

بازخوانی روش کانی

رویکردهایی نوین در تحلیل سازه‌ها

تألیف:

احمد آفتابی ثانی

عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

سرشناسه: آفتابی ثانی، احمد، ۱۳۵۸-
 عنوان و پدیدار: بازخوانی روش کانی / تألیف: احمد آفتابی ثانی.
 مشخصات نشر: مشهد: سخن گستر، ۱۳۸۷.
 مشخصات ظاهری: ۲۸۸ ص: مصور، جدول، نمودار.
 شابک: 0 - 597 - 477 - 964 - 978- ISBN
 یادداشت: فیبا.
 موضوع: سازه، تجزیه و تحلیل
 رده بندی کنگره: ۱۳۸۷ ب ۲ ۶۴۵/۶۶ TA
 رده بندی دیویی: ۶۳۴/۱۷۱
 شماره کتابخانه ملی ایران: ۱۶۱۵۴۹۹



۹۰

◆ ناشر: انتشارات سخن گستر و معاونت پژوهشی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد

◆ نام کتاب: بازخوانی روش کانی

◆ تألیف: احمد آفتابی ثانی

◆ شمارگان: ۵۰۰ جلد

◆ نوبت چاپ: اول / زمستان ۱۳۸۷

◆ چاپ: چاپخانه شاهین

◆ قیمت: ۳۹۰۰ تومان

◆ شابک: ۰-۵۹۷-۴۷۷-۹۶۴-۹۷۸

مرکز پخش: مشهد- خیابان راهنمایی- جنب دانشکده علوم- نمایشگاه و فروشگاه کتاب

دانشگاه آزاد اسلامی مشهد- تلفن: ۸۴۳۲۶۸۷

✓ فهرست

پیشگفتار..... ۵

بخش اول: جنبه‌های آموزشی

۱- قاب ده عضوی ۱۱

۱- روش شیب - آفت ۱۳

۲- روش کانی ۲۰

۲- قابهای بدون انتقال جانبی ۲۷

۱- اثبات معادلات ۲۸

۲- مثال عددی ۲۳

۳- پلهای سرتاسری ۳۵

۱- روش سه‌لنگر ۳۷

۲- قضیه دوم کاستیلیانو ۴۳

۳- روش کانی ۵۱

۴- تیر فنردار ۵۵

۱- روش لنگر سطح ۵۶

۲- روش تیر مزدوج ۵۹

۳- روش شیب - آفت ۶۱

۴- روش کانی ۶۴

۵- قاب پرتال معمولی ۶۹

۱- روش شیب - آفت ۷۰

۲- روش کانی ۷۹

۶- قاب پرتال مهارشده ۸۵

۱- روش شیب - آفت ۸۶

۲- روش کانی ۹۵

۷- قابهای طبقاتی ۹۹

۱- عضوهای منشوری ۱۰۰

۲- عضوهای نامنشوری ۱۱۱

۸- پل با ستونهای منشوری ۱۱۳

۱- بدون انتقال جانبی ۱۱۵

۲- با انتقال جانبی ۱۱۹

۹- پل با ستونهای نامنشوری ۱۲۳

۱- روش کانی ۱۲۴

۱۰- قاب سه طبقه ۱۳۱

۱- روش پخش لنگر ۱۳۵

۲- روش کانی ۱۴۶

* بخش دوم: تأملات پژوهشی *

۱۱- قاب با ستونهای مایل ۱۵۱

۱- روش نرمی ۱۵۲

۲- روش کانی ۱۶۱

۱۲- سوله با اعضاء منشوری ۱۶۷

۱- روش شیب - اُفت ۱۶۸

۲- روش کانی ۱۷۲

۱۳- سوله با اعضاء نامنشوری ۱۷۷

۱- روش شیب - اُفت ۱۷۸

۲- روش کانی ۱۸۲

۱۴- سه تیر با سه فنر ۱۸۹

۱- روش شیب - اُفت ۱۹۰

۲- روش کانی ۱۹۶

۱۵- شبکه چهار عضوی ۲۰۱

۱- حل مستقیم معادلات ۲۰۲

۲- روش کانی ۲۰۷

۱۶- تحلیل شبکه‌ها در حالت کلی ۲۱۳

۱- تحلیل ماتریسی ۲۱۴

۲- روش کانی ۲۱۸

۱۷- تحلیل خراباها به روش کانی ۲۲۷

۱- تحلیل ماتریسی ۲۲۸

۲- روش کانی (پیشنهادی) ۲۳۰

۳- مثالهای عددی ۲۳۵

۴- برنامه رایانه‌ای ۲۴۲

۱۸- تحلیل شبکه‌های آبرسانی ۲۴۵

۱- مبانی اولیه ۲۴۶

۲- روشهای موجود ۲۴۹

۴ بازخوانی روش کانی

۳- روش کانی (پیشنهادی) ۲۷۳

۴- مثالهای عددی ۲۷۶

مراجع ۲۸۴

پیشگفتار

کتاب پیش رو، با دو هدف مشخص آموزشی و پژوهشی به نگارش درآمده است و بر همین اساس، مطالب خود را در دو بخش «جنبه‌های آموزشی» (ده فصل) و «تأملات پژوهشی» (هشت فصل) ارائه می‌کند. در بخش نخست، خوانندگان عزیز با ایده اصلی و مبانی روش‌کافی در تحلیل تیرها و قابهای با و بدون انتقال جانبی آشنا می‌شوند. سپس در بخش دوم، نویسنده ایده روش‌کافی را برای تحلیل سایر سازه‌ها و حتی مباحث غیر سازه‌ای (هیدرولیکی) گسترش می‌دهد و بدین ترتیب، با معرفی شماری کارهای پژوهشی، به گسترش مرزهای روش‌کافی می‌پردازد. ناگفته نماند، این کتاب دارای فصلهایی پرشمار، کم‌حجم و مثال‌محور است که هر یک از آنها، با پیش‌درآمدی کوتاه، مشابه آنچه در حال خواندن آن هستید، آغاز می‌شوند. این متن کوتاه‌آغازین، در واقع، چکیده مطالب موجود در فصل است. همچنین در پیشگفتار کتاب، به معرفی گذرای روش‌کافی پرداخته شده و پس از آن، ساماندهی کتاب به ترتیب فصلهای گوناگون آن ارائه می‌گردد. آشکار است، مطالعه این بخش، می‌تواند راهگشا و راهنمای خوبی برای ورود به کتاب باشد.

روش کانی، یک شیوه عددی برای حل تکراری معادلات حاکم بر قابهای دو بعدی است. در این شیوه، لنگرهای گرهی مجهول بر حسب لنگرهای دورانی گره‌های ابتدا و انتهای هر عضو بیان می‌گردند. در ادامه، این لنگرهای دورانی به کمک رابطه‌ای بازگشتی و با پیمودن چند گام محاسباتی بدست می‌آیند و سپس به یاری آنها، لنگرهای گرهی یا همان مجهولات اصلی محاسبه می‌شوند. بدین ترتیب، بدون حل مستقیم دستگاه معادلات حاکم بر قاب، لنگرهای گرهی با هر دقت دلخواه در دسترس قرار می‌گیرند. این شیوه که پس از روش پخش لنگر به وجود آمد، یکی از بهترین و توانمندترین راهکارهای تحلیل قابها و بر اساس آنچه در این کتاب خواهیم دید، تحلیل سازه‌هاست.

در ده فصل آغازین کتاب که آنها را «جنبه‌های آموزشی» نام نهاده‌ایم، به شرح و توضیح روش مرسوم کانی پرداخته‌ایم. در فصلی مربوط به روش کانی کتابهای تحلیلی، نخست روابط کلی کانی برای تحلیل قابهای بدون انتقال جانبی را ارائه می‌کنند. چرا که معادلات بازگشتی کانی و روند اثبات آنها در این حالت، ساده‌تر از قابهای با انتقال جانبی است و از این رو، نقطه شروع و محل ورود مناسبی برای این بحث به حساب می‌آید. البته در اینجا، پیش از استخراج روابط کلی و معادلات پارامتری کانی، کار را با حل تشریحی یک مثال آغاز می‌کنیم؛ و این روالی است که در تمام کتاب از آن بهره می‌جوییم. زیرا به نظر نگارنده، حل همراه با توضیحات کامل و ساده یک مثال عددی، پیش از ارائه روابط کلی که بطور معمول پیچیده و نامفهوم‌اند، کمک بیشتری به فهم و یادگیری مطالب خواهد نمود.

بر همین اساس، کار خود را با تحلیل یک قاب ده عضوی در فصل ۱ آغاز می‌نماییم. باید افزود، این مثال همانند تمامی مثالهای کتاب با روش مؤثر کانی حل می‌شود. اما پیش از آن، قاب به روش شیب - آفت تحلیل شده و پاسخهای آن بدست می‌آید. با این کار، امکان واری نتایج روش کانی و ارزیابی دقت و سرعت آن فراهم می‌گردد. باید افزود، این نیز یکی دیگر از خط‌مشی‌های کلی کتاب خواهد بود. بدین ترتیب که مثال هر فصل، نخست با بکاربردن یک یا چند روش معروف و مطمئن حل شده و در واقع، پاسخهای آن در دسترس قرار می‌گیرد. سپس، همان مثال با استفاده از شیوه کانی تحلیل شده و درستی نتایج، با مقایسه آنها و پاسخهای بدست‌آمده از روش(های) دیگر مشخص می‌گردد. بدین ترتیب، در کنار یادآوری بسیاری از فنون تحلیلی، خوانندگان در هر فصل با روش کانی و شگردهای آن برای حل مسائل گوناگون آشنا می‌شوند. به عبارت بهتر، فایده این کار یادآوری روشهای گوناگون تحلیلی و فراهم ساختن زمینه مقایسه آنها با شیوه کانی، از نظر دقت، سرعت و سادگی خواهد بود.

پس از تحلیل نمونه‌وار قابی ده عضوی در فصل ۱ و آشنایی با ایده‌ها و مبانی روش کانی، می‌توانیم با درک بهتر و دید روشن‌تری به معادلات کلی و پارامتری این روش عددی بپردازیم. این کار را در فصل ۲ انجام می‌دهیم. در این فصل پس از یافتن روابط، همان معادلات حاکم بر مثال فصل قبل، این بار به کمک روابط بدست‌آمده نوشته می‌شوند و به همان نتیجه می‌رسند. با در دست داشتن این معادلات و اطمینان از درستی آنها، مثال دیگری در فصل ۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد. تیرهای سرتاسری و بطور ویژه، تیری پنج‌دهانه با چهار درجه نامعینی، مثال برگزیده در این فصل است. این سازه، نخست با استفاده از قضیه سه‌لنگر و قضیه دوم کاستیلیانو تحلیل شده و سپس، به روش کانی حل می‌گردد و بدین ترتیب، بحث تیرها و قابهای بدون انتقال جانبی را کامل می‌سازد. دقت شود که دو فصل قبل و بعد از فصل ۲ (یعنی فصلهای ۱ و ۳) که یکی زمینه‌ساز و دیگری مکمل آن است، فصل مزبور را در میان گرفته و به فهم هر چه بیشتر آن کمک می‌کنند.

باز هم پیش از پرداختن به معادلات کلی حاکم بر قابهای با انتقال جانبی، حل تشریحی چند مثال، زمینه را برای ورود به بحث آماده می‌سازد. تحلیل تیر فنردار در فصل ۴ به روشهای لنگر سطح، تیر مزدوج، شیب - آفت و سپس کانی، بررسی قاب پرتال یا دروازه‌ای با سختی پارامتری در فصل ۵ به دو روش شیب - آفت و کانی و سرانجام، تحلیل قاب پرتال مهارشده در فصل ۶، سه جستاری هستند که این وظیفه را به دوش می‌کشند. پس از مطالعه این سه فصل، معادلات کلی کانی برای تحلیل قابهای طبقاتی، در فصل ۷ اثبات و ارائه خواهد شد.

همانند قابهای بدون انتقال جانبی، این بار هم پس از یافتن معادلات کانی برای قابهای با انتقال جانبی (البته با شرایطی ویژه)، می‌توان به حل سریعتر مثالهای بیشتری پرداخت. پل سه‌دهانه با ستونهای منشوری (فصل ۸)، همان پل سه‌دهانه اما با ستونهای نامنشوری (فصل ۹) و در پایان، قاب سه طبقه (فصل ۱۰) که هم به روش پخش لنگر و هم کانی تحلیل می‌گردد) سه مثال سه فصل آتی‌اند. بنابراین فصلهای قبل و بعد از فصل ۷، همانند فصلهای ۱ و ۳، به ترتیب زمینه‌ساز و کامل‌کننده مباحث فصل ۷ می‌باشند.

ناگفته نباید گذاشت که پاره‌ای از راهکارهای موجود در ده فصل نخست، پیش از این در کتب و مقالات تحلیلی درج شده‌اند و پاره‌ای دیگر، برای نخستین بار است که در کتابی تحلیلی وارد می‌شوند. تحلیل تیر فنردار به روش کانی و همچنین، برپایی معادلات سه‌لنگر بر اساس ایده کانی و حل عددی آنها که از آن به عنوان «قوانین کانی‌وار از روش سه‌لنگر» نام می‌بریم، دو نمونه از مباحث جدیدند که در فصلهای ۴ و ۳ می‌آیند. باید دانست، این مطالب، اندک اندک، پایه‌های پژوهشی کتاب را بنا می‌نهند.

با پایان یافتن ده فصل نخست و بخش آموزشی کتاب که بطور تقریبی نیمی از حجم آنرا در بر گرفته است، بخش دوم کتاب که آنرا «تأملات پژوهشی» نامیده‌ایم، آغاز می‌گردد. چنانکه پیشتر بیان شد، در این بخش که شامل هفت فصل سازه‌ای و یک فصل غیر سازه‌ای (هیدرولیکی) است، به گسترش قلمرو روش کانی خواهیم پرداخت و از آن، برای تحلیل انواع قابها، شبکه‌ها، خراباها و حتی شبکه‌های آبرسانی سود خواهیم جست.

خاطر نشان می‌سازد، به یاری روش مرسوم کانی برای تحلیل قابهای با انتقال جانبی، تنها می‌توان قابهایی را مورد بررسی قرار داد که شرایط ویژه‌ای را برآورده سازند. این شرایط که در روند اثبات معادلات کلی کانی وارد می‌شوند، برای قابهای با ستونهای مایل و سوله‌ها برقرار نمی‌باشند. بنابراین، این دو گونه قاب را نمی‌توان به روش مرسوم کانی تحلیل کرد. همچنین، نبود بیش از یک درجه آزادی انتقالی بطور همزمان در معادلات برش قاب، شرط دیگری است که گستره روش کانی را تنگ و محدود می‌نماید. در چهار فصل نخست بخش پژوهشی کتاب، به تحلیل اینگونه سازه‌ها با استفاده از روش گسترش یافته کانی پرداخته و در واقع، بر پاره‌ای شرایط معمول و قیدهای محدودکننده آن چیره خواهیم گشت. البته در تمامی فصلهای این بخش که باز هم بنا به روال کلی کتاب بر حل تشریحی مثالهایی عددی تکیه دارند، در کنار بهره‌جویی از روش اصلاح شده کانی، مسأله را به روشهای دیگری مانند شیب - آفت یا شیوه تحلیل ماتریسی حل کرده و پاسخها را بدست می‌آوریم.

در نخستین فصل این بخش (فصل ۱۱ کتاب)، به تحلیل قابی یک دهانه و یک طبقه با ستونهای مایل خواهیم پرداخت. این قاب که بر خلاف قابهای معمولی، تیر آن نیز دارای انتقال جانبی است، نخست به روش شیب - آفت حل می‌شود. سپس، روش کانی برای تحلیل آن گسترش یافته و پاسخهای مسأله به صورت عددی بدست می‌آیند. خوشبختانه، همسانی نتایج حاصل از دو روش شیب - آفت و کانی، نشانگر درستی روند بکار رفته برای گسترش شیوه کانی خواهد بود. این کار در دو فصل آتی، یعنی فصلهای ۱۲ و ۱۳، برای سوله‌های با عضوهای منشوری و نامنشوری هم به انجام می‌رسد. باید دانست، وجود دو درجه آزادی انتقالی در سوله‌ها، تحلیل آنها به روش کانی را بسی متفاوت و دشوار و از طرفی، مفید و جذاب خواهد ساخت. برای درک بیشتر و بهتر این بحث، در فصل ۱۴ به تحلیل تیری فتردار با سه انتقال جانبی دست می‌یازیم که از این جهت، حتی پیچیده‌تر از تحلیل سوله می‌باشد.

پس از بررسی انواع تیرها و قابهای با چند انتقال جانبی، به نظر می‌رسد که بحث قابها نکته قابل توجه دیگری در روش کانی نداشته باشد. از این رو، کار پژوهشی خود را با بررسی گونه‌های

دیگر سازه‌های رشته‌ای ادامه می‌دهیم. می‌دانیم که در حالتِ دو بُعدی، بجز قابها، دو نوع سازه رشته‌ای دیگر وجود دارد که عبارتند از خریاها و شبکه‌ها. در این میان، شبکه‌ها به خاطر داشتن لنگر خمشی و نیروی برشی، بسیار شبیه قابها بوده و فقط در وجود لنگر پیچشی با آنها متفاوتند. بنابراین، در آغاز به تحلیل عددی شبکه‌ها پرداخته و در فصل ۱۵ شبکه‌ای چهار عضوی را، نخست با حل مستقیم معادلات حاکم و سپس با روش اصلاح‌شده کانی تحلیل می‌کنیم. پس از آشنایی اولیه، همانند روند بکار رفته در کل کتاب، معادلات کلی و پارامتری کانی برای تحلیل تکراری شبکه‌های مستطیلی را در فصل ۱۶ بدست می‌آوریم. پس از استخراج معادلات، در همین فصل تغییرمکانهای گرهی شبکه‌ای ده عضوی را به دو روش ماتریسی و کانی محاسبه نموده و با مقایسه آنها نشان می‌دهیم که روش کانی، می‌تواند از پس تحلیل شبکه‌ها نیز برآید.

گسترش روش کانی برای تحلیل خریاها، به دلیل نداشتن لنگر خمشی، دشوارتر به نظر می‌رسید. اما خوشبختانه، کار پژوهشی بر روی این موضوع با فرجام خوبی همراه بود و به نتایج دقیقی انجامید. پیشنهاد روابط بازگشتی برای تحلیل خریاهای دو بُعدی بر اساس ایده کانی و مقایسه نتایج آن با روش معروف تحلیل ماتریسی، مطالبی هستند که پیش از این، آنها را در مقاله‌ای علمی گنجانده‌ایم و اینک، در فصل ۱۷ همین کتاب می‌آوریم. با ارائه این مباحث، در واقع روش کارا و مؤثر کانی برای تحلیل تمامی سازه‌های رشته‌ای در حالت دو بُعدی گسترش یافته و بکار می‌رود.

اما در کنار اینها، چنین به نظر رسید که می‌توان مسائل مشابه در زمینه‌های دیگر مهندسی را با بکارگیری ایده کانی حل نمود. تحلیل شبکه‌های آبرسانی در مهندسی هیدرولیک، که همانند سازه‌ها با حل یک دستگاه معادلات (اما به صورت غیرخطی) همراه است، یکی از این مسائل خواهد بود که در آخرین فصل پژوهشی کتاب مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این بخش، پس از معرفی روشهای موجود برای تحلیل شبکه‌ها، معادله بازگشتی حاکم بر شبکه پیشنهاد می‌شود. این معادله که برای تمامی گره‌های شبکه قابل نوشتن است، مجموعه معادلات حاکم بر شبکه را به گونه‌ای بنا می‌نهد که ماهیتی بازگشتی دارد. بنابراین، با بکاربردن این معادله و پس از پیمودن چند گام محاسباتی، می‌توان فشارهای گرهی را یافت. بدین ترتیب، شبکه بدون حل مستقیم دستگاه معادلات غیرخطی حاکم بر آن، همچون روند بکار رفته در قابهای بدون انتقال جانبی، تحلیل خواهد شد. ناگفته نماند، نویسنده این بحث پژوهشی را، پیش از این به صورت مقاله‌ای علمی - پژوهشی تدوین کرده است.

اغلب مباحث بخش نخست کتاب، مانند تحلیل قابهای بدون انتقال جانبی یا قابهای طبقاتی، پیش از این توسط کانی ارائه شده و در پاره‌ای کتب تحلیلی موجود است. از این رو ارائه آنها در این کتاب، بیشتر جنبه آموزشی داشته و می‌تواند برای دانشجویان محترم مفید باشد. اما در کنار آنها، پاره‌ای جستارهای بخش نخست و تمامی مطالب بخش دوم، مانند تحلیل سوله‌ها، شبکه‌ها، خرپاها و از آن فراتر، تحلیل شبکه‌های آبرسانی، مسائلی هستند که می‌توانند جزء نوآوری‌های کتاب به حساب آیند. این مسائل که با تعمیم و گسترش روش کانی مورد بررسی قرار می‌گیرند، پیش از این در کتب و مقالات تحلیلی ارائه نشده و تنها در مقالاتی به قلم نگارنده آمده‌اند. بنابراین، بررسی آنها در این کتاب، بیشتر رنگ و بوی پژوهشی داشته و می‌تواند هم برای دانشجویان عزیز و هم برای پژوهندگان گرامی قابل استفاده باشد.

روال ارائه مطالب در این کتاب و ساماندهی و فصل‌بندی آن، شاید اندکی متفاوت به نظر رسد. تعداد فراوان فصلها، حجم نه چندان زیاد مطالب در هر فصل، ارائه مباحث در قالب مسأله‌های تحلیلی و حل تشریحی آنها پیش از یافتن روابط کلی، استقلال نسبی فصلها و از طرفی پیوستگی سلسله‌وار آنها، همگی از ویژگیهای این سبک نگارش و تدوین کتاب به شمار می‌روند که گهگاه، در پاره‌ای کتب علمی و دانشگاهی به چشم می‌خورد. به عنوان نمونه، نویسنده می‌تواند به کتاب جالب و خواندنی «معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی برای علوم و مهندسی»، نوشته «استنلی فارلو» با ترجمه «علی‌اکبر عالم‌زاده» اشاره کند که به نوعی، الهام‌بخش وی در تهیه کتاب پیش‌رو بوده است. افزون بر اینها، گزینش تعداد و چیدمان فصلهای کتاب نیز هدفمند می‌باشد. بجز فصل پایانی که به گسترش روش کانی برای تحلیل شبکه‌های آبرسانی پرداخته و جستاری در مهندسی هیدرولیک است، هفده فصل دیگر کتاب شامل مباحثی سازه‌ای‌اند که می‌توانند در ادامه درسهای «تحلیل سازه‌های یک و دو» مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس برنامه مرسوم تحصیلی در یک نیمسال هفده هفته‌ای، می‌توان مطالب هر فصل کتاب را در یک هفته گنجاند و بدین ترتیب، تمامی فصلها را تا پایان نیمسال ارائه کرد. البته برای این منظور، به نظر رسید که «بازخوانی روش کانی» را، به عنوان درسی اختیاری با ارزش دو یا سه واحد و با پیش‌نیازی تحلیل سازه‌های دو، به برنامه درسی کارشناسی عمران پیشنهاد کنیم. بنابراین سعی خواهیم نمود که در کنار تدوین و ارائه این کتاب، به پیشبرد نظری و عملی این طرح پیشنهادی نیز بپردازیم. البته در صورت نبود درس مستقلی برای روش کانی، باز هم از مطالب این کتاب می‌توان در درس تحلیل سازه‌های دو و همچنین، برای دوره‌کردن مباحث تحلیل سازه‌های یک بهره جست.