



انتخاب ژنومی در دام

ژول ایرا وِلر

ترجمه:

دکتر مریم نصرتی

عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور بجنورد

دکتر محمد مهدی شریعتی

عضو هیئت علمی دانشگاه فردوسی مشهد

Weller, Joel Ira

ولر، جوئل ایرا

سرشناسه:

انتخاب ژنومی در دام / ژول ایرا ولر؛ ترجمه، مریم نصرتی محمدمهدی شریعتی.

عنوان و نام پدیدآور:

مشهد: دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۷.

مشخصات نشر:

۲۰۸ ص. مصور، جدول، نمودار.

مشخصات ظاهری:

انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد؛ شماره ۶۹۸.

فروست:

ISBN: 978-964-386-373-9

شابک:

وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا.

Genomic Selection in Animals.

یادداشت: عنوان اصلی:

یادداشت: واژه‌نامه.

Domestic animals -- genetics

موضوع: حیوان‌های اهلی -- ژنتیک

Livestock -- genetics

موضوع: دام‌ها -- ژنتیک

Animal breeding

موضوع: حیوان‌ها -- اصلاح نژاد

Breeding

موضوع: اصلاح نژاد

شناسه افزوده: نصرتی، مریم، مترجم.

Ferdowsi University of Mashhad.

شناسه زوده: ریعتی، محمدمهدی، ۱۳۵۲ - مترجم.

شناسه افزوده: دانشگاه فردوسی مشهد.

رده‌بندی کنگره: صف ۱۳۹ الف/۵/۸ SF1۰۵

رده‌بندی دیویی: ۶۳۶.۰۸۱۱

شماره کتابشناسی ملی: ۲۹۹۶۰۴

انتخاب ژنومی در دام

پدیدآورنده: ژول ایرا ولر

ترجمه: دکتر مریم نصرتی؛ دکتر محمد مهدی شریعتی

ویراستار علمی: دکتر سعید انصاری مهیار

مشخصات: وزیری، ۵۰۰ نسخه، چاپ اول، تابستان ۹۷

چاپ و صحافی: چاپخانه دانشگاه فردوسی مشهد

بها: ۱۸۰/۰۰۰ ریال

حق چاپ برای انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد محفوظ است.

مراکز پخش:

فروشگاه و نمایشگاه کتاب پردیس: مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، سازمان مرکزی،

جنب سلف یاس تلفن: ۳۸۸۳۳۷۲۷ (۰۵۱)

مؤسسه کتابیران: تهران، خیابان کارگر جنوبی، خیابان لبافی‌نژاد، بین خیابان فروردین و اردیبهشت،

شماره ۲۳۸ تلفن: ۶۶۴۸۴۷۱۵-۶۶۴۹۴۴۰۹ (۰۲۱)

مؤسسه دانشیوران: تهران، خیابان انقلاب، خیابان منیری جاوید (اردیبهشت) نبش خیابان نظری،

شماره ۱۴۲ تلفکس: ۶۶۴۰۰۲۲۰-۶۶۴۰۰۱۴۴ (۰۲۱)



فهرست

پیشگفتار مترجمان.....	۱۳
پیشگفتار مؤلف.....	۱۴
فصل ۱. مختصری از تاریخچه	۱۵
مقدمه.....	۱۵
تئوری ژنتیک «مدلی».....	۱۵
اصول «مدلی» در نوع نباتات.....	۱۶
شناسایی QTLها با استفاده از نشانگرهای بیوشیمیایی و مورفولوژیکی.....	۱۷
نشانگرهای DNA، طی سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۹۱.....	۱۸
نشانگرهای DNA از سال ۱۹۹۵ به بعد: چنانچه تک‌نوکلئوتیدی و CNV.....	۱۹
شناسایی QTLها پیش از انتخاب ژنومی.....	۱۹
انتخاب بر مبنای نشانگر پیش از انتخاب ژنومی.....	۲۰
خلاصه.....	۲۲
فصل ۲. انواع نشانگرهای ژنتیکی و روش‌های تعیین ژنوتیپ	۲۳
مقدمه.....	۲۳
از نشانگرهای بیوشیمیایی تا نشانگرهای DNA.....	۲۳
ریزماهواره‌های DNA.....	۲۴
چندشکلی تک‌نوکلئوتیدی.....	۲۵
تنوع در تعداد کپی.....	۲۶
تعیین توانی کل ژنوم.....	۲۶
خلاصه.....	۲۷
فصل ۳. برنامه‌های پیشرفته اصلاح دام	۲۸
قبل از انتخاب ژنومی.....	۲۸
مقدمه.....	۲۸
انتخاب داخل نژاد: اصول پایه و معادلات.....	۲۹
طرح‌های رایج انتخاب در گاو شیری.....	۲۹

۳۲	طرح‌های آمیخته‌گری: مزایا و معایب
۳۳	خلاصه

۳۴	فصل ۴. ارزیابی اقتصادی برنامه‌های اصلاح‌نژادی
۳۴	مقدمه
۳۵	اقتصاد مکی در تقابل با رقابت بین اصلاح‌گران
۳۶	معیارهای ارزیابی ژنتیکی: افق سود، نرخ علاقه‌مندی و بازگشت سرمایه
۳۷	خلاصه

۳۹	فصل ۵. تخمین پارامتر به روش حداقل مربعات، حداکثر درست‌نمایی و بیزی
۳۹	مقدمه
۴۰	برآورد پارامتر به روش حداقل مربعات
۴۱	برآورد حداکثر درست‌نمایی و پارامتر
۴۳	برآورد حداکثر درست‌نمایی چندین پارامتر
۴۵	روش‌های به‌حداکثر رساندن توابع درست‌نمایی
۴۶	حدود اطمینان و آزمون فرض برای حداکثر درست‌نمایی
۴۷	برآورد بیزی
۴۸	برآورد پارامتر از طریق نمونه‌بردار گیبس
۴۹	خلاصه

۵۰	فصل ۶. ارزیابی ژنتیکی بر مبنای صفت: مدل‌های مختلط
۵۰	مقدمه
۵۱	اصول شاخص انتخاب
۵۴	مدل مختلط خطی
۵۵	معادلات مدل مختلط
۵۶	حل معادلات مدل مختلط
۵۷	خصوصیات اصلی نتایج حل مدل مختلط
۵۷	تجزیه مدل مختلط چندمتغیره
۵۸	مدل حیوانی منفرد
۶۰	انحراف عملکرد و انحراف عملکرد دختران
۶۱	تجزیه DYD به عنوان متغیر وابسته
۶۳	خلاصه

فصل ۷. برآورد بیزی و حداکثر درست‌نمایی پارامترهای QTL به صورت اثرات تصادفی آورده شده در مدل.....	۶۴
مقدمه.....	۶۴
برآورد حداکثر درست‌نمایی اثرات QTL به وسیله اثرات تصادفی در مدل: طرح «دختری».....	۶۴
طرح «نوه دختری».....	۶۶
برآورد توزیع پیشین پارامتر QTL برای طرح «نوه دختری».....	۶۸
فرمول برآورد بیزی و آزمون معنی داری QTL تفرق یافته در طرح «نوه دختری».....	۷۱
خلاصه.....	۷۲
فصل ۸. حداکثر درست‌نمایی، حداکثر درست‌نمایی محدود و برآورد بیزی در مدل های مختلط.....	۷۳
مقدمه.....	۷۳
به دست آوردن رابطه معادلات مدل مختلط به وسیله حداکثر درست‌نمایی.....	۷۴
برآورد مؤلفه های واریانس مدل مختلط.....	۷۴
برآورد حداکثر درست‌نمایی برای مؤلفه های واریانس.....	۷۵
برآورد حداکثر درست‌نمایی محدود برای مؤلفه های واریانس.....	۷۷
برآورد مؤلفه های واریانس به روش سربزه برآورد کیس.....	۷۸
خلاصه.....	۸۱
فصل ۹. توزیع اثرات ژنتیکی، تئوری و نتایج.....	۸۲
مقدمه.....	۸۲
مدل سازی واریانس چندژنی.....	۸۲
اندازه مؤثر QTL.....	۸۴
وجود وراثت پذیری گم شده.....	۸۵
روش های تشخیص واریانس های عامل برای QTL ها در حیوان و انسان.....	۸۷
تشخیص QTN در گاو شیری.....	۸۷
برآورد تعداد QTL تفرق یافته بر اساس مطالعات نقشه های پیوستگی.....	۸۹
نتایج پویش ژنوم گاوهای شیری با طرح نوه دختری.....	۹۱
نتایج مطالعات ارتباطی کل ژنوم در گاوهای شیری با تراشه های چندشکلی تک نوکلئوتیدی (SNP).....	۹۱
خلاصه.....	۹۳
فصل ۱۰. معضل مقایسات چندگانه.....	۹۴
مقدمه.....	۹۴
نشانهگرهای چندگانه و پویش کل ژنوم.....	۹۵

۹۷	شناسایی QTL با آزمون‌های جایگشتی
۹۸	شناسایی QTL ها براساس نرخ تشخیص اشتباه
۱۰۲	تعیین توزیع پیشین سهم اشتباه مثبت
۱۰۳	اریب در برآورد هم‌زمان چندین QTL
۱۰۴	برآورد بیزی QTL با پویش کل ژنوم: تئوری
۱۰۵	مدل بیزی A و بیزی B
۱۰۷	برآورد بیزی QTL از پویش کل ژنوم: نتایج شبیه‌سازی
۱۰۸	خلاصه

فصل ۱۱. مکانابی پیوستگی QTL

۱۰۹	مقدمه
۱۰۹	مکانابی فاصله‌ای با روش غیرخطی: طرح تلاقی برگشتی
۱۱۲	مکانابی فاصله‌ای برای طرح «خرد» طرح «نوه دختری»
۱۱۳	محاسبه فاصله اطمینان
۱۱۵	مطالعات شبیه‌سازی پیرامون فاصله اطمینان
۱۱۶	روش‌های تجربی برآورد فاصله اطمینان: بود استیپ پارامتریک و ناپارامتریک و روش‌های Jackknife
۱۱۷	خلاصه

فصل ۱۲. مکانابی QTL به روش عدم تعادل پیوستگی

۱۱۸	مقدمه
۱۱۸	برآورد عدم تعادل پیوستگی در جمعیت‌های حیوانی
۱۱۹	مکانابی QTL با استفاده از LD: اصول اولیه
۱۲۰	مکانابی QTL به روش ترکیبی عدم تعادل پیوستگی و تعادل پیوستگی
۱۲۲	مکانابی چندین QTL و چندصفت به روش عدم تعادل پیوستگی
۱۲۳	خلاصه

فصل ۱۳. انتخاب بر مبنای نشانگر: استراتژی پایه

۱۲۵	مقدمه
۱۲۵	شرایط ناکارآمد شدن شاخص انتخاب
۱۲۶	پتانسیل سهم MAS برای انتخاب درون یک نژاد: خصوصیات عمومی
۱۲۷	انتخاب براساس فنوتیپ در مقابل MAS در روش انتخاب انفرادی
۱۲۸	کاربرد MAS در صفات محدود به جنس

کاربرد MAS با اطلاعات فنوتیپی و نشانگری خویشاوندان.....	۱۳۰
حداکثر بازده انتخاب توسط MAS براساس همه QTL های شناخته شده نسبت به انتخاب بر مبنای صفت و کاهش در RSE به دلیل واریانس نمونه بردای.....	۱۳۱
اطلاعات نشانگر در جمعیت های تفرق یافته.....	۱۳۱
ورود اطلاعات نشانگر در ارزیابی های ژنتیکی بر مبنای «مدل حیوانی».....	۱۳۲
پیشرفت ژنتیکی پیش بینی شده با ارزش های اصلاحی ژنومی بر آورده شده: نتایج مطالعات شبیه سازی.....	۱۳۳
خلاصه.....	۱۳۵

فصل ۱۴. ارزیابی ژنتیکی براساس نقشه های متراکم نشانگری: استراتژی های پایه.....	۱۳۶
مقدمه.....	۱۳۶
مراحل اصلی در ارزیابی ژنومی.....	۱۳۷
ارزیابی ارزش اصلاحی ژنومی بر آورده شده.....	۱۳۷
منابع ارب در ارزیابی ژنومی.....	۱۳۸
نشانگر به صورت اثرات ثابت یا تصادفی.....	۱۳۹
نشانگرهای منفرد در برابر هابلوتیپ.....	۱۴۰
کل نشانگرها در برابر نشانگرهای قابل استفاده.....	۱۴۰
انحراف فراوانی های ژنوتیپی از مقادیر مورد انتظار.....	۱۴۱
گنجاندن همه نشانگرها در مقابل انتخاب نشانگرها با اثرات معنی دار.....	۱۴۲
ماتریس روابط خویشاوندی ژنومی.....	۱۴۳
خلاصه.....	۱۴۴

فصل ۱۵. ارزیابی ژنتیکی براساس برآوردهای ژنتیکی یا ارزیابی عملکرد دختران.....	۱۴۵
مقدمه.....	۱۴۵
مقایسه مدل های تک مرحله ای و چند مرحله ای.....	۱۴۶
نحوه محاسبه خصوصیات عملکرد دختران و DYD.....	۱۴۷
محاسبات رگرسیون برگشتی ارزیابی های ژنتیکی.....	۱۴۸
تجزیه DYD به عنوان متغیر وابسته برای همه نشانگرهای گنجانده شده به عنوان اثرات تصادفی.....	۱۴۹
محاسبه قابلیت اطمینان ارزش اصلاحی ژنومی بر آورده.....	۱۵۱
وزنه دهی با روش بیز برای اثرات نشانگر.....	۱۵۲
دیگر روش های بیز برای ارزیابی ژنومی.....	۱۵۳
خلاصه.....	۱۵۳

فصل ۱۶. ارزیابی ژنومی براساس تجزیه رکوردهای تولید.....	۱۵۵
مقدمه.....	۱۵۵
روش های تک مرحله ای: استراتژی پایه.....	۱۵۵
محاسبه ماتریس خویشاوندی تغییر یافته، چنانچه تنها بخشی از حیوانات ژنوتیپ شده اند: یک مسئله.....	۱۵۶
معیارهای ماتریس های خویشاوندی ژنتیکی معتبر.....	۱۵۷
محاسبه ماتریس خویشاوندی تغییر یافته، چنانچه بخشی از حیوانات ژنوتیپ شده باشند: پاسخ.....	۱۵۷
حل معادلات مدل مختلط بدون معکوس کردن ماتریس H.....	۱۵۸
معکوس کردن ماتریس خویشاوندی ژنومی.....	۱۵۸
برآورد قابلیت اطمینان ارزش اصلاحی ژنومی حاصل از روش های تک مرحله ای.....	۱۵۹
محاسبه یک مرحله ای ارزیابی ژنومی با وزنه های نابرابر اثرات نشانگرها.....	۱۶۰
خلاصه.....	۱۶۲
فصل ۱۷. ارزیابی روش های برآورد ارزش اصلاحی ژنومی.....	۱۶۳
مقدمه.....	۱۶۳
معیارهای ارزیابی، برآورد ارزش ژنتیکی.....	۱۶۳
روش های مورد استفاده برای تأیید ارزیابی های ژنتیکی ژنومی.....	۱۶۴
ارزیابی روش دوم مرحله ای براساس داده های شیه سازی گاو شیری.....	۱۶۵
روش ارزیابی چند مرحله ای براساس داده های واقعی گاو شیری.....	۱۶۷
ارزیابی با روش یک مرحله ای براساس داده های واقعی گاو شیری.....	۱۶۸
ارزیابی روش یک مرحله ای و چند مرحله ای براساس داده های واقعی ط.....	۱۶۹
ارزیابی یک مرحله ای و چند مرحله ای براساس داده های واقعی خوک.....	۱۷۰
ارزیابی GEBV برای گیاهان براساس داده های واقعی.....	۱۷۱
خلاصه.....	۱۷۱
فصل ۱۸. نتایج فرعی بررسی ژنومی: تشخیص و تأیید شجره.....	۱۷۳
مقدمه.....	۱۷۳
اثرات تشخیص نادرست والدین در اصلاح دام.....	۱۷۴
اصول تشخیص و شناسایی والدین با نشانگرهای ژنتیکی.....	۱۷۴
اعتبارسنجی منشأ پدری پیش از تراشه های جهش تکنو کلونوتیدی با تراکم بالا.....	۱۷۵
اعتبارسنجی و تعیین والدین با تراشه جهش تکنو کلونوتیدی.....	۱۷۶
اعتبارسنجی روابط خویشاوندی دورتر.....	۱۷۷
بازسازی شجره با استفاده از نشانگرهای ژنتیکی تراکم بالا.....	۱۷۸
خلاصه.....	۱۷۹

فصل ۱۹. ردیابی ژنوتیپ‌های گم‌شده: روش‌ها، صحت‌ها و اثرات آن بر ارزیابی ژنومی.....	۱۸۰
مقدمه.....	۱۸۰
تعیین هاپلوتیپ‌ها برای ردیابی.....	۱۸۲
ردیابی ژنوتیپ در انسان در مقایسه با حیوانات اهلی.....	۱۸۲
الگوریتم‌های پیشنهادی برای ردیابی در جوامع انسانی و حیوانی.....	۱۸۲
مقایسه صحت و سرعت روش‌های ردیابی.....	۱۸۴
اثرات ردیابی بر ارزیابی ژنتیکی ژنومی.....	۱۸۶
خلاصه.....	۱۸۷
فصل ۲۰. تشخیص اعتبار سنجی نوکلئوتیدهای صفت کمی.....	۱۸۸
مقدمه.....	۱۸۸
GWAS برای صفات اقتصادی در حیوانات تجاری.....	۱۸۹
شناسایی QTN: آیا یک نشانگر بهیو است؟.....	۱۹۰
تعیین QTN در حیوانات اهلی: به‌گونه تأیید می‌شوند؟.....	۱۹۱
تطابق بین ژنوتیپ‌های سطح DNA و وضعیت OTL.....	۱۹۲
تعیین تطابق به‌وسیله "APGD".....	۱۹۲
تعیین ترتیب توالی در پدر بزرگ‌های هتروزیگوت برای QTL.....	۱۹۴
تعیین ژن‌های مغلوب کشته به‌وسیله GWAS و اثرات مرئی با هتروزیگوت‌ها.....	۱۹۴
تأیید QTN با روش‌های آماری و بیولوژیکی.....	۱۹۵
خلاصه.....	۱۹۶
فصل ۲۱. چشم‌انداز آینده و نتیجه‌گیری.....	۱۹۸
مقدمه.....	۱۹۸
نشانگرهای زیاد در مقابل افراد زیاد ژنوتیپ‌شده.....	۱۹۹
محاسبه ارزیابی ژنومی در گاو و گوساله‌های ماده.....	۱۹۹
بهبود روش‌های ارزیابی ژنومی.....	۲۰۰
ملاحظات بلندمدت.....	۲۰۰
ارزیابی وزندهی به گاوهای نر مسن در مقابل گاوهای نر جوان.....	۲۰۲
دست‌کاری ژنتیکی مستقیم در حیوانات اهلی.....	۲۰۳
Velogenetics: استفاده از سینرژیک بین MAS و دست‌کاری ژرم‌لاین‌ها.....	۲۰۳
خلاصه.....	۲۰۴
نمایه.....	۲۰۵

پیشگفتار مترجمان

قبل از پیدایش روش های مختلف تعیین ژنوتیپ انتخاب دام های برتر از نظر ارزش زنتیکی بر پایه استفاده از رکوردهای فنوتیپی و اطلاعات شجره بود. در مرحله بعد همزمان با ابداع روش های آزمایشگاهی تعیین ژنوتیپ، در روش انتخاب بر مبنای نشانگر، انتخاب حیوانات بر اساس پیوستگی نامتعادل نشانگر با QTL صورت می گرفت. در سال های اخیر روش های تعیین ژنوتیپ با سرعت و حجم بالا و هزینه قابل قبول منجر به معرفی انتخاب ژنومی به عنوان یک راه حل جدید برای بهبود صفات کمی در حیوانات و گیاهان شد که از اطلاعات حجم وسیع نشانگرها در سطح ژنوم استفاده می کند. در واقع انتخاب ژنومی، انتخاب بر مبنای ارزش های اصلاحی ژنومی (GEBV) است که این ارزش اصلاحی ژنومی، خود بر مبنای مجموع اثرات نشانگرهای ژنتیکی یا پلوتیپ های نشانگرها در سرتاسر ژنوم برآورد می شود. به این ترتیب، این روش قادر است کلیه QTL هایی که در نواحی صفات مؤثرند را در نظر داشته باشد. در ابتدا اثرات QTL ها از طریق هاپلوتیپ ها یا SNP ها در یک جمعیت مرجع بزرگ که دارای رکورد فنوتیپی است، برآورد می شود، اما در نسل های بعد فقط اطلاعات نشانگرها در برآورد ارزش های اصلاحی ژنومی مورد استفاده قرار می گیرد. قابلیت اطمینان ارزش های اصلاحی ژنومی در نسل های جوان بدون آزمون نتاج بین ۲۰ تا ۶۷ درصد است. قابلیت اطمینان به وراثت پذیری صفت مورد بررسی، تعداد نرها در جمعیت مرجع، روش آماری مورد استفاده برای برآورد اثر نشانگر در جمعیت مرجع، و حساسیت به قابلیت اطمینان دارد.

کتاب حاضر اولین تألیف در حوزه انتخاب ژنومی در دام است که به زبان فارسی ترجمه گردیده است. این کتاب مشتمل بر ۲۱ فصل است که به بررسی و مطالعه مسائل مختلف در حوزه انتخاب ژنومی در دام پرداخته است. همگام با توجه مجامع بین المللی علمی به انتخاب ژنومی از سال ۲۰۰۰ در دانشگاه های ایران نیز این موضوع مورد توجه اساتید و دانشجویان تحصیلات تکمیلی قرار گرفته است. لذا هدف از ترجمه این کتاب فراهم نمودن منابع تخصصی در این زمینه به زبان فارسی برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی بوده است. دانشجویان مقطع کارشناسی رشته های علوم دامی، زراعی و زیست شناسی نیز برای آشنایی با مبحث پرکاربرد انتخاب ژنومی می توانند از این منبع فارسی استفاده نمایند.

مترجمان بر این امر واقف هستند که با وجود دقت فراوان و تصحیحات مکرر، ترجمه کتاب حاضر خالی از اشکال نیست؛ لذا از کلیه محققان درخواست می شود در صورت مشاهده هر گونه نقص و کاستی با ارسال آن برای مترجمان، موجبات جبران آن را در چاپ های بعدی فراهم نمایند.

پیشگفتار مؤلف

من از زمان شروع دوره دکتری تحت راهنمایی پروفیسور موریس سولر و دکتر توماس پرودی در سال ۱۹۷۷ در زمینه مارکرهای ژنتیکی و جایگاه‌های صفات کمی (QTL) تحقیق کرده‌ام. در دوره دکتری ۲۰۰۰ بوته گیاه به فاکتوری کشت دادیم و از مارکرهای مورفولوژیکی و بیوشیمیایی (ایزوزیم‌ها) استفاده کردیم. در اوایل دهه ۱۹۸۰ دکتر سولر بر این باور بود که انتخاب به کمک مارکر به زودی شایع می‌شود. اکنون بدون اغراق می‌توانیم بگوییم که به سرزمین موعود رسیده‌ایم. انتخاب به کمک مارکر یا همان انتخاب ژنومی برای اکثر گیاهان مرعای به خصوص گاو شیری، طی پنج سال گذشته به یک واقعیت تبدیل شده است. با این حال روش‌های زیبایی ژنومی هنوز در حال توسعه هستند. با این که مطالب کافی برای تهیه یک کتاب مرجع در این زمینه برای دانشجویان تحصیلات تکمیلی وجود دارد، مطمئناً یک کتاب مشابه پنج سال بعد کاملاً متفاوت خواهد بود.

هنگام تهیه چنین کتابی همیشه باید در نظر گرفت که مخاطب چه مطالبی را می‌داند و چه مطالبی باید مفصلاً بحث شود. در زمینه بیولوژی، مخاطب به اطلاعات و بیعی نیاز ندارد؛ به طوری که هر فارغ التحصیل بیولوژی در مقطع کارشناسی مطالب ارائه شده را در کتابی که در زمینه ژنتیک، فرض بر این است که مخاطب مفاهیم پایه ژنتیک کمی در سطح کتاب "مقدمه‌ای بر ژنتیک" کمی "اثر فالدکونر (۱۹۹۶)، یا "ژنتیک و آنالیز صفات کمی" اثر لینچ و والش (۱۹۹۸) را می‌داند. در ارتباط با اضمیات، فرض بر آشنایی با حساب دیفرانسیل و انتگرال و مقدمات جبر ماتریس است.

در پایان مایل هستم از افرادی که در تهیه این کتاب مرا یاری کردند تشکر کنم. بیلا استادانم موریس سولر و توماس پرودی را ذکر کردم و باید مرحوم رام ماثوف و روون بار را به آنان اضافه کنم. همچنین از همکارانم میچا رون، افرانیم ازرا، ایگناسی میستال، جورج ویگانز، پل ون رادن، و جان کول و از ویراستاران جاستین جفریز و استفانی دولان و نیز از خانواده‌ام مخصوصاً همسرم هدا که همیشه حامی من بوده است تشکر می‌کنم.