

جبر خطی

(ویراست دوم)

نوشته

دکتر هافمن

رضا آری

ترجمه

دکتر علی اکبر عالمزاده



انتشارات نگارنده دانش

Hoffman, Kenneth	هافمن، کنت	سرشناسه
جبر خطی / نوشته کنت هافمن، ری کنزی: ترجمه علی اکبر عالمزاده.		عنوان و نام پدیدآور
تهران: نگارنده دانش، ۱۳۹۳.		مشخصات نشر
۴۷۶ ص. (چهارده + ۴۶۲).		مشخصات ظاهری
۷-۵۸-۶۱۹۰-۶۰۰-۹۷۸		شابک
	فیفا	وضعیت فهرست نویسی
Linear algebra, 2d ed, [1971]	عنوان اصلی:	یادداشت
ویراست قبلی کتاب حاضر قبلاً توسط انتشارات مرکز نشر دانشگاهی در سال ۱۳۶۵ توسط جمشید فرشیدی ترجمه و به چاپ رسیده است.		یادداشت
جبر خطی		موضوع
کنزی، ری الدن، ۱۹۲۸- م، نویسنده همکار		شناسه افزوده
Kunze, Ray Alden		شناسه افزوده
عالمزاده، علی اکبر، ۱۳۲۲- مترجم		شناسه افزوده
۱۳۹۳ ج ۲ / QA۱۸۴		مبندی کنگره
۵۱۲/۵		رده بندی دیویی
۳۵۹۳۱۹۹		شماره کتابخانه ملی

جبر خطی

نوشته	کنت هافمن
ترجمه	ری کنزی
ویراسته	دکتر عالمزاده
حروفچینی	مریم ناجد
لیتوگرافی، چاپ، صحافی	واحد تولید، نشر نگارنده دانش
نوبت چاپ	گلیا گرافیک، فرستادن، چاپ، ۱۳۹۳
تعداد صفحات، قطع	اول، ۴۷۶، وزیری
تعداد	۵۰۰ نسخه
بها	۲۰۰۰۰ تومان

www.negarandedanesh.com

نگارنده دانش تلفن: ۶۶۹۶۲۰۵۳ - ۶۶۹۶۲۳۰۵

آزاده تلفن: ۶۶۴۱۴۳۷۲ کتاب دانشگاهی تلفن: ۶۶۴۱۸۵۸۶
نوپردازان تلفن: ۶۶۴۱۴۵۱۵ سیمای دانش تلفن: ۶۶۹۶۶۱۱۵

هرگونه تکثیر، اسکن یا کپی برداری از تمام یا بخشی از مطالب این کتاب حتی با ذکر منبع، بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع است. هیچ فرد حقیقی یا حقوقی اجازه تولید و انتشار لوح یا مجموعه آموزشی از این اثر را به هر نحو ندارد.

سخن ناشر

با توسعه روزافزون دانشگاهها و مؤسسات آموزش عالی در کشور، اهمیت انتشار کتابها و منابع علمی مناسب برای کسانی که به پژوهش، تدریس، یا تحصیل در سطوح مختلف آموزش عالی مشغول هستند، کاملاً روشن است. از طرفی سالها پیش، کمبود کتابهای علمی مناسب، چه از نظر محتوی و چه از نظر مواردی همچون نحوه نگارش، ترجمه، ویرایش در سطح دانشگاه کاملاً محسوس بوده است. انتشارات نگارنده دانش با تکیه بر تجربه مؤسسان خود و شناخت آسیبهای موجود در صنعت نشر، برای ایفای بخشی از رسالت خود و جبران جزئی از این کمبودها، اقدام به چاپ و نشر کتابهای دانشگاهی در زمینه‌های فنی مهندسی، علوم پایه و کامپیوتر به صورت تألیف یا ترجمه کرده است.

در این راستا، در انتشارات همواره کوشیده است تا با بررسی کتابهای جدید منتشر شده توسط ناشرین معتبر بین‌المللی، دریافت پیشنهاد چاپ کتابهای مورد نظر اساتید محترم دانشگاه، تعامل با مراکز علمی و دانشگاهی، و همکاری با مؤلفین و مترجمین داخلی و خارجی، تحصیلات مرتبط، همواره با نشر کتابهای برگزیده و مورد تأیید اساتید دانشگاه، پاسخگوی این نیاز علمی کشور باشد.

بدیهی است پیشنهادها و انتقادهای سازنده اساتید علمی کشور، ما را در بهبود کار و انجام هرچه بهتر وظیفه‌ای که بر عهده گرفته‌ایم یاری خواهد کرد.

مدیر مسئول

مهندس علی کلانتری

a-kalantari@hotmail.com

پیشگفتار مترجم

این کتاب اثر معروف هافمن و کنزی است که به فارسی ترجمه و تقدیم می‌شود. کتاب با پیشگفتار مترجم، پیشگفتار مؤلفان، و فهرست مطالب شروع شده و سپس فصلها آغاز می‌گردند. فصل ۱ به معادلات خطی می‌پردازد. مطالب عنوان شده در این فصل عبارتند از: میدانها، دستگاههای معادلات خطی، ماتریسها و اعمال سطری و ستونی، ماتریسهای سطری پلکانی تحویل‌یافته، ضرب ماتریسی، ماتریسهای معکوس‌پذیر.

فصل ۲ راجع به فضاهای برداری است. مطالب مطرح شده در این فصل عبارتند از: فضاهای برداری، زیرفضاهای آنها و بعد، مختصات، خلاصه هم‌ارزی سطری، محاسبات مربوط به زیرفضاها.

فصل ۳ روابط تبدیلی خطی است. در این فصل مطالب زیر مطرح می‌شوند: تبدیلات خطی، جبر تبدیلات خطی، یکرختی، نمایش تبدیلات به وسیله ماتریسها، تابعیهای خطی، دوگان دوگانه، ترانزاده یک تبدیل خطی.

فصل ۴ راجع به چندجمله‌ای است. مطالب این فصل عبارتند از: جبرها، جبر چندجمله‌ایها، درونیایی لاگرانژ، ایده‌آل‌های چندجمله‌ای، تجزیه یک چندجمله‌ای به عوامل اول.

فصل ۵ به دترمینانها اختصاص دارد. مطالب این فصل عبارتند از: حلقه‌های تعویض‌پذیر، توابع دترمینان، جایگشتها و یکتایی دترمینانها، خواص دیگر دترمینانها، مدولها، توابع چندخطی، حلقه گراسمان.

فصل ۶ به فرمهای کانونی مقدماتی می‌پردازد. مطالب عنوان شده در این فصل عبارتند از: آشنایی، مقادیر مشخصه، چندجمله‌ایهای فناساز، زیرفضاهای پایا، همبستگی همزمان، قطری‌سازی همزمان، تجزیه‌ها به مجموع مستقیم، مجموعه‌های مستقیم پایا، قضیه تجزیه اول.

فصل ۷ راجع به فرمهای گویا و زردان است. مطالب آن عبارتند از: فضاهای دوری و فناسازها، تجزیه‌های دوری و فرمهای گویا، فرم زردان، محاسبه عوامل پایا، خلاصه: اعمال نیمه‌ساز، فرمهای گویا و فرمهای ضرب داخلی می‌پردازد. مطالب این فصل عبارتند از: فرمهای داخلی، فضاهای ضرب داخلی، تابعیهای خطی و الحاقیها، عملگرهای یک‌ای، عملگرهای نرمال.

فصل ۹ عملگرها بر فضاهای ضرب داخلی را مطرح می‌کند. این فصل حاوی مطالب زیر می‌باشد: آشنایی، فرمها بر فضاهای ضرب داخلی، فرمهای مثبت، مطالب بیشتر راجع به فرمها، نظریه طیفی، خواص دترمینانهای نرمال.

فصل ۱۰ به فرمهای دو خطی اختصاص دارد. مطالب این فصل عبارتند از: فرمهای دو خطی، فرمهای دو خطی متقارن، فرمهای دو خطی متقارن اربب، گروههای حافظ فرمهای دو خطی. در خاتمه قسمت ضمیمه می‌آید. مطالب عنوان شده در قسمت ضمیمه عبارتند از: مجموعه‌ها، تابعها، روابط هم‌ارزی، فضاهای خارج قسمتی، روابط هم‌ارزی در جبر خطی، اصل موضوع انتخاب. پایان کتاب به کتابنامه مرزین شده است که حاوی کتب مربوطه می‌باشد.

کتاب از هر حیث کامل و در نوع خود بی‌نظیر است و می‌تواند مورد استفاده تمام مدرسان و دانشجویان این درس قرار گیرد.

دکتر علی اکبر عالمزاده

پیشگفتار مؤلفان

هدف اصلی ما در نگارش این کتاب تهیه متنی برای جبر خطی کارشناسی در مؤسسه فنی ماساچوست بوده است. این درس برای سال سوم ریاضی طراحی شده است ولی سه‌چهارم دانشجویان از رشته‌های علمی و فنی دیگر می‌آیند؛ از شاگردان سال اول گرفته تا کارشناسی ارشد. امروزه این توصیف از دانشجویان ام. آی. تی. برای این درس عمده به قوه خود باقی است. در ده سالی که از چاپ اول این کتاب می‌گذرد، شاهد گسترش جبر خطی در سراسر کشور هستیم به‌طوری که یکی از مؤلفان این فرصت را یافت که مطالب اصلی را به گروه‌های مختلف در دانشگاه برایتس، دانشگاه واشنگتن (سنت لویی)، دانشگاه کالیفرنیا (ارواین) تدریس نماید.

هدف اصلی ما در ویرایش جبر خطی افزایش تنوع درسهایی بوده است که به آسانی می‌توان از آن اتخاذ کرد. از یک سو، فصلهایی به خصوص فصلهای مشکل را چنان ساخته‌ایم که در طول راه چند نقطه توقف طبیعی وجود داشته باشند تا مدرس بتواند در یک‌چهارم یا یک‌دوم درس انتخابهای زیادی از مطالب برای تمرین داشته باشد. از آن سو، مطالب کتاب را افزایش دادیم به‌طوری که از آنها بتوان برای یک درس یک‌ساله جامع در جبر خطی و حتی یک کتاب مرجع برای ریاضدانان استفاده کرد.

تغییرات اساسی در بحث ما از فرمهای کانوی و فضاهای ضرب داخلی صورت گرفته است. در فصل ۶ دیگر با نظریه فضایی کلی که زمینه فرمهای کانوی را شروع نمی‌کیم. ابتدا مقادیر مشخصه را در رابطه با قضایای مثلث‌بندی و قطری‌سازی سامان داده و سپس راههای تجزیه فرمهای ضرب داخلی را طوری تجزیه کرده‌ایم که بعد از مطالب اصلی راجع به فضاهای ضرب داخلی و قطری‌سازی یک‌ای فصل ۹ می‌آید که به فرمهای شبه‌خطی و خواص پیچیده‌تر عملگرهای نرمال به انضمام بلگانی نرمال بر فضاهای ضرب داخلی حقیقی می‌پردازد.

چند تغییر و اصلاح کوچک نیز در ویرایش اول صورت گرفته است. سبک اصلی و رایج متن بلا تغییر مانده است.

ما به این نکته که اغلب دانشجویان ممکن است به ریاضیات علاقمند نباشند توجه داشتیم. زیرا معتقدیم که یک درس ریاضی نباید به دانشجویان علوم، مهندسی، یا علوم اجتماعی انبانی از تحسین بلکه باید به آنها درکی از مفاهیم اساسی ریاضی را ببخشد.

از آن سو، از زمینه متنوع سواد دانشجویان به خوبی آگاهییم و به‌خصوص این نکته را می‌دانیم که شاگردان استدلال ریاضی مجرد تجربه بسیار کمی دارند. به این دلیل از معرفی ایده‌های مجرد بسیار در آغاز کتاب دوری جست‌هاییم. به‌علاوه، یک ضمیمه آورده‌ایم که ایده‌های اصلی مانند مجموعه، تابع، و رابطه هم‌ارزی را ارائه می‌دهد. شایسته است که روی این ایده‌ها مستقلاً متمرکز نشوید بلکه به شاگردان توصیه کنید که ضمیمه را وقتی این ایده‌ها ظاهر شدند بخوانند.

در سراسر کتاب مثالهای متنوعی از مفاهیم مهمی که ذکر شده‌اند آورده‌ایم. مطالعه این مثالها اهمیتی اساسی داشته و تعداد شاگردانی که می‌توانند تعریف، قضیه، برهان را به‌ترتیب منطقی و بدون درک معنی مفاهیم مجرد

تکرار کنند مینیمم می‌سازد. کتاب شامل انواع مختلفی از تمرینات درجه‌بندی شده (حدوداً ششصد تا) نیز هست که از کاربردهای عادی تا مناسب برای بهترین دانشجو تغییر می‌کنند. این تمرینات بخش مهمی از کتاب را تشکیل می‌دهند.

فصل ۱ به دستگاههای معادلات خطی و حل آنها به وسیله اعمال سطری مقدماتی بر ماتریسها می‌پردازد. ما تقریباً شش سخنرانی روی این مواد برگزار کرده‌ایم. این امر به شاگرد تصویری از میانی جبر خطی و روش محاسباتی لازم برای درک مثالهایی از ایده‌های مجردتری که در فصلهای بعدی می‌آیند خواهد بخشید. فصل ۲ به فضاهای برداری، زیرفضاها، پایه‌ها، و بعد می‌پردازد. فصل ۳ تبدیلات خطی، جبر آنها، نمایش آنها به وسیله ماتریسها، هم‌چنین یکرختی، تابعیهای خطی، و فضاهای دوگان را مورد بحث قرار می‌دهد. فصل ۴ جبر چندجمله‌ای را روی یک میدان، ایده‌آلها در این جبر، و تجزیه یک چندجمله‌ای به عوامل اول را معرفی می‌کند. فصل ۵ به ریشه‌ها، فرمول تیلور، و فرمول درونیایی لاگرانژ می‌پردازد. فصل ۵ دترمینانهای ماتریسهای مربعی را شرح می‌دهد، دترمینان به عنوان یک تابع n -خطی متناوب از سطرهای یک ماتریس گرفته می‌شود و سپس به توابع چندخطی و مدولار و نیز حلقه گراسمان خواهیم پرداخت. مطالب مربوط به مدولها مفهوم دترمینان را در محدوده‌ای وسیع و معتدلی توسعه داده‌ای که معمولاً در کتب درسی مقدماتی به آن اختصاص دارد قرار می‌دهند. فصلهای ۶ و ۷ شامل یک مطالعه مفصل است که در آن تحلیل یک تبدیل خطی بر یک فضای برداری با بعد متناهی تحلیل مقادیر مشخصه، رویکردهای تبدیلات مثلثی‌پذیر و قطری‌پذیر؛ مفاهیم قسمتهای قطری‌پذیر و پوچتوان یک تبدیل کلیتر و فرمهای گویا قانوننورد را از اساس می‌باشند. قضایای تجزیه اول و دوری نقشی مرکزی دارند، به قضیه دوم در مطالعه زیرفضای میانی می‌سیم. فصل ۷ شامل بحثی از ماتریسها روی یک قلمرو چندجمله‌ای، محاسبه عاملهای پایا و مقسوم‌علیه‌های مقسوم‌علیه‌ای یک ماتریس، و ارائه فرم کانونی اسمیت است. این فصل به بحثی راجع به عملگرهای نیمه‌ساده ختم می‌شود و تحلیل یک عملگر را دور می‌زند. فصل ۸ فضاهای ضرب داخلی با بعد متناهی را به تفصیل مطرح می‌کند. این فصل هندسه اساسی را پوشش داده، متعامدسازی را به ایده بهترین تقریب به یک بردار، مرتبط ساخته، و به مفاهیم متعامد یک بردار روی یک زیرفضا و متعمد متعامد یک زیرفضا منجر می‌شود. این فصل عملگرهای یک‌ای را به بحث می‌برد و به قطری‌سازی عملگرهای خودالحاقی و نرمال ختم می‌شود. فصل ۹ فرمهای شبه‌خطی را مطرح کرده آنها را به عملگرهای مثبت و خودالحاقی بر یک فضای ضرب داخلی مربوط ساخته، به سمت نظریه طیف عملگرهای هرتز مال و سپس به نتایج پیچیده‌تر مربوط به عملگرهای نرمال بر فضاهای ضرب داخلی حقیقی یا مختلط می‌پردازد. فصل ۱۰ فرمهای دو خطی را مورد بحث قرار داده و بر فرمهای کانونی برای فرمهای متقارن و متقارن آنالیز گروههای حافظ فرمهای ناتهنگر، به خصوص گروههای متعامد، یک‌های، متعامدزما، و گروههای لورنتس تأکید می‌کند.

احساس ما این است که هر درسی که از این کتاب استفاده کند باید شامل فصلهای ۱، ۲، و ۳ به‌طور کامل احتمالاً با حذف بخشهای ۶.۳ و ۷.۳ که در رابطه با دوگان دوگانه و ترانهاده یک تبدیل خطی اند باشد. فصلهای ۴ و ۵ راجع به چندجمله‌ایها و دترمینانها را می‌توان با درجات کامل مختلف تدریس کرد؛ با این حال نظر ما این است که به این فصلها (جز نتایج مربوط به مدولها) به دقت پرداخته شود زیرا مطالب ایده‌های اصلی جبر خطی را به‌خوبی توضیح می‌دهند. حال یک درس مقدماتی می‌تواند با چهار بخش اول فصل ۶ همراه با فصل (جدید) ۸ به‌خوبی سامان یابد. اگر فرمهای گویا و زردان را نیز بگنجانیم، مطالب بیشتری از فصل ۶ لازم خواهد بود.

ما هنوز خود را مديون کسانی می‌دانیم که در ویرایش اول نقش داشته‌اند، به‌خصوص پروفیسور هری فورستن برگ^۱، لویی هووارد^۲، دانیل کان^۳، ادوارد تورپ^۴، و همچنین خانم جودیت باورز^۵، خانم بتی آن (سرچوخه) رز^۶ و دوشیزه فیلیس روبی^۷. به‌علاوه، ما یلیم از شاگردان و همکاران زیادی که نظراتشان به این ویرایش منجر شد و نیز کارکنان پرنیتیس‌هال که دو مؤلف این کتاب در کارهای آکادمیک درگیر بودند تشکر نماییم. در پایان سیاس ویژه ما نثار خانم سوفیا کولوراس^۸ به خاطر مهارت و تلاش خستگی‌ناپذیر وی در تایپ دستنویس ویرایش شده باد.

وی کنزی
(Ray Kunze)

استاد ریاضیات دانشگاه کالیفرنیا
اروین

کنت هافمن
(Kenneth Hoffman)

ار ریاضیات انستیتوی تکنولوژی
ماساچوست

-
1. Harry Furstenberg
 2. Louis Howard
 3. Daniel Kan
 4. Edward Thorp
 5. Judith Bowers
 6. Betty Ann (Sargent) Rose
 7. Phyllis Ruby
 8. Sophia Koulouras

فهرست مطالب

۱	فصل ۱. معادلات خطی
۱	۱.۱ میدانها
۳	۲.۱ دستگاههای معادلات خطی
۵	۳.۱ ماتریسها و اعمال سطری مقدماتی
۱۱	۴.۱ ماتریسهای سطری و ستونی قابل یافتن
۱۷	۵.۱ ضرب ماتریسی
۲۲	۶.۱ ماتریسهای معکوس پذیر
۳۱	فصل ۲. فضاهای برداری
۳۱	۱.۲ فضاهای برداری
۳۷	۲.۲ زیرفضاها
۴۴	۳.۲ پایه‌ها و بعد
۵۴	۴.۲ مختصات
۶۱	۵.۲ خلاصه هم‌ارزی سطری
۶۴	۶.۲ محاسبات مربوط به زیرفضاها
۷۵	فصل ۳. تبدیلات خطی
۷۵	۱.۳ تبدیلات خطی
۸۳	۲.۳ جبر تبدیلات خطی
۹۴	۳.۳ یکریختی
۹۶	۴.۳ نمایش تبدیلات به وسیله ماتریسها
۱۰۹	۵.۳ تابعهای خطی
۱۲۱	۶.۳ دوگان دوگانه
۱۲۶	۷.۳ ترانزفاده یک تبدیل خطی
۱۳۳	فصل ۴. چندجمله‌ایها
۱۳۳	۱.۴ جبرها
۱۳۵	۲.۴ جبر چندجمله‌ایها
۱۴۱	۳.۴ درونایابی لاگرانژ

۱۴۵	.....	۴.۴ ایده‌آلهای چندجمله‌ای
۱۵۳	.....	۵.۴ تجزیه یک چندجمله‌ای به عوامل اول

۱۶۱	.....	فصل ۵. دترمینانها
۱۶۱	.....	۱.۵ حلقه‌های تعویض‌پذیر
۱۶۲	.....	۲.۵ توابع دترمینان
۱۷۳	.....	۳.۵ جایگشتها و یکتایی دترمینانها
۱۷۹	.....	۵ خواص دیگری از دترمینانها
۱۸۹	.....	۵.۵ ولها
۱۹۰	.....	توابع چندخطی
۲۰۰	.....	۷.۵ به گراسمان

۲۱۱	.....	فصل ۶. فرمهای کانی مقدماتی
۲۱۱	.....	۱.۶ آشنایی
۲۱۲	.....	۲.۶ مقادیر مشخصه
۲۲۱	.....	۳.۶ چندجمله‌ایهای فناساز
۲۳۰	.....	۴.۶ زیرفضاهای پایا
۲۳۸	.....	۵.۶ مثلث‌بندی همزمان؛ قطری‌سازی هارمان
۲۴۱	.....	۶.۶ تجزیه‌ها به مجموع مستقیم
۲۴۶	.....	۷.۶ مجموعه‌های مستقیم پایا
۲۵۳	.....	۸.۶ قضیه تجزیه اول

۲۶۳	.....	فصل ۷. فرمهای گویا و ژردان
۲۶۳	.....	۱.۷ زیرفضاهای دوری و فئاسازها
۲۶۷	.....	۲.۷ تجزیه‌های دوری و فرم گویا
۲۸۲	.....	۳.۷ فرم ژردان
۲۹۰	.....	۴.۷ محاسبه عوامل پایا
۳۰۲	.....	۵.۷ خلاصه: عملگرهای نیمه ساده

۳۱۱	.....	فصل ۸. فضاهای ضرب داخلی
۳۱۱	.....	۱.۸ حاصل ضربهای داخلی
۳۱۹	.....	۲.۸ فضاهای ضرب داخلی
۳۳۴	.....	۳.۸ تابعیهای خطی و الحاقیها
۳۴۴	.....	۴.۸ عملگرهای یک‌ای
۳۵۸	.....	۵.۸ عملگرهای نرمال

فصل ۹. عملگرها بر فضاهای ضرب داخلی ۳۶۷

۱.۹. آشنایی ۳۶۷

۲.۹. فرمها بر فضاهای ضرب داخلی ۳۶۷

۳.۹. فرمهای مثبت ۳۷۴

۴.۹. مطالب بیشتر راجع به فرمها ۳۸۲

۵.۹. نظریه طیفی ۳۸۶

۶.۹. خواص دیگری از عملگرهای نرمال ۴۰۲

فصل ۱۰. فرمهای دو خطی ۴۱۵

۱.۱۰. فرمهای دو خطی ۴۱۵

۲.۱۰. فرمهای دو خطی متقارن ۴۲۴

۳.۱۰. فرمهای دو خطی متقارن ضرب ۴۳۴

۴.۱۰. گروههای حاصل از فرمهای دو خطی ۴۳۸

ضمیمه ۴۴۷

۱. ض. مجموعهها ۴۴۷

۲. ض. تابعها ۴۴۹

۳. ض. روابط همارزی ۴۵۲

۴. ض. فضاهای خارج قسمتی ۴۵۵

۵. ض. روابط همارزی در جبر خطی ۴۵۸

۶. ض. اصل موضوع انتخاب ۴۵۹

کتابنامه ۴۶۰