنها به همین صورت مستقیماً قابل استفاده در کلاسهای درس است. تأکید می‌شود که تمرینهای زیر فقط نمونه‌هایی از مسائلی هستند که می‌توان با استفاده از متون علمی قدیم مسائل علمی جدید را طرح کرد.

تمرین ۱- انواع مختلف اهرم را رسم کنید. نمونه‌های کاربردی از هر اهرم را که در اطراف خود مشاهده می‌کنید، نام ببرید.

تمرین ۲- نشان دهید که راندمان اهرم ابن سینا با توصیف انجام شده، یک است.

تمرین ۳- چرا لنگر خمشی حول نقطه تکیه گاهی اهرم باید صفر باشد؟

تمرین ۴- در دستگاه (سیستم) اهرم ساده ابن سینا، چرا باید مقدار انرژی پایسته (پایا) یا ثابت باقی‌ماند و تغییری نکند؟

۱۰۶ مثالهای کاربردی از کتاب معیارالعقول برای استفاده در کلاسهای درس رشته مهندسی مکانیک

تمرین ۵- رابطه (۱) را با استفاده از روشهایی غیر از آنچه در این مقاله بیان شده است، استخراج کنید.

تمرین ۶- آیا در عمل حدی برای l_2/l_1 وجود دارد؟ به عبارت دیگر، آیا نقطه تکیه‌گاهی می‌تواند تقریباً چسبیده به نقطه اثر نیروی مقاوم باشد، چرا؟ (توجه شود که در رابطه (۱) چنانچه l_2 به سمت صفر میل کند، مقدار نیروی محرک نیز به سمت صفر میل می‌کند).

تمرین ۷- با توجه به شکل (۲) هنگامی که وزنه R در اثر اعمال نیروی F بلند می‌شود، چه نیرویی به تکیه‌گاه وارد می‌شود؟

تمرین ۸ - صحت ادعای ارشمیدس [یا هرون] را از نظر علمی (نظری) و عملی مورد بررسی قرار دهید.

تمرین ۹- اصل پایستگی یا بقای انرژی را برای اهرمهای ساده و مرکب ابن سینا به کار گیرید.

تمرین ۱۰- اصل کار مجازی را برای اهرمهای ساده و مرکب ابن سینا بنویسید.

تمرین ۱۱- ابزارهایی مانند بیل^۱، موچین، دربازکن بطریها، جاروب، فندق شکن، پارو، درب، قیچی، دیلم و انبردست^۲ (اهرم مضاعف)، کدام نوع اهرم اند؟ چرا؟

تمرین ۱۲- با مراجعه به شکل ۳، اگر نیروی محرک F با سرعت V_1 به طرف پایین حرکت کند، بار R با چه سرعتی به طرف بالا حرکت خواهد کرد؟ سرعت زاویه‌ای اهرم چقدر خواهد بود؟

تمرین ۱۳- به اهرم ابن سینا (شکل ۱)، نیروهای F_1 و F_2 و F_3 به ترتیب به فواصل $\frac{l}{5}$ ، $\frac{2l}{5}$

و $\frac{3l}{5}$ از لبه A و نیروی R به انتهای B وارد می‌شود (شکل ۸)، (الف)، اگر نقطه تکیه‌گاهی O به

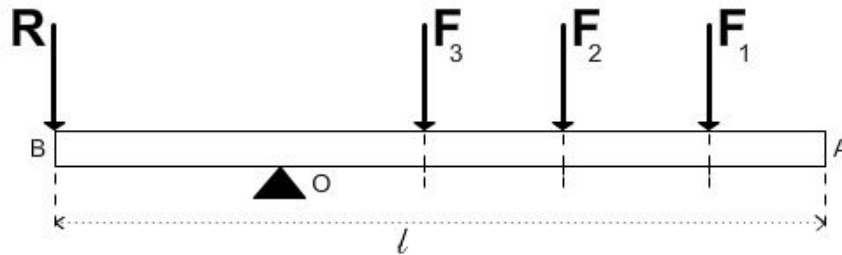
فاصله $\frac{4l}{5}$ از A واقع شده باشد، نیروی وارد شده به تکیه‌گاه را محاسبه کنید؛ (ب) اگر من $R=5$ ،

و تکیه‌گاه به فاصله $\frac{4l}{5}$ از A باشد، برای تعادل اهرم، مقادیر F_1 و F_2 و F_3 را به دست آورید؛

(پ) اگر من $F_1 = 0/5$ ، من $F_2 = 1$ و من $F_3 = 1/5$ و من $R=5$ ، برای حفظ تعادل اهرم، نقطه تکیه‌گاهی باید در چه موقعیتی باشد؟

1. Shovel

2. Plier



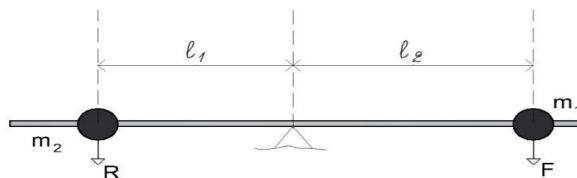
شکل ۸: اهرم ساده در معرض بار مرکب

تمرین ۱۴- نیروی داخلی القا شده (تنش) حداکثر را برای اهرم ساده ابن سینا برای سه مقطع دایروی، مربع و مستطیلی محاسبه کنید. جنس اهرم را می‌توان چوب یا فولاد معمولی در نظر گرفت. تمرین ۱۵- قیچی آهن بر ماشین دیگری است که از اهرم مرکب تشکیل شده است. اهرمهای متعدد به کار رفته در این قیچی را مشخص کنید. رابطه بین نیروی وارد شونده به دسته و نیروی برشی وارد شونده به قطعه (نیروی مقاوم) را بیابید. چه نیرویی به لولاها وارد می‌شود؟

تمرین ۱۶- در اهرمهای مختلف، سازکار انتقال نیروهای F و R به نقطه تکیه‌گاهی چیست؟ تمرین ۱۷- نمودار توزیع نیروی برشی و ممان خمشی را در اهرمهای ساده و مرکب ابن سینا رسم کنید.

تمرین ۱۸- فرض کنید که در فضایی بودید که گرانش صفر بود و در نتیجه، تمام اجسام بدون وزن بودند. استفاده از اهرم چه وضعیتی را پیدا می‌کرد؟ آیا قاعده ریاضی اهرمها کماکان معتبر بود؟ چرا؟ تمرین ۱۹- در اهرم مرکب ابن سینا نیروی محرک چقدر (چند ژول) کار انجام می‌دهد؟ انرژی پتانسیل بار مقاوم چقدر افزایش می‌یابد؟

تمرین ۲۰- می‌دانیم که مرکز ثقل یا گرانیگاه یک اهرم (یا میله) نقطه‌ای است که اگر بر آن نقطه تکیه کند، در تعادل خواهد بود و به صورت افقی قرار خواهد گرفت. نشان دهید که (الف) گرانیگاه دستگاهی با دو جرم نقطه‌ای، روی خط راستی است که آن دو جرم را به یکدیگر می‌پیوندد؛ (ب) فاصله گرانیگاه از نقاط جرمی در تناسب واژگونه (معکوس) با وزن و بنابراین، با جرم آنهاست. (شکل ۹)



شکل ۹: گرانیگاه یک اهرم ساده

تمرین ۲۱- چنانچه میله‌ای به طول l و وزن W داشته باشیم، گرانیگاه آن را با این فرض محاسبه کنید که میله از n نقطه جرمی که وزن هر کدام W_i است، تشکیل شده است (شکل ۱۰ را ببینید). اکنون با توجه به شکل ۱۰ نشان دهید که:

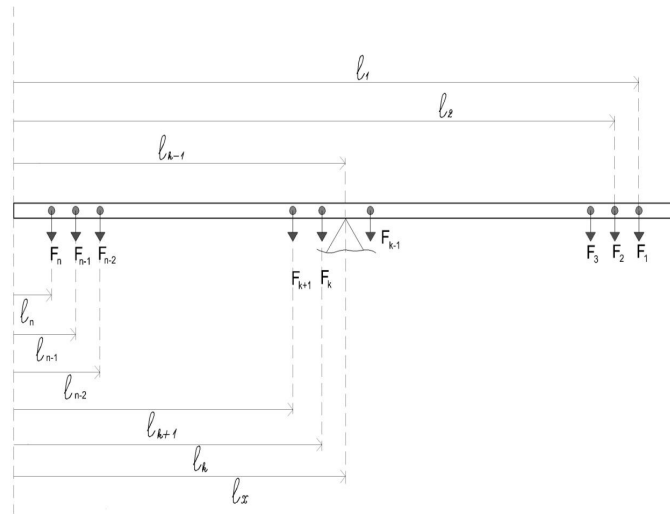
(۱۱)

$$x = \frac{F_1 l_1 + F_2 l_2 + \dots + F_{n-1} l_{n-1} + F_n l_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_{n-1} + F_n}$$

(ب) اگر سنگینی وزنه‌ها را $(F_1 = 1, F_2 = 2, \dots, F_n = n)$ بپنداریم و فواصل آنها را

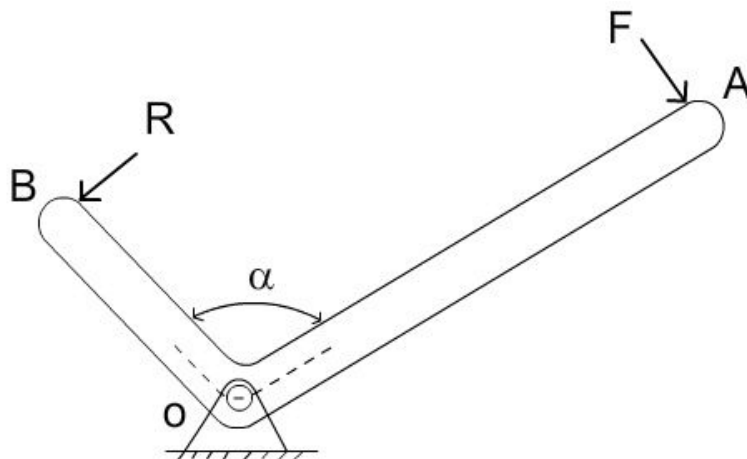
به صورت $(l_1 = 1, l_2 = 2, \dots, l_n = n)$ در نظر بگیریم، رابطه بالا به چه صورتی

درمی‌آید؟ آن را تا حد امکان ساده کنید.



شکل ۱۰: میله ای مرکب از n جزء

تمرین ۲۲- فرض کنید که اهرم ساده ابن سینا به صورت میله خمیده یکپارچه‌ای است که زاویه بین دو بازوی محرک و مقاوم α است. با توجه به شکل ۱۱ نیروی محرک F را برای بار مقاوم 5 من (R) محاسبه کنید. زاویه α را برای مزیت مکانیکی حداکثر به دست آورید. نیروی وارد شونده بر تکیه‌گاه و جهت آن را محاسبه کنید.



شکل ۱۱: اهرم ساده خمیده

تمرین ۲۳- (الف) اگر وزن کره زمین حدود $5/5 \times 10^{25} \text{ N}$ باشد، اهرم ارشمیدس [یا هرون] را که با نیروی 200 N بتوان زمین را بلند کرد، طراحی کنید. (ب) اگر نقطه تکیه‌گاهی به فاصله 2 m از جرم زمین باشد، فاصله تکیه‌گاه تا محل اعمال نیروی محرک چقدر خواهد بود؟ در خصوص امکان پذیری مهندسی مسئله بحث کنید.

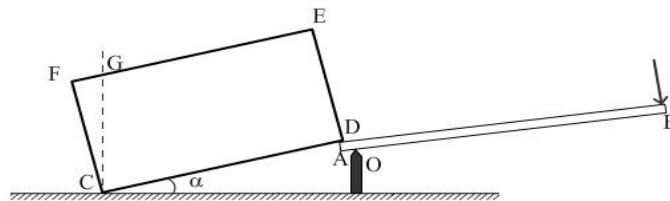
تمرین ۲۴- (الف) اهرم شکل ۱۲ را در نظر بگیرید. در این حالت بخشی از بار روی زمین قرار گرفته و بخشی به لبه A اهرم تکیه داده است. فرض کنید که وزن بار 5 m و طول بازوی محرک 5 برابر طول بازوی مقاوم باشد (اهرم ساده ابن سینا). نیروی مورد نیاز را برای اینکه بار زاویه α با افق بسازد، محاسبه کنید.

(ب) اگر به جای اهرم ساده اهرم مرکب ابن سینا به کار گرفته شود و بار مقاوم 10000 m باشد، برای حالت فوق نیروی F را محاسبه کنید.

(پ) فرض کنید که از نقطه C خطی عمود بر افق رسم شود تا EF را در G قطع کند. اکنون فرض شود که زاویه α چنان باشد که خط CG جسم CDEF را به دو نیمه کاملاً مساوی تقسیم کند. در این حالت نیروی F چقدر خواهد بود و چرا؟

(ت) رابطه‌ای بین نیروی F و زاویه α را به دست آورید (α از صفر تا مقدار معینی افزایش می‌یابد). نمودار $F - \alpha$ را رسم کنید.

(ث) آیا با استفاده از استدلال بند (پ) می‌توان به شیوه دیگری قانون اهرمها را استخراج کرد؟ چرا؟



شکل ۱۲: بلند کردن باری که بخشی از آن به زمین تکیه کرده است

۶. نتیجه گیری

همان‌گونه که در این مقاله نشان داده شد، با استفاده از متون علمی دانشمندان تمدن ایران و اسلام می‌توان به توصیف، تشریح و تفهیم بخشی از مفاهیم علمی جدید مبادرت ورزید. علاوه بر این، همان‌گونه که نشان داده شد، به کمک مثالها و نمونه‌های قدیم می‌توان به طرح تمرینها و مسائل مختلف با سطوح پیچیدگی متفاوت پرداخت.

هر چند که تمرکز اصلی بر مباحث مهندسی مکانیک بود، ولی برای مثال، با استفاده از کتاب کرجی در حوزه مهندسی عمران [۳] و کتاب الحیل بنوموسی در حوزه کنترل مکانیکی [۴] و نظایر آن، می‌توان به شیوه مشابه اقدام کرد.

تشکر و قدردانی:

از آقای مهندس ستاری که ساخت اهرم مرکب را بر عهده داشته‌اند، تشکر می‌شود. از آقای مهندس صالح و همکاران که ترسیم کامپیوتری شکلها را تقبل کرده‌اند، قدردانی می‌شود.

مراجع

۱. معیار العقول، منسوب به ابوعلی سینا، مقابله و حواشی و مقدمه از جلال الدین همایی، ۱۳۳۱.
۲. رحیمی، غلامحسین، ماشینهای ساده و مرکب در معیار العقول، موزه علوم و فناوری، تهران: خردادماه ۱۳۸۹.
۳. آتایلا بیر، کتاب الحیل از منظر مهندسی کنترل، ترجمه غلامحسین رحیمی، پژوهشگاه علوم انسانی، تهران: آبان ماه ۱۳۸۹.
۴. رحیمی، غلامحسین، ترازهای کرجی، کتابخانه ملی ایران، دی ماه ۱۳۸۹.