

۱۶۴۰۰۷۲

# روش‌های واکاوی و هم‌نهاد در زمین‌شناسی ساختاری

Analysis and Synthesis Methods  
in  
Structural Geology

دکتر محمدرضا قاسمی

Dr. Mohammad Reza Ghassemi



تابستان ۱۳۹۵

## به نام والای او

|                      |                                                                                                               |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه:             | قاسمی، محمدرضا، ۱۳۴۰-                                                                                         |
| عنوان و نام پدیدآور: | روش‌های واکاوی و هم‌نهاد در زمین‌شناسی ساختاری = Analysis and Synthesis Methods in Structural Geology         |
| مشخصات نشر:          | محمدرضا قاسمی، ابرایا سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشگاه علوم زمین<br>تهران: جوان امروز، ۱۳۹۵. |
| مشخصات ظاهری:        | ۲۳۶: مصور، جدول، نمودار؛ ۲۹×۲۲ س.م.                                                                           |
| شابک:                | ۹۷۸-۹۶۴-۷۲۵۸-۴۰-۱                                                                                             |
| وضعیت فهرست‌بندی:    | یادداشت:                                                                                                      |
| یادداشت:             | یادداشت:                                                                                                      |
| یادداشت:             | کتابنامه: ۴۳۱                                                                                                 |
| موضوع:               | Geology, Structural                                                                                           |
| موضوع:               | زمین‌شناسی ساختاری - داده‌پردازی                                                                              |
| موضوع:               | زمین‌شناسی ساختاری - آرایش‌ها                                                                                 |
| موضوع:               | Geology, Structural Experiments                                                                               |
| شناسه افزوده:        | سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پژوهشگاه علوم زمین                                                   |
| رده‌بندی کنگره:      | OF ۰۱/۱۳۹۵                                                                                                    |
| رده‌بندی دیویی:      | ۵۵۱/۸                                                                                                         |
| شماره کتابشناسی ملی: | ۴۳۳۳۶۵                                                                                                        |

## روش‌های واکاوی و هم‌نهاد در زمین‌شناسی ساختاری

تألیف: دکتر محمدرضا قاسمی (عضو هیات علمی پژوهشگاه علوم زمین)

صفحه‌آرایی و طراحی جلد: حامد شاملو

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۷۲۵۸-۴۰-۱

قطع و تعداد صفحات: ۲۳۶ صفحه رحلی

چاپ اول: تابستان ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

قیمت: ۳۰۰۰ تومان



تهران - خیابان شریعتی - خیابان ملک - پلاک ۵ - واحد ۱۳

تلفن: ۰۹۳۷۹۷۰۷۷۷۹

۸۸۴۴۶۸۲۲

۸۸۴۷۲۶۶۹

nashr.javan@gmail.com

|                                                          |                                                                  |
|----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| ۷                                                        | دبیاچه                                                           |
| ۹                                                        | پیش‌نوشتار                                                       |
| <b>۱- روش‌های جمع‌آوری داده‌ها در زمین‌شناسی ساختاری</b> |                                                                  |
| ۱۱                                                       | و واکاوی آغازین داده‌های صحرایی                                  |
| ۱۳                                                       | ۱-۱- ساختارهای صفحه‌ای، ساختارهای خطی و اندازه‌گیری آن‌ها        |
| ۱۳                                                       | ۱-۲- واژگان وضعیت فضایی عنصرهای ساختاری                          |
| ۱۴                                                       | ۱-۳- ابزارهای برداشت و چگونگی یادداشت برداشت                     |
| ۱۶                                                       | ۱-۴- آشنایی با جی‌بی‌اس                                          |
|                                                          | ۱-۵- واکاوی آغازین داده‌های ساختاری، آشنایی با                   |
| ۲۰                                                       | روش‌های تصویرگری ارتوگرافیک                                      |
| ۲۰                                                       | ۱-۵-۱- تصویرگری ارتوگرافیک                                       |
| ۲۰                                                       | ۱-۵-۱- پرسش‌های مربوط به شیب ظاهری                               |
| ۲۴                                                       | تمرین‌های فصل ۱                                                  |
| <b>۲- روش‌های واکاوی تنش</b>                             |                                                                  |
| ۲۹                                                       | ۱-۲- واکاوی تنش                                                  |
| ۳۰                                                       | ۲-۲- واکاوی تنش به کمک دایره موهر                                |
| ۳۶                                                       | ۳-۲- زمینلرزه و تنش                                              |
| ۴۰                                                       | تمرین‌های فصل ۲                                                  |
| <b>۳- روش‌های واکاوی کرنش</b>                            |                                                                  |
| ۴۳                                                       | ۱-۳- واکاوی یک‌بعدی و ساده کرنش                                  |
| ۵۰                                                       | ۲-۳- واکاوی دوبعدی کرنش به کمک دایره موهر                        |
| ۵۰                                                       | ۳-۳- واکاوی سه‌بعدی کرنش به کمک نمودار فلیت                      |
| ۵۱                                                       | ۴-۳- دگرریختی‌های فرانهاده                                       |
| ۵۴                                                       | تمرین‌های فصل ۳                                                  |
| <b>۴- روش‌های استریوگرافیک و واکاوی چرخش</b>             |                                                                  |
| ۶۳                                                       | ۱-۴- تصویرگری استریوگرافیک                                       |
| ۶۵                                                       | ۲-۴- کج‌شدگی لایه‌ها و چرخش پدیده‌های صفحه‌ای و خطی              |
| ۶۷                                                       | ۳-۴- به دست آوردن وضعیت عنصرهای صفحه‌ای به کمک داده‌های گمانه‌ای |
| ۷۴                                                       | تمرین‌های فصل ۴                                                  |
| <b>۵- واکاوی گسله‌ها و پهنه‌های بُرش</b>                 |                                                                  |
| ۷۷                                                       | ۱-۵- الگوی گسله‌ها بر روی نقشه                                   |
| ۸۰                                                       | ۲-۵- محاسبه بردار جابجایی عنصرهای صفحه‌ای بر روی گسله‌ها         |
| ۸۰                                                       | ۳-۵- تعیین بردار جابجایی با کمک دو عنصر صفحه‌ای متقاطع           |
| ۸۱                                                       | ۴-۵- محاسبه درازشدگی در اثر حرکت بر روی گسله‌های عادی            |
| ۸۱                                                       | ۵-۵- گسلش‌های چرخشی                                              |
| ۸۵                                                       | ۶-۵- واکاوی جنبش‌شناختی و پویا-شناختی گسله‌ها و پهنه‌های بُرش    |
| ۸۸                                                       | تمرین‌های فصل ۵                                                  |

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۱۰۱ | ۶- واکاوی چین ها                                                |
| ۱۰۳ | ۶-۱- بررسی برش چین ها در نیمرخ و نقشه                           |
| ۱۰۶ | ۶-۲- نمودارهای کنتردار                                          |
| ۱۰۹ | ۶-۳- چین های پارازیتی و چین های فرانهاد                         |
| ۱۱۲ | تمرین های فصل ۶                                                 |
| ۱۱۹ | ۷- نقشه ها و برش های زمین شناسی و تفسیر آن ها                   |
| ۱۲۱ | ۷-۱- الگوی رخنمون پدیده های صفحه ای شیب دار در زمین های ناهموار |
|     | ۷-۲- تعیین شیب و راستا از روی عکس های هوایی                     |
| ۱۲۲ | به کمک روش های استریوگرافیک                                     |
| ۱۲۶ | ۷-۳- منحنی های تراز ساختاری                                     |
| ۱۳۰ | ۷-۴- نقشه های هم ستبر و هم مغزه                                 |
| ۱۳۳ | ۷-۵- تصاویرهای ایزومتریک و محاسبه ذخیره کانسنگ                  |
| ۱۳۸ | ۷-۶- پرسش سه نقطه                                               |
| ۱۳۹ | ۷-۷- تعیین آستیخنی یک سطح با استفاده از منحنی های تراز ساختاری  |
|     | ۷-۸- تغییر وضعیت طبق پدیده های صفحه ای                          |
| ۱۴۱ | با استفاده از الگو رخنمون آن ها در نقشه                         |
| ۱۴۱ | ۷-۹- تعیین ستبرای مینه داشتنی روی زمین های شیب دار              |
| ۱۴۲ | ۷-۱۰- ژرفا تا یک سطح                                            |
| ۱۴۳ | ۷-۱۱- برش های عرضی ترازمن                                       |
| ۱۴۹ | تمرین های فصل ۷                                                 |
|     | ۸- روش های واکاوی آماری داده های ساماری                         |
| ۱۵۷ | و نرم افزارهای مورد استفاده در زمین شناسی ساختاری               |
| ۱۵۹ | ۸-۱- نمودار گلسرخی                                              |
| ۱۵۹ | ۸-۲- نرم افزارهای مورد استفاده در زمین شناسی ساختاری            |
| ۱۶۹ | تمرین های فصل ۸                                                 |
| ۱۶۵ | ۹- روش های بررسی ساختارهای میکروسکوپی                           |
| ۱۶۷ | ۹-۱- تهیه نمونه های جهت دار                                     |
|     | ۹-۲- صفحه یونیورسال و چگونگی استفاده از آن                      |
| ۱۷۱ | برای اندازه گیری وضعیت ساختارهای میکروسکوپی                     |
| ۱۸۱ | تمرین های فصل ۹                                                 |
| ۱۸۵ | پیوست ها                                                        |
| ۲۳۱ | منابع                                                           |
| ۲۳۳ | واژه نامه                                                       |

## دیباچه

واکاوی (تحلیل) عبارت است از فرایند تقسیم کردن یک موضوع پیچیده به بخش‌های کوچکتر برای دست‌یابی به شناخت بهتر آن. واژه واکاوی در انگلیسی (analysis) از واژه‌های یونانی به معنی خرد کردن و جدا کردن گرفته شده است. این روش از دیرباز در ریاضی و منطق به کار گرفته می‌شده است. به نظر می‌رسد مفهوم رسمی واکاوی اولین بار از سوی پورهشتم<sup>۱</sup> (ابن هیثم)، دانشمند ایرانی در سد چهارم خورشیدی به کار گرفته شده باشد (ویکیپدیا). «هم‌نهاد» (synthesis) به معنی ترکیب چند مفهوم، گویگون است برای آن که از آن‌ها مفهومی فراگیرتر و نوین شکل بگیرد. بسیاری پایان‌نامه‌ها، کارشناسی ارشد و رساله‌های دکترای گرایش زمین‌ساخت و یا پژوهش‌هایی که در پیوند این دو رشته نگاشته می‌شوند در عنوان خود دارای «واکاوی» (تحلیل-analysis) هستند.

ساختارها در زمین‌شناسی بسیار گوناگون هستند و از درجه‌های گوناگون پیچیدگی برخوردارند. به طور معمول این ساختارها بسته به مقیاس بررسی، به عنصرهای خطی و صفحه‌ای خرد می‌شوند و از این راه مورد واکاوی قرار می‌گیرند. به عنوان نمونه لایه‌بندی یا برگوارگی، عنصرهای خطی و هر نوع پدیده ساختاری دیگر که با یک چین‌خوردگی در پیوند هستند، در ایستگاه‌های گوناگون در یک گستره مورد برداشت قرار می‌دهیم، نامگذاری می‌کنیم، دسته‌بندی می‌کنیم و یک اندوخته داده‌ها را شکل می‌دهیم. اندوخته از پژوهش، ساختار را مورد واکاوی قرار داده‌ایم و از این پس لازم است داده‌ها را هم‌نهاد کنیم. برای این کار با روش‌های مناسب، اندوخته داده‌ها در زمینه انواع عنصرهای ساختاری را جدا می‌کنیم. در کنار هم قرار می‌دهیم و سپس تلاش می‌کنیم پیوند میان مجموعه داده‌های مربوط به هر زیر مجموعه را دریابیم. هر چه دقت برداشت‌ها، گوناگونی داده‌ها و روش‌های هم‌نهاد بهتر باشند، نتیجه پژوهش بهتر خواهد بود.

<sup>۱</sup> نیاکان پورهشتم از شهر دانشگاهی گندی شاپور در زمان ساسانیان و زرتشتی بوده‌اند که پس از حمله عرب‌ها در زمان خلافت عمر بن الخطاب به همراه بسیاری از دانشمندان دیگر از گندی شاپور کوچ کردند. وی اهل خوزستان بود و در شهر وهیشتاردشیر (اهواز) جای داشت. او در علوم ریاضی، حساب و هندسه، مثلثات، جبر، الابصار (اپتیک) و مانند آن استادی چیره‌دست و توانا بود.

این کتاب تلاش دارد بخشی از فن‌های بسیار گوناگون کاربرد روش‌های ساختاری را در حل مسایل زمین‌شناسی مورد توصیف و آموزش قرار دهد. مطالب این کتاب دربردارنده موضوع‌های عملی است که در واقع می‌تواند کامل‌کننده مطالب نظری در آموزش زمین‌شناسی ساختاری باشد. تلاش شده است تا حد امکان بیشتر سرفصل‌های این شاخه از دانش زمین‌شناسی (مانند تنش، کرنش، گدایش، ساختار و مانند آن) مورد پوشش قرار گیرد.

کتابی که در پیش رو دارید مجموعه‌ای است محدود از روش‌های واکاوی و هم‌نهاد ساختاری که از در کنار هم قرار گرفته‌اند. مجموعه‌ای از روش‌ها در منابع خارجی و داخلی فراهم شده است. با این وجود، تلاش شده است در نگارش این کتاب تجربه نگارنده در آموزش درس آزمایشگاه زمین‌شناسی ساختاری به کار گرفته شده و مطالبی گردآوری شود که می‌تواند برای درس آزمایشگاه دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد زمین‌شناسی و نیز برای مراجعه دانشجویان و یا کاربران دانش زمین‌شناسی ساختاری، سودمند باشد.

چنان‌که در فهرست مشاهده می‌کنید، کتاب از ۹ بخش تشکیل شده است که هر یک در آغاز به برخی پایه‌های نظری برای حل پرسش‌های مربوط به موضوعات پیش می‌پردازد و سپس چند تمرین در پایان بخش قرار گرفته است.

## پیش‌نوشتار

زمین‌شناسی ساختاری<sup>۱</sup> دانش بررسی شیوه واکنش سنگ‌ها در برابر نیروهای دگرریخت کننده، توصیف هندسه ساختارهایی است که از دگرریختی سنگ‌ها پدید می‌آیند. این دانش در ساخت زمین‌شناسی ناحیه‌ای، رابطه‌های چینه‌نگاشتی، جایگزینی توده‌های معدنی و ساختارهای مناسباتی برای انباشتگی نفت و گاز نقش مهمی بازی می‌کند و آشنایی عمومی با آن می‌تواند به بود نقشه‌ها و برش‌های زمین‌شناسی و اکتشاف مواد معدنی و نفتی بسیار یاری برساند. زمین‌شناسان پایه‌های گوناگونی از آشنایی با این دانش به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی می‌پردازند و در نتیجه با عنوان نمونه در برخی نقشه‌ها، گزارش‌ها و پایان‌نامه‌ها تنها شاهد خط‌های سرخ رنگی هستند که بر هر نوع آگاهی از سازوکار آن، «گسله» خوانده می‌شوند و تنها به کار «چسباندن» واحدهای چینه‌نگاشتی ناهمگون می‌آیند و در برخی دیگر از نقشه‌ها شاهد جزئیات ساختاری بهتر و منطقی‌تر هستیم. در برش‌های ساختاری برخی از نقشه‌ها، تمام گسله‌ها (به علت نبود آشنایی با هندسه و سازوکار آن‌ها) به صورت قائم کشیده می‌شود؛ از سوی دیگر برش‌های ساختاری برخی از نقشه‌ها از بهر همان علت یادشده در بالا چنان پر از جزئیات پیچیده کشیده می‌شود که هر بیننده‌ای را دچار شگفتی می‌سازد.

برداشت‌های صحرائی و نمونه‌برداری در بررسی‌های زمین‌شناسی ساختاری باید دارای روش‌های دقیق و منسجم باشد. در هر رخنمون افزون بر ویژگی‌های زمین‌شناختی، تمام عنصرهای ساختاری مانند لایه‌بندی، خطوارگی‌ها، برگوارگی‌ها، سسله‌ها، دگرشکلی‌ها، محور و سطح محوری و میل چین‌ها، شکستگی‌های کوچک و بزرگ و مواد پرکننده آن‌ها، سبب زمین‌شناسی ساختارها نسبت به یکدیگر و نسبت به پدیده‌های زمین‌شناختی باید برداشت شود.

از آن جا که برداشت‌های ساختاری مورد تجزیه و واکاوی<sup>۲</sup> آماری قرار می‌گیرند باید محل برداشت‌ها در سراسر ناحیه مورد بررسی تا سرحد امکان پراکندگی یکنواختی داشته باشد. برداشت پدیده‌ها تنها در جاهایی که وضعیت آن‌ها تغییر می‌یابند یا در جاهایی که رخنمون‌های مناسب‌تری در دسترس هستند، یک اشتباه بزرگ است. در برخی بررسی‌های ریزساختاری<sup>۳</sup> ضروری است نمونه‌های جهت‌دار تهیه شود تا بازسازی ساختار مورد نظر در محل کار یا آزمایشگاه امکان‌پذیر باشد.

1 structural geology

2 analysis

3 microtectonic

جمع‌آوری و تجزیه و واکاوی داده‌ها در زمین‌شناسی ساختاری با روش‌های گوناگون صورت می‌گیرد. این روش‌ها را می‌توان به روش‌های جمع‌آوری داده‌ها، واکاوی داده‌ها و نمایش داده‌ها دسته‌بندی کرد. کتاب حاضر تلاش دارد تا حد برآورد نیازهای آغازین به هر یک از این روش‌ها بپردازد.

منابع اصلی مورد استفاده در این کتاب به ترتیب اهمیت عبارتند از کتاب‌های واکاوی و هم‌نهاد ساختاری [۱، ۲] و زمین‌شناسی ساختاری: مقدمه‌ای بر روش‌های هندسی [۱۴] و [۱۵]، تنش و کرنش [۱۰]، سازه کلی زمین‌شناسی ساختاری [۶]، زمین‌شناسی ساختاری [۲۳] و ریززمین‌ساخت [۱۲ و ۱۳].

ابزارهای مورد نیاز برای واکاوی و واکاوی داده‌ها (حل تمرین‌ها و کار دفتری) که باید همواره همراه یک زمین‌ساخت‌شناس یا دانشجوی کتاب آرمایشگاه درس‌های زمین‌شناسی ساختاری شرکت می‌کند، باشد:

خط کش، گونیا، نقاله، پرگار، مداد، مداد رنگی، دفتر ماشین حساب مهندسی، استریونت، کاغذ کالک

در پایان کتاب، نقشه زمین‌شناسی گستره بری کریک [۱۸] بر ۶ تکه ارائه شده است. یک کپی از این ۶ تکه تهیه کنید و آن‌ها را مطابق شرح زیر رنگ بزنید و در کنار هم بچسبانید:

Omd خاکستری، Omt قهوه‌ای، Sm آبی تیره، Dlm بنفش، Mr سرخ، K نشان‌های اضافه (+) سرخ رنگ، Te قهوه‌ای کمرنگ، Tb سبز تیره، Tts سبز روشن، Tm آبی آسمانی، Tmm نارنجی پررنگ، Tg نارنجی کمرنگ، Tr زرد، Thd سفید.