مجله آموزش مهندسی ایران، شماره ۲، جلد ۱، ص. ۵۳-۳۵

# کاربرد رایانه‌ها در آموزش مهندسی عمران

**علی کاوه**

**استاد دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران**

**و عضو پیوسته گروه علوم مهندسی فرهنگستان علوم**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## چکیده :

در این مقاله نقش رایانه‌ها در آموزش مهندسی بررسی شده، مزایا و معایب آنها مورد نقد قرار گرفته و برنامهٔ رایانه‌ای MATHCAD به عنوان یک نمونهٔ موفق مطرح شده است. این برنامهٔ یک ابزار سطح بالای محاسباتی و نمایشی است که در عین داشتن تواناییهای فراوان از سادگی کاربرد و جذابیت لازم برای کاربر، سود می‌برد. بعلاوه دارای قابلیت چشمگیر به عنوان یک وسیلهٔ تمرینی و کمک‌آموزشی است. این نوشتار چگونگی کاربرد این نرم‌افزار را برای تکمیل و پیشبرد روشهای کلاسیک آموزشی و یادگیری، در داخل و خارج از کلاس درس نشان می‌دهد. تمرکز اصلی مطالب روی طراحی ستونهای بتنی مسلح خواهد بود. با استفاده از قابلیتهای نمایشی و برنامه‌نویسی موجود در MATHCAD ابزارهایی برای آموزش و فراگیری طراحی بتن مسلح عرضه شده است که امکان ارتباط مستقیم و دو طرفه را برای کاربر فراهم می‌آورد.

## ۱. مقدمه

تعلیم و تربیت مهندسان عمران عموماً شامل تدریس، حل تمرین، و تجربیات آزمایشگاهی، کارگاهی و صحرایی است و موفقیت آنها به اندازه قابل توجهی به برقراری ارتباط بین استاد و دانشجو بستگی دارد. اثرگذاری این ارتباط به طور کامل توجیه‌پذیر است و بهبود بخشیدن به نوع و میزان تأثیرات این ارتباط امری مشکل می‌باشد.

متأسفانه برای برقراری ارتباط میان استادان و دانشجویان، امکانات مالی کمی در اختیار است، زیرا تعداد دانشجویان علاقمند به تحصیلات عالی همواره در حال افزایش است. بنابراین، بعضی از کارشناسان موافق انعطاف‌پذیری بیشتری در امر آموزش هستند و این مسئله ممکن است باعث انتقال قسمت‌هایی از آموزش به خارج از دانشگاه یا محل کار شود.

هر گونه تغییر که صورت پذیرد، قدرت رو به افزایش و هزینه‌های رو به کاهش تکنولوژی آموزش به کمک رایانه‌ها را به صورت جزء غیرقابل انکار درمی‌آورد.

امروزه در ممالک پیشرفته امکانات فراوانی در جهت اختصاص منابع به تکنولوژیهای جدید آموزشی به کار گرفته می‌شود. برای استفاده مؤثر از این سرمایه گذاری، استادان، کارفرمایان و دانشجویان باید آگاهیهای لازم را در باره منافع و زیانهای این تکنولوژیها داشته باشند. نحوهٔ اعتلای آموزش و تکنولوژیهای در دسترس و چگونگی استفادهٔ بهینه از آنها امری ضروری است.

با توجه به گسترش سریع علوم و فنون، ابزار لازم برای آموزش نیز الزاماً تغییر می‌کند. پیشرفتهای سریع در زمینه‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ها ابزار مؤثری را برای آموزش و یادگیری در اختیار قرار می‌دهد.

در زمینهٔ مهندسی عمران و بخصوص مهندسی سازه، رایانه‌ها و نرم‌افزارهای تهیه شده در آموزش مهندسی به صورت مؤثر به کار گرفته می‌شوند. این نرم‌افزارها امکان کسب تجربه طراحی را بسادگی ممکن می‌سازند. زمانی یک دانش‌آموخته، می‌بایست سالیان متمادی در بخش طراحی، کار می‌کرد و تجربه کسب می‌نمود تا موفق به طراحی بهینه سازه‌ها می‌شد، در حالی که امروزه با برنامه‌های طراحی هر دانشجو می‌تواند در مدتی بسیار کوتاه، مطالعات پارامتریک مؤثر انجام دهد و طراحی مقاطع با بارگذاریها و ابعاد مختلف را در پشت رایانهٔ خود تجربه کند. برنامه‌های طراحی بهینه نیز ارائه تناسب به اجزای سازه را بدون داشتن تجربه طولانی برای وی ممکن می‌سازد.

در این نوشتار یکی از این برنامه‌های رایانه‌ای تحت عنوان MATHCAD که در انستیتوی Mathsoft تهیه شده و در دانشگاههای مختلف تجربه شده است، مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نوشتار بر مبنای مقاله‌ای از انصاری و سنوسی [۱] تهیه و تنظیم شده است.

برنامهٔ MATHCAD یک محیط مؤثر برای یادگیری موضوعات فنی از قبیل طراحی بتن مسلح است و تواناییهای نمایشی و محاسباتی آن، نه تنها از عهدهٔ حل مسائلی که پایهٔ ریاضی دارند برمی‌آید، بلکه باعث ایجاد ارتباط مؤثر بین سؤال و جواب می‌شود. این نرم‌افزار دارای امکانات قوی برای عرضهٔ مطالب مورد نظر از قبیل کاربرد نمودارها، ارائه کارهای گرافیکی و جلوه‌های متحرک‌سازی است. بعلاوه به راحتی می‌تواند مطالبی مثل تصاویر و عکسهای دیجیتال را از برنامه‌های کاربردی دریافت کند. این قابلیتها باعث بهبود کیفیت نحوه یادگیری دانشجویان رشته‌های فنی می‌شود.

این نرم‌افزار استراتژی‌های یادگیری جدیدی را به دانشجویان و استادان ارائه می‌کند. مسائلی نظیر ایجاد تغییرات و بررسی نتایج، تحلیل روند یک فرایند، روشهای آزمون و خطا و بهینه‌سازی از جمله فعالیتهای آموزشی با ارزشی هستند که در صورت استفاده از روشهای سنتی حل مسائل فنی، به صرف وقت بسیار زیادی احتیاج دارند. در حالی که با بهره‌گیری از برتری قدرت محاسباتی و سرعت بالای MATHCAD، آموزش‌دهندگان و دانشجویان می‌توانند بسرعت مراحل مختلف رسیدن به جواب را طی کنند و روند طراحی اجزای بتن مسلح را مشاهده نمایند.

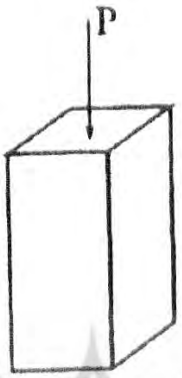
این مقاله، نحوهٔ استفاده از این نرم‌افزار را به عنوان یک ابزار آموزشی و یادگیری در دوره‌های طراحی بتن مسلح تشریح می‌کند و با توضیح مراحل یک برنامهٔ طراحی ستونهای بتن مسلح، قالب جذاب این نرم‌افزار محاسباتی را نشان می‌دهد و اهمیت آن را به عنوان یک وسیلهٔ کمک‌آموزشی برای دانشجویان مهندسی سازه روشن می‌سازد.

## ۲. کلیات طراحی یک ستون بتنی

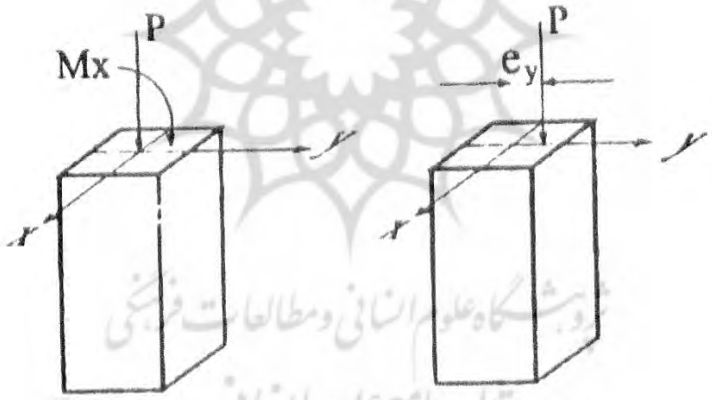
ستونها اعضای قائم فشاری هستند که بار را از طبقات بالایی به سطوح پایین‌تر و نهایتاً از طریق شالوده به زمین منتقل می‌کنند. بسته به چگونگی نحوهٔ تأثیر بار روی سطح مقطع عضو، ستونها به دو نوع بارگذاری، با یا بدون برون‌محوری، تقسیم‌بندی می‌شوند (شکل‌های ۱ و ۲).

ستونهای دارای برون‌محوری بار، علاوه بر نیروی محوری در معرض لنگر خمشی تیر نیز قرار

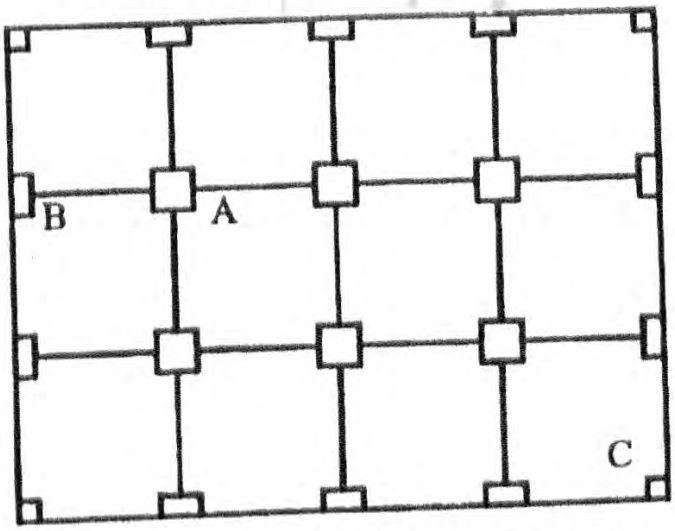
می‌گیرند. این لنگر را می‌توان به صورت یک بار محوری P که با برون‌محوری e به عضو وارد می‌شود، مدل نمود. لنگر وارده می‌تواند تک‌محوره باشد، مثل زمانی که دو دهانه مجاور با شدتهای متفاوتی بارگذاری می‌شوند (ستونهای A و B از شکل ۳) و ستون در معرض لنگر دومحوره خواهد بود اگر مثل وضعیت ستون گوشهٔ C در شکل (۳) لنگر حول هر دو محور X و Y به مقطع وارد شود.




شکل ۱ ستون با بارگذاری محوری




شکل ۲ ستون با بارگذاری برون‌محوری




شکل ۳ ستونها با بارگذاری یک‌محوره و دومحوره

مقاومت ستون بتن مسلح با استفاده از اصول زیر تعیین می‌شود:

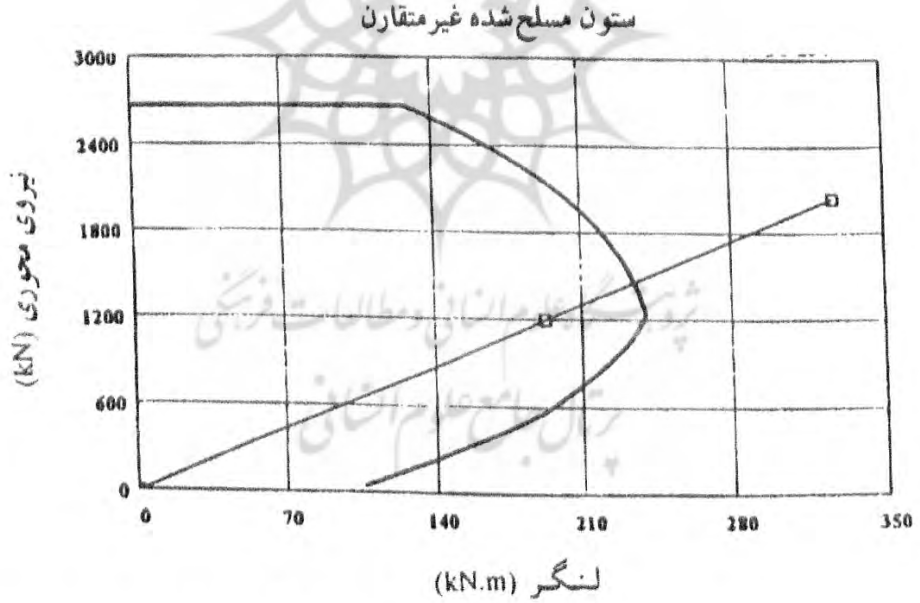
۱. توزیع کرنش در عرض سطح مقطع ستون، خطی در نظر گرفته می‌شود.

۲. هیچ‌گونه لغزشی بین بتن و فولاد شکل نمی‌گیرد.

۳. برای تعیین مقاومت عضو، کرنش بتن در آستانهٔ انهدام برابر با ۰/۰۰۳ فرض می‌شود.

۴. مقاومت کششی بتن قابل صرف‌نظر کردن است و در نظر گرفته نمی‌شود.

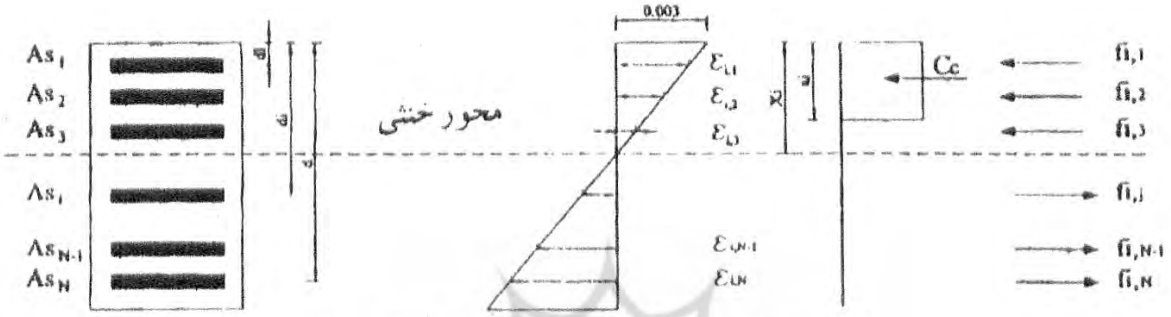
ظرفیت ستون بتن مسلح معمولاً با استفاده از نمودارهای تداخلی (دیاگرام‌های اندرکنش) که بار محوری طراحی $\phi P_n$ را به لنگر خمشی طراحی $\phi M_n$ مربوط می‌کنند، تعیین می‌شود. در شکل (۴) هر نقطه نمودار نمایشگر یک ترکیب از بار محوری $\phi P_n$ و لنگر خمشی $\phi M_n$، متناظر با وضعیتی خاص از محور خنثی است. این نمودار تداخلی توسط نقطهٔ شرایط متعادل (B) به دو ناحیه کنترل کشش و کنترل فشار تقسیم‌بندی می‌شود. شرایط متعادل وقتی رخ می‌دهد که انهدام کششی (تسلیم فولاد) همزمان با شکست فشاری (خرد شدن بتن) اتفاق بیفتد.




شکل ۴ نمودار تداخلی $\phi P_u - \phi M_u$ برای ستون.

طراحی ستون بتنی با روشهای سنتی و به صورت دستی معمولاً با انجام‌دادن دو سری محاسبات صورت می‌گیرد. در اولین مرحله باید موقعیت نقطه $(P_u, M_u)$ که متناظر با لنگر و بار محوری ضریبدار است، نسبت به نمودار تداخلی $\phi P_n - \phi M_n$ مشخص شود و معلوم گردد که آن نقطه، داخل، خارج یا روی نمودار قرار می‌گیرد. اگر نقطه $(P_u, M_u)$ خارج از نمودار واقع شود،

مقاومت ستون ناکافی است و از سوی دیگر هر چه نقطه $(P_u,M_u)$ به نمودار نزدیکتر باشد، طرح اقتصادی‌تر خواهد بود. مرحله دوم شامل تعیین بار محوری مقاوم و لنگر مقاوم خمشی طراحی $(\phi P_n, \phi M_n)$ متناظر با برون‌محوری بار نهایی، $e_u$، می‌باشد. اگر مقادیر محاسبه شدهٔ $(\phi P_n,\phi M_n)$ به ترتیب برابر یا بیش از مقادیر $(P_u,M_u)$ باشند، مقاومت ستون کافی است. جزئیات بیشتر در مورد طراحی ستون بتن مسلح را می‌توان در مراجع ۳ تا ۶ ملاحظه کرد.




شکل ۵ تنش و کرنش برای یک ستون بتن مسلح

## ۳. برنامه‌ای MATHCAD برای طراحی بتن مسلح

این برنامه برای تغییر روش طراحی ستونهای بتن مسلح از صورت دستی به حالت خودکار نوشته شده است. برنامه فوق که بخوبی با فرایند طراحی دستی قابل رقابت است، از مراحل محاسباتی زیر تشکیل شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**گام اول:**

اولین گام با خواندن اطلاعات ورودی زیر آغاز می‌شود، شکل (۵):

۱. تعداد لایه‌های فولاد که با NSL نشان داده می‌شود.

۲. مساحت فولاد در هر لایه، $As_j$, $j=1, ..., NSL$.

۳. فاصله هر لایه تا تار فوقانی مقطع، $d_j$, $j=1, ..., NSL$.

۴. ابعاد b و h برای مقطع.

۵. حدجاری شدن فولاد $(f_y)$، مقاومت فشاری نهایی بتن $(f'_c)$ و مدول ارتجاعی فولاد $(E_s)$.

۶. بار محوری و لنگر خمشی ضریبدار $(P_u, M_u)$.

۷. در صورتی که لنگر خمشی ضریبدار $M_u$ از لنگر خمشی حداقل $M_{min}$ کمتر باشد، $M_u$ برابر با

$M_{min}$ در نظر گرفته می‌شود؛

$$M_{min} = ۰/۱hP_u \qquad (۱)$$

**گام دوم:**

در این مرحله مرکز پلاستیک $Y_p$، درصد فولاد $\rho$ و پارامتر $\beta$ محاسبه می‌شوند.

مختصات مرکز پلاستیک مقطع از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$Y_p = \frac{\sum_{j=۱}^{NSL} As_j\, f_y\, d_j + ۰/۸۵f'_c\, b\, \frac{h^۲}{۲}}{\sum_{j=۱}^{NSL} As_j\, f_y + ۰/۸۵f'_c\, bh} \qquad (۲)$$

و درصد فولاد نیز، $\rho$، از رابطهٔ (۳) به دست می‌آید:

$$\rho = \frac{\sum_{j=۱}^{NSL} As_j}{bd} \qquad (۳)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

و بالاخره رابطه (۴) پارامتر $\beta$ را نتیجه می‌دهد.

$$\beta = ۰/۸۵ - ۰/۰۵\,\frac{f'_c - ۲۷/۶}{۶/۸۹۵} \qquad (۴)$$

$f'_c$ بر حسب مگاپاسکال (MPa) در رابطه قرار می‌گیرد.

**گام سوم:**

فرایند تکرار با انتخاب موقعیت اولیه تار خنثی $X_i$ آغاز می‌گردد:

$(X_i = i + d_1, i=0)$

سپس متغیر $a_i$ (ارتفاع هستهٔ فشاری) با استفاده از رابطهٔ (۵) محاسبه می‌شود،

$$a_i = \beta X_i \qquad (۵)$$

گام چهارم:

کرنش $\varepsilon_{i,j}$ هر یک از لایه‌های فولادی با استفاده از توزیع خطی کرنش‌ها محاسبه می‌شود تا از سازگاری کرنشها اطمینان حاصل شود، شکل (۵). کرنش $\varepsilon_{i,j}$ با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\varepsilon_{i,j} = 0/003 \frac{X_i - d_j}{X_i} \qquad (۶)$$

از سوی دیگر تنش هر یک از لایه‌های فولاد توسط رابطهٔ (۷) تعیین می‌شود:

$$f_{i,j} = E_s \varepsilon_{i,j} \qquad (۷)$$

که این تنش محاسبه شده $f_{i,j}$ باید کمتر یا مساوی با تنش تسلیم فولاد $f_y$ باشد.

با استفاده از تعادل نیرو و لنگرهای داخلی، بار محوری و لنگر خمشی طراحی برای مقطع، $\phi P_{ni}$ و $\phi M_{ni}$، به ترتیب از روابط (۸) و (۹) محاسبه می‌شوند:

$$\phi P_{ni} = 0/7\left(0/85 f'_c\, a_i b + \sum_{j=1}^{NSL} As_j\, f_{i,j}\right) \qquad (۸)$$

$$\phi M_{ni} = \phi P_{ni} e = 0/7\left(0/85 f'_c\, a_i b\left(Y_p - \frac{a_i}{2}\right) + \sum_{j=1}^{NSL} As_j\, F_{i,j}(Y_p - d_j)\right) \qquad (۹)$$

برون‌محوری بار $e_i$ از رابطه (۱۰) نتیجه می‌شود:

$$e_i = \frac{\phi M_{ni}}{\phi P_{ni}} \qquad (۱۰)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقادیر $\phi P_{ni}$ و $\phi M_{ni}$ نشانگر موقعیت یک نقطه از نمودار تداخلی ستون است.

**گام پنجم :**

شاخص تکرار i یک واحد افزایش می‌یابد و سپس گام‌های ۳ تا ۵ تا رسیدن مقدار i به حد تعیین‌شده یعنی h تکرار می‌شود.

**گام ششم :**

در خاتمه فرایند محاسباتی، لنگر خمشی طراحی برابر با صفر قرار داده می‌شود و بارهای محوری طراحی $\phi P_{n(N-1)}$ و $\phi P_{n(N)}$ از رابطه زیر به دست می‌آیند:

$$\phi P_{n(N)} = \phi P_{n(N-1)} = 0/8\left(0/85 f'_c\, hb + \sum_{j=1}^{NSL} As_j\, f_y\right) \qquad (11)$$

مقادیر فوق مربوط به ستونهای فاقد برون‌محوری یعنی $(e_n, \phi M_n = 0)$ است. تا این مرحله نمودار تداخلی ستون کامل شده است.

مراحل بعدی یعنی گام‌های هفت تا نه مربوط به طراحی دستی ستونهای بتنی است؛ به عبارت دیگر، گامهای بعدی مربوط به کنترل کفایت مقاومت مقطع ستونهای بتنی می‌باشد.

**گام هفتم :**

خروج از مرکزیت بار محوری ضریبدار $P_u$ از رابطه (۱۲) بدست می‌آید:

$$e_u = \frac{\phi M_u}{f P_u} \qquad (12)$$

**گام هشتم:**

مقاومت ستون در صورتی کافی است که نقطهٔ متناظر با $P_u$ و $M_u$ در داخل و یا روی نمودار تداخلی $\phi M_u - \phi P_u$ قرار گیرد. بدیهی است که اگر نقطه خارج از محدودهٔ فوق قرار گیرد، ستون جوابگوی بارهای وارده نخواهد بود. از سوی دیگر هرچه نقطه مورد نظر به نمودار تداخلی

بار-لنگر نزدیکتر باشد، طرح اقتصادی‌تر خواهد بود.

گام نهم:

نیروی محوری طراحی و لنگر خمشی طراحی ستون، $\phi P_u$ و $\phi M_u$ که متناظر با برون‌محوری بارهای نهایی یعنی $e_u$ می‌باشند تعیین می‌شود. مقادیر فوق کافی هستند اگر مقادیر بار محوری طراحی و لنگر طراحی ستون $\phi P_u$ و $\phi M_u$ به ترتیب بیش از مقادیر بارهای ضریبدار یعنی $P_u$ و $M_u$ باشند.

## ۴. روش کلاسیک در قیاس با شیوهٔ اصلاح شده مربوط به MATHCAD

استفاده از روشهای سنتی، معمولاً مستلزم صرف وقت زیاد برای نوشتن حل تشریحی مسئله روی تخته توسط استاد و کپی کردن شتابزدهٔ مطالب توسط دانشجویان در دفترچه‌هایشان است. غالباً مسئله یادگیری در کلاس محلی از اعراب ندارد و استاد و دانشجو بیشتر وقت خود را به رونویسی مطالب می‌گذرانند. این نوع کار کلاسی موجب جلوگیری از تفکر نقادانه می‌شود و دانشجو و استاد را از تبادل افکار و استفاده از نظرات یکدیگر در مورد مسئله باز می‌دارد. روش آموزشی را که کاربرد MATHCAD به آن افزوده شده است، می‌توان با موفقیت در دوره‌های طراحی بتن به کار برد. شکل (۶) یک برنامه در محیط نرم‌افزار MATHCAD را نشان می‌دهد که برای طراحی ستونهای بتن مسلح تهیه شده است.

این برنامه را می‌توان در یک کلاس مجهز به امکانات لازم، به طور مستقیم از رایانهٔ استاد روی یک پرده بزرگ منعکس کرد. در برنامه از آرایشهای متنوعی مثل قلمها، رنگها، الگوها و مرزبندیهای گوناگون استفاده شده است. خوانا بودن مطالب، غیرقابل قیاس با شیوهٔ دستی نوشتن متن روی تخته کلاس می‌باشد. وقتی معادلات روی تخته سیاه یا یک کتاب مرجع نوشته می‌شوند، همگی مشابه هم به نظر می‌رسند. برای آزاد کردن فکر دانشجو از رونویسی مطالب به آنها یک نسخه کامپیوتری از مطالب داده می‌شود، بعلاوه برای مرور و تمرین مسائل یک کپی از برنامه MATHCAD به دانشجویان داده می‌شود. نقشه‌ها به وسیلهٔ ثبت ابعاد و توضیحات حاشیه‌نویسی شده‌اند. با کاربرد انواع مختلف ترسیم و ایجاد تغییرات در شاخصهای رنگ، الگو و کیفیت خطوط، تصاویر بسیار واضحی برای نمایش محاسبات به دست آمده است.

**گام اول:**

تعداد تکرارها، $N: = h$

لنگر خمشی حداقل ستون، $Mmini: = \frac{۰/۱ \, h \, P_u}{۱۰۰۰}$

مرکز پلاستیک $Y_p: = \frac{\sum_j As_j \cdot f_y \cdot f_j + ۰/۸۵ f'c \cdot b \cdot \frac{h^۲}{۲}}{\sum_j As_j \cdot f_y \cdot f_j + ۰/۸۵ f'c \cdot b \cdot h}$

$y: = if\left(Y_p \neq \frac{h}{۲} , Y_p , \frac{h}{۲}\right)$

درصد فولاد مورد نیاز $\rho: = \frac{\sum_j As_j}{b \cdot h}$

**گام دوم:**

شروع عملیات تکرار، $i: = ۰ \ldots N$

محل تار خنثی، $X_i: = i + d_1$

محاسبهٔ $\beta$ به صورت تابعی از $f'_c$، $\beta: = ۰/۸۵ - ۰/۰۵ \frac{f'_c - ۲۷/۶}{۶/۸۹۵}$

حداکثر $\beta$ برابر با ۰/۸۵، $\beta: = if(\beta > ۰/۸۵ , ۰/۸۵ , \beta)$

عمق هسته فشاری $a_i: = \beta \cdot X_i$

**گام سوم:**

کرنش در $j$ امین لایه فولاد، $\varepsilon_{i,j}: = ۰/۰۰۳\left(\frac{X_i - d_i}{X_i}\right)$

شکل ۶ برنامه MATCAD

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تنش در j امین لایه فولاد، $f_{i,j} := E \cdot \varepsilon_{i,j}$

تنش در لایه فولاد حداکثر برابر با تنش تسلیم، $f_{i,j} := \text{if}\left(f_y < E \cdot |\varepsilon_{i,j}|, \frac{|\varepsilon_{i,j}|}{\varepsilon_{i,j}} \cdot f_y, f_{i,j}\right)$

ضریب کاهش مقاومت برای ستون فشاری، $\phi := ۰/۷$

ظرفیت اسمی محوری ستون، $\phi P_i := \frac{۰/۷}{۱۰۰۰}\left[(۰/۸۵ f'_c\, a_i\, b) + \left(\sum_{j=۱}^{Nsl} As_j\, f_{i,j}\right)\right]$

ظرفیت خمشی، $\phi M_i := \frac{۰/۷}{۱۰^۶}\left[\left[(۰/۸۵ f'_c\, a_i\, b)(y - \frac{a_i}{۲}) + \sum_{j=۱}^{Nsl} As_j\, f_{i,j}(y - d_j)\right]\right]$

نادیده گرفتن مقادیر منفی $fM_i$ و $fP_i$، $\phi M_i := \text{if}(\phi M_i < ۰, ۰, \phi M_i)$

$\phi P_i := \text{if}(\phi P_i < ۰, ۰, \phi P_i)$

برون‌محوری بار، $e_i := \left|\frac{\phi M_i}{\phi P_i + ۰/۰۰۰۱}\right|$

**گام چهارم:**

مراحل ۲ تا ۳ را تا رسیدن مقدار $N=۲$ ادامه دهید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**گام پنجم:**

آخرین نقطه در نمودار تداخلی $\phi M - \phi P$، $\phi M_N := ۰$ $\phi M_N := ۰$

$\phi P_{N-۱} := ۰/۸ \frac{۰/۷}{۱۰۰۰}(f'_c\, b\, h\, ۰/۸۵ + (\sum As\, fy))$

$\phi P_N$ و $\phi P_{N-۱}$ روی قسمت افقی نمودار $\phi M - \phi P$ قرار می‌گیرند، $\phi P_N := \phi P_{N-۱}$

$\phi P_N$ برابر است با بیشینه مقدار $\phi P_i$ $\text{sort}(\phi P)\ \phi P_i > \phi P_N, \phi P_i$

ادامه شکل ۶ برنامه MATCAD

**گام ششم:**

لنگر نهایی همیشه بیش از لنگر اتفاقی است، $M_u := if(M_u < M_{mini}, M_{mini}, M_u)$

برون‌محوری بار خارجی، $e_u := \frac{M_u}{P_u}$

**گام هفتم:**

رسم یک خط متقاطع با نمودار $\phi M - \phi P$ برای کنترل مقاومت ستون

$z := ۰ \ldots ۲$

اولین نقطه به مختصات $(F_۰ , m_۰)$ $\quad F_۰ := ۰ \quad m_۰ := ۰$

دومین نقطه به مختصات $(F_۱ , m_۱)$ $\quad F_۱ := P_u \quad m_۱ := M_u$

سومین نقطه به مختصات $(F_۲ , m_۲)$ $\quad F_۲ := ۱/۷F_۱ \quad m_۲ := \frac{m_۱}{F_۱} F_۲$

مقاومت مورد نظر ستون توسط نقطه $(F_۱ , m_۱)$ تأمین می‌شود. اما برای اینکه ستون قابل قبول باشد، باید دومین نقطه درون نمودار $\phi M - \phi P$ قرار گیرد. هرچه دومین نقطه به نمودار تداخلی نزدیکتر باشد، طرح اقتصادی‌تر خواهد بود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**گام هشتم:**

یک روش دیگر برای کنترل مقاومت ستون: در این روش $\phi P_i$ و $\phi M_i$ متناظر با نزدیکترین برون محوری $e_i$ به مقدار برون‌محوری بارهای نهایی $e_u$ تعیین می‌شود.

مرتب کردن برون‌محورهای موجود، $sort(e)$

یافتن نزدیک‌ترین $e_i$ به $e_u$، $e_u = ۰/۱۶$

$t(e, e_u) :=$
- $j \leftarrow ۰$
- while $e_j \geq e_u$
- $j \leftarrow j + ۱$
- $j$

ادامه شکل ۶ برنامه MATCAD

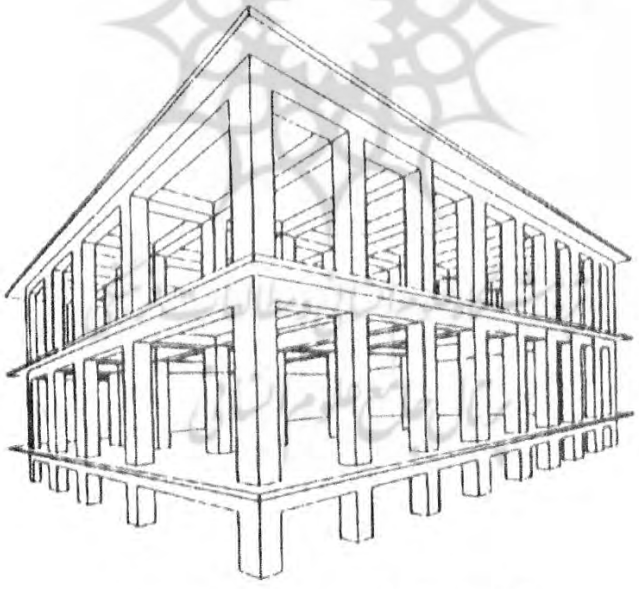
$e_{۱۷۱} = ۰/۱۶$ نزدیک‌ترین برون‌محوری به برون‌محوری نهایی می‌باشد، $t(e, e_u) = ۱۷۱$

مقدار $\phi P_N$ که متناظر با $e_{۱۷۱}$ است، $\phi P_{۱۷۱} = ۱/۲۱۷\times۱۰^{۳}$

مقدار $\phi M_N$ که متناظر با $e_{۱۷۱}$ می‌باشد. $\phi M_{۱۷۱} = ۱۹۴/۰۲۹$

ادامه شکل ۶ برنامه MATCAD

عکسی که در شکل (۷) نشان داده شده، بسادگی دیجیتایز گشته و وارد برنامه شده است. عکسها و تصاویر، منابع غنی اطلاعات تصویری هستند که دانشجو و استاد می‌توانند در کسب آنها سهیم شوند. مناظری از کارگاه یا آزمایشگاه، نگاهی اجمالی به دنیای مهندسی را به کلاس درس منتقل می‌کند. عکسها و اسلایدهای موجود را می‌توان با استفاده از روشهای تبدیلی به صورت قابل استفاده برای رایانه در آورد. می‌توان به کمک دوربینهای مخصوص، عکسهای دیجیتال گرفت و آنها را مستقیماً وارد رایانه کرد.



شکل ۷ تصاویر و عکسهای برنامه

نمودار تداخلی بارهای $\phi P_n - \phi M_n$ که در شکل (۴) نشان داده شده، بسادگی توسط برنامه ایجاد شده است. مثل تمام برنامه‌هایی که اطلاعات ورودی را می‌خوانند، به مجرد ایجاد تغییر در اطلاعات ورودی نتایج عوض شده، نمودار مجدداً رسم می‌شود. اقسام دیگری از نمودارها مثل هیستوگرام نیز قابل ایجاد هستند. همان طور که قبلاً هم ذکر شد، نمودارهای تداخلی بار - لنگر

نقش مهمی را در طراحی ستونهای بتنی دارند. برنامه فوق‌الذکر براحتی امکان تعیین یک طرح بهینه را با تغییر در داده‌های ورودی و مشاهده تأثیرات آن روی نمودار تداخلی، پدید می‌آورد.

روش آموزش کاربر توسط نرم‌افزار MATHCAD دارای مزایایی به شرح زیر است:

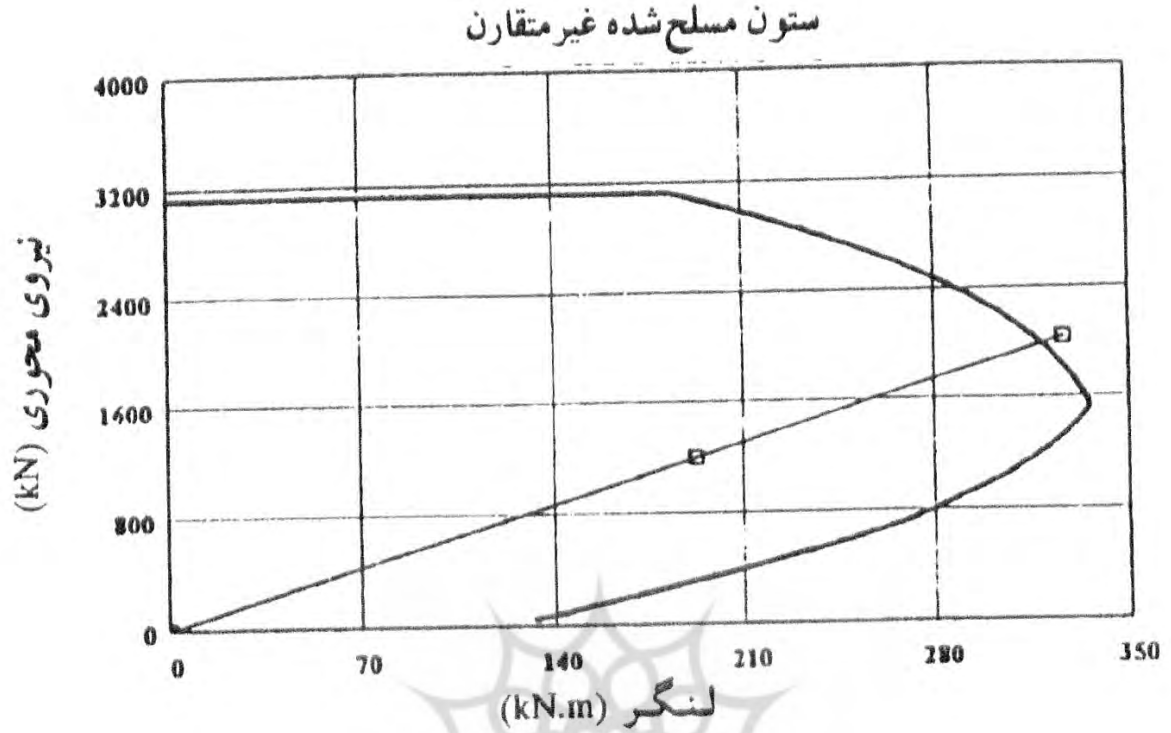
زمانی راکه دانشجو و استاد قبلاً صرف رونویسی خسته کنندهٔ مطالب می‌کردند، می‌توان به بحث در بارهٔ مفاهیم، بررسی راه‌حلهای دیگر، مشاهدهٔ روند مطالب و گسترش‌دادن موضوع به زمینه‌های مرتبط اختصاص داد. بعد از کلاس استاد می‌تواند با استفاده از برنامه در مدتی کوتاه سؤالاتی را به منظور ارزشیابی دانشجو طرح کند. مسائلی راکه نیاز به آزمون و خطا دارند، می‌توان بسرعت حل نمود. دانشجو می‌تواند با فرض متغیرهای طراحی و مشاهدهٔ نتایج، مواد درسی کلاس را مرور کند و با انجام‌دادن تکالیف، به استفاده از برنامه تشویق شود. گذاشتن برنامه در اختیار دانشجو او را بر آن خواهد داشت تا با تحسین و پژوهش فردی به یادگیری مطالب بپردازد. دانشجو با مشاهده تغییرات در نمودار تداخلی، امکان اعمال کنترل روی طراحی را می‌یابد. زمانی که صرف استفاده از برنامه برای حل مسائلی می‌شود که استاد طرح می‌کند، باعث شکل‌گیری درک بهتری از مفاهیم نهفته در مسئله می‌گردد. و بالاخره دانشجو می‌تواند با بهره‌گیری از روش شخصی خود در حل مسائل، چگونگی نوشتن برنامه در محیط MATHCAD را بیاموزد.

## ۵. مثال تشریحی

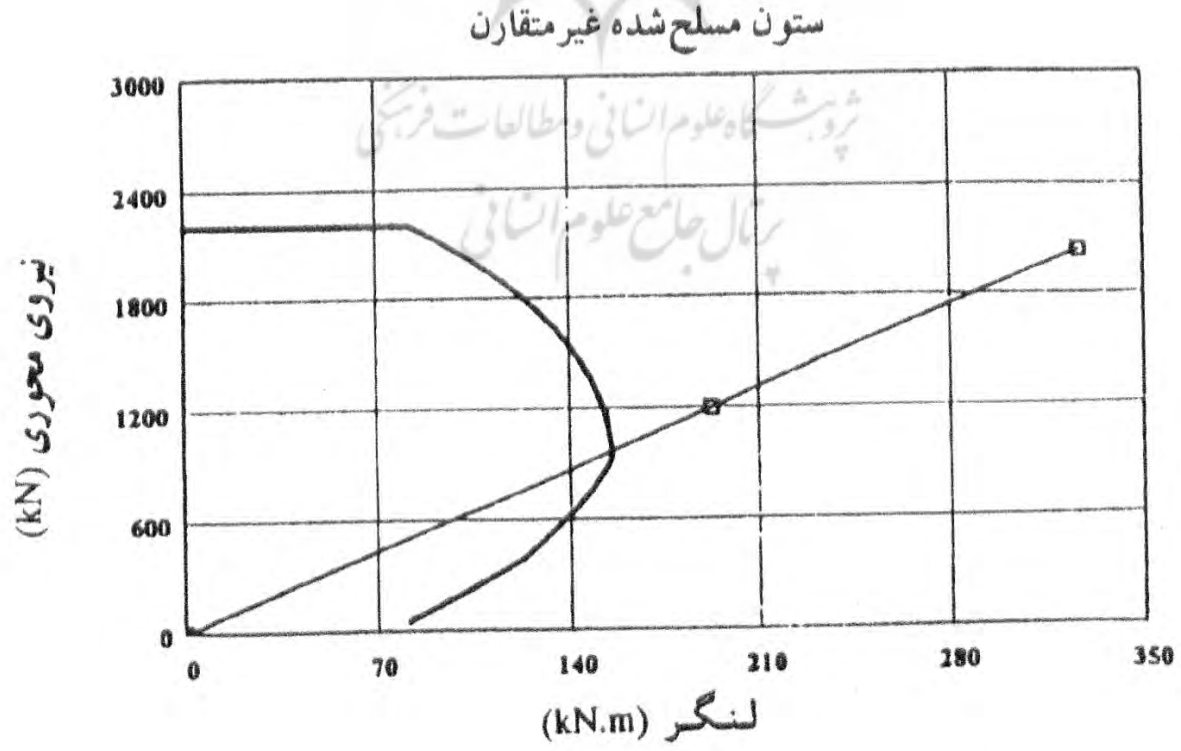
این مثال که برای نشان دادن ویژگیهای نحوه طراحی با برنامهٔ مورد نظر ارائه می‌شود، به طراحی یک ستون با فولادگذاری نامتقارن اختصاص دارد. داده‌های ورودی برای اولین سعی طراحی به همراه نمودار تداخلی مربوط به آن در شکل (۸) نشان داده شده است. نتایج نشانگر آن است که طرح اولیه غیراقتصادی است چراکه نقطه $(P_u, M_u)$ با فاصله زیادی از مرز درون نمودار تداخلی بار-لنگر $(\phi P_N - \phi M_N)$ قرار گرفته است.

با استفاده از برنامه می‌توان بسادگی طرح اولیه را با کاهش مقطع ستون یا فولاد مصرفی اصلاح کرد. در دومین سعی ابعاد ستون به ۳۰ و ۴۵ سانتیمتر کاهش می‌یابد. شکل (۹) که نمودار تداخلی جدید را نشان می‌دهد، حاکی از کافی نبودن مقاومت ستون است. بنابراین ابعاد انتخابی قابل قبول نیست. در سومین آزمون ابعاد به ترتیب برابر با ۴۵ و ۳۵ سانتیمتر فرض می‌شوند. نمودار تداخلی شکل (۱۰) نشان می‌دهد که تنها با دو سعی و خطا یک طرح بهینه به دست آمده است. مثال فوق

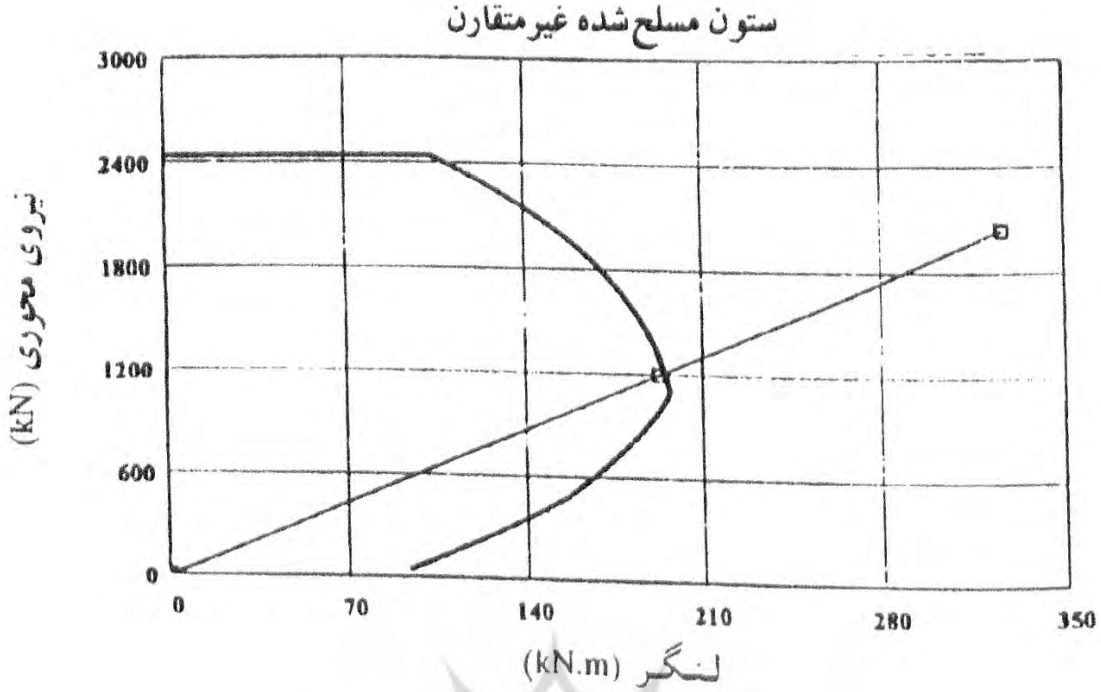
بخوبی کارایی برنامه ارائه شده را برای طراحی ستون بتنی نشان می‌دهد.




شکل ۸ داده‌های ورودی و نمودار تداخلی برای اولین سعی طراحی




شکل ۹ داده‌های ورودی و نمودار تداخلی برای دومین سعی طراحی




شکل ۱۰ داده‌های ورودی و نمودار تداخلی برای سومین سعی طراحی

## ۶. بحث و نتیجه گیری

فن‌آوری رایانه‌ها می‌تواند در صورت استفاده مناسب، آموزش مهندسی را اعتلا بخشد. این فن‌آوری قادر است قدرت عکس‌العمل را افزایش دهد و بازخورد مناسبی را ایجاد و فرایند پیشرفته در یادگیری را کنترل کند. همچنین می‌تواند به عنوان تمرین به کار رود و آزادی لازم را برای تحقیق به وجود آورد و نظریهٔ به کارگیری سبکهای مختلف یادگیری را پشتیبانی کند.

باید دقت شود تا برنامه‌های مورد استفاده، ایجاد محدودیت نکند و موجبات خستگی کاربر را فراهم نیاورد و صفحهٔ رایانه را شلوغ نکند. اطلاعات سیستم‌ها بر روی رایانه باید به واحدهای کوچک تقسیم شوند و دارای ساختار مناسب باشند.

کاربرد توأم با دقت و همچنین تأیید استاد، از شرایط اساسی موفقیت یک برنامه است. هرچند رایانه‌ها جایگزین کاملی برای یک استاد توانا نیستند، لیکن ممکن است لازم باشد وابستگی به تدریس استادان کاهش یابد و همچنین نظام‌های مختلف آموزشی مورد توجه قرار گیرد. رایانه‌ها همیشه جایگزین خوبی برای کتابها نیستند، لیکن برتری رایانه‌ها در نشان‌دادن عکس‌العمل نسبت به کاربر است. بالاخره هرچند رایانه‌ها جایگزین مناسبی برای تجربیات آزمایش و کارهای

صحرایی نیستند، لیکن تصویر انعطاف‌پذیری با ارزشی از دنیای واقعی را در اختیار کاربر می‌گذارد.

برنامه ارائه شده در این مقاله، ابزاری جهت تکمیل و پیشبرد روشهای قدیمی آموزش و یادگیری است. تنوع در تواناییها، قابلیت دسترسی آسان و سادگی کاربرد این نرم‌افزار، آن را به عنوان پایه مناسبی برای ایجاد طرحهای آموزشی مختص دوره‌های فنی مطرح می‌کند. برنامه MATHCAD توانایی انجام‌دادن محاسبات درسی به روش سنتی ولی با دقت و قابلیت اعتماد بیشتر و نحوهٔ ارائه مطلوبتری را دارد. بعلاوه، سرعت این نرم‌افزار در مسائل خطا - آزمون و امکانات برنامه‌ریزی آن، شیوه‌های جدید یادگیری را ممکن می‌سازد. نوشتن برنامه در محیط این نرم‌افزار باعث صرف وقت استاد می‌شود، اما در عوض توانایی زیادی به همراه دارد. با فراغت یافتن دانشجو و استاد از رونویسی و محاسبات خسته کننده، برنامه این فرصت را در اختیار آنها قرار می‌دهد تا درک پرمحتوایی از مطالب فنی به دست آورند. یک برنامه که به خوبی در محیط MATHCAD نوشته شده باشد، می‌تواند دانشجو و استاد را جذب و آنها را به بررسی و کشف موضوع ترغیب کند و نیز باعث آگاه شدن هر چه بیشتر آنها از رموز نهفته در مطالب شود.

امید است در کشور ما نیز گروههای تحقیقاتی جهت تدوین و تهیهٔ این قبیل برنامه‌های آموزشی تشکیل شود. همکاری کارشناسان آموزشی و رایانه‌ای در این مورد طبیعتاً امری ضروری خواهد بود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

**تشکر و قدردانی:** از همکاریهای آقای مهندس علیرضا میرغفاری در تهیه و تنظیم این نوشتار صمیمانه سپاسگزاری می‌شود.

## مراجع

1. M.S. Al-Ansari and A.B. Senbuci, MATHCAD: Teaching and learning tool for reinforced concrete design, Int. J. Engng. Ed. No. 1, **15**(1999), pp. 64-71.
2. MATHCAD, MathSoft Inc. 101 Main Street, Cambridge, Massachusetts, 02142, USA, 1995.
3. M. Fintel, Handbook of Concrete Engineering, Van Nostrand Reinhold Company,

New York, USA, 1985.

4. J.C. McCormac, Desing of Reinforced Concrete, Harper Collins College Publisher, New York, USA, 1993.
5. Nawy, Reinforced Concrete-A Foundemental Approach, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.
6. ACI-318, Building Code Requirements for Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, USA, 1995.

(تاریخ دریافت مقاله: ۷۸/۵/۲۰)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی